

Философские
проблемы
астрономии

XX

века

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЛОСОФСКИМ ВОПРОСАМ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

ИНСТИТУТ ФИЛОСОФИИ



**МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКАЯ
ДИАЛЕКТИКА —
ЛОГИКА
И МЕТОДОЛОГИЯ
СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Редакционная коллегия:

В. А. АМБАРЦУМЯН, Д. И. БЛОХИНЦЕВ,
В. М. ГЛУШКОВ, В. В. ГНЕДЕНКО,
И. М. ЛИФШИЦ, М. Э. ОМЕЛЬЯНОВСКИЙ,
Ю. В. САЧКОВ, Н. Н. СЕМЕНОВ, Н. В. ТУРБИН,
Б. С. УКРАИНЦЕВ, Е. К. ФЕДОРОВ, Е. В. ШОРОХОВА

ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АСТРОНОМИИ XX ВЕКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1976

Книга посвящена анализу теоретико-познавательных и методологических проблем, поставленных революцией в современной астрономии. Рассматриваются основные черты этой революции, взаимосвязь астрофизики, космологии и физики элементарных частиц, применяемые в астрономии фундаментальные понятия: пространство, время, эволюция. Особое место в книге занимает вопрос о путях познания Вселенной.

Редакционная коллегия:

В. В. КАЗЮТИНСКИЙ,

М. Э. ОМЕЛЬЯНОВСКИЙ, Ю. В. САЧКОВ

Ф $\frac{10502-083}{042(02)-76}$ БЗ—35—5—75

© Издательство «Наука», 1976 г.

Астрономия — одна из наук, находящихся на «переднем крае» современного естествознания. Она развивается необычайно быстрыми темпами и за последние десятилетия достигла огромных успехов.

Все развитие современной астрономии, особенно ее ведущего раздела — астрофизики, представляет собой по сути непосредственное продолжение революции, которая произошла в физике первой трети XX века. Обусловив дальнейший бурный прогресс всего комплекса физических наук, эта революция открыла совершенно новые перспективы и в изучении Вселенной. Можно отметить несколько основных моментов, характеризующих различные стороны современного развития науки о Вселенной.

Радикальные усовершенствования были внесены в традиционные для астрономии оптические методы исследования, появился ряд принципиально новых методов. Это — радиоастрономия, а также внеатмосферные методы исследования, которые позволили регистрировать рентгеновское, далекое ультрафиолетовое и инфракрасное, гамма-излучение из космоса, сделали возможным прямое изучение Луны, планет и межпланетного пространства.

Необычайно раздвинулись горизонты охваченной наблюдениями области Вселенной. Помимо Солнечной системы и нашей Галактики в центре внимания астрономов находится сейчас исследование Метагалактики — гигантского мира звездных систем и других внегалактических объектов, который поражает грандиозностью своих масштабов. Самые далекие из этих объектов, известные в настоящее время, находятся от нас на расстояниях порядка 15 миллиардов световых лет. К серьезным и фундаментальным результатам привели систематические исследования «обычных» для астрономии типов объектов, из которых построены космические системы, — планет, малых тел Солнечной системы, звезд, диффузного газопылевого вещества. Наиболее существенно, однако, то, что в ходе быстрого расширения и углубления наших знаний о Вселенной не только обнаруживаются все новые, во многих случаях неожиданные свойства уже известных

объектов, но и объекты, качественно отличные от всего, с чем астрономия имела дело раньше.

Это — нестационарные объекты, в которых происходят бурные процессы, часто носящие форму взрыва, распада, дезинтеграции. Наряду с открытым довольно давно явлением нестационарности нашей Вселенной — Метагалактики, огромное значение имело открытие активности ядер галактик. Ядра галактик представляют собой тела ранее не известного типа, в которых происходят мощнейшие нестационарные процессы, сопровождаемые выделением фантастических количеств энергии. Обнаружение этих и множества других явлений нестационарности во Вселенной, а также выявление эволюционных зависимостей между различными состояниями космических объектов (например, эволюционное истолкование диаграммы Герцшпрунга — Рассела) превратили астрономию в науку, буквально пронизанную идеей развития.

Применение в астрономии современной системы физического знания, которая основывается в первую очередь на специальной и общей теории относительности, квантовой механике, а также физике элементарных частиц, привело к значительным успехам в построении обоснованных теорий и моделей многих явлений, объектов, процессов во Вселенной. Тем самым астрономия внесла заметный вклад в разработку современной естественнонаучной картины мира.

Однако многие из наиболее глубоких проблем астрофизики и космологии сегодня еще далеки от решения. Попытки построения теорий и моделей таких астрофизических объектов, как, например, активные ядра галактик, сталкиваются с серьезными трудностями, что создает сложные, противоречивые «проблемные ситуации» и приводит к появлению множества конкурирующих концепций. Острота этих ситуаций усугубляется неоднозначностью истолкования имеющихся фактических данных. Многие исследователи считают, что известных сейчас физических понятий, законов и теорий в принципе недостаточно для истолкования всего многообразия условий и явлений в нашей Вселенной. Но нередко высказывается и противоположная точка зрения — о том, что дальнейшее исследование этих проблем может потребовать выхода за рамки известных сейчас фундаментальных физических теорий и создания более общих теорий.

Отмеченные черты развития современной астрономии привели к постановке в ней целого комплекса философских проблем. Вокруг этих проблем развернулась острая борьба философских направлений.

Некоторые зарубежные астрофизики и космологи предприняли попытки их решения с позиций, отмеченных печатью субъективизма («ментализм» Дж. Джинса, «селективный субъективизм» А. Эддингтона, близкие к различным вариантам позитивизма концепции Э. Милна, Г. Занстра, Г. Мак-Витти, Г. Бонди

и др.). Но все подобные концепции оказались неплототворными и обнаружили свою несостоятельность. Единственной философией, адекватной современному развитию астрономии, как и всего естествознания наших дней, и способной эффективно решать теоретико-познавательные, методологические, мировоззренческие проблемы науки о Вселенной, является философия марксизма-ленинизма. Принципы материалистической диалектики оказывают сейчас все большее влияние на исследования Вселенной.

Как отметил вице-президент АН СССР академик П. Н. Федосеев, открывая симпозиум по философским вопросам современной астрономии (Москва, декабрь 1972 г.), исследования по философским вопросам астрономии в нашей стране имеют давние традиции. Многие советские астрофизики и космологи, а также ряд философов в своих трудах подвергли всесторонней критике идеалистические (а также вульгарно-материалистические) истолкования современной астрономии, дали конструктивное решение многих из ее философских проблем и ведут плодотворные дискуссии по ряду вопросов, вызывающих споры.

Определенное представление об основных точках зрения в этой области, развиваемых в рамках материалистической диалектики, дает настоящая книга, созданная совместно астрофизиками, космологами и философами.

В первом разделе книги — «Астрономия и революция в естествознании XX века» анализируются основные черты и закономерности развития астрономии в связи с революцией, которая произошла в физике, рассмотрены основные аспекты революции в астрономии наших дней; обсуждаются проблемы универсальности известных в настоящее время фундаментальных физических законов и теорий, связи явлений микромира и мегамира; показана неизбежность применения релятивистской теории тяготения в качестве физико-теоретической основы современной космологии.

Второй раздел — «Пути познания Вселенной» посвящен методологическим проблемам астрономии; подчеркивается тесная взаимосвязь астрономического наблюдения, физического эксперимента и различных уровней теоретического знания; выявляются значительные эвристические возможности основных методов астрофизики и космологии. Особое внимание в разделе уделено методу моделей, статистическим, а также теоретико-вероятностным идеям и методам.

Третий раздел — «Знание и реальность в астрономии» содержит статьи, авторы которых, анализируя практическую природу познания, обосновывают возможность достижения объективного, достоверного и адекватного знания об объектах Вселенной. В этом же разделе рассматривается вопрос об объективном значении системы Коперника в свете общей теории относительности.

Наконец, четвертый раздел — «Фундаментальные физические понятия в астрономии» содержит подробный теоретико-познавательный анализ понятий пространства, времени, бесконечности, эволюции, а также связанных с ними понятий (таких, как сингулярность, начальный момент времени, направление времени и др.).

В редакционной работе над книгой принимала участие младший научный сотрудник Отдела философских вопросов естествознания Института философии АН СССР И. В. Достова. Организационно-техническую работу выполнили сотрудники отдела Н. И. Ключникова, Н. Х. Сатдинова, В. И. Трушкина, В. А. Шагеева, Л. Ф. Шутова.

Рукопись книги подробно обсуждалась на заседаниях философских (методологических) семинаров Астрономического совета АН СССР и Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга (ГАИШ).

Ряд статей, включенных в настоящую книгу, представляет собой дополненные и переработанные авторами тексты их докладов или выступлений на симпозиуме по философским вопросам астрономии, который состоялся в 1972 г.

Некоторые из статей были опубликованы ранее в журнале «Вопросы философии»: В. Л. Гинзбург. Новые физические законы и астрономия. — «Вопросы философии», 1972, № 11; Ганс-Юрген Тредер. Значение коперниканства для современной астрономической картины мира. — «Вопросы философии», 1974, № 3; Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Проблемы современной космологии. — «Вопросы философии», 1974, № 4.

Авторы и редколлегия выражают признательность рецензентам — академику АН ЭССР Г. И. Наану, доктору физико-математических наук Г. Б. Жданову, доценту А. С. Кармину, а также всем принявшим участие в обсуждении текста рукописи за ценные замечания, которые были учтены при подготовке ее к печати.

I. АСТРОНОМИЯ И РЕВОЛЮЦИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ XX ВЕКА

В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский

РЕВОЛЮЦИЯ В АСТРОНОМИИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С РЕВОЛЮЦИЕЙ В ФИЗИКЕ

Астрономия, древнейшая из наук, вступила сейчас в эпоху необычайно быстрого развития. За последние десятилетия она достигла огромных успехов, превратившись в одну из наиболее авангардных областей естествознания — наряду с физикой элементарных частиц и биологией.

Анализируя современные тенденции развития астрономии, многие авторы высказываются в том смысле, что в науке о Вселенной назрела революционная ситуация и даже более того — что новая революция в астрономии уже происходит. Однако ее сущность и взаимосвязь с революцией в физике XX века нередко понимают совершенно по-разному.

Мы рассмотрим основные аспекты революции в современной астрономии с точки зрения общих особенностей естественнонаучных революций.

ПРОБЛЕМА РЕВОЛЮЦИЙ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Проблема естественнонаучных революций привлекает большое внимание не только многих специалистов в области истории и методологии научного познания, но и самих исследователей природы. Это вполне понятно. Естествознание XX века прогрессирует ранее невиданными темпами. В разных его областях произошли или происходят бурные революционные изменения, существенно расширяющие и углубляющие систему наших знаний о природе, пределы нашей власти над ней. Осмысление этих изменений, их значения и последствий возможно лишь на основе анализа существа и основных особенностей научной революции.

Проблемам научных революций уделяли огромное внимание классики марксистско-ленинской философии. Всесторонний анализ «новой революции в естествознании», который был дан В. И. Лениным в «Материализме и эмпириокритицизме», а также

в других его философских трудах, полностью сохраняет свою актуальность. Он помогает понять основные закономерности современного прогресса естествознания, наметить пути его дальнейшего развития. Эти проблемы интенсивно разрабатываются сейчас с позиций материалистической диалектики (отметим, например, целый ряд посвященных им работ Б. М. Кедрова). Значительное внимание этим проблемам уделяют и немарксистские течения в области философии науки. Широкую известность приобрели концепция научных революций Т. Куна, концепция смены «исследовательских программ» И. Лакатоса и другие. Названные концепции имеют ярко выраженную антипозитивистскую направленность, верно подмечают ряд конкретных особенностей развития естествознания. Однако решить наиболее принципиальные проблемы революций в науке их авторам все же не удалось — в силу незнания или игнорирования, а иногда крайне упрощенного и ограниченного применения ими диалектики процесса познания.

При обсуждении этих проблем необходимо учитывать, что естествознание — это не только *система развивающегося знания* о природе, но также особая форма *социальной деятельности* по производству знания о природе, и — во все возрастающих масштабах — также *непосредственная производительная сила* общества. Все эти аспекты естествознания тесно взаимосвязаны, изменения в одном из них рано или поздно неизбежно сказываются на других.

Революционные изменения в системе знания о природе, которые произошли на том или ином этапе развития всего комплекса естественных наук или отдельной его области, вызывают соответствующие изменения в способах получения нового знания, философских основаниях, методологических принципах исследования и способе видения мира; вне этих последних изменений возникновение и обоснование нового знания было бы невозможным.

Изменения в системе знания о природе служат одной из важнейших предпосылок революционных изменений в различных областях техники, — что, в свою очередь, создает новые мощные стимулы для развития естествознания. Даже в случаях, когда пути практического применения того или иного фрагмента системы знания о природе пока неясны, считать это знание и исследования, направленные на его получение, полностью оторванными от практики, все же нельзя. Такие исследования представляют собой не что иное, как моделирование схем *будущей практики*, позволяющее предсказать — иногда за многие десятилетия и даже столетия вперед — принципиально возможные изменения объектов, их свойств, а также способы их практического освоения¹. В астрономии, которая считалась долгое время наукой,

¹ В. С. Степин. Научное познание как «опережающее отражение» практики. — В кн.: «Практика и познание». М., 1973.

мало связанной с практикой, в частности с производственной деятельностью общества, можно найти множество поразительных примеров именно такого рода. Развитие небесной механики, наблюдения Луны и планет — исследования, которые могли казаться образцом «чистой» науки, — позволили предугадать многие стороны практической деятельности общества в области космонавтики и освоения космоса, которая началась лишь во второй половине XX века.

Как подчеркивал В. И. Ленин, «человек не может охватить = отразить = отобразить природы *всей*, полностью, ее „непосредственной цельности“, он может лишь *вечно* приближаться к этому, создавая абстракции, понятия, законы, научную картину мира и т. д. и т. п.»². Процесс расширения и углубления наших знаний о природе является сложным, многоплановым, противоречивым. Он включает сравнительно длительные периоды более или менее спокойного развития естествознания или отдельных его областей и периоды революционных переворотов, различные по своим масштабам и значению.

Те эпохи истории науки, для которых характерно развитие знания в рамках сложившейся системы фундаментальных теорий, понятий, представлений и соответствующих им принципов понимания и объяснения, способов видения мира, регулирующих исследовательскую деятельность, Т. Кун назвал «нормализованной» наукой, а соответствующий каждой из них канон научного мышления — парадигмой. Парадигма, как ее понимает Кун, включает в себя некоторую обобщенную модель природы, «стандартные» образцы научного объяснения и ценностные моменты, которыми определяется отношение к теориям науки. Согласно развиваемой им концепции, парадигма играет важнейшую роль в познании. Она выступает как основание и эталон научного объяснения, имеющий силу традиции. Среди приводимых Куном примеров парадигм — гео- и гелиоцентрическая системы мира, ньютоновская механика, квантовая физика.

Кун вполне прав, отмечая определяющее значение сложившихся и зарекомендовавших себя в науке теоретических систем при выборе типов проблем, которые рассматриваются как имеющие решение на данной ступени научного развития, и способов решения этих проблем. Справедливы и его суждения о двойственной роли таких систем: парадигма, по словам Т. Куна, «часто подавляет новые фундаментальные открытия, потому что они с неизбежностью разрушают ее основные положения»³. Обычно высказываемый по адресу Куна упрек, что он слишком преувеличивает роль «догмы» в науке, справедлив лишь отчасти. Конечно, «нормализованную» науку не следует рассматривать как начи-

² В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, с. 164.

³ Т. Kuhn. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago — London, 1962, p. 3.

сто лишнюю долю духа критицизма. Однако список приводимых Куном многочисленных примеров из истории науки, показывающих, что парадигма служила основой и оправданием для предвзятого отношения к открытиям, которые требовали сколько-нибудь радикального изменения укоренившихся взглядов, можно было бы существенно расширить.

С другой стороны, во многих отношениях созданный Куном образ «нормализованной науки» все же очень огрублен и мало напоминает реальные процессы научного развития.

«Нормализованная» наука, согласно концепции Куна, не ставит себе целью получить какое-либо новое знание: она занимается, главным образом, решением «головоломок», причем ответы, как правило, всегда известны заранее. Но это неверно, особенно если иметь в виду, скажем, современную физику. Существующая система физического знания ставит огромное число необычных и сложных проблем, решения которых в большинстве случаев трудно или невозможно предугадать заранее, нередко в силу их нетривиальности. Необоснованным является также принижение Куном значения так называемых «рутинных» исследований в науке. Без огромной по своему объему работы по накоплению фактов (из которых каждый, взятый в отдельности, может и не иметь большого значения) познание природы было бы немыслимым. Например, только на основе довольно однообразных измерений стандартными способами пространственного расположения и физических параметров колоссального количества звезд были в конечном счете получены фундаментальные по своему значению выводы о строении и эволюции нашей Галактики и других звездных систем.

Еще один недостаток куновского представления о «нормализованной» науке состоит в том, что Кун явно преувеличивает роль психологических факторов в ее развитии. В частности определенный способ истолкования и объяснения природы не столько возникает в результате соглашения между членами «научного сообщества», сколько навязывается нам процессом исследования самой природы.

Даже самой «спокойной» эпохе развития естествознания свойственны более или менее значительные противоречия. До поры до времени эти противоречия разрешаются в пределах сложившейся системы знания. Нередко это может быть достигнуто лишь путем игнорирования явлений, которые эта система знания не позволяет объяснить.

Но дальнейшее нарастание противоречий в познании природы закономерно и неизбежно приводит к естественнонаучным революциям.

Сущность естественнонаучной революции может быть понята на основе определения революции, которое было сформулировано В. И. Лениным: «... революция есть такое преобразование, которое ломает старое в самом основном и коренном, а не

переделывать его осторожно, медленно, постепенно, стараясь ломать как можно меньше...»⁴

Это определение применимо и к революциям в науке.

Естественнонаучная революция может представлять собой перелом, глубокий качественный скачок в развитии всего комплекса наук о природе, той или иной из этих наук или, наконец, лишь в определенном разделе одной из них. Соответственно естественнонаучные революции обычно подразделяют на глобальные, локальные и микрореволюции.

Определяющими чертами естественнонаучной революции, с нашей точки зрения, являются: 1) коренное изменение идей, принципов, понятий, представлений в данной предметной области: а) отказ от некоторых старых идей, принципов, представлений, которые считались истинными без достаточных оснований, а иногда — буквально принимались на веру; б) обобщение и уточнение тех старых понятий, принципов, представлений, которые оказались применимыми лишь приближенно; формирование новых понятий и теорий, более широких и точных; 2) перестройка методологических принципов исследования в данной области естествознания или во всей системе наук о природе; в ряде случаев — постановка новых теоретико-познавательных и мировоззренческих проблем. Эти изменения оказываются, как правило, тем значительнее, чем больше по своим масштабам соответствующая научная революция; 3) изменения в способе видения мира, свойственном всему естествознанию или одной из его областей.

Глобальная революция в естествознании представляет собой коренное изменение фундаментальных понятий и теорий, переход к новой картине мира. Оно неизбежно сопровождается пересмотром философских оснований естествознания, возникновением нового способа понимания и объяснения природы, радикальными изменениями «видения мира» в масштабах всего естествознания. Такие революции чрезвычайно редки. Во всей истории естествознания их насчитывают всего две: революция, которая произошла в естествознании эпохи Возрождения и начала Нового времени и революция в естествознании XX века. Обе революции начались с науки, занимавшей ведущее положение (в первом случае это была астрономия, во втором — физика⁵), а затем охватили все основные области естествознания, приведя к созданию, соответственно, механической и квантово-релятивистской картин мира.

Скромнее по своим масштабам и последствиям, но гораздо многочисленнее локальные революции. Каждая из наук о природе пережила одну или несколько таких революций (например,

⁴ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 44, с. 222.

⁵ Процессы развития основных понятий классической и современной физики подробно рассматриваются в кн.: М. Э. Омельяновский. Диалектика в современной физике. М., 1973.

революция в химии XVIII века, революция в биологии XIX века, связанная с появлением эволюционной теории Дарвина, и т. д.). Все эти революции приводили к радикальному пересмотру некоторых основных понятий и теоретических представлений соответствующих наук, обогащая вместе с тем другие науки и внося большие или меньшие определенные изменения в естественнонаучную картину мира. Локальные революции также связаны с изменениями в методологических принципах исследования и способах видения мира. Наконец, те случаи, когда достаточно радикальные теоретические и методологические последствия вызываются каким-либо одним открытием в частной области естествознания, уместно называть микрореволюциями.

Отмеченные черты, или признаки, естественнонаучных революций разного масштаба представляются наиболее существенными. Если на определенном этапе развития естествознания в целом или какой-либо из наук о природе эти признаки отсутствуют — это означает, что рассматриваемый этап не представляет собой революцию.

Иногда, правда, к локальным естественнонаучным революциям относят изменения более частного порядка. Например, высказывается взгляд, что революцию в одной из наук о природе может составить появление за сравнительно короткий промежуток времени множества принципиально новых методов исследования, т. е. могут составить определенные изменения в способах научной деятельности, а также проникновение в ранее недоступные для исследования области природы или открытие новых явлений, качественно отличных от всего известного раньше (изменения в эмпирическом базисе естествознания).

Разумеется, каждое из таких изменений знаменует собой успех естествознания и, как правило, придает новые импульсы его дальнейшему развитию. Например, применение физико-химических методов в биологии во многом обусловило бурный прогресс комплекса наук о живом, который переживает сейчас настоящую революцию. Такие фундаментальные открытия, сделанные в физике на рубеже XIX—XX веков, как рентгеновские лучи, радиоактивность, электрон и другие, с полным правом рассматриваются как начало революции, которая произошла в физике. Но все же все отмеченные типы изменений необходимо, с нашей точки зрения, рассматривать не сами по себе, а в единстве с теми изменениями в системе знания и общих принципах научного исследования, которые были ими вызваны. Они выступают как *предпосылки* или же *условия дальнейшего развертывания* революций в естествознании.

Одной из важнейших и вместе с тем недостаточно исследованных проблем естественнонаучных революций является анализ механизма революционной перестройки системы знания, путей формирования принципиально новых понятий, теорий, картин мира. Попытки ее решения занимают важное место в концепци-

ях Т. Куна, К. Поппера, И. Лакатоса и др. Мы кратко затронем лишь некоторые моменты этих концепций, имеющие наибольшее отношение к анализу революции в современной астрономии.

Кун подверг решительной критике точку зрения К. Поппера, согласно которой научная революция — это любой акт смены теорий, а все развитие науки, в частности естествознания, выступает как серия подобных революций, следующих друг за другом, т. е. «непрерывная революция». По мнению Куна, революции в науке — явление экстраординарное. Они не сводятся лишь к смене теорий, даже фундаментальных, а представляют собой переход от одной парадигмы к другой, сопровождаемый глубокими изменениями видения мира.

Революция начинается с возникновения в данной области науки кризисной ситуации: все большее количество новых фактов не согласуется с прежней парадигмой; попытки ликвидировать трудности и противоречия путем приспособления существующей парадигмы к изменившимся условиям не приводят к успеху. Следующий этап научной революции состоит в интенсивной разработке новой парадигмы, которая в результате острого противоборства вытесняет парадигму, ей предшествовавшую. Отбросить одну парадигму без одновременного принятия другой означало бы, по Куну, отвергнуть саму науку. Вот почему непригодность старой парадигмы может быть признана лишь в том случае, если уже появилась новая парадигма, способная занять ее место. Она утверждается в науке постепенно, преодолевая упорное «сопротивление традиций». Сторонникам прежней парадигмы, привыкшим считать свои взгляды не только единственно правильными, но и единственно научными, кажется, что идеи, представления, теории, порывающие с их взглядами, тем самым порывают и с наукой, с основами научного мышления. На новые идеи обрушивается вся сила авторитета «общепринятых» концепций. Но проходит время, и положение меняется. Ожесточенная борьба между сторонниками старой и новой парадигм завершается победой последней: это происходит после того, как она будет принята большинством членов «научного сообщества».

Смена парадигм приводит, по Куну, к настолько радикальному изменению видения мира, что можно подумать, будто «профессиональные научные сообщества неожиданно перенесли на другую планету, где знакомые предметы видятся в неожиданном свете и окружены другими, неизвестными предметами»⁶. Новая система знания и основанный на ней способ видения мира неодолимо побеждают, получают всеобщее признание, входят в учебники, популярные книги и т. д.

Эти выводы Куна, опирающиеся на значительный фактический материал, фиксируют некоторые существенные черты революций в естествознании. Но нельзя не отметить, что многие из

⁶ T. Kuhn. Structure of Scientific Revolutions, p. 110.

них уже были известны. Диалектика взаимосвязи между революционными изменениями в системе знания о природе и коренной перестройкой способа мышления естествоиспытателей была глубоко и всесторонне рассмотрена в работах Ф. Энгельса и В. И. Ленина. Что же касается концепции научных революций Куна, то она во многих существенных моментах недиалектична. Один из ее серьезных недостатков состоит в том, что в ней почти совсем не разбирается внутренний механизм того скачка, который представляет собой процесс возникновения нового знания, — точнее, этот механизм сводится к действию факторов преимущественно психологического порядка. Постановка и попытка разрешения ряда вопросов, связанных с психологическими аспектами научных революций, — несомненная заслуга Куна. Но все же в куновской концепции эти аспекты настолько гипертрофированы, что многие из ее положений представляются неправильными.

Кун не без резона отмечает, что в период научной революции сторонники борющихся парадигм говорят как бы на разных языках и зачастую буквально не понимают друг друга. Это происходит потому, что обе стороны применяют для обоснования истинности своих взглядов системы аргументов, каждая из которых основывается на соответствующей парадигме. Но Кун идет значительно дальше. Различные парадигмы, согласно его концепции, вообще несоизмеримы между собой. Отвергая мнение, что новая парадигма включает в себя старую в виде частного случая, Кун выступает против принципа соответствия, который справедливо считается, одной из важнейших закономерностей развития научного знания.

Как известно, согласно этому принципу, теории, справедливость которых для определенной предметной области доказана, при появлении теорий, более общих и точных, чем прежние, не отбрасываются, а сохраняют свое значение как предельная форма и частный случай новых теорий.

Обычно приводимые примеры действия принципа соответствия — переход квантовой механики в классическую, в условиях, когда пренебрежимо мала величина кванта действия (предельный переход $\hbar \rightarrow 0$); переход релятивистской механики в нерелятивистскую при малых скоростях движения (предельный переход $c \rightarrow \infty$) и другие. Разбирая некоторые из этих примеров, Кун считает их ошибочными с логической точки зрения. Ошибка состоит, по его мнению, в том, что нельзя сопоставлять теории, фундаментальные понятия которых принципиально различаются между собой. Но такая позиция, отрицающая преемственность в развитии научного знания, несостоятельна в силу своей недиалектичности.

То, что каждая новая теория, особенно фундаментальная, характеризуется не только моментом преемственной связи с прежней теорией (или теориями), но и прямо противоположным моментом, качественной новизной, или, по удачному выражению

П. Г. Карда, своим *несоответствием* прежнему знанию, совершенно очевидно. Основное содержание новых теорий, возникающих в результате научных революций, составляют знания, чуждые старой теории. Это положение П. Г. Кард рассматривает как новый принцип, фиксирующий определяющую черту взаимосвязи старого и нового знания (он предлагает назвать его принципом несоответствия). Однако наличие в новом знании момента принципиальной новизны, с точки зрения материалистической диалектики, не исключает, а, напротив, предполагает существование в развитии знания и момента преемственности. Этот вопрос обстоятельно рассмотрен в большом числе работ, посвященных анализу принципа соответствия и его эвристической роли.

Несоизмеримость различных парадигм Кун видит также в том, что каждая из них связана с решением особых типов проблем, чуждых предшествующим или сменяющим ее парадигмам. В частности, проблемы, решенные естествознанием за последние 30 лет, просто не существовали столетие назад. Между тем, хорошо известно, что наряду с большим числом принципиально новых проблем (таких, например, как изучение элементарных частиц, биология на молекулярном уровне и др.) современному естествознанию достались «в наследство» многие важнейшие проблемы, поставленные еще античной наукой, а также и наукой более позднего времени. К числу их относятся, например, проблемы строения Вселенной как целого, происхождение небесных тел и другие. Прежняя постановка этих проблем и подходы к их решению были, само собой разумеется, ограниченными и несовершенными, а в ряде случаев могут показаться с нашей современной точки зрения даже наивными. Тем не менее, «сквозной» характер ряда проблем, решавшихся естествознанием на разных этапах его истории, является бесспорным фактом.

Есть несомненное преувеличение и в утверждении Куна, что принятие новой парадигмы напоминает скорее обращение «научного сообщества» в новую веру, чем сознательный выбор, основанный на рациональных аргументах. Не умаляя значения причин психологического порядка, способных иногда надолго затормозить признание радикально новых теорий и схем, нельзя не видеть, что изменения в системе научного знания существенно детерминированы и логико-методологическими факторами. В конечном счете именно они оказываются обычно решающими.

Кун считает, что новая парадигма возникает сразу в более или менее законченном виде. Но это нельзя рассматривать как универсальную особенность любой научной революции. Основы таких новых теорий, ставших «парадигмами» современного естествознания, как специальная и общая теория относительности и квантовая механика, действительно были разработаны за сравнительно короткие промежутки времени. Но известно и немало случаев, когда подробная разработка основ принципиально новой теоретической схемы растягивается на многие десятилетия.

Развитая Т. Кунном концепция научных революций содержит и другие уязвимые утверждения.

Модель научной революции, разработанная Лакатосом, существенно отличается от куновской. Выразив несогласие с представлением о «несоизмеримости» сменяющих друг друга парадигм, а также с истолкованием научных революций лишь как глубоких сдвигов в психологии научного сообщества, Лакатос разработал вариант логико-методологического подхода к анализу развивающегося знания. В противоположность Куну он во многих моментах опирается на концепцию Поппера, но существенно модифицирует и развивает ее.

Лакатос вводит понятие исследовательских программ, которые в его концепции играют роль куновских парадигм. Каждая исследовательская программа включает: а) «жесткое ядро» — совокупность утверждений об исследуемом фрагменте реальности, которые рассматриваются как неопровержимые; б) «защитный пояс» — гипотезы и теории, разрабатываемые на основе положений «ядра», и в) систему методологических правил, из которых одни направляют развитие программы, а другие представляют собой систему запретов (например, запрещается подвергать сомнению положения «жесткого ядра» программы). Каждая исследовательская программа реализуется в целой серии последовательно сменяющих друг друга гипотез и теорий «защитного пояса», которые, при всех возможных различиях между ними, объединяются общими предпосылками; все такие теоретические схемы, даже противоречащие друг другу, соизмеримы в пределах самой исследовательской программы. Развитие знания Лакатос рассматривает как противоречивый процесс, движущей силой которого является борьба между конкурирующими исследовательскими программами.

Научные революции, согласно Лакатосу, состоят не в пересмотре теоретических схем, которые составляют «защитный пояс» исследовательских программ (это — обычное явление в развитии науки), а в смене самих этих программ. Возникновение новой исследовательской программы происходит после того, как оказываются исчерпанными возможности развития знания на основе «жесткого ядра» прежней программы.

История естествознания действительно позволяет, по крайней мере в некоторых случаях, обнаружить теоретические системы, отчасти напоминающие исследовательские программы по Лакатосу. Вот лишь один пример. В развитии астрономии можно выделить исследовательскую программу, которую мы условно называем классической. Ее «жесткое ядро» составляет идея образования космических тел из разреженного, диффузного вещества. На протяжении длительного времени — сначала в рамках ньютоновской, а затем современной физики — разрабатывается серия сменяющих друг друга гипотез и теорий, образующих «за-

щитный пояс» этой программы (отметим, что плодотворность такого направления научного поиска вызывает серьезные сомнения). В дальнейшем изложении мы более подробно проанализируем как это, так и другие направления, сложившиеся в исследовании Вселенной.

Лакатосу удалось в определенной мере учесть момент относительной преемственности, непрерывности, свойственный развитию системы знания о природе (у Куна непрерывность оказывается свойственной лишь «нормализованной» науке). Значительное рациональное зерно есть в его стремлении объяснить многие стороны деятельности исследователя в рамках понятий логики и методологии науки. Представляет интерес также выделение Лакатосом двух типов проблемных сдвигов в развитии исследовательских программ: «прогрессивного» и «дегенерирующего», или «регрессивного». Прогрессивному сдвигу в развитии исследовательской программы соответствует появление в ее рамках такой серии гипотез и теорий, из которых каждая последующая несет в себе более богатое «эмпирическое содержание», т. е. ведет к открытию новых существенных фактов. В противном случае сдвиг рассматривается как регрессивный. Тем самым в схеме Лакатоса содержится давно известный и совершенно бесспорный методологический принцип: теория или концепция, претендующая на истинность, должна быть плодотворной.

Однако схема научных революций Лакатоса, подобно концепции Куна, в свою очередь имеет множество слабых мест, частично отмеченных ее оппонентами. Лакатосу не удалось раскрыть механизм формирования нового знания и показать, как именно возникает новая исследовательская программа. Ограничившись анализом лишь логико-методологических факторов в развитии знания, Лакатос впадает в односторонность, противоположную той, которая характерна для Куна. Нет сомнения, однако, что понять диалектику качественных скачков в развитии естественных наук, которые ведут к появлению нового знания, можно, лишь анализируя логико-методологические и психологические аспекты научного творчества в их единстве. Вполне справедливо настаивая на возможности относительно самостоятельного развития знания на теоретическом уровне, Лакатос фактически формулирует задачи научного исследования таким образом, что защита «ядра» исследовательской программы становится у него едва ли не самоцелью для естествоиспытателя. Между тем, основной целью всякого естественнонаучного исследования является познание закономерностей объективно существующей природы.

Таким образом, схемы научных революций, предложенные Куном и Лакатосом, при всех содержащихся в них отдельных моментах, которые заслуживают внимания, не смогли доказать свою способность сыграть достаточно конструктивную роль в анализе реального механизма скачков, ведущих к возникновению принципиально нового знания. В дальнейшем изложении мы,

однако, будем иногда использовать термины «парадигма» и «исследовательская программа», но не в том смысле, который им придается, соответственно, Куном и Лакатосом, а просто для обозначения различных методологических направлений в естествознании.

Переходя теперь к анализу ситуации, сложившейся в астрономии за два-три последних десятилетия, сразу же подчеркнем, что современный прогресс науки о Вселенной представляет собой непосредственное продолжение революции в физике XX века. Но можно ли выделить в развитии астрономии наших дней черты, соответствующие изложенному пониманию естественнонаучной революции, — и если да, то какие именно? Каковы тенденции и перспективы дальнейшего развития астрономии? Сторонники различных направлений или исследовательских программ, сложившихся в различных разделах науки о Вселенной, по-разному отвечают на эти вопросы.

РЕВОЛЮЦИЯ В СРЕДСТВАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Довольно многих сторонников имеет точка зрения, согласно которой революцией в современной астрономии следует считать появление принципиально новых и мощных методов получения информации о Вселенной. В. Л. Гинзбург излагает ее следующими словами: «содержание второй астрономической революции, если вообще пользоваться таким термином, можно видеть только в процессе превращения астрономии из оптической во всеволновую»⁷. Первая астрономическая революция связывается с именем Галилея, который впервые направил на небо телескоп⁸.

Сразу же напрашивается совершенно очевидный вопрос: почему из революции, которую пережила астрономия в эпоху Возрождения и Нового времени, выделяется лишь один-единственный момент, причем далеко не самый главный, — появление принципиально новых средств исследования? Общеизвестно, что эта революция началась с появления теории Коперника, которую и стремился подтвердить Галилей с помощью телескопических наблюдений, что фундаментальный вклад в разработку новой «системы мира» внес Кеплер и что завершил ее Ньютон. Причина, видимо, состоит в стремлении подчеркнуть лишь ту сторону коперниканской революции, которая, согласно рассматриваемой точке зрения, находит аналогию — на совершенно новой основе — в развитии современной астрономии.

Прогноз на будущее, который делает В. Л. Гинзбург, состоит в том, что уже в текущем десятилетии (или максимум к 1985 г.) эта революция завершится. Астрономия станет всеволновой на-

⁷ В. Л. Гинзбург. О физике и астрофизике. М., 1974, с. 105.

⁸ Там же.

укой в полном смысле слова, а те открытия, которые в каком-то смысле «лежали на поверхности», будут сделаны. Другими словами, «пройдет героический период и в астрофизике произойдут изменения (пусть лишь на время), в некоторой степени аналогичные наблюдающимся сейчас в микрофизике»⁹.

В средствах исследования Вселенной действительно происходят революционные изменения, значение которых трудно переоценить. До недавнего времени астрономы могли исследовать излучение космических объектов только в оптическом участке спектра, так как большая часть излучения, позволяющего получать сведения о физических процессах во Вселенной, задерживается нашей атмосферой. Существуют лишь узкие «окна прозрачности»: одно в оптической области спектра, другое в области радиоволн и еще несколько небольших просветов в области инфракрасных лучей. Оптическое «окно» и сейчас остается важнейшим каналом информации о Вселенной, причем оптическая астрономия переживает настоящий подъем. Большое распространение получила новая измерительная техника, основанная на принципах электроники, радиотехники и автоматики. Нечего и говорить о том, что современные оптические телескопы — рефракторы и рефлекторы, особенно построенные за последние годы, неизмеримо превосходят по своим размерам первый телескоп, направленный на небо Галилеем. Наибольшие из современных оптических инструментов позволяют наблюдать объекты, в миллионы раз более слабые, чем те, которые позволял видеть телескоп Галилея.

Важнейшей чертой прогресса в способах исследования Вселенной является, однако, возникновение и бурное развитие неоптических методов, необычайно расширивших каналы получения новой информации. Революционным по своему значению шагом в развитии средств исследования Вселенной было возникновение радиоастрономии. «Радиоокно» в земной атмосфере было слегка приоткрыто еще в 30-е годы, но лишь десятилетия спустя оно стало каналом ценнейших сведений о Вселенной.

Известно много типов источников космического радиоизлучения. Это — Солнце, Луна, планеты, межзвездный газ в нашей Галактике, остатки газовых оболочек, образовавшихся при вспышках некоторых типов звезд. Но основная масса таких объектов — это дискретные (точечные или почти точечные) радиоисточники, находящиеся далеко за пределами Галактики. Часть из них — другие галактики, в ядрах которых происходят бурные процессы.

В целом «радионебо» заметно отличается от «оптического» неба. Космические объекты, дающие огромный поток излучения в радиодиапазоне, часто едва различимы при оптических наблюдениях, и наоборот. Большинство космических радиоисточников

⁹ Там же, с. 106.

пока не отождествлено ни с какими оптически наблюдаемыми объектами.

Немало сведений о происходящих во Вселенной процессах дают космические лучи — потоки заряженных частиц высокой и сверхвысокой энергии (в основном протонов и электронов), которые уже давно регистрируются с помощью физических методов вблизи поверхности Земли.

В самые последние годы делает робкие шаги нейтринная астрономия. Ценность ее в том, что нейтрино способны свободно, без взаимодействия проходить сквозь громадные толщи вещества. В частности с их помощью возможно «просвечивать» недра звезд, скрытые для наблюдения любыми иными методами. К сожалению, необычайные трудности регистрации потоков нейтрино пока не позволяют развивать нейтринную астрономию столь же быстрыми темпами, как другие новые направления науки о небе.

Важнейшие вехи революции в средствах получения астрофизической информации отмечены развитием экспериментальных методов изучения космоса. Первым из этих методов (находящимся, строго говоря, где-то на стыке наблюдения и эксперимента) стала радиолокация тел Солнечной системы. Но свое наиболее полное выражение экспериментальные методы нашли в исследованиях космоса с помощью автоматических аппаратов и пилотируемых космических кораблей. Эту область научного поиска, в некоторых своих аспектах выходящую далеко за пределы астрономии, обычно называют космическими исследованиями. Пионером космических исследований является наша страна, которой принадлежат многие крупные вехи в изучении и покорении космоса. Большое развитие получили космические исследования в Соединенных Штатах, которым также принадлежит немало достижений в этой области.

Космические исследования успешно развиваются и в других странах — Франции, Англии, Австралии, Японии, Канаде; в социалистических странах Европы — Чехословакии, Польше, ГДР, Румынии, Болгарии, Венгрии, которые участвуют в программах этих исследований совместно с Советским Союзом.

Выдающимся событием, имеющим чрезвычайно большое значение для дальнейшего развития космических исследований, явилось осуществление совместного советско-американского эксперимента «Союз — Аполлон» в июле 1975 г.

Можно выделить несколько основных направлений космических исследований, открывающих уникальные возможности получения информации о Вселенной:

1) внеатмосферная астрономия — исследования, проводимые (а) с помощью аппаратуры, установленной на искусственных спутниках Земли, орбитальных научных станциях и обсерваториях, баллонах и ракетах, запущенных на большие высоты; (б) космонавтами — в составе экипажей космических кораблей и орбитальных космических станций;

2) прямые исследования космоса: (а) измерення с помощью межпланетных автоматических станций, кораблей, аппаратов — в том числе выведенных на орбиты искусственных спутников или доставленных на поверхность Луны и планет, иногда возвращаемых на Землю; (б) исследования, производимые космонавтами, высадившимися на поверхность других небесных тел (пока лишь на Луну, но в будущем — также на некоторые из планет, прежде всего, на Марс);

3) эксперименты по созданию искусственных небесных тел (искусственные планеты, кометы, метеоры), а также по моделированию в лаборатории физических условий, характерных для небесных тел.

Космические исследования сделали доступными ряд новых каналов получения астрофизической информации. Они завершают превращение астрономии из науки преимущественно оптической во всеволновую.

Неоценимым каналом информации стало космическое рентгеновское излучение. Исследования с помощью ракет, поднимавшихся на большую высоту баллонов, а затем — искусственных спутников Земли и «Луноходов» позволили обнаружить и исследовать рентгеновское излучение нашего Солнца. Слабое рентгеновское излучение непрерывно возникает в самой внешней части солнечной атмосферы — короне. Кроме того, мощные всплески рентгеновского излучения связаны с быстропротекающими активными процессами на Солнце.

К числу выдающихся достижений экспериментальной астрономии относится открытие дискретных источников рентгеновского излучения, находящихся далеко за пределами Солнечной системы. Они делятся на ряд типов: некоторые сверхплотные звезды, остатки звездных вспышек, ядра галактик, в которых происходят бурные нестационарные процессы, и другие. В настоящее время известно больше 150 таких источников. Но точность определения их координат пока невысока, так что отождествлять их с оптически наблюдаемыми объектами нелегко.

Другими, пожалуй, столь же существенными каналами информации о физических явлениях во Вселенной, открывшимися после начала космических исследований, являются далекая ультрафиолетовая и инфракрасная части спектра, использование которых уже привело к выдающимся открытиям, а также гамма-лучи из космоса.

Прямые методы исследования небесных тел и космического пространства позволили надежно и однозначно ответить на многие из тех вопросов, решение которых традиционными методами было невозможно, приводило к противоречивым или крайне неточным результатам.

Появление в астрономии наряду с традиционными для нее наблюдательными способами получения информации новых, основанных на космическом эксперименте, дало повод для утверж-

дений, что эта наука стала экспериментальной (или близка к этому).

Конечно, колоссальную роль экспериментальных методов в изучении Вселенной трудно переоценить. Принципиально новые данные, полученные с их помощью за короткий срок, свидетельствуют об огромных возможностях, которые эти методы открывают перед астрономией. Нет никакого сомнения, что они сыграют в изучении Вселенной, во всяком случае, не меньшую, а скорее даже большую роль, чем в свое время применение спектрального анализа. Но все же говорить, что астрономия утратила характер наблюдательной науки, по целому ряду причин более чем преждевременно.

Начнем с того, что астрономия никогда не была чисто наблюдательной наукой, занимающейся лишь пассивным созерцанием своих объектов и полностью оторванной от эксперимента, как это иногда считают (таких наук вообще не было и нет). Во-первых, хотя астроном, изучая какое-нибудь явление, не может вмешиваться в его протекание, он обычно всегда имеет возможность наблюдать это явление на ряде однотипных объектов при разных условиях. Например, явление вспышек, характерное для многих, а может быть, и для всех молодых звезд, можно исследовать у звезд, физические особенности которых несколько различаются между собой. Это позволяет приблизиться к пониманию механизма вспышек, которые, согласно наблюдениям, быстро ослабевают по мере того, как звезда «стареет». В конечном счете возможности астронома-наблюдателя иногда оказывались почти столь же благоприятными, как у физика-экспериментатора.

Во-вторых, астронома можно с полным правом считать экспериментатором, только экспериментирует он (в подавляющем большинстве случаев) не с самими космическими объектами, а с их излучением.

В-третьих, наблюдения Вселенной всегда были неотделимы от физического эксперимента. Чтобы, скажем, отождествить линии в спектре звезды или туманности, определить по особенностям спектра физические условия в атмосфере звезды или количественный состав атмосферы — нередко приходится ставить самые настоящие эксперименты. Для этой цели при многих крупных обсерваториях существуют хорошо оснащенные физические лаборатории. Кроме того, астрономия опирается на всю совокупность экспериментов, которые лежат в основе квантовой механики и других применяемых в астрономии фундаментальных физических теорий.

Что же изменилось после появления космических методов? В исследовании Солнечной системы экспериментальные методы действительно заняли сейчас доминирующее место. Но они используются главным образом для расширения возможностей наблюдений, а не для изучения явлений в изменяющихся по желанию исследователя условиях. Кроме того, и в этой области астро-

помни традиционные методы исследования во многих случаях сохраняют свою роль. В остальных же разделах науки о небе наблюдения по-прежнему остаются основным способом получения информации.

Итак, давая самую высокую оценку роли экспериментальных методов в астрономии, нельзя ни в коем случае умалять роль наблюдательных методов. Она была и остается очень значительной, часто — решающей. Экспериментальные методы, чрезвычайно расширив возможности астрономии, пока не изменили наблюдательного в основном характера этой науки. Но нельзя исключать, что в будущем — по мере дальнейшего развития экспериментальных методов изучения космического пространства — этот вывод потребует уточнения.

Вернемся к обсуждению точки зрения, сводящей революцию в астрономии к революционным изменениям в методах исследования Вселенной. Такая точка зрения фиксирует одну из очевидных и бесспорных черт прогресса астрономии за последние два-три десятилетия. Но если бы ничего, кроме появления принципиально новых методов исследования, в науке о небе не произошло, говорить о революции в ней, пожалуй, не было бы оснований. Ведь революция в науке обычно связывается с радикальной ломкой по крайней мере некоторых основных ее представлений и, более того, — сложившихся в ней общих принципов объяснения явлений, изучаемых наукой. Что же касается принципиально новых методов исследования, то, взятые сами по себе, они не создают научной революции, а в лучшем случае могут служить ее предпосылкой, условием ее дальнейшего развертывания или одним из следствий.

Таким образом, появляются основания считать рассматриваемую точку зрения довольно уязвимой. Если понимать ее буквально, она является лишь слегка завуалированным выражением взгляда, что никакой революции в собственном смысле слова современная астрономия не переживает. Однако сторонники этой точки зрения не вполне последовательны в ее изложении.

Как известно, изменения в средствах и методах исследования обычно всегда приводят к более или менее крупным сдвигам в системе знания, сложившейся в той или иной науке, которые и могут вылиться в научную революцию. Так было в эпоху Галилея, фундаментальные открытия которого серьезно содействовали победе коперниканской системы, и точно так же обстоит дело в современной астрономии: революционные изменения средств исследования Вселенной — не единственная и не главная особенность, характеризующая ее бурный прогресс. Значительно более существенны открытия, сделанные на основе применения новых методов, — они многое меняют в картине Вселенной, приводят к глубокому пересмотру многих традиционных представлений о

Вселенной, их замене «дикивинными», непривычными, зачастую основанными на принципиально новых идеях.

В связи с этим нельзя не заметить, что те исследователи, которые сводят революцию в современной астрономии к превращению этой науки из оптической во всеволновую, ценность новых методов исследования видят в обнаружении принципиально новых явлений. Отсюда следует, что они фактически включают в понимание революции в астрономии, помимо новых методов, также наиболее фундаментальные открытия, сделанные с помощью этих методов.

«РАСШИРЕНИЕ ГОРИЗОНТОВ» И НОВАЯ ЭПОХА ВЕЛИКИХ ОТКРЫТИЙ В АСТРОНОМИИ

Следующая точка зрения относительно революции в астрономии связывает ее с быстрым «расширением горизонтов» — проникновением в новые, ранее недоступные для исследования области Вселенной и с нарастающим потоком открытий фундаментального значения, сделанных за последние десятилетия. Подобный взгляд был высказан, например, Г. И. Нааном на симпозиуме по философским вопросам современной астрономии (Москва, декабрь 1972 г.). Несомненно, что и здесь отмечена одна из наиболее заметных, буквально бросающихся в глаза черт современной астрономии.

Как размеры охваченной наблюдениями области Вселенной, так и объем наблюдательных данных об объектах и процессах в этой области увеличиваются очень быстро. Наиболее далекие из известных сейчас космических объектов находятся на расстояниях порядка 15 миллиардов световых лет, а может быть, и еще дальше. Иными словами, объем мирового пространства, доступный наблюдению с помощью современных телескопов и радиотелескопов, примерно в 10^{36} раз превышает объем «мира Коперника» — Солнечной системы. Эта цифра, пожалуй, красноречивее всяких слов говорит о могуществе наблюдательных средств, которыми располагает астрономия наших дней.

Современная астрономия исследует три структурных уровня природы, которые различаются между собой не только масштабами, но также характером распределения, взаимодействия, движения и физической природой образующих их объектов: Солнечную систему, Галактику, Метагалактику. На каждом из этих уровней за последние десятилетия достигнуты беспрецедентные успехи. Кроме того, на основании изучения охваченной наблюдениями области космоса, можно делать наиболее правдоподобные заключения о свойствах Вселенной как целого.

Отметим две основные черты астрофизических объектов, все более выявляемые как наблюдательными, так и экспериментальными средствами. Первая — крупнейшее многообразие масшта-

бов, физических условий и явлений во Вселенной, которое выходит далеко за рамки того, что осуществимо в земных лабораториях; от невообразимо громадных до совершенно ничтожных расстояний, промежутков времени, скоростей протекания процессов, масс, размеров, светимостей, температур. Вторая особенность астрофизических объектов состоит в том, что их структура обусловлена происхождением и развитием, а значит, может быть понята лишь с эволюционной точки зрения.

Стремительное расширение и углубление наших знаний о Вселенной сопровождается не только обнаружением все новых, во многих случаях неожиданных свойств известных объектов, но и открытием объектов, качественно отличных от всего, с чем астрономия имела дело раньше. Иногда приходится встречаться с утверждением, что открытие во Вселенной принципиально новых явлений стало возможным исключительно благодаря применению неоптических методов исследования. Но это справедливо только отчасти. Многие из открытий, о которых пойдет речь, были сделаны на основе фактических данных, полученных именно с помощью традиционных, оптических методов. Наибольшие успехи достигнуты путем совместного применения оптических и неоптических методов.

Вопреки всему считавшемуся еще несколько десятилетий назад правильным, возможным, допустимым — выяснилось, что для многих фаз процессов развития во Вселенной характерна резкая нестационарность (неустойчивость). Она выражается в мощнейших процессах взрыва, дезинтеграции, рассеяния, которые обычно связаны с рождением новых космических объектов, переходом объекта из одного класса в другой, а также с переходами объекта из одного состояния в другое. Нестационарные процессы во Вселенной сопровождаются выделением фантастических количеств энергии; при взрывах в ядрах галактик освобождается энергия, равная по порядку величины 10^{59} — 10^{62} эрг.

Большинство принципиально новых открытий современной астрономии составляют именно нестационарные явления. Проблемы энергетики космоса стали, пожалуй, наиболее актуальными в астрономической науке, тем более что они проливают свет и на решение других ее проблем.

Некоторым из открытий нестационарных процессов во Вселенной «повезло»: они стали общепризнанными сразу или почти сразу. Другие же, наиболее резко противоречившие традиционным представлениям (прежде всего, гипотезе о возникновении космических тел и систем из разреженного, диффузного вещества), именно из-за крайней своей необычности пробивают себе дорогу в острейших спорах. Их отрицают или, как минимум, подвергают сомнению — во всяком случае, часто недооценивают. И едва ли следует удивляться, что вопрос о том, какие именно из нестационарных явлений, открытых современной астрономией, наиболее существенны для решения проблем структуры и

эволюции Вселенной, решается исследователями не одинаково.

Например, сторонники классического направления к числу самых выдающихся открытий современной астрофизики относят квазары, «реликтовое» излучение, рентгеновские «звезды», космические «мазеры» на линиях ОН, H_2O и многих других молекул, пульсары. В самое последнее время в этот список нередко включаются и «черные дыры» — один из типов сверхплотных тел, существование которых предсказывается теорией звездной эволюции. Они представляют собой, согласно теории, конечную стадию эволюции достаточно массивных звезд. Предполагают, что «черные дыры» должны возникать в результате гравитационного коллапса — явления, принципиальная возможность которого вытекает из релятивистской теории тяготения. Казалось бы, подобный объект нельзя обнаружить наблюдательным путем — ведь масса «черной дыры» заключена внутри ее гравитационного радиуса, так что никакое излучение из этой области выйти наружу не может. Но если в окрестностях «черной дыры» имеется газ, он будет падать на «дыру» под действием создаваемого ею поля тяготения, разогреваться до высокой температуры (порядка миллионов градусов) и давать довольно мощное рентгеновское излучение. Если «черная дыра» является одной из компонент двойной звезды, все эти процессы должны происходить намного интенсивнее.

В самое последнее время стали появляться сообщения, что некоторые рентгеновские источники (например, Лебедь X-1) как будто обладают свойствами, которые теория приписывает «черным дырам». На этом основании и делается часто вывод, что предсказание теории оправдалось. Однако считать открытие «черных дыр» уже состоявшимся было бы пока преждевременным — слишком косвенными являются те признаки, по которым свойства рентгеновских источников, подобных Лебедю X-1, связывают с теоретическими моделями «черных дыр». Потребуются еще весьма многочисленные, всесторонние и тщательные наблюдения, прежде чем будет дана надежно обоснованная интерпретация явлений в объектах, гипотетически относимых сейчас к «черным дырам». И только тогда можно будет построить теорию этих объектов, ответив, в частности, и на вопрос, действительно ли они возникают именно в конце звездной эволюции.

Нельзя не заметить, что приведенный перечень важнейших открытий в астрономии, включая ссылки на открытия, которые требуют еще серьезных подтверждений, очень неполон. Он не содержит многих явлений, открытие и исследование каждого из которых явилось вехой в исследовании Вселенной за последние десятилетия.

С нашей точки зрения, к наиболее значительным явлениям, открытым современной астрофизикой, необходимо отнести следующие:

1. Нестационарные, распадающиеся звездные системы — звездные ассоциации и сверхассоциации, нестационарные группы и скопления галактик. Они представляют собой качественно новые, не известные ранее типы систем звезд и систем галактик.

2. Многообразные формы активности ядер галактик (прежде всего, происходящие в них мощные взрывы), которые говорят о существовании в ядрах не известного ранее типа небесных объектов — плотных или сверхплотных тел огромной массы. Это — открытия радиогалактик, квазаров или квазизвездных объектов, взрывов в ядрах многих галактик, явления истечения из ядер плазмы или обычного газа и ряд других.

3. Дискретные источники в нашей Галактике, излучающие в радиолиниях многих молекул, также представляют большой интерес, хотя мы еще не располагаем достаточно обоснованной интерпретацией явлений в этих объектах.

4. Сверхплотные звезды, в том числе пульсары и некоторые рентгеновские источники.

5. Новые типы нестационарных явлений в атмосферах, а иногда и в более глубоких слоях звезд; вспыхивающие звезды, которые свидетельствуют о существовании каких-то весьма необычных источников звездной энергии.

6. Мощные всплески космического излучения, открытые в самое последнее время, вероятно связанные со вспышками во внешних слоях карликовых звезд.

7. Нестационарные явления в Солнечной системе, такие, как быстрый распад короткопериодических комет и признаки вулканизма на планетах и спутниках (Венера, Марс, Луна), говорящие о внутренней активности планетных тел.

8. Открытие реликтового излучения, свидетельствующее, возможно, о том, что процессом, который дал начало всей наблюдаемой области Вселенной, был грандиозный взрыв сверхплотного вещества.

К числу наиболее выдающихся открытий современной астрофизики с полным правом относятся и рентгеновские источники, но в данном случае можно говорить пока лишь о некоторой чисто эмпирической констатации существования разнородной группы явлений, большая часть которых имеет весьма неуверенную интерпретацию или вовсе не имеет никакой интерпретации. Разумеется, изучению рентгеновских источников принадлежит огромное будущее.

Отсутствие явлений первой группы в предыдущем перечне достижений современной астрономии отнюдь не случайно. Главная причина, по которой они игнорируются сторонниками традиционного, классического направления, состоит в том, что они поставили под самое серьезное сомнение общепризнанную на протяжении веков идею возникновения звезд и галактик из разреженного газа. Если бы космические системы действительно образовывались таким путем — они во всех случаях были бы устойчивыми.

В этой связи среди части астрофизиков за последние годы сильно оживился интерес к так называемому парадоксу массы. Этот парадокс состоит в следующем. Предположив, что скопления галактик стационарно, возможно получить оценку средних масс входящих в него галактик. Соответствующие величины (динамические массы галактик) оказались неправдоподобно большими, вступая в резкое противоречие с оценками масс галактик, которые получены другими методами (скажем, исходя из светимостей галактик). Расхождение иногда достигало десятков и даже сотен раз.

Подобный «парадокс массы» характерен не только для скоплений, но и для некоторых двойных и кратных систем галактик. Он был полностью объяснен тем, что исходное предположение о стационарности скоплений на самом деле неправильно, т. е. скопления представляют собой нестационарные системы, находящиеся в состоянии расширения и распада. Этот вывод, сделанный советскими астрофизиками еще в 50-е годы, получил с тех пор разнообразные подтверждения; обнаружены новые поразительные случаи динамической неустойчивости многих систем галактик. С другой стороны, астрофизиками, которые придерживаются традиционных позиций, предпринимались и предпринимаются попытки оспаривать его. Допускается, например, что в скоплениях галактик могут существовать огромные массы «скрытого», невидимого вещества; они не учитывались в работах, приводивших к выводу о неустойчивости скоплений, приводя тем самым к «парадоксу массы». Тогда выходит, что скопления галактик устойчивы, и, следовательно, противоречие между концепцией формирования галактик, основанной на традиционных идеях, и выводами современной астрофизики снимается.

Поиски «скрытой массы» в скоплениях галактик обусловлены, по-видимому, прежде всего, желанием снять это противоречие или, по крайней мере, ослабить его остроту. Но есть достаточно много веских оснований считать, что попытки разрешить «парадокс массы» таким путем окажутся неэффективными. Хотя соображения о наличии в скоплениях галактик скрытой массы, конечно, не могут быть полностью отброшены, они кажутся все-таки довольно искусственными. Для того чтобы построить модели устойчивых скоплений галактик, в некоторых случаях необходимо предположить, что примерно 99% общей массы скоплений заключено в ненаблюдаемых нами формах вещества.

Итак, астрономия раскрывает перед нами целый мир поразительных тел и их систем, качественно отличных от всего изученного ранее. Полосу величайших открытий, при которых обнаруживаются принципиально новые, и притом все более «дикивинные», явления (она охватывает последние четверть века), можно сравнить без всякого преувеличения лишь с эпохой Галилея. По числу своих открытий и по их фундаментальности астрономия обгоняет современную физику.

Астрофизикам еще предстоит огромная по объему, невероятная по трудности работа — подробное изучение новых типов объектов и явлений, открытых за последние десятилетия. Но и то, что известно, изменило многие, и притом основные, фрагменты в системе знаний о Вселенной. Наблюдаемая Вселенная оказалась не только расширяющейся, но и буквально «взрывающейся». Огромнейшие по своей мощности взрывы происходят в ней в разное время и в разных местах. Они представляют собой закономерные фазы процессов эволюции во Вселенной, а именно — поворотные пункты в развитии космических тел и систем (такое истолкование нестационарных объектов во Вселенной было подсказано диалектической концепцией развития)¹⁰. Взрывающаяся Вселенная, пожалуй, так же мало похожа на статичную Вселенную, которую рисовала астрономия начала XX века, как наши современные представления об изменчивости и взаимопревращаемости атомов и элементарных частиц на неделимые атомы классической физики.

Столь же впечатляющими и нетрадиционными являются теоретические следствия, к которым приводит анализ современных открытий в астрономии. Вот почему эти открытия можно рассматривать как исходный пункт нового этапа в революционном развитии астрономии наших дней.

Иссякнет ли когда-нибудь этот поток неожиданных открытий в астрономии? В отличие от тех, кто считает, что «героическая эпоха» развития науки о Вселенной закончилась или закончится в обозримом будущем, мы считаем, что в ближайшие столетия астрономы не почувствуют себя обделенными со стороны природы; не только в XXI веке, но и в XXII веке они будут открывать принципиально новые явления, объяснение которых потребует непрестанного углубления, обобщения, уточнения системы фундаментальных физических теорий.

РЕВОЛЮЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗНАНИЙ О ВСЕЛЕННОЙ

Астрономия достигла выдающихся успехов и в теоретическом истолковании фактических данных о явлениях и процессах во Вселенной. На основе фундаментальных законов и теорий современной физики удалось построить модели и теории значительно числа астрофизических объектов, вплоть до нашей Вселенной — Метагалактики, включить их в систему физического знания. Однако многие проблемы астрономии — и притом самые важные — остаются нерешенными: к их числу относятся в первую очередь проблемы энергетики космоса, связанные с истолкованием явлений в нестационарных объектах, многие из проблем

¹⁰ См.: В. А. Амбарцумян. Философские вопросы науки о Вселенной. Ереван, 1973.

космологии и др. Они вызывают острую конфронтацию множества сменяющих друг друга теоретических схем, моделей, теорий, «время жизни» большинства которых оказывается чрезвычайно коротким.

Вполне естественно, что по поводу оценки запутанной и до известной степени даже драматической ситуации, которая сложилась за последние два-три десятилетия в системе знания о Вселенной, высказываются различные точки зрения — вплоть до диаметрально противоположных; соответственно различны и прогнозы относительно путей ее разрешения.

Наиболее радикальная из этих оценок¹¹ состоит в том, что астрономия вступила в новую эпоху глубокой революционной перестройки системы знаний о Вселенной. Она вызвана открытием во Вселенной ряда необычных, неожиданных явлений, которые, казалось бы, не могут и «не должны» существовать, и прошла два этапа: 1) открытие нестационарности Метагалактики и теоретическое истолкование этого явления в рамках релятивистской космологии; 2) современные открытия нестационарных объектов во Вселенной, которые в свою очередь требуют отказа от многих привычных схем теоретического объяснения и замены их иными, основанными во многих случаях на весьма нетрадиционных идеях. Эти астрофизические открытия ставят под сомнение универсальность фундаментальных теорий современной физики.

Далее, изменения в системе знания о Вселенной, происходящие в астрономии XX века, были бы невозможны без одновременной перестройки философских оснований и методологических принципов исследования в различных разделах этой науки. Если астрономия прошлого базировалась на философии недиалектического, механистического материализма, то философской основой и методологией современной астрономии, как и всего естествознания наших дней, является материалистическая диалектика. Раскрывая несостоятельность и бесплодность разного рода идеалистических концепций в астрономии, она все в большей мере определяет сейчас общие пути, способы и принципы исследования Вселенной, приводящие к принципиально новым результатам.

Другая точка зрения отличается от изложенной в следующем отношении. Ее сторонники также отмечают первостепенное значение открытий, сделанных в астрономии. Но, как писал В. Л. Гинзбург, «они еще не вывели нас за пределы известных физических представлений и законов, не заставили что-либо пересмотреть в фундаменте физики»¹². Полностью отдавая дань «последним открытиям в астрономии», — продолжает он, — никак нельзя считать их более значительными, чем открытие расшире-

¹¹ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Революция в современной астрономии. — «Природа», 1970, № 4.

¹² В. Л. Гинзбург. О физике и астрофизике, с. 105.

ния Вселенной и выяснение ее характерных масштабов»¹³. Следовательно, заключают многие из сторонников классического направления, говорить о революции в основах наших знаний о Вселенной еще преждевременно. Представления о Вселенной и ее эволюции, разделяемые сторонниками этой точки зрения, при всех возможных различиях между конкретными схемами, в конечном счете основываются на классических идеях и полностью включаются в квантово-релятивистскую картину мира. Они рассматриваются, как «достройка» этой картины мира, распространение ее на возможно большее число астрофизических объектов и процессов, на Вселенную как целое.

С этой точки зрения пока можно в крайнем случае согласиться, что в некоторых разделах астрономии создалось нечто вроде «революционной ситуации». Но выльется ли она в действительную революцию или разрешится иным, так сказать, «мирным» путем — покажет лишь будущее. Скорее всего «новая физика» в астрономии понадобится только вблизи классических сингулярностей, т. е. окажется «существенной» лишь в космологии и для понимания заключительной фазы гравитационного коллапса»¹⁴.

Таким образом, революцию в системе знания о Вселенной рассматриваемая точка зрения связывает с переходом к новым фундаментальным физическим законам. Это условие считается обязательным: если такие законы на самом деле удастся сформулировать — тогда вывод о революции станет бесспорным; если же нет — говорить, что происходит революция в системе знаний о Вселенной, не будет оснований.

Была высказана и промежуточная точка зрения относительно характера изменений, происходящих в системе знания о Вселенной. Не исключая того, что астрофизики уже сейчас сталкиваются с проявлениями фундаментальных законов, не известных современной физике, сторонники этой точки зрения подчеркивают ненадежность каких бы то ни было прогнозов относительно конкретных объектов и процессов. В принципе они, однако, считают очень вероятным, что обобщение системы фундаментальных физических законов для построения теорий и моделей, по крайней мере, некоторых известных астрофизических явлений все же окажется необходимым.

Необычайная сложность оценки ситуации в современной астрономии, обусловленная самим существом дела, усугубляется обстоятельствами методологического порядка. Как известно, даже в такой науке, как физика, основанной на эксперименте и отвлекающейся, как правило, от развития своих объектов, при истолковании любого нового явления обычно выдвигается по крайней мере несколько гипотез. В астрономии с ее специфиче-

¹³ Там же.

¹⁴ Там же, с. 107.

сками особенностями — преимущественно наблюдательным характером, необходимостью исследовать эволюционирующие объекты, что требует синтеза структурного и эволюционного подходов, — многообразие возможных путей объяснения различных явлений и процессов резко возрастает. Иногда астрономию называют «раем» или «заповедником» для теоретиков, и в этом есть, конечно, элемент истины. Однако ситуация, когда допустимых гипотез и предположений много, встречается обычно в начальной фазе изучения данного класса объектов или явлений. В дальнейшем становятся известными новые факты, «убивающие» одну гипотезу за другой, и мы остаемся часто без единой приемлемой гипотезы. И тут возникает задача — найти вместо большого числа опровергнутых гипотез ускользающее от исследователя единственное правильное объяснение сложного явления. Итак, в условиях астрономии накопление фактических данных об изучаемом явлении или процессе оказывается особенно необходимым для того, чтобы вместо разработки «элегантных», но умозрительных и ничего не отражающих в действительности схем построить адекватную модель, а затем теорию какого-либо объекта, явления, процесса.

Как именно подходит астроном к выбору фактов, которые он считает наиболее существенными для построения теории, и каким образом он стремится их объяснить, во многом зависит от исходных установок и методологических принципов, лежащих в основе того направления (парадигмы, исследовательской программы — название не имеет значения), которого он придерживается. В таких разделах астрономии, как астрофизика и космология, происходит на протяжении последних десятилетий острейшее противоборство между несколькими основными направлениями или исследовательскими программами. Некоторые из них отнюдь не представляют собой чего-то монолитного, охватывая нередко подходы и точки зрения, которые могут довольно значительно различаться между собой (при общности исходных принципов).

Правда, иногда высказывается противоположный взгляд — что методологические принципы исследования в конце концов одинаковы у всех астрономов. Все они исходят из наблюдений, на основе которых строится та или иная гипотеза. Дальнейшие наблюдения либо опровергают, либо позволяют уточнить гипотезу. Если гипотеза подтвердилась, подробная количественная разработка превращает ее в теорию, которая развивается на основе новых наблюдательных данных. Если бы изложенный взгляд был справедлив, то причины различия существующих в астрофизике и космологии многочисленных гипотез, концепций, теорий, очевидно, следовало бы искать всецело в области психологии научного творчества. Но это неверно. Многие исследователи Вселенной вполне отчетливо сознают, что в таких разделах астрономии, как астрофизика и космология, конкурируют не просто различ-

ные гипотезы, теории, концепции, но именно различные исследовательские программы, направления, различающиеся своей методологией. Например, Я. Б. Зельдович, обсуждая проблему построения теории, отметил, что споры по конкретным вопросам здесь, «как правило, отражают разные исходные установки»¹⁵. Наличие противостоящих друг другу направлений с полной определенностью обнаруживается при анализе аргументации, которую приводят астрономы, обсуждая ту или иную гипотезу, теорию, концепцию.

Конечно, все астрономы в своей профессиональной деятельности используют одни и те же категории, на основе которых осуществляется всякое научное исследование (проблемная ситуация, факт, гипотеза, теория и др.). Но это вовсе не означает, что они во всех случаях применяют одни и те же общие принципы и способы исследования. Например, астрофизик или космолог может разрабатывать теоретическую схему, обращаясь к фактам лишь в конечном счете, «для контроля». Так бывает в тех случаях, когда он убежден, что основные допущения и гипотезы, на которые опирается разрабатываемая им теоретическая схема, могут считаться вполне обоснованными. Но если исследователь считает, что какая-либо модель, схема, теория ошибочна или, по крайней мере, сомнительна, он часто применяет иной подход, обращаясь к анализу фактических данных и на промежуточных этапах построения своей концепции или схемы.

Одной из наиболее принципиальных проблем, в решении которой различия отмеченных подходов сказываются особенно резко, является проблема универсальности известных сейчас фундаментальных физических теорий.

Многие астрофизики и космологи, например, высказывали убеждение, что существующая система физического знания позволяет объяснить все многообразие явлений во Вселенной на всех стадиях ее эволюции. В последние годы эта точка зрения была несколько уточнена: теперь считается, что известные физические законы достаточны для понимания и объяснения явлений «почти с самого начала расширения» Вселенной вплоть до настоящего времени¹⁶.

«Разумеется, в необычных астрофизических условиях, например, сверхбольших плотностей и температур, еще не исследованных земной физикой, могут проявляться новые, пока не известные законы природы. Однако современная астрофизика оперирует главным образом с условиями, где применимость надежно установленных законов природы не вызывает сомнений. Астрофизики встречаются лишь с необычной комбинацией этих усло-

¹⁵ Я. Б. Зельдович. Удивительные звезды.— В кн.: «Рождение и эволюция звезд». М., 1964, с. 17.

¹⁶ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Строение и эволюция Вселенной. М., 1975, с. 13.

вий... Весама вероятно, что и совокупность всех известных до настоящего времени астрономических явлений удастся объяснить, комбинируя известные законы физики... причем, однако, нет сомнения, что это «комбинирование» будет абсолютно нетривиальным»¹⁷.

Отсюда вытекает, что деятельность астрофизика должна в основном сводиться к стремлению «выжать» все возможное из существующей системы знания; трудности, с которыми сталкивается во многих случаях современная астрофизика, не носят принципиального характера: они обусловлены, главным образом, несовершенством конкретных моделей.

Противоположная точка зрения состоит в том, что, хотя применимость фундаментальных законов физики к огромному диапазону условий и явлений не вызывает сомнений, не следует все же абсолютизировать систему таких законов, сложившихся на определенном этапе развития науки. Неисчерпаемость природы может проявляться не только на уровне явлений, но и на уровне законов. Мы должны считаться с возможностью (и необходимостью) их уточнения и обобщения как в области физики элементарных частиц, так и в астрофизике — по мере изучения Вселенной и открытия новых фундаментальных фактов.

Значит, анализируя неожиданные результаты наблюдений, следует сосредоточить внимание на возможных трудностях их объяснения в рамках известных законов. Это поможет выяснить: не столкнулись ли мы опять (как уже много раз бывало в истории физической науки) с качественно новыми явлениями? Если речь идет о достаточно сложных явлениях, анализ всего множества возможных схем их объяснения с помощью известных законов практически не всегда осуществим. Между тем на каком-то этапе исследования предположение, что данное явление объясняется еще не известным физическим законом, иногда является наиболее плодотворным. Это предположение может оказаться как правильным, так и неправильным. Но без введения подобных предположений для объяснения неожиданных результатов эксперимента или наблюдения прогресс в открытии все новых и более глубоких свойств природы, несомненно, был бы невозможен.

Если бы методологическое требование — «сначала полностью исчерпать возможности известных законов» — применялось как непреложный закон научного исследования, принципиально новое знание никогда бы не появилось ни в одной из наук о природе. На самом же деле ни в одном из тех многочисленных случаев из истории науки, когда оказывалась оправданной апелляция к новым физическим законам, исследователь не ждал, пока будет совершен фактический перебор *всех без исключения* схем

¹⁷ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Теория тяготения и эволюция звезд. М., 1971, с. 8.

объяснения явления, основанных на ранее известных законах. Момент, когда он, сталкиваясь со все возрастающими трудностями, приходил к выводу, что надежды обойтись прежней системой знания больше нет и решался на «риск» ее обобщения, подсказывала ему исключительно интуиция. Так было, например, с квантовой гипотезой, введенной М. Планком для ликвидации так называемой ультрафиолетовой катастрофы в теории излучения. Точно так же были преодолены и многие другие трудности и парадоксы в физике. По-видимому, к такому же рубежу в своем развитии подошла астрономия, и прежде всего астрофизика, при изучении явлений нестационарности в мире звезд и галактик.

Таким образом, существуют значительные различия во мнениях по вопросу о том, каковы общие принципы применения современной физики к исследованию Вселенной. Связанные с реализацией различных исследовательских программ, они во многом обусловили неодинаковый подход к решению узловых проблем астрофизики и космологии. Это, в конечном счете, привело к появлению в науке о Вселенной конкурирующих направлений.

Почему же наличие подобных направлений в таких разделах астрономии, как астрофизика и космология, иногда все же отрицается? Причина, по нашему мнению, состоит в том, что сторонники подобного взгляда считают единственно возможными и правомерными методологические принципы того направления, которого придерживаются они сами, полностью исключая допустимость каких-либо иных исследовательских программ. На самом же деле спор может идти не о существовании в различных разделах науки о Вселенной противостоящих друг другу методологических направлений или исследовательских направлений или исследовательских программ — это факт бесспорный, — а о том, принципы какого именно из этих направлений оказываются более плодотворными и эффективными в решении проблем исследования Вселенной. Рассмотрим кратко некоторые черты основных исследовательских программ, начав с космологии, где они зародились несколько раньше, чем в астрофизике.

В современной космологии конкурируют три основных направления. Они различаются между собой неодинаковым отношением к исходному физико-теоретическому базису современной космологии — уравнениям релятивистской теории тяготения, а также постулату однородности и изотропии Вселенной (так называемому космологическому постулату). Тем самым эти направления основываются на применении разных типов экстраполяции, которая представляет собой одну из главных черт метода космологии. Как правило, экстраполяция в космологии применяется в форме математической экстраполяции. Но, поскольку заранее не известно, насколько успешной может оказаться такая экстраполяция, она выступает как математическая гипотеза, подвергаемая проверке и обоснованию.

Первое направление основывается на уравнениях релятивистской теории тяготения и космологическом постулате. Исходя из этих предпосылок разрабатывается теория «расширяющейся Вселенной», основы которой были разработаны А. А. Фридманом; она встречает сейчас значительное признание. Наибольшее число «моделей Вселенной» разрабатывается именно на основе этой теории. Ее дальнейшее развитие привело к созданию теории физических процессов на ранних стадиях расширения, которая известна как теория «горячей Вселенной». Открытие реликтового излучения, о котором упоминалось выше, следует рассматривать как подтверждение предсказания этой теории.

Второе направление можно в известном смысле рассматривать как новую ступень в развитии исследовательской программы, из которой исходит предыдущее направление, — если основой ее «жесткого ядра» считать только уравнения релятивистской теории тяготения. Оставляя уравнения неизменными, это направление отказывается от абсолютизации космологического постулата. Реализация его принципов привела к созданию нескольких вариантов теории анизотропной неоднородной Вселенной (которая в СССР особенно интенсивно развивается А. Л. Зельмановым).

Наконец, третье направление включает: (а) теории, в которых эти уравнения модифицируются тем или иным путем, — среди них наиболее известны различные модификации теории «стационарной Вселенной», разрабатывавшейся Ф. Хойлом; (б) теории, основанные на отказе от релятивистской теории тяготения как физико-теоретической основы космологии; (в) теории промежуточного характера.

Принципы этого направления составляют новую исследовательскую программу, довольно радикально отличающуюся от программы, представленной первыми двумя направлениями. Она связана с разработкой таких далеко идущих представлений, как возможная переменность некоторых основных констант, входящих в уравнения фундаментальных физических теорий (например, гравитационная постоянная, элементарный электрический заряд) и др.

Между сторонниками перечисленных исследовательских программ время от времени вспыхивают довольно ожесточенные дискуссии. Сторонники первой из них — релятивистской космологии в ее, так сказать, «ортодоксальном» виде — считают, что выводы, полученные на основе этой программы, хорошо соответствуют совокупности известных фактических данных. Признается, однако, что для истолкования ситуаций, имевших место в «начальный момент» расширения, т. е. на стадии сингулярного состояния, известные физические законы, возможно, неприменимы и здесь уже потребуются «новая физика».

Напротив, с позиций двух других исследовательских программ значительная часть изложенных выводов подвергается

критическому пересмотру. Приводятся многочисленные аргументы, которые свидетельствуют, во-первых, о том, что космологический постулат должен рассматриваться как очень грубая схематизация, как упрощение, допустимое лишь в качестве первого шага при построении космологической теории. Во-вторых, подчеркивается, что решение многих основных проблем космологии станет возможным лишь после обобщения и синтеза фундаментальных теорий современной физики. Конкретные пути построения единой физической теории, которая объединит квантовую механику, специальную, а также общую теорию относительности, второе и третье направления современной космологии представляют себе, однако, существенно по-разному.

Не входя в конкретные детали дискуссий между разными направлениями или исследовательскими программами, конкурирующими в современной космологии, отметим лишь следующее.

Релятивистская теория однородной изотропной Вселенной явилась крупным шагом вперед по сравнению с космологическими схемами, которые разрабатывались на основе ньютоновской физики. Эта теория привела к глубокому пересмотру свойств Вселенной в больших масштабах. Напомним еще раз некоторые основные ее положения, без которых немыслима современная естественнонаучная картина мира: искривленность пространства Вселенной — свойство его (описываемое неевклидовой геометрией), которое нельзя представить себе наглядно; *возможная* замкнутость, т. е. конечность пространства (хотя с теорией в такой же мере совместимо и предположение, что пространство открыто, т. е. бесконечно); нестационарность Вселенной; существование единого «начального момента» в космологической шкале времени, означающее, что «возраст Вселенной» — промежуток времени, истекшего после начала расширения, — не может быть бесконечно большим; расширение Вселенной из малого объема (формально даже «из точки»). Релятивистская космология потребовала известного обобщения ряда фундаментальных физических понятий — пространства, времени, бесконечности.

Многие из моделей однородной изотропной Вселенной оказываются очень полезными для суждения о свойствах Вселенной в больших масштабах. Хорошо известно, однако, что следствия, которые можно извлечь из математической модели, всегда существенно зависят от исходных допущений, принятых при ее построении. В космологии адекватность этих предположений объективной реальности можно в известной степени проверить, анализируя модели Вселенной с точки зрения системы физического знания, обоснованной предшествующим развитием науки (некоторую роль здесь могут играть различные внутритеоретические критерии и принципы). Но основным, решающим был и остается эмпирический критерий — сопоставление этих моделей со всей совокупностью известных фактов. Любая из математических «моделей Вселенной», претендующая на соответствие истине,

должна как можно более полно учитывать, по крайней мере, фундаментальные факты о Вселенной, которыми располагает современная астрономия.

Несомненно, многие из релятивистских моделей Вселенной находятся в хорошем соответствии с законом Хаббла, согласно которому относительные скорости удаления метagalактических объектов друг от друга пропорциональны расстояниям между ними. Вместе с тем большинство этих моделей игнорирует факт «островного» строения нашей Метагалактики, дискретности распределения вещества в ней.

Эта дискретность проявляется в крайне неоднородном распределении звезд в галактиках. В свою очередь сами галактики (которые чаще всего можно рассматривать как довольно автономные, изолированные системы) не распределены в пространстве сколько-нибудь равномерно — они образуют группы и скопления. По существу вся наблюдаемая область Метагалактики состоит из гигантского числа подобных групп и скоплений галактик. Часто высказываемая точка зрения, что пространственное распределение этих групп и скоплений характеризуется довольно заметной однородностью, является предвзятой. Имеются веские основания считать, что скопления галактик образуют так называемые сверхскопления. Можно подозревать существование неоднородностей и еще более крупного масштаба в распределении вещества.

Таким образом, моделям однородной Вселенной противостоит реальная Вселенная, фундаментальным свойством которой является неоднородность распределения вещества. Пренебрегать этим фактом нельзя. Отсюда следует, что модели Вселенной, построенные на основе столь грубых упрощений, как предположение об однородном распределении вещества, едва ли стоит фетишизировать. Многие следствия этих моделей отнюдь не заслуживают доверия, так как обусловлены именно слишком сильными исходными упрощениями, вносимыми для облегчения расчетов. Дальнейшее развитие релятивистской космологии, как нам представляется, должно идти в направлении описания свойств неоднородной Вселенной.

Чрезвычайно перспективными кажутся также попытки выявить взаимосвязи между параметрами космологических моделей и параметрами элементарных частиц. Вполне возможно, что именно исследование в этом направлении — если, конечно, они будут как можно теснее увязываться с анализом фактических данных — станут одним из путей, который приведет к обобщению фундаментальных теорий современной физики и построению теории, охватывающей с единой точки зрения гравитационные, релятивистские и квантовые явления.

Наконец, следует иметь в виду, что Вселенная как объект космологии вовсе не обязательно должна отождествляться со «всем существующим» в каком-то абсолютном смысле, т. е. с це-

лостным аспектом всего материального мира. Более предпочтительна иная точка зрения: объект космологии — это «все существующее» лишь *с точки зрения определенной ступени практики и познания*. Ни одна из «моделей Вселенной» не сможет охватить глобальные черты неисчерпаемого материального мира. Каждое крупное «расширение горизонтов» в астрономии (на эмпирическом или теоретическом уровнях) может заставить нас расширить ту совокупность физических объектов, которые мы считаем существующими; тем самым будет снова и снова обобщаться понятие «Вселенная как целое». Наша Вселенная — Метагалактика — возможно не единственная. Не исключено существование и других Вселенных (метагалактик) — сравнительно автономных или квазизамкнутых систем с самыми разнообразными свойствами.

В современной астрофизике, как уже отмечалось выше, можно выделить две основные исследовательские программы, два направления — классическое и неклассическое (бюраканское). Между тем, часто высказывается утверждение, что на самом деле этих направлений гораздо больше. Каждая достаточно широкая астрофизическая концепция, гипотеза или теория, если она достаточно существенно отличается от других в объяснении конкретных явлений, может рассматриваться как особое направление в астрофизике. С этой точки зрения то направление, которое мы условно называли неклассическим, — лишь одно из многих подобных направлений. Однако значительные различия между многочисленными схемами теоретического объяснения, которыми буквально переполнены многие разделы современной астрофизики, в большинстве случаев сочетаются с общностью исходных предпосылок всех таких схем. Именно это обстоятельство и позволяет относить гипотезы и схемы, внешне иногда совершенно непохожие друг на друга, к одному направлению, к одной исследовательской программе, которую мы называем классической. В то же время исследовательская программа бюраканского направления оказывается отличной от всех конкретных теоретических схем, объединяемых исследовательской программой классического направления, по самой своей основе.

Методологические принципы классического направления в астрофизике по существу соответствуют гипотетико-дедуктивному способу построения научной теории; их можно суммировать так. Исследования структуры и эволюции космических объектов необходимо вести путем разработки моделей, основанных на известных фактах, фундаментальных теориях и законах современной физики, а также возможно более правдоподобных предположениях. Эти модели должны уточняться на основе новых фактов. Не следует дожидаться, пока фактов об изучаемом явлении будет накоплено достаточно (ведь никогда не может быть уверенности в том, что все основные факты нам уже известны). При построении теории вполне допустимо выдвижение не

только гипотез, «подсказанных» эмпирическими данными, но и гипотез, которые сравниваются с наблюдениями лишь после их подробной теоретической разработки.

Основополагающая идея, принимаемая сторонниками классического направления, — гипотеза об образовании космических тел и их систем из разреженного, диффузного вещества — восходит к натурфилософским космогониям мыслителей древности. Однако она до сих пор не имеет прямых наблюдательных подтверждений. Много раз создавалось впечатление, что процесс конденсации разреженного вещества в звезды стал наконец эмпирическим фактом. Но каждый раз при дальнейшей проверке соответствующих данных они оказывались не имеющими прямого отношения к делу.

В самое последнее время часто высказывается предположение, что протозвездами, возникшими путем конденсации диффузного вещества, являются многие из космических мазеров, излучающих в радиолиниях молекул OH , H_2O и других, которые отождествляются с «точечными» инфракрасными источниками. Но и в данном случае все аргументы в пользу того, что имеет место именно переход от менее плотного состояния к состоянию большей плотности, являются косвенными. Никак нельзя исключить, что со временем явления, наблюдаемые в космических мазерных источниках, получают совершенно иную интерпретацию.

Как известно, гипотезы образования космических тел и систем путем конденсации диффузного вещества долгое время разрабатывались преимущественно на основе законов классической механики и гидродинамики. Космогонические гипотезы Канта, Лапласа, Джинса имели большое значение для все более широкого проникновения идеи развития в исследования Вселенной. Однако стремительный прогресс современной астрономии еще в 30-е годы вызвал глубокий кризис прежнего подхода к проблемам космической эволюции. Его исторически неизбежная ограниченность состояла не только в механистичности, но и в крайней умозрительности. Недостаток фактических данных приводил к тому, что разрабатывались лишь теоретически мыслимые схемы процессов возникновения и развития космических систем.

Развитие этой исследовательской программы привело к значительному расширению ее физико-теоретической основы. Помимо законов классической механики и гидродинамики в ней стали широко применяться представления космической электродинамики, фундаментальные теории и законы современной физики, выводы физики элементарных частиц. Кроме того, большее внимание уделяется использованию фактических данных, в том числе и относящихся к нестационарным объектам во Вселенной. С позиций классического направления эти объекты первоначально считались (за небольшими исключениями) некими аномалиями, отклонениями от «стандартного» пути космической эволю-

ции. Основное внимание уделялось фактическим данным о стационарных состояниях небесных тел и их систем. Однако после того, как выяснилось, что нестационарные объекты представляют собой закономерные фазы космической эволюции, отношение к ним изменилось. Сейчас предпринимаются многочисленные попытки построить модели также и этих объектов. В результате «ядро» рассматриваемой исследовательской программы — а им является представление о возникновении космических тел и систем из диффузного вещества — было углублено, приведено в соответствие с современным уровнем развития физики и астрономии.

На основе принципов классического направления развиваются теория возникновения галактик путем фрагментации и затем сгущения протяженных газовых облаков, теория образования в галактиках различных подсистем, теория звездообразования. Разработаны также многочисленные варианты объяснения с точки зрения классических принципов проблем образования и эволюции Солнечной системы.

В рамках рассматриваемой исследовательской программы проводится также колоссальный по своему объему цикл исследований проблем внутреннего строения и эволюции звезд. Расчеты звездных моделей и их изменений во времени ведутся исходя из предположения, что источник энергии звезд — термоядерные реакции того или иного типа. Например, для Солнца в его современном состоянии основным механизмом генерации энергии считается так называемая протон-протонная реакция.

Результаты значительной части исследований, проведенных в соответствии с классической программой, ее сторонники рассматривают как надежно обоснованные — это относится прежде всего к работам в области теории внутреннего строения и эволюции звезд. Нисколько не отрицая того, что решение многих проблем астрофизики — особенно в том, что касается истолкования нестационарных объектов, — сталкивается с трудностями, причину этих трудностей сторонники классического направления видят лишь в том, что еще не удалось построить конкретные модели этих объектов, хотя существующая система знаний в принципе позволяет это сделать. Иными словами, эти трудности, по их мнению, не носят принципиального характера и будут преодолены сравнительно безболезненно и возможно быстро.

Такая оценка тенденций развития современной астрофизики и привела к появлению точки зрения, что революции в системе знаний о Вселенной сейчас не происходит; значит, вклад астрофизики в развитие физики XX века оказывается хотя и значительным, но отнюдь не фундаментальным. Уязвимость подобной точки зрения заключается в том, что возможность революционной перестройки системы астрофизического знания связывается в ней с появлением новых фундаментальных физических законов, т. е. вопрос о возможности локальной научной революции отожд-

дествляется с вопросом о глобальной революции, которая привела бы к преобразованию основ физической науки и всего естествознания.

Конечно, иногда создание сравнительно частной, казалось бы, теории приводило не только к революционной перестройке основ одной из наук о природе, но в конечном счете -- также к революции во всем естествознании. Вполне возможно и даже вероятно, что и прогресс в построении теорий эволюции космических объектов приведет к появлению новых фундаментальных физических теорий. Но такие процессы, вообще говоря, имеют место весьма редко. Гораздо чаще революция в системе знания, которая произошла в той или иной из естественных наук, оказывает лишь сравнительно ограниченное влияние на фундамент естествознания в целом. Отсюда следует, что для правомерности вывода о том, что астрономия, в частности астрофизика, переживает сейчас революцию, появление новых фундаментальных физических законов вовсе не обязательно.

Если придерживаться такой точки зрения, даже с позиций классического направления в астрофизике изменения в системе знания о Вселенной нельзя не признать поразительными. Разрабатываемые сейчас схемы теоретического объяснения основываются на все более «экстравагантных», необычных возможностях, заключенных в фундаментальных теориях современной физики. Их можно было бы с полным основанием рассматривать как революцию в системе знания о Вселенной. Но есть веские основания считать, что революционные события в астрофизике ведут значительно дальше.

Несомненно, что многие конкретные модели и схемы, разработанные на основе «достройки» квантово-релятивистской картины мира, ее распространения на область астрофизических явлений сохраняют свое значение и в будущем. Но все же основные положения теорий и схем, основанных на традиционной, или классической, исследовательской программе, отнюдь нельзя считать надежно обоснованными.

Ряд фактов, которые обычно рассматриваются как подтверждающие классические теории, допускает альтернативные объяснения, которые кажутся гораздо более предпочтительными. Например, параллелизм между пространственным распределением молодых звезд и газо-пылевых туманностей может объясняться двумя альтернативными причинами: возникновением звезд из туманностей или совместным возникновением звезд и туманностей.

В некоторых случаях эмпирические данные противоречат представлению об образовании звезд и звездных систем из диффузного вещества — это факты о процессах рассеяния и распада звездных групп и скоплений, а также связанных с ними газовых туманностей (часть последних состоит из диффузного вещества, которое «на наших глазах» выбрасывается из звезд); фак-

ты, говорящие о том, что процессы образования звезд продолжаются и в тех областях, где нет заметных количеств газа; процессы рассеяния и распада многих групп и скоплений галактик, которые невозможно понять с точки зрения гипотезы их образования из разреженного газа: если бы скопления галактик формировались таким путем, они были бы устойчивыми. Неоднократные попытки спасти эту гипотезу путем отрицания нестационарности групп и скоплений галактик пока не привели к успеху. Таким образом, выявились серьезные противоречия между гипотезой сгущения диффузного вещества в плотные небесные тела и фактическими данными.

Многие факты хотя и могут быть «объяснены» с классических позиций, но лишь с огромными натяжками, которые, по существу, делают подобные объяснения совершенно неправдоподобными. Это относится в первую очередь к ряду нестационарных явлений в мире звезд и звездных систем. Особенности трудностей встречают попытки космогонического истолкования квазаров и процессов в активных ядрах галактик на основе идеи коллапса. Какой бы вариант объяснения, основанного на гипотезе коллапса, ни предлагался, он довольно быстро сталкивался с теми или иными теоретическими трудностями и отвергался. По нашему мнению, гипотеза коллапса является неплодотворной и должна быть оставлена.

Теория звездной эволюции не в состоянии сказать что-нибудь об одном из самых фундаментальных свойств звезд — о явлении звездных вспышек в фазе молодости звезд. Конечно, известное соответствие получаемых из теории параметров и звездных треков на диаграмме Герцшпрунга — Рассела с наблюдаемыми является некоторым свидетельством в пользу теории. Но этого еще недостаточно для того, чтобы признать теорию уже хорошо обоснованной, тем более что в последнее время обнаружены интересные (правда, требующие подтверждения) факты, которые ставят под сомнение принятые в классической теории представления о природе источников звездной энергии.

До недавнего времени проверка звездных моделей сводилась к некоторой косвенной и к тому же далеко не гарантирующей надежных результатов процедуре — «подгонке» теоретических значений величин, характеризующих массы, светимости, радиусы моделей звезд, находящихся на последовательных стадиях эволюции, под соответствующие величины, известные из наблюдений.

Но, как известно, буквально в самые последние годы положение частично изменилось. Теория внутреннего строения звезд предсказывает, что в ходе реакций термоядерного синтеза в недрах звезд должен возникать определенной плотности поток нейтрино. Эти частицы должны практически без взаимодействия с веществом звезды выходить наружу и рассеиваться в пространстве. И вот представилась возможность экспериментально зафиксировать поток нейтрино от Солнца. Однако в ходе много-

численных и все более точных экспериментов никаких нейтрино солнечного происхождения зарегистрировано не было. Тем самым возникло резкое противоречие между эмпирическими данными и современными моделями внутреннего строения Солнца.

Отметим еще одно противоречие. Недавно в Крымской астрофизической обсерватории под руководством А. Б. Северного была выполнена чрезвычайно интересная работа (см.: «Исследования», № 16, 1975). Суть ее в том, что обнаружена пульсация нашего Солнца, правда, имеющая незначительную амплитуду, и определен период этой пульсации. Пульсирующие звезды в астрофизике известны давно, их теория хорошо разработана. Но для Солнца явление пульсации оказывается совершенно новым и неожиданным. Оно также находится в полном несоответствии с разработанными до настоящего времени моделями внутреннего строения Солнца, бросает на них очень большую тень.

Значительно многочисленнее и серьезнее те трудности и противоречия, с которыми сталкиваются попытки построить на основе известных законов физики и традиционных представлений модели активных ядер галактик и других «экзотических» объектов, открытых современной астрофизикой. И хотя нельзя совершенно исключить, что успех будет достигнут на этом пути, подобный прогноз оказывается все менее вероятным. Новые факты не только не содействуют преодолению существующих трудностей и противоречий, но часто даже усугубляют их.

Наименее удовлетворительно обстоит дело с согласованием фактов и теорий «классического» направления при истолковании основных черт Солнечной системы. Развитие даже наиболее детально разработанных гипотез происходит здесь таким образом, что все большее число положений, которые казались соответствующими фактическим данным, приходится непрестанно видоизменять и даже совсем от них отказываться. «Согласование» их с фактами, достигавшееся путем некоторой подгонки, оказывается иллюзорным и недолговечным.

Было бы трудно отрицать, что классическое направление в астрофизике пока не привело к предсказанию чего-либо существенно нового. Например, хотя теория внутреннего строения звезд основана на довольно разумных предпосылках, несмотря на гигантскую по объему работу по расчетам звездных моделей, а также на то, что астрофизика переполнена неожиданными открытиями, на основе современной теории внутреннего строения звезд не было предсказано какого-либо принципиально нового явления, которое было бы затем обнаружено наблюдениями. В то же время после открытия новых фактов их обычно удавалось согласовать с теорией путем введения более или менее произвольных дополнительных предположений. Все это лишает разработанные сейчас модели внутреннего строения звезд значительной части их ценности. Иногда говорят, что на основании этой теории строения и эволюции звезд было предсказано откры-

тие нейтронных звезд — пульсаров. Но не следует забывать, что теория вырожденных конфигураций стоит особняком от общей теории строения звезд. Предсказание существования «черных дыр», как уже отмечалось выше, пока нельзя считать подтвержденным в достаточной степени. Фактически ни одно из нестационарных явлений во Вселенной не только не было предсказано с позиций этого направления, но большинство открытий таких явлений выглядело для его сторонников как весьма неприятный «сюрприз».

Никаких предсказаний, которые были бы затем подтверждены наблюдениями, не было сделано с позиций гипотез классического направления относительно Солнечной системы. В связи с этим появилось даже мнение, что предъявлять к гипотезе требование предсказания новых явлений не следует.

С учетом всего сказанного мы пока не видим сколько-нибудь веских и притом объективных причин для особенно оптимистической оценки успехов классического направления в теоретическом осмыслении структуры и эволюции Вселенной.

Методологические принципы того направления в современной астрофизике, которое мы назвали неклассическим (бюраканским), не только значительно отличаются от принципов классического направления, но во многом даже противоположны им.

Свойства космических объектов и механизм процессов развития в космосе обычно трудно «угадать» чисто теоретически, так как они нередко качественно своеобразны, неожиданны. Вот почему наиболее эффективный путь построения обоснованных моделей и теорий в астрофизике — *последовательное обобщение наблюдательных данных*. Это означает следующее.

В условиях невозможности прямого эксперимента исследование какого-либо астрофизического явления должно распадаться на три последовательные стадии: 1) наблюдение; 2) интерпретация наблюдения — выявление того, что именно происходит в наблюдаемом объекте; 3) построение полной теории явления, включающей объяснение его причин. Попытка перескочить через одну из таких стадий (скажем, строить теорию явления не дожидаясь прояснения его внешней картины) в астрофизике, как правило, не может привести к успеху.

Исследования структуры и эволюции звезд и звездных систем должны начинаться с постановки отдельных частных задач, решение которых не требует введения сколько-нибудь произвольных допущений. Например, подробное изучение отдельных изменений в звездной системе, а также процесса накопления этих изменений создает предпосылки для решения более общей задачи — изучения эволюции системы как целого и построения обоснованной теории этого процесса.

Конечно, признание важности фактических данных в синтезе нового знания о Вселенной отнюдь не дает основания умалять или недооценивать ту роль, которую играют в этом процессе раз-

личные уровни теоретического знания. Если в одних проблемных ситуациях решающим оказывается тщательный и всесторонний анализ фактов, то в других — развитие новых теорий возможно даже без привлечения дополнительных фактов, т. е. имеет место как бы внутреннее развитие астрофизической теории.

Обобщение фактических данных вовсе не представляет собой чисто индуктивный процесс. В подавляющем большинстве случаев логика построения теории не сводится лишь к движению в направлении от наблюдения к теории, а включает всесторонний анализ эмпирических данных, построение и разбор различных гипотетических вариантов их объяснения, сравнение этих гипотетических схем с наблюдениями, а также между собой. Это возможно лишь на основе использования не только индуктивных, но и дедуктивных приемов рассуждения, которые могут причудливо переплетаться между собой. Однако в целом решение какой-либо астрофизической задачи в конечном счете всегда направлено на то, чтобы дать истолкование и объяснение определенной совокупности фактов, включить их органически в систему знания. Вот почему можно утверждать, что астрофизические теории (как и все научные теории) представляют собой обобщение эмпирических данных. Формы обобщения могут быть, естественно, очень разнообразными.

С точки зрения неклассического направления та идея, которая до сих пор принималась как самоочевидная, единственно разумная и возможная большинством астрофизиков, — об образовании космических объектов из диффузного вещества в результате его сгущения — является умозрительной. Огромные трудности, с которыми сталкиваются гипотезы, основанные на этой идее, свидетельствуют по крайней мере о том, что она не должна рассматриваться как единственно возможная. Более того, некоторые особенности звездных групп, скоплений и подсистем, а также групп и скоплений галактик можно объяснить без натяжек и противоречий только в том случае, если мы введем следующее предположение: процессы развития во Вселенной направлены не от разреженного состояния ко все более плотному, а в прямо противоположном направлении — от более плотных состояний вещества к менее плотным.

Анализ фактических данных показывает, что возникновение звездных систем со всеми их особенностями наиболее естественно рассматривать как *результат активности их ядер*. Эти плотные или даже сверхплотные тела возможно представляют форму вещества, неизвестную современной физике. Они должны заключать в потенциальном состоянии громадные количества энергии, способны разделяться на части, удаляющиеся друг от друга с большими скоростями, а также выбрасывать массивные сгустки вещества. Взрыв ядра приводит к образованию новых галактик или в других случаях — различных звездных подсистем в галактиках. Часть энергии, освободившейся при взрыве ядра,

переходит в кинетическую энергию образовавшихся объектов. Не только пары галактик, но и целые группы, а также скопления галактик образуются в результате взрывов в ядрах.

Именно объяснение свойств прототел, а также процесса образования из них звезд и звездных систем оказывается затруднительным или невозможным на основе современных знаний о свойствах вещества и вообще в рамках известных законов физики. Эти объекты с их необычными свойствами могут вырасти в грозные тучи на небосводе современной физики — подобно тому, как в свое время такие же признаки бури появились на казавшемся ясным горизонте классической физики.

Как известно, в начале XX века, а именно 27 апреля 1900 г., У. Томсон (лорд Кельвин) произнес свою знаменитую речь о проблемах физики. Он высказался в том смысле, что основы физической науки завершены. Но горизонт классической физики заметно омрачают две тучи: отрицательный результат опыта Майкельсона — Морли, пытавшихся определить зависимость скорости света от движения Земли, и неудачи, связанные с попытками описать в рамках классической физики спектр излучения черного тела — уже упоминавшаяся нами так называемая ультрафиолетовая катастрофа.

Кельвин оказался проницательным исследователем. Отмеченные им затруднения привели к революционной перестройке основ физической науки — первое из них привело к созданию специальной теории относительности, а второе — квантовой механики.

В современной астрофизике подобных туч можно насчитать несколько. Все они связаны с нестационарными явлениями, открытыми во Вселенной за последние годы. Хотя вопрос о том, выводят ли эти явления за границы современной физики, еще нельзя считать решенным окончательно, все же есть очень много оснований считать, что астрофизика, так много впитавшая в себя из современной физики, не останется перед ней в долгу и примет участие в новой революции в системе физического знания.

Методологический подход к исследованию Солнечной системы, основные принципы которого во многом аналогичны бюраканским, был развит С. К. Всехсвятским. Им было, в частности, подчеркнуто решающее значение обобщения эмпирических данных о нестационарных процессах для решения основных проблем Солнечной системы и разработана «эруптивная теория», по своему содержанию также примыкающая к неклассической концепции¹⁸.

Бюраканское направление идет значительно дальше классического направления в астрофизике, которое развивается в рам-

¹⁸ См.: С. К. Всехсвятский. Природа и происхождение комет и метеорного вещества. М., 1967; он же. Признаки эруптивного развития планетных тел. — В кн.: Проблемы космической физики, вып. 6. Киев, 1971.

как современной квантово-релятивистской картины мира. Его в известном смысле можно рассматривать как «зародыш» новой, пока еще не созданной картины мира, основу которой составят не только принципиально новые астрофизические идеи, но и более общие, чем известные сейчас, фундаментальные физические теории. Необходимость в подробной разработке такой картины мира возникнет в случае, если окончательно выяснится, что активные процессы в ядрах галактик (и, по крайней мере, некоторые другие из нестационарных процессов во Вселенной) не могут быть объяснены путем применения одних только известных законов и теорий физики.

Концепция процессов космической эволюции, основанная на представлении о фрагментации плотного или сверхплотного вещества, резко противоречит тому, что многим кажется обоснованным и доказанным. Не удивительно, что она вызывает чрезвычайно бурную полемику, стремление во что бы то ни стало ее опровергнуть. Мы рассмотрим лишь основные из доводов, высказанных против нее с позиций классического направления в астрофизике¹⁹.

1. Вызывает серьезные сомнения реальность части явлений, из которых исходит бюраканская концепция, а ряд фактов она оставляет без объяснения.

2. Эта концепция резко противоречит фундаментальным законам современной физики. Процессы распада плотных или сверхплотных тел не могут привести к образованию галактик и звезд без нарушения закона сохранения энергии, закона сохранения вращательного момента и др.

3. Она носит качественный характер, не представляет собой подробно разработанной теории; в силу этого ее сравнение с наблюдениями затруднено.

На симпозиуме по философским вопросам астрономии (Москва, 1972 г.) высказывалось мнение, что, если правильность неклассической, бюраканской концепции будет доказана, — станет бесспорным и то, что в астрономии действительно происходит революция. Но раз неклассическая концепция не может считаться достаточно убедительно обоснованной, вызывает возражения — не может быть принята и точка зрения о революции в системе знания о Вселенной.

Нельзя, прежде всего, согласиться с тем, что неклассическая концепция, разрабатываемая в Бюраканской обсерватории, еще только должна быть обоснована в будущем. Напротив, многие узловые положения этой концепции, касающиеся эмпирических закономерностей процессов образования звезд и звездных систем, уже давно не только доказаны, но и стали общепринятыми. Ни-

¹⁹ Эта дискуссия всесторонне проанализирована в кн.: «Проблемы современной космогонии» (под ред. В. А. Амбарцумяна, изд. 2, М., 1972).

каких серьезных противоречий этой концепции с фактами обнаружено не было.

Сделанный еще в 1934 г. вывод о том, что нестационарные объекты во Вселенной — закономерные фазы процессов космической эволюции²⁰, в дальнейшем полностью оправдался. Астрономы не только обнаруживают одно за другим новые, все более грандиозные явления нестационарности во Вселенной, но и все полнее выявляют их решающую роль на различных стадиях космической эволюции. Основное русло исследований современной астрофизики идет в направлении исследования именно нестационарных объектов.

Исходя из неклассической концепции сделаны многочисленные предсказания относительно ряда конкретных явлений нестационарности, — включая такие качественно новые для астрофизики явления, как нестационарность звездных ассоциаций, взрывы в ядрах галактик, нестационарность многих групп и скоплений галактик и др. Эруптивная теория процессов в Солнечной системе предсказала наличие льдов в кометных ядрах, важнейшую роль вулканических процессов в эволюции планет и их спутников. Некоторые из этих предсказаний выдвигались в качестве интерпретаций фактических данных, альтернативных по отношению к интерпретациям тех же данных, разрабатывавшимся с классических позиций. Можно вспомнить, например, что представление об активности ядер галактик было сформулировано в противовес гипотезе сталкивающихся галактик, быстро обнаружившей свою неплототворность. Не удивительно, что все предсказания, сделанные на основе бюраканской концепции, были в свое время приняты крайне сдержанно, чтобы не сказать больше, ведь они относились к явлениям, которые не только противоречили многим традиционным представлениям о Вселенной, но и были качественно новыми по сравнению со всем, что было известно или представлялось «допустимым» ранее. В результате острейших дискуссий реальность многих предсказаний бюраканской концепции перестала вызывать какие бы то ни было сомнения. Другие же частью астрофизиков оспариваются до сих пор — примером могут служить дискуссии, связанные с проблемой «парадокса массы». Как уже отмечалось, их аргументы нельзя признать сколько-нибудь убедительными. Напротив, следует подчеркнуть с полной определенностью, что все основные предсказания, касающиеся могучих проявлений нестационарности во Вселенной, сделанные в разное время на основе идей неклассического направления в астрофизике, получили за последние годы веские подтверждения. Любопытно, однако, отметить, что при обсуждении тенденций развития науки о Вселен-

²⁰ См. В. А. Амбарцумян. Внутреннее строение и эволюция звезд.—«Мироведение», 1934, т. XXIII, № 4, с. 251—253.

ной те астрофизики, которые еще недавно выражали всевозможные сомнения в концепции «взрывающейся Вселенной», излагают ее, как нечто само собой разумеющееся, могущее быть согласованным с классической концепцией.

Здесь уместно вспомнить то подмеченное Куном обстоятельство, что после завершения научной революции заново переписываются все учебники. Развитие науки изображается как постепенное движение к ее современному состоянию, так что вуалируется сам факт совершившейся революции, а высказывания исследователей природы как бы заново «переписываются» с новых позиций. Примеры такого рода совсем не редки и в развитии современной астрономии. Достаточно отметить, скажем, явление радиогалактик и, вообще, все многообразие форм активности ядер, истолкование которых пришлось «писать заново» на основе неклассической концепции. Что касается теоретических аспектов неклассической концепции, то они требуют дальнейшей разработки, обоснования, а в некоторых моментах, вероятно, уточнения. Тем не менее, по крайней мере в истолковании процессов формирования галактик, концепция фрагментации плотных или сверхплотных тел имеет много преимуществ по сравнению с теориями классического направления. Она выглядит как значительно более естественное объяснение наблюдаемых явлений, чем различные схемы образования галактик, разрабатываемые на основе гипотезы о конденсации диффузного вещества. Именно в этой области классические идеи подвергаются сейчас наибольшим испытаниям и, как можно думать, не имеют почти никаких шансов на успех. Сделать выбор между конкурирующими представлениями в проблеме звездообразования пока сложнее. Но и здесь неклассическая точка зрения медленно, но неуклонно завоевывает новые позиции.

Все противоречия с фундаментальными физическими законами в *их современной форме*, с которыми, возможно, сталкивается в ряде моментов неклассическая концепция, отмечены в работах самих бюраканских астрофизиков — задолго до того, как эти затруднения были повторены противниками бюраканской концепции с целью ее опровержения. Но разрешение этих противоречий может быть в принципе достигнуто двумя путями: а) отказом от новой, столь нетрадиционной точки зрения; б) поисками путей обобщения фундаментальных физических законов и теорий, разработкой новой системы таких законов и теорий. Эти, пока еще не созданные, теории и вся система таких теорий будут связаны с фундаментальными законами и теориями современной физики: принципом соответствия. Но главным здесь, как и во всех подобных случаях, явится то качественно новое, что они внесут в систему физического знания, — их несоответствие существующим теориям.

Какой именно из этих путей кажется исследователю более предпочтительным, как уже отмечалось, существенно зависит от

исходных установок исследовательской программы, которой он придерживается. Соответственно различным и даже противоположными оказываются и оценки создавшейся ситуации. С позиций классического направления возможное противоречие бюрократической концепции фундаментальным физическим законам кажется чрезвычайно серьезным доводом против нее. Напротив, неклассическая исследовательская программа в астрофизике это же самое обстоятельство рассматривает как возможное свидетельство неуниверсальности современной системы фундаментальных физических законов. С этой точки зрения вполне понятна причина неразработанности неклассической концепции — ее в значительной степени качественный, полуэмпирический характер. Более обстоятельное развитие концепции и превращение ее в последовательную теорию, очевидно, станет возможным лишь после создания новой системы физического знания, более общей, чем современная.

Налицо два совершенно различных «видения мира». Какое из них более адекватно объективной реальности, покажут дальнейшие исследования.

Вместе с тем, не следует считать совершенно исключенными поиски путей, которые позволят преодолеть часть из указанных трудностей без привлечения представлений о нарушении известных законов. Иными словами, в принципе революция в астрономии могла бы и не сопровождаться революцией во всей системе физического знания (такой прогноз, конечно, менее вероятен, чем противоположный). Но даже если бы в конце концов удалось объяснить явления нестационарности во Вселенной, не выходя за пределы фундаментальных теорий современной физики, — все равно такие объяснения окажутся очень и очень далекими от традиционных. Это, во всяком случае, означает, что было бы неправильным недооценивать роль и значение событий, происходящих в современной астрофизике, и отводить им второстепенное место по сравнению с последствиями, которые вызвало открытие нестационарности Метагалактики.

Приведенные выше соображения делают почти очевидным вывод, что на протяжении последних десятилетий происходит коренная, по сути революционная *перестройка системы знания о Вселенной*. Открытия ряда принципиально новых астрофизических явлений, поток которых возрос за последние годы, потребовали коренного пересмотра многих представлений о структуре и, особенно, эволюции Вселенной. Они привели к появлению ряда новых теоретических схем, часто весьма нетрадиционных — независимо от того, исходят ли они из необходимости обобщения системы фундаментальных физических законов или остаются всецело в рамках известных законов. Изменения в системе знания о Вселенной, которые вызывало каждое такое открытие, можно рассматривать как цепь «микрореволюций», следующих почти непрерывно одна за другой. Они переросли — с какой бы сторо-

ны ни постомтреть — в локальную научную революцию, полностью преобразившую лицо астрономии. Многие из теорий и теоретических схем, появившихся за последние годы в этой науке, содействуют обогащению и дальнейшему развитию таких фундаментальных естественнонаучных понятий, как пространство, время, эволюция и многие другие, с ними связанные. Прогресс астрономии также привел к появлению ряда новых фундаментальных понятий, — таких, например, как активность ядер галактик и другие. Несмотря на то, что эти понятия носят пока полупырический характер и в будущих астрофизических теориях неизбежно подвергнутся уточнению, обобщению, а некоторые из них, возможно, даже будут заменены более строгими и в полной мере теоретическими понятиями, — их важнейшая роль во всей системе наших представлений о природе не вызывает сомнения. Тем самым астрономия внесла очень весомый вклад в разработку современной естественнонаучной картины мира. Перестройка системы знания о Вселенной сопровождается очень значительными изменениями в свойственных астрономии способах видения мира и методологических принципах исследования — без этого ни создание новой картины Вселенной, ни ее признание не были бы возможными. Существенно, что все основные исследовательские программы, конкурирующие в астрономии наших дней, основываются, в конечном счете, на принципах материалистической диалектики — включая принцип *саморазвития* материи, движущей силой которого является «борьба» противоположностей.

Дискуссионным является не столько вопрос о том, происходит ли революция в системе знания о Вселенной, конкретно в современной астрофизике, сколько более частный вопрос — на каком именно пути будет достигнуто разрешение глубоких противоречий, возникших на современном этапе исследования Вселенной, т. е. *насколько радикальна* эта революция.

Конкурирующие в астрономии методологические направления дают на этот вопрос неодинаковые ответы. Каждый такой ответ представляет собой, разумеется, прогноз (который может подтвердиться или не подтвердиться), исходящий из предположения, что наиболее эффективной и плодотворной скажется именно та исследовательская программа, в рамках которой он сформулирован. На содержание любого прогноза неизбежно оказывают влияние как объективные, так, отчасти, и субъективные причины — вплоть до различного видения мира. И едва ли следует удивляться, что в этих условиях прогноз, представляющийся убедительным для сторонников какой-либо исследовательской программы, выглядит совершенно неубедительным в глазах тех, кто разделяет принципы конкурирующей исследовательской программы (или программ). Так бывает всегда в период научной революции — и современная революция в астрономии не является исключением. По нашему мнению, как ни затруднительно с полной уверенностью предсказывать что-либо в подобных ситуа-

циях, существует много оснований считать более близким к истине прогноз, основанный на принципах неклассического направления.

Ограничится ли революция в системе знания о Вселенной лишь «достройкой» квантово-релятивистской картины мира и тем самым останется революцией локальной, или же она приведет к революционной перестройке фундамента физической науки, появлению новой естественнонаучной картины мира, захватит философские и методологические принципы, на которых основывается исследование природы, иными словами — перерастет в глобальную естественнонаучную революцию? На этот вопрос сторонники конкурирующих в астрономии исследовательских программ отвечают в принципе сходным образом. А именно, сейчас, по-видимому, уже почти никто не отрицает, что существующая система физического знания окажется недостаточной для астрономии. Это — весьма примечательный сдвиг во мнениях значительной части астрономов, так как лет десять назад подобную точку зрения защищали совсем немногие, и она вызывала, как правило, нескрываемый скептицизм. Но в данное время споры идут лишь в том, объяснение каких именно явлений потребует формулировки новых фундаментальных законов и теорий: окажется ли это необходимым в случае многих астрофизических явлений — нестационарных процессов в мире звезд и звездных систем или же явлений вблизи космологической сингулярности.

Следует надеяться, что все убыстряющийся прогресс науки о Вселенной уже в ближайшие годы позволит настолько полно выявить степень перспективности каждой из сложившихся в ней исследовательских программ, что станет возможным сделать гораздо более бесспорный выбор между различными прогнозами относительно тенденций дальнейшего развития астрономии. Но во всяком случае идея о том, что не только физика элементарных частиц, но и астрономия подводят нас к границам применимости существующей системы физического знания, приобретает все большее число приверженцев.

Ситуация, которая сложилась в астрономии за два-три последних десятилетия, расходится со схемой научной революции, предложенной Куном, в следующем отношении. Неклассическая концепция, т. е. новая «парадигма» — если употребить куновскую терминологию, — отнюдь не возникла сразу в каком-то завершенном виде, не стала за короткий срок последовательной теорией. Напротив, она является пока очень схематичной и упрощенной, многие ее положения сформулированы лишь качественно и притом частично на языке прежних понятий, которые, несомненно, потребуют в дальнейшем пересмотра и обобщения. Вопреки куновской схеме разные «парадигмы» астрофизики и космологии длительное время «сосуществуют». Но это, по-видимому, не специфическая особенность современной ситуации, сложившейся в науке о Вселенной, а довольно общая черта развития всей системы естественнонаучного знания.

Подведем итог. Анализ основных особенностей развития современной астрономии показывает, что происходящая в ней революция далеко не сводится лишь к появлению принципиально новых методов исследования или обнаружению новых фундаментальных фактов, а происходит и в сфере теоретических представлений. Хотя оценить в полной мере ее значение и последствия пока еще затруднительно, нельзя исключать, что в конечном счете она не уступит великому коперниканскому перевороту. Конечно, историко-научные параллели и аналогии всегда очень относительны и условны. Если первая астрономическая революция привела к ломке представлений о структуре Вселенной в масштабах Солнечной системы, то вторая состоит в коренном изменении представлений о ее эволюции в неизмеримо более грандиозных масштабах Метагалактики. Но обе эти революции сходны в том отношении, что они представляют собой примечательные вехи в развитии системы знания о Вселенной.

Аналогия между современной и коперниканской революциями в астрономии может быть продолжена: и та, и другая сопровождалась постановкой самых коренных проблем мировоззрения. Этого вопроса мы здесь не касались, поскольку ему посвящена другая статья²¹. Отметим лишь, что независимо от того, какая именно из конкурирующих в современной астрономии исследовательских программ возьмет верх (нельзя, конечно, исключать и появления совершенно новых идей), все они, очевидно, исходят из принципов материалистического мировоззрения, представляют собой его конкретизацию применительно к астрономии. Различия между этими исследовательскими программами состоят в том, что они связаны с разными естественнонаучными картинами мира. Борьба мировоззрений вокруг революции в современной астрономии за последние годы происходит при непрестанно усиливающемся влиянии марксизма.

Сейчас мы находимся где-то в самом начале тех революционных преобразований, которые, как можно полагать, суждено пережить астрономии наших дней. Современный этап ее развития, если все же решиться опять прибегнуть к историко-научным аналогиям, напоминает эпоху, в которую вступила коперниканская революция после открытий Галилея и работ Кеплера. Новая картина Вселенной тогда прояснилась в общих чертах, но оставалась недостаточно разработанной теоретически, так как еще не появилась механика Ньютона. Нечто подобное, как

²¹ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Революция в современной астрономии и проблемы мировоззрения.— В кн.: Информационный бюллетень проблемной комиссии представителей Академий наук социалистических стран... № 5. Прага, 1975, с. 61—86.

можно полагать, происходит и в современной астрономии, которая вплотную подводит нас к границам применимости квантово-релятивистской физики и вновь становится источником новых идей, раскрывающих фундаментальные свойства материи.

Но если теории нестационарных явлений во Вселенной во многих случаях еще не сформулированы и мы располагаем лишь пока совокупностью отдельных фрагментов будущих теорий, которые могут считаться обоснованными в основных чертах уже сейчас, — не представляется ли вывод о революции в современной астрономии преждевременным? Ведь революция в науке — это не само по себе открытие неожиданных фактов, а радикально новые теоретические выводы из них. Не следует ли все-таки подождать с подобным выводом до тех пор, пока новые теории не будут созданы, по крайней мере в основных чертах?

На это можно возразить, что о революции в физике стали говорить задолго до того, как были сформулированы новые фундаментальные физические теории,— после открытий электрона, радиоактивности и др., когда стало ясно, что прежние представления *уже* не имеют шансов на успех, хотя новые *еще* не получили должного развития. Именно такая же ситуация сложилась и в современной астрономии.

В. Л. Гинзбург

АСТРОФИЗИКА И НОВЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Каковы пределы применимости известных в настоящее время физических законов и теорий фундаментального характера?

Каковы объекты и направления исследований, где можно ожидать соприкосновения с «новой» физикой? Достаточны ли известные физические законы для понимания всех астрономических явлений и процессов? Или, иными словами, нужна ли сегодня в астрономии «новая физика» и должны ли астрономические исследования оказаться источником принципиально новых физических представлений?

Такие и аналогичные вопросы (среди них можно было бы, например, упомянуть вопрос о том, сводятся ли все биологические закономерности в конечном счете к физике; биологии, однако, мы касаться совсем не будем) находятся в центре внимания современной физики и астрономии — имеются, конечно, в виду вопросы общего характера, а не те или иные конкретные задачи и проблемы. Несколько замечаний на этот счет как раз и составляют содержание настоящей статьи, причем в первую

очередь речь пойдет о возможности появления и проявления «новой физики» в астрономии.

Подобная направленность статьи объясняется многими причинами. Среди них не последнее место занимает позиция самих астрономов. Именно целый ряд видных астрономов настоятельно проводят мысль, что известной физики (т. е. известных физических законов) уже «не хватает» для решения космологической проблемы, для понимания поведения скоплений галактик, для объяснения процессов в ядрах галактик и в квазарах и т. д. Так, например, говоря о ядрах галактик, квазарах и их взрывах, В. А. Амбарцумян замечает: «Попытки описать их в рамках известных сейчас фундаментальных физических теорий встречаются с огромными, возможно, непреодолимыми трудностями. Я считаю, что именно от астрономии следует уже в недалеком будущем ожидать выявления новых фактов, которые потребуют формулировки новых физических теорий, более общих, чем известные сейчас»¹. Эта мысль повторяется в статье еще несколько раз, причем критикуются «те физики, которые считают, что известные сейчас фундаментальные физические законы достаточны для описания всего многообразия явлений во Вселенной». Аналогичная общая тенденция отражена также в ряде статей Г. Бербиджа, Ф. Хойла и др. Мы не будем, однако, подробнее останавливаться на соответствующих высказываниях². Заметим лишь, что не только мнение о необходимости выйти в астрономии за пределы известной физики, но и конкретные поиски этой «новой физики» в центре галактик продолжают уже не одно десятилетие. Так, еще в 1928 г. Дж. Джинс писал: «Каждая неудача при попытках понять происхождение спиральных ветвей делает все более и более трудным делом противостоять подозрению, что в спиральных туманностях действуют совершенно неизвестные нам силы, быть может, отражающие новые и неожиданные метрические свойства пространства. Предположение, которое действительно возникает, состоит в том, что центры туманностей имеют характер «сингулярных точек». В этих точках материя втекает в наш мир из некоторого иного и совершенно постороннего пространства. Тем самым обитателю нашего мира сингулярные точки представляются местами, где непрерывно рождается материя»³.

Как известно, астрономия сыграла исключительно большую, если не решающую, роль при рождении современной физики и конкретно механики (Кеплер, Ньютон). Бесспорным является и

¹ В. А. Амбарцумян. Современное естествознание и философия.— «Успехи физических наук», 1968, т. 96, вып. 1, с. 4

² Les Nouveaux des Galaxies. Semaine d'Etude, Pontifica Academia Scientiarum Scripta Varia 35, 1971; G. Burbidge. Was there really a Big Bang? — «Nature», 1971, v. 233, N 5314, p. 36—40; F. Hoyle and J. V. Narlikar. On the Nature of Mass. — «Nature», 1971, v. 233, N 5314, p. 41—42.

³ J. H. Jeans. Astronomy and Cosmogony. Cambridge, 1928, p. 352.

тот факт, что в последние десятилетия сильно повысились удельный вес и значение астрономии (включая сюда и соответствующие космические исследования) среди других естественных наук⁴. Но значит ли это, что астрономия сегодня опять указывает новые пути в физике и имеет «серьезные шансы стать в ближайшем будущем подлинным лидером современного естествознания?»⁵ Физики в этом отношении обычно довольно сдержанны, причем это относится и к тем из них, которые сами активно занимаются или интересуются астрономией.

Итак, порождает ли современная астрономия «новую физику» или она является лишь важным и интересным полем приложения методов и результатов известной нам физики? Убедительный ответ на этот вопрос не может быть получен с помощью рассуждений и дискуссий, этот ответ будет дан лишь самой жизнью. Такой вывод не противоречит стремлению уже сегодня понять, в чем же расходятся некоторые астрономы и физики при оценке роли астрономии в современном естествознании и главное в вопросе о месте «новой физики» в астрономии.

Всего лишь в начале нашего века абсолютизация физических законов, непонимание ограниченности физических теорий были весьма распространены. Сейчас же в существование подобных воззрений хотя и приходится верить, ибо таковы неоспоримые литературные свидетельства, но сама абсолютизация физических теорий просто невозможна, если речь идет о серьезных научных кругах. Здесь, с одной стороны, очень многому научила история создания и развития теории относительности и квантовой механики. С другой стороны, всем известно, что существующая физическая теория сталкивается с глубокими и серьезными трудностями и не дает ответа на ряд фундаментальных вопросов. Конкретно сегодня еще не существует теории «элементарных частиц», объясняющей свойства и параметры известных частиц (барионов, мезонов, лептонов). Не существует последовательной теории сильных и слабых взаимодействий, неизвестно, применимы ли используемые пространственно-временные представления для масштабов меньших 10^{-15} — 10^{-16} см и 10^{-25} — 10^{-26} сек. Не построена квантовая теория гравитационного поля, и тем самым использование общей теории относительности ограничено классической (неквантовой) областью. Этот список можно было бы продолжить и уточнить, но и его достаточно для наших целей, для того, чтобы подчеркнуть очевидность незавершенности существующих теоретических представлений. Большое число физиков-теоретиков уже десятилетия напряженно работают, пытаясь обобщить и развить те элементы релятивистской квантовой теории, которые сейчас считаются отражающими действительность

⁴ Точка зрения автора на этот счет отражена в кн.: В. Л. Гинзбург. Современная астрофизика. М., 1970.

⁵ В. А. Амбарцумян. Современное естествознание и философия.—«Успехи физических наук», 1968, т. 96, вып. 1, с. 4.

или, по крайней мере, имеющими к ней отношение. Необходимость выдвижения новых идей и представлений для развития фундаментальных физических теорий также может считаться общепризнанной. Не может, таким образом, быть и речи о том, что физики сегодня занимают консервативную позицию, аналогичную распространенной в начале века. Совсем другое дело — признание и понимание не только ценности и глубины фундаментальных физических теорий (таких, как теория относительности и квантовая механика), но и убеждение в возможной законченности и полноте этих теорий в области их применимости.

Последнее замечание, которое для нас особенно важно, проще всего пояснить на примерах.

Применение классической (ньютоновской) механики, включая сюда и ньютоновский закон всемирного тяготения, заведомо ограничено и возможно лишь при пренебрежении квантовыми и релятивистскими поправками. При этом квантовые поправки определяются отношением длины волны $\lambda = \frac{h}{mv}$ (M — масса тела, v — его скорость и $h = 6,625 \cdot 10^{-27}$ эрг.сек — постоянная Планка) к характерному масштабу задачи L . Для Земли при ее движении вокруг Солнца $\lambda \sim 10^{-60}$ см и $L \sim 10^{13}$ см, откуда ясно, что квантовые эффекты невообразимо малы и могут полностью игнорироваться. Релятивистские поправки для орбитального движения Земли порядка $v^2/c^2 \sim 10^{-8}$ (скорость Земли на орбите $v = 3 \cdot 10^6$ см/сек, скорость света $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек). Эти поправки уже могут быть замечены, хотя для Земли до сих пор надежно не измерены. В случае же Меркурия, когда релятивистские поправки на порядок больше, их измерение служит одним из основных путей проверки общей теории относительности⁶. Однако, несмотря на многолетние усилия, общая теория относительности (ОТО) на сегодняшний день проверена только с точностью около процента, да и то при предположении об отсутствии у Солнца квадрупольного момента⁷. Если же не делать такого предположения, то ОТО проверена с точностью лишь в несколько процентов. Причина здесь та, что релятивистские эффекты в пределах Солнечной системы достаточно малы по сравнению с различными возмущениями и ошибками измерений другого происхождения. Отсюда понятно также, что при расчете траекторий как естественных, так и искусственных планет и их спутников пользоваться практически приходится лишь классической механикой.

О той области, где релятивистскими и квантовыми поправками можно пренебречь, мы и говорим как об известной области применимости классической механики. Закончена и полна ли

⁶ В. Л. Гинзбург. Космические исследования и теория относительности. — В кн.: Эйнштейновский сборник 1967. М., 1967, с. 80—120.

⁷ I. I. Shapiro, G. H. Pettengill, M. E. Ash, R. P. Ingalls, R. B. Dyce. Mercury's Perihelion Advance: Determination by Radar. — «Physical Review Letters», 1972, v. 28, N 24, p. 1594—1597.

классическая механика в этой области? Положительный ответ на этот вопрос вполне законен и ни в какой мере не означает непонимания относительности наших знаний и их ограниченности. С другой стороны, такой положительный ответ логически еще вовсе не обязателен. Можно вообразить, что классическая механика ограничена не только с упомянутых известных сторон (так сказать, со стороны теории относительности и квантовой механики), но и, скажем, имеет какие-то другие пределы применимости, связанные с величиной массы системы, ее размерами и т. п.

«Новая физика», о которой приходится слышать, по нашему мнению, в значительной мере связана именно с предположением о существовании упомянутых «дополнительных» ограничений области применимости классической механики. Об этом речь еще пойдет ниже. Сейчас же мы хотим лишь еще раз подчеркнуть, что существование таких дополнительных ограничений, если логически и допустимо, то ни в какой мере не обязательно — теория вполне может быть законченной и полной в ее уже известной области применимости.

Другой пример на ту же тему связан с нерелятивистской квантовой механикой. И в этом случае теория заведомо ограничена, так как не учитывает релятивистских эффектов. Но в области ее применимости она может быть полна, хотя, например, и не отвечает на вопрос «куда попадет» каждый данный электрон в дифракционном опыте. Споры об интерпретации квантовой механики, которые продолжаются и до сих пор⁸, в значительной мере связаны как раз с предположением, что нерелятивистская квантовая механика на самом деле не полна и судьбу каждого электрона при дифракции все же можно предсказать. Автор, как и большинство физиков⁹, считает нерелятивистскую квантовую механику теорией полной и законченной в ее области применимости. При этом, отнюдь не отрицая логической допустимости противоположного мнения, мы лишь решительно возражаем против возможности делать на основе общих философских или логических соображений вывод о том, что любая теория обязательно должна быть неполной или незавершенной (в отношении ее принципов) даже в ее известной области применимости.

Возвращаясь к вопросу о возможной роли «новой физики» в астрономии и соответствующих расхождениях во мнениях, мы можем сформулировать ситуацию следующим образом.

С тем фактом, что физика не завершена и что «новая физика» где-то окажется необходимой — по сути дела все согласны.

⁸ B. S. De Witt and R. N. Graham. Resource letter IQM-1 on the Interpretation of Quantum Mechanics.— «American Journal of Physics», 1971, v. 39, p. 724.

⁹ Эту ссылку на «большинство» не следует понимать как какой-то аргумент по существу дела, ибо в вопросах науки мнение большинства или какое-то голосование не играют роли научного довода. Говоря здесь и ниже о большинстве, мы поэтому лишь даем некоторую характеристику состояния научного общественного мнения по тому или иному вопросу.

Вопрос заключается только в том, где же нужна эта «новая физика». Она бесспорно нужна в области релятивистской квантовой теории, теории «элементарных частиц» и т. п. В согласии с этим в астрономии нам представляется несомненной ограниченность применимости ОТО вблизи сингулярностей (правильнее говорить о сингулярностях, которые появляются в неквантовой ОТО, ибо при учете квантования нет никаких оснований считать, что сингулярности вообще сохраняются). Тем самым вполне естественно предположение о необходимости привлечения «новой физики» при решении космологической проблемы (необходим учет квантовых флуктуаций, рождения частиц и т. д.¹⁰). То же относится к коллапсу и антиколлапсу вблизи классической сингулярности, а возможно, и к сердцевине массивных нейтронных звезд (плотности $\rho > 10^{15}$ г/см³). В последнем случае если даже не возникает необходимости в принципиально новых представлениях, то будут раздвинуты границы применимости известной нам физики — в данном случае на область плотностей, превосходящих плотность обычных атомных ядер.

Другое потенциально очень важное направление в области ядерной физики и астрономии связано с измерением потока нейтрино от Солнца. Как известно, уже эта первая задача рождающейся в настоящее время нейтринной астрономии несколько неожиданно оказалась более трудной и неясной, чем предполагалось: поток нейтрино от Солнца еще не обнаружен, что при достигнутой точности измерений вызывает большое недоумение и настороженность (а нет ли здесь чего-то принципиально нового?).

Вообще не может быть и речи об умалении роли, значения и интереса астрономии для развития физики. Но почему «новая физика» должна проявляться и в условиях, которые отнюдь не являются экстремальными? Например, динамика скоплений галактик, казалось бы, должна описываться классической механикой. С другой стороны, если так поступать и принимать во внимание лишь видимые массы (т. е. сами галактики), то приходят к противоречиям или трудностям: энергия ряда скоплений оказывается положительной, а поэтому они не могли бы долго существовать. Как же преодолеть эту трудность? Можно считать, что скопления порождаются «на наших глазах» каким-то источником из «другого пространства» (см., например, упомянутую выше гипотезу Джинса). Можно допустить, что неверен (нето-

¹⁰ В. Л. Гинзбург, Д. А. Киржниц, А. А. Любушин. О роли квантовых флуктуаций гравитационного поля в общей теории относительности и космологии.—«Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1971, т. 60, вып. 2, с. 451—459; Я. Б. Зельдович, А. А. Старобинский. Рождение частиц и поляризация вакуума в анизотропном гравитационном поле.—«Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1971, т. 61, вып. 6, с. 2161—2175.

чен) закон всемирного тяготения Ньютона¹¹ и т. д. Несравненно более естественно, однако, предположить, что в скоплениях имеется много ноннизированного газа или неярких звезд, которые и стабилизируют скопление. Эта точка зрения, насколько известно, не противоречит имеющимся данным¹², хотя в целом проблема плотности межгалактического газа остается совершенно открытой¹³. В вопросе о природе ядер галактик и квазаров, источниках их активности и т. п. ситуация аналогична. Речь здесь идет о плотностях, радиусах кривизны и других параметрах, вполне «подвластных» известным физическим законам и, конкретно, некантованной общей теории относительности (ОТО)¹⁴. Другое дело, что теория галактических ядер недостаточно развита и далеко не все в этой области ясно даже в принципе. Но подобная неопределенность царит и во многих других вопросах, где недостаток экспериментальных или наблюдательных данных, математические трудности и т. п. еще не позволили добиться ясности. Примером может служить хотя бы вопрос о максимальной критической температуре для сверхпроводящих металлов, хотя никто и не сомневается в том, что нерелятивистская квантовая механика способна дать ответ на этот вопрос.

Поэтому-то физики и не видят никакой необходимости уже сегодня привлекать новые физические представления для объяснения процессов в скоплениях галактик и галактических ядрах. Вот если бы было надежно доказано, что в каких-то скоплениях галактик достаточно мало газа или сколлапсировавших масс, так что энергия скопления действительно положительна, тогда бы возникла глубокая проблема. Тогда пришлось бы считать соответствующие скопления недавно образовавшимися (неизвестно из чего?!), или считать, что при вычислении энергии скопления нельзя пользоваться классической механикой и законом всемирного тяготения, или, наконец, искать объяснение еще на каких-то

¹¹ A. Finzi. On the Validity of Newton's Law at a Long Distance.— «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», London, 1963, v. 127, N 1, p. 21—30.

¹² P. Chamaraux, T. Montmerle and M. Tadokoro.— Intergalactic ionized hydrogen in nearby groups of galaxies.— «Astrophysics and Space Science», 1972, v. 15, N 3, p. 383.

¹³ Я. Оорт. Галактики и Вселенная.— «Успехи физических наук», 1972, т. 106, вып. 4, с. 673—686; G. K. Miley, G. C. Perola, P. C. Van der Laan. Active Galaxies with Radio Trails in Clusters.— «Nature», 1972, v. 237, N 5353, p. 269—272.

¹⁴ Шварцшильдов радиус $r_g = \frac{2GM}{c^2}$ ($G = 6,68 \cdot 10^{-8}$ — гравитационная постоянная, M — масса тела) для Солнца составляет 3 км. Для «сверхзвезды» с массой $10^8 M_\odot = 2 \cdot 10^{42}$ г. этот радиус равен уже $3 \cdot 10^{14}$ см, так что плотность звезды с таким радиусом $\rho = \frac{3M}{4\pi r_g^3} = \frac{3c^6}{32\pi G^3 M^3} \sim 10^{-2}$ г/см³.

путях¹⁵. В случае других астрономических проблем, насколько нам известно, положенные аналогично. Ни в одном случае не доказано, что известная физика «отказывает» и что переход к новым представлениям действительно необходим. Сошлемся здесь хотя бы на заключительный пункт своеобразной «резолюции», принятой представительным собранием астрономов (в их числе находились и сторонники привлечения новых фундаментальных представлений — В. А. Амбарцумян, Г. Бербидж и Ф. Хойл) в отношении ядер галактик: «Отсутствуют убедительные указания на то, что пределы известной физики уже перейдены; вместе с тем многие явления еще должным образом не объяснены»¹⁶.

Резюмируя, нам представляется, что существующие расхождения во взглядах по обсуждаемому кругу вопросов сводятся не к спору о том, нужна ли «новая физика» вообще, а к значительно более конкретным оценкам ситуации в применении к скоплениям галактик, галактическим ядрам и некоторым другим астрономическим проблемам. По нашему убеждению, в отношении всех этих проблем вполне законна и естественна тенденция физиков и большинства астрономов не привлекать радикально новые физические представления до тех пор, пока это не диктуется необходимостью или, точнее, пока существующие представления не привели к явным принципиальным трудностям и противоречиям. Как сказано, такие трудности можно было бы констатировать, если бы было доказано, что в скоплениях галактик нет стабилизирующих их газовых или иных, пока еще невидимых масс. Или другой пример: если бы было доказано, что в поле Солнца световые лучи отклоняются хотя бы немного (на несколько процентов) слабее, чем согласно ОТО, то это свидетельствовало бы в пользу тензорно-скалярной теории гравитации, которую можно было бы отнести к «новой физике».

Тот факт, что физики не спешат отказаться от фундаментальных физических теорий и как-то их обобщать или изменять до установления вполне надежным образом противоречий между этими теориями и опытом или наблюдениями, отнюдь не должен считаться консерватизмом. Приведем следующее свидетельство, касающееся позиции по этому вопросу такого новатора в физике, как Э. Ферми.

¹⁵ Одним из направлений поисков «новой физики», тесно связанным с астрономией, является исследование возможности изменения фундаментальных постоянных (гравитационной постоянной G , постоянной сверхтонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c$ и др.) со временем. Вопрос этот, несомненно, заслуживает внимания (см.: Я. М. Крамаровский, В. П. Чечев. Изменяется ли заряд электрона с возрастом Вселенной?—«Успехи физических наук», 1970, т. 102, вып. 1, с. 141—142; F. Dyson. The Fundamental Constants and Their Time Variations. Preprint (1971), но до сих пор никаких реальных указаний на переменность констант еще не получено.

¹⁶ Les Noyaux des Galaxies. Semain d'Etude. Pontifica Academia Scientiarum Scripta Varia 35, 1971, p. 767.

«Исследовать на его оригинальность и интуитивное чутье нового, Ферми был того мнения, что в науке новые законы надо принимать только в том случае, когда нет иного выхода. Ему очень не нравилось стремление некоторых физиков найти «сверхновое», не исчерпав всех возможностей в рамках уже существующих принципов и законов. Если у читателя создалось впечатление, что Ферми был консерватором в науке, то это неверно. Речь идет не о консервативности подхода Ферми, а о его фундаментальности»¹⁷.

Фундаментальность, или, если угодно, «здоровый консерватизм», ни в коей мере не тождественный обычному консерватизму, были характерны и для тех выдающихся советских физиков, которых автор знал лично, — для Л. И. Мандельштама, Л. Д. Ландау, И. Е. Тамма. Люди разных вкусов, стиля и темперамента, все они были творцами новой физики, но одновременно отнюдь не были готовы рассматривать какие-либо обобщения, скажем, общей теории относительности до того, как будет убедительно доказана необходимость в таких обобщениях (мы не касаемся здесь квантовых обобщений).

Сказанное, конечно, не означает, что нужно в какой-то мере запрещать или мешать выдвижению новых идей и гипотез до тех пор, пока будет доказана непригодность уже известных представлений. Совершенно очевидно, что наука развивается не в результате бесконечного ожидания строгих доказательств и терпеливого переубеждения всех сторонников уже созданных теорий (и то и другое практически вообще невозможно!). Поэтому, несомненно, необычные физические представления в области астрономии не должны третироваться.

С другой стороны, у астрономов-радикалов нет никаких действительных оснований быть в претензии и считать консерваторами тех физиков и астрономов, которые относятся с большой осторожностью или даже с глубоким скепсисом к попыткам привлечь существенно новые физические представления для объяснения известных сейчас астрономических явлений и процессов, в том числе и остающихся недостаточно понятными¹⁸.

¹⁷ Б. Понтекорво, В. Покровский. Энрико Ферми в воспоминаниях учеников и друзей. М., 1972.

¹⁸ Замечания, содержащиеся в настоящей статье, были несколько развиты и дополнены автором в его Дарвиновской лекции (V. L. Ginzburg. Does Astronomy Need «New Physics»?— Quaterly Journal of Royal astronomical Society», 1975, v. 16, p. 265—281).

АСТРОФИЗИКА,
РЕЛЯТИВИЗМ И КАРТИНА МИРА

АСТРОФИЗИКА
И ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Астрофизика сейчас находится в периоде бурного и необычайно эффективного развития. Часто можно услышать даже утверждение, что эта наука заняла то место, которое еще недавно принадлежало физике элементарных частиц. Гигантские телескопы и целые системы радиотелескопов, покрывающие сеть Земли, астрономические инструменты, посылаемые на искусственных спутниках и космических кораблях, принесли астрофизикам огромную массу новых данных о далеких частях нашей Вселенной. Сейчас идет интенсивное накопление сведений о том, что происходит на расстояниях, превышающих 10 миллиардов световых лет (10^{23} км), и мы приближаемся к тому, чтобы получить информацию о самых первых этапах развития Вселенной. И все же, несмотря на несомненные успехи, астрофизика не может вытеснить с первого плана ни физику элементарных частиц, ни даже старую физику атомного ядра.

Наиболее драматические события в науке происходят, когда возникает столкновение разных направлений друг с другом. Любая наука в «спокойный» период своего развития занимается изучением следствий из положений, как будто бы прочно лежащих в ее основах¹. Однако постепенно накапливаются неувязки и прямые противоречия, которые заставляют пересматривать исходные принципы или аксиомы. Ясно, что когда сталкиваются две цепи рассуждений из разных областей естествознания, которые развивались из разных принципов или аксиом, то эти цепочки отнюдь не всегда должны «слиться», оказаться в полной гармонии друг с другом. Порой дисгармония оказывается очень сильной, возникает кризис; результатом его — человек до сих пор всегда умел находить выход из подобных кризисов — оказывается новая наука, объединившая уже в одной системе принципов (или аксиом) два, в прошлом независимых, направления.

Так было, когда столкнулись термодинамика с теорией излучения. Грандиозная «ультрафиолетовая катастрофа» завершилась рождением квантовой механики.

Так происходило развитие науки и при столкновении механики и электродинамики, которое привело к катастрофе с эфиром, на почве которой возникла теория относительности.

¹ См.: М. И. Подгорецкий, Я. А. Смородинский. Об аксиоматической структуре физических теорий.— В кн.: Вопросы теории познания. М., 1969.

Если проанализировать историю науки века, таких примеров можно найти очень много.

События в современной астрофизике кажутся предвестниками нового кризиса. В объектах, открытых во Вселенной за последние годы (квазары, пульсары и, наконец, «черные дыры»), должны происходить процессы, для которых характерно столкновение сразу нескольких наук. Из-за огромных масс и плотностей становятся существенными эффекты общей теории относительности; но эти же условия приводят к рождению новых частиц — процессам, описание которых требует применения теории релятивистских полей. Сильным испытаниям подвергаются также законы термодинамики и квантовой статистики. Наиболее критическим оказывается включение в явления, обычно относимые нами к области микромира, эффектов гравитационного поля, описываемых самой макроскопической из наук — общей теорией относительности. В новых астрофизических объектах явления микро- и макромира причудливо переплелись друг с другом. Казалось, что именно здесь и должен наступить новый кризис, именно здесь надо ожидать зарождения новой науки. Однако научный кризис тем и характерен, что он наступает не там, где его ждут.

До сих пор нет никаких указаний, что где-либо в космосе мы наталкиваемся на явления, не укладывающиеся в логические схемы известных физических теорий. Может быть, только в ядрах галактик, о которых мы еще очень мало знаем, есть надежда обнаружить что-то, что перевернет наши взгляды на природу. В этом смысле ожидание бури в астрофизике не оправдалось.

Нам кажется, что по-прежнему новые свойства материи,носящие фундаментальный характер, надо искать в микромире. Большие радиотелескопы не только не сделали излишним строительство гигантских ускорителей, а, напротив, распутывание сложных процессов в космосе еще с большей настойчивостью требует углубления наших знаний о свойствах элементарных частиц. Мы уже не говорим о том, что если удастся дойти в опыте до таких малых расстояний, на которых начинают играть роль гравитационные процессы², то мы, вероятно, сможем очень многое понять и в структуре звезд. Столкновение теории гравитации и теории элементарных частиц на двух концах огромной шкалы Вселенной представляется одним из самых красивых и самых загадочных феноменов науки. Астрофизика также дает нам и даст в будущем очень много сведений о релятивистских квантовых процессах. Но проникновение в просторы космоса и в глубины элементарных частиц должно происходить в гармоническом содружестве.

² Сейчас думают, что эти процессы имеют масштаб $\left(\frac{h\gamma}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33}$ см, но, может быть, гравитация вступает в игру на больших расстояниях.

Последние достижения физиков, исследующих микромир, позволяют им делать суждения о явлениях, происходящих в масштабах 10^{-15} см. На другом конце шкалы расстояний астрономы сообщают об открытии квазаров, находящихся на расстоянии примерно в 10^{10} световых лет, т. е. 10^{28} см. Информация, которой пользуется современное естествознание, покрывает собой шкалу, простирающуюся на 43 десятичных порядка. Должно казаться чудом, что (насколько мы сейчас знаем) физические законы, которые действуют на обоих концах этой шкалы, не входят в противоречие друг с другом.

Конечно, на одном конце шкалы в микромире в основном «работают» уравнения механики, а глобальные свойства Вселенной определяются космологическими уравнениями общей теории относительности. Но это разграничение областей легко объясняется относительной величиной двух длин, характеризующих гравитацию и электромагнитные взаимодействия: гравитационного радиуса частицы $\gamma M/c^2$ и, например, классического радиуса электрона e^2/mc^2 . Смотря на эти величины, мы сразу заключаем, что чисто гравитационные (неквантовые) эффекты не могут проявляться в областях размерами $\sim 10^{-14}$ — 10^{-15} , ибо гравитационный радиус электрона составляет около 10^{-55} см (а протона соответственно 10^{-52} см)—величина очевидным образом неэффективная в достигнутых теперь областях. Напротив, электродинамика не видит для себя никаких ограничений, и ее малая роль в глобальных свойствах пространства связана лишь с общей нейтральностью нашего мира на любой разумной макроскопической шкале. Электродинамика неожиданным образом оказалась безупречным аппаратом для изучения явлений на всех 43 порядках нашей шкалы. Она работает без ошибок в описании зарождения пионов и в излучении далеких квазаров: и здесь и там она дает возможность измерить расстояния и размеры столь далеких друг от друга объектов. Электромагнитное поле хорошо вписывается и в уравнения квантовой механики, и в уравнения гравитационного поля (по крайней мере не очень сильного; об этом ниже), выполняя обязанности своеобразного моста или переправы, позволяющей установить одни и те же физические понятия вдоль всей шкалы Вселенной.

Но микро- и макромир не всегда можно рассматривать независимо друг от друга. В недрах звезд и, быть может, в ядрах галактик плотности оказываются столь большими, что длины волн частиц сравниваются с расстоянием между ними, а гравитационные силы сравниваются с электромагнитными и ядерными, так что природа здесь предстает в своем самом сложном варианте—именно здесь заперты ключи к астрофизической истории Вселенной. Такие сложные процессы происходили во Вселенной в первые минуты после «большого взрыва», с кото-

рого началась ее история. Еще труднее разобраться в том, что происходит в областях, где плотность превышает плотность вещества в атомном ядре, — здесь, по-видимому, проходит сейчас граница нашего знания.

В основе всего нашего знания о физической картине мира лежат представления о пространстве и времени. С них мы и начнем.

ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА

Для Ньютона не было ничего удивительного в том, что все физические явления происходят на некоторой сцене — в пустом пространстве. Независимое (от материи) существование пространства и справедливость геометрии Евклида считались очевидными и не нуждались ни в какой аргументации. Сейчас эти представления кажутся наивными. Великие повороты обычно завершаются тогда, когда человек, наблюдая какое-то, часто давно знакомое явление, которое он раньше считал понятным и даже очевидным, вдруг озарялся вопросом «а почему?».

Когда Коперник опубликовал «О вращениях небесных сфер» и представил миру неподвижное Солнце и странствующую по орбите Землю, это было блестящей реализацией идеи, обсуждавшейся еще древними. Но идеи Коперника выходили далеко за рамки простого словесного описания гелиоцентрической модели. Устанавливая порядок планет, Копернику впервые удалось установить масштабы Солнечной системы — найти относительные расстояния планет от Солнца (выраженные в расстояниях Земля — Солнце). Система Птолемея была подобноинвариантна. Можно было изменить в одинаковое число раз все циклы (основной деферент и эпициклы) каждой планеты в отдельности без того, чтобы нарушить закономерности системы. В системе Птолемея устанавливались только угловые движения планет, а неравномерности угловых скоростей — как говорили, «неравенства» — объяснялись выбором относительных размеров разных кругов. Если для всех циклов одной планеты выбрать один и тот же множитель подобия, то угловая картина движения планеты не изменится. В этом смысле Птолемея система обладала семью элементами симметрии (по одной для каждой из пяти планет, Солнца и Луны).

Система Коперника была уже менее симметрична. В ней можно было изменять только один свободный параметр — умножать все расстояния на один и тот же множитель. С точки зрения физики нашего времени шаг Коперника можно было бы даже осудить (физик все время ищет новые симметрии), если бы не одно важное свойство гелиоцентрической системы (которое не всегда подчеркивают, даже в серьезных исследованиях). Описывая движение планет, Коперник, по существу дела, разлагал это движение в ряде Фурье (с точностью до первой степени

эксцентриситета). Почти то же делалось и в системе Птолемея. Но исключив главных два движения³ остановкой Солнца, Коперник для каждой планеты избрал свою собственную основную частоту — частоту обращения этой планеты вокруг Солнца. В системе Птолемея к этой частоте примешивалась частота обращения Земли, и картина запутывалась.

В результате в системе Коперника возникла таблица чисел, состоящая из двух столбцов: в одном из них стоят расстояния до планет, а в другом — периоды обращения. Первые до Коперника никто не знал, а вторые не были столь явно выделены. Через 27 лет после смерти Коперника родился человек, которому эти два столбца показались заслуживающими внимания. Это был Иоганн Кеплер, спросивший себя — откуда берутся эти числа, какая связь между обоими столбцами. Кеплер был первым, кто не поверил, что числовые закономерности в природе могут быть случайными, и заявил, что они должны иметь общую причину.

Разрушив симметрии системы Птолемея, Коперник подготовил все для следующего шага. Этим шагом стал третий закон Кеплера, связывающий периоды и времена обращения планет $T_1^2 : T_2^2 \dots = R_1^3 : R_2^3 \dots$ отношение квадратов времен обращения равно отношению кубов средних расстояний до Солнца. Эта новая более сложная (и более содержательная) симметрия пришла на смену простой симметрии Птолемея. Заметим, что она сохраняет и симметрию Коперника: мы можем заменить все R на λR , не нарушая отношений.

В этих трех эпизодах (Птолемей — Коперник — Кеплер) великолепно отражена основная закономерность эволюции науки — поиск симметрии. Но еще больше в этих эпизодах нас интересует переход от вопроса «как?» (как движутся планеты? — вопрос Коперника) к вопросу «почему?» (почему они так движутся? — вопрос Кеплера). Между этими двумя вопросами часто проходит граница новой эры в науке.

В истории науки, конечно, важны не только вопросы. Искусство предлагать природе вопросы еще не все, что надо. Важно еще, как в это время отвечают на вопрос. Для Кеплера описание движения планет, сформулированное в форме трех законов, было конечным ответом на поставленные им самому себе вопросы. Хотя Кеплер и рассуждал о силе, исходящей от Солнца (он сначала писал «душа», но впоследствии предлагал заменить это слово на «сила»), но его рассуждения были слишком неопределенны, чтобы их мог счесть ответом Ньютон.

С точки зрения Ньютона Кеплер только описывал, как движутся планеты. Ответ на вопрос: почему они так движутся — был заключен в ньютоновских уравнениях механики и в законе все-

³ Этим двум движениям в системе Коперника отвечало обращение Земли вокруг Солнца и суточное вращение Земли.

мирного тяготения. Ньютон на самом деле смог рассказать, почему движутся планеты! Но — удивительное дело! — подобно тому как древних не смущали свойства океана, в котором, по их представлениям, плавала наша Земля, Ньютона никак не интересовали свойства пространства, в котором происходят описанные им события. Не только Ньютон, но и все другие великие и малые естествоиспытатели в течение более 100 лет не задавались вопросом: почему пустое пространство — евклидово? Только Лобачевский, Боян, Гаусс и Риман почувствовали неудовлетворенность такой априорной уверенностью в простоте ситуации. Но хотя многие и после них обсуждали этот вопрос, только А. Эйнштейн увидел его глубокую связь с природой тяготения. Эйнштейн спросил, почему все тела падают с одинаковым ускорением (как они падают, описал еще Галилей), и обнаружил еще одну симметрию, формулируемую теперь как принцип эквивалентности.

Принцип эквивалентности имеет прямое отношение к геометрии пространства. В геометрии Евклида понятие прямой линии подразумевалось интуитивно ясным; его определение: «прямая линия есть та, которая равно-расположена по отношению к точкам на ней», — мало что говорит. Прямая линия в реальном пространстве — это нечто такое, что мы должны уметь построить.

Для того чтобы построить прямую линию, у физика есть, по крайней мере, три метода. Если надо провести прямую между двумя точками, расположенными на конечном расстоянии друг от друга, то можно натянуть между ними канат; можно использовать для этой цели материальную точку, летящую по инерции; можно, наконец, провести эту прямую пучком света, иначе говоря, использовать в качестве материальной точки квант света. В классической механике все три способа приводят к одному результату — в случае пустого пространства. Но в пространстве, где есть гравитационное поле, из-за принципа эквивалентности у нас нет никакого способа изолировать прибор от действия этого поля. Поэтому мы не можем построить евклидову прямую в реальном мире; мы можем принять любой из способов построения прямой за ее определение и построить таким образом (или, правильнее сказать, изучить) геометрию пространства. Важность такого подхода состоит в том, что геометрия изучается средствами самого наблюдателя (так сказать, внутренним образом), а не с точки зрения какого-то внешнего наблюдателя, который видит мир «со стороны» плавающим, как в Мировом океане, в безбрежном евклидовом ящике Ньютона.

Работы Лобачевского и Римана показали, что такой путь не приводит к противоречию, что на самом деле геометрий может быть много и только опыт способен помочь нам узнать, каково же наше пространство на самом деле. Это была главная отправная идея нового понимания пространства. С этой идеей одновременно пришла и другая. Определяя геометрию пространства

опытным путем, мы сразу обнаруживаем, что это трудно сделать покоящимися телами. Разные канаты будут прогибаться по-разному, когда мы их попытаемся натянуть между двумя точками, и нам не избежать неопределенностей в выборе стандартного каната.

Но, изучая геометрию с помощью движущихся тел, мы с необходимостью приходим к четырехмерному пространству и понятию геодезической линии. Таким образом, можно было установить геометрию мира в каждой точке четырехмерного пространства-времени. Однако таким способом устанавливаются лишь локальные свойства пространства. Надо теперь понять, как сравнивать масштаб в двух разных точках и как определять геометрию в удаленных точках пространства.

Здесь мы подходим к задачам астрофизики. Небесные объекты находятся далеко от нас, и у нас нет никаких надежд увидеть их с точки зрения сопутствующего локального наблюдателя. В то же время необходимо на этих далеких объектах измерять расстояния, промежутки времени и вообще описывать все события, происходящие на далеких звездных мирах, в наших «домашних» земных терминах.

ЭТАЛОН ВРЕМЕНИ И ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ

Чтобы понять, каким образом человеку удастся мысленно перенестись на астрономические расстояния, и восстановить всю картину событий, скажем еще несколько слов о четвертом измерении — времени. В классической механике шкала пространственных измерений и шкала времени совершенно независимы. Единица времени — секунда и единица длины — метр никак не связаны друг с другом. Это утверждение надо понимать в следующем смысле. Представим себе, что необходимо передать какому-то далекому наблюдателю земные эталоны: метр и секунду. Если мы перешлем ему только линейку, то она не может установить, что такое секунда, если он будет пользоваться одними лишь сведениями из классической механики. Напротив, используя теорию относительности — зная, что скорость света одинакова для всех наблюдателей, он сможет измерить время прохождения света, длину присланного эталона длины и построить эталон времени. Специальная теория относительности именно в этом смысле уничтожила разницу между пространством и временем, уменьшив число эталонов вдвое. Достаточно иметь только эталонные часы (или только эталонную линейку), чтобы восстановить масштабы по всем четырем осям координат⁴. Таким

⁴ При этом еще предполагается, что все направления в пространстве равноправны и что поворот линейки не изменяет ее длину. Но эти представления использовались уже в классической механике.

образом, время в значительной степени утратило свое исключительное положение⁵.

Говоря о промежутках времени и, в особенности, рассуждая о возрасте Вселенной, нельзя забывать, что по самой своей природе человек задает шкалу времени сообразно своей практической деятельности. Так возникают единицы времени — секунда и год, отражающие в какой-то мере жизненные циклы нашего организма или окружающей живой природы. Эти масштабы характерны и для Солнечной системы. Но если, например, мы отправимся в прошлое и достигнем тех времен, когда никаких планет не было, то масштабы событий задаются скорее периодами обращения электронов в атомах, а потом и движением нуклонов. Наш же год, как эталон времени, никакого смысла иметь не будет, ибо нет никаких систем, которые могли бы этот эталон сохранить. Однако, если мы будем совершать путешествие от рождения Вселенной к современности, то обнаружим, что ядерные и атомные эталоны проходят свой путь во времени неизменившимися. Мы без колебаний считаем, что атомные часы не изменяют свой ход со временем⁶. Поэтому атомы (и ядра) каким-то образом «умеют» сохранять интервалы времени. Смотри на спектр какого-нибудь элемента из далекой галактической системы, мы убеждены, что если бы в этой системе был наблюдатель, то он видел бы такой же спектр, как и на Земле, а если спектр, который мы видим, не совпадает со спектром того же элемента на Земле, то это различие происходит от разных расстояний и относительных скоростей. Это очень важное обстоятельство не всегда достаточно подчеркивается: если бы у нас не было неизменных атомных часов, то установить метрику мира было бы, по-видимому, невозможно. Совсем недавно, в 1973 г., это обстоятельство было очень четко сформулировано Дираком, в связи с вопросом о возможном изменении постоянной тяготения⁷.

КВАНТОВЫЕ ЭТАЛОНЫ

Итак, мы постулируем, что квантовые часы по определению ходят точно. К этому мы еще добавляем, что с помощью света можно преобразовать эталон времени в эталон длины, и тогда вся наша система оказывается покоящейся на одном-единствен-

⁵ Время, конечно, остается исключительным измерением в динамических процессах, играя роль «упорядочивающей координаты», по которой устанавливаются причинные связи явлений, но это его качество не связано со шкалой.

⁶ Есть и экспериментальное подтверждение неизменности атомных постоянных. В спектрах далеких галактик измерено то же тонкое расщепление, что и в земных спектрах. Это значит, что постоянная тонкой структуры не изменилась со временем.

⁷ P. A. M. Dirac. Long Range Forces and Broken Symmetries.— «Proceedings of Royal Society of London», 1973, v. 333, A, p. 400.

ном факте — неизменности атома в пространстве и времени⁸. Во всех рассуждениях, связанных с общей теорией относительности и астрофизикой, мы придерживаемся этого отделения квантовых эффектов от гравитации. Если попробовать излагать теорию гравитации, не прибегая к помощи атомов, то мы должны ограничиться решениями уравнения тяготения без правой части, т. е. без тензора энергии-импульса. В этом случае роль источников гравитационного поля могут играть высокочастотные компоненты самого поля гравитации, которые мы можем перенести в правую часть уравнений и назвать тензором энергии-импульса. Однако у этого тензора будет одна особенность: его след равен нулю и, следовательно, из него нельзя составить скаляра, который бы мог сыграть роль эталона массы.

Мы имеем возможность несколько расширить рамки модели и включить в нее еще и электромагнитное поле, которое тоже имеет тензор энергии-импульса, равный нулю. Таким образом, мы приходим к модели Вселенной, построенной из гравитационных и электромагнитных волн. В такой Вселенной, как нетрудно увидеть, масштаб длины отсутствует: из имеющихся фундаментальных постоянных постоянной тяготения γ , скорости света c (и даже добавляя к ним постоянную Планка $\hbar$) нельзя составить величину размерности длины или массы. Заметим, что заряд по размерности совпадает с $(\hbar c)^{1/2}$, так что его можно ввести в нашу модель.

Это значит, что такая модель остается чисто геометрической, в ней нет масштабов длин: интервал ds может быть умножен на произвольную функцию $\sigma(x)$ от всех четырех координат. Смысл такого преобразования ясен — в этой модели все возмущения движутся по световым конусам, уравнения которых не изменяются при умножении на $\sigma(x)$.

Эйнштейн в период поисков правильных уравнений считал, что тензор энергии-импульса не должен иметь следа, так что все свойства мира должны выводиться из полевой теории. Из этих ранних идей родилась идея сведения всех свойств к геометрии — идея, которую Эйнштейн не смог превратить в теорию. Сейчас мы видим, что причина неудач кроется в глубоком различии свойств гравитации и атомов. Первая не содержит внутри себя масштабов длины, эти масштабы связаны с атомной структурой. Кажется, что здесь лежат очень глубокие свойства мира, которые препятствуют (по крайней мере простому) объединению гравитации и квантовой механики.

⁸ Ясно, что все это верно, если гравитационные поля практически не изменяются в масштабах атома. Что будет в случае если это предположение нарушается, сказать с определенностью трудно.

Вопрос об изменении гравитационной постоянной впервые был поднят Дираком. Поводом для его постановки послужило странное совпадение двух чисел. Масштабы времени во Вселенной определяются ее «возрастом», или, что то же, обратной величиной постоянной Хаббла (коэффициентом пропорциональности между расстоянием и скоростью далеких галактик). Эта величина составляет по современным данным примерно $2 \cdot 10^{10}$ лет $\equiv 6 \cdot 10^{17}$ сек. Если измерять время в атомных единицах, то за масштаб следует выбрать какую-либо из электромагнитных или квантовых величин. По-видимому, разумно обходиться без постоянной Планка. Тогда естественной мерой может служить время прохождения светом «классического радиуса электрона»:

$$T_a = \frac{1}{c} \cdot \frac{e^2}{mc^2} \sim 10^{-23}.$$

Заметим, что T_a может служить и естественным ядерным масштабом.

Если измерять возраст Вселенной в таких единицах, то получим безразмерную величину порядка $6 \cdot 10^{40}$ (примерно столько раз успел проколебаться нуклон в ядре).

Время жизни — это, так сказать, кинематическая характеристика. Сравним теперь силы, которые действуют в атоме (скажем, водорода). Отношение электрических сил к гравитационным выражается формулой

$$e^2/\gamma Mm \sim 2 \cdot 10^{39}.$$

Эти два числа $6 \cdot 10^{40}$ и $2 \cdot 10^{39}$ отражают фундаментальные свойства мира. Удивляет в них то, что они очень близки друг другу и что природа может быть охарактеризована такими большими безразмерными числами.

Может быть, что совпадение и случайно. Обычно в подобных случаях возникал соблазн считать, что природа обоих чисел в каком-то смысле одинакова и что справедлива формула примерно такого типа:

$$\frac{1}{TH} = \frac{1}{H} \frac{mc^3}{e^2} = 2 \gamma \frac{e^2}{\gamma Mm}$$

или

$$\gamma = 2 : H \frac{e^4}{Mm^2 c^3}.$$

Такая формула, написанная «по рецептам» теории размерностей, выглядит вполне правдоподобной. Можно было бы высказать сомнения в том, какие массы должны входить в знаменатель, но даже замена масс не вызовет слишком больших рас-

хождений. Аргумент в пользу такой формулы был бы один: она связывает интенсивность сил тяготения с возрастом мира; тогда постоянная γ становится переменной величиной, уменьшающейся со временем, так что $\Delta\gamma/\gamma = \Delta H/H$ и число 10^{39} становится случайным; оно определяется просто эпохой, в которой мы живем. Правильно ли это предположение, покажет опыт. Сейчас уже известно, что относительное изменение γ не превышает 10^{-10} в год. Ближайшие годы принесут ответ на вопрос, изменяется ли γ или нет.

Предположим пока, что гипотетическая формула, написанная выше, оказалась правильной. Согласно этой формуле мы можем говорить об изменении γ , только считая атомные масштабы неизменными.

В чистой гравитационной теории изменение γ со временем не имеет физического смысла, так как не существует другой величины той же размерности, сравнение с которой обнаружило бы изменение γ . Для того чтобы это можно было сделать, надо сравнивать гравитационные явления — движения планет и спутников — с атомными масштабами и измерять время атомными числами. Именно так и происходит современный эксперимент по измерению γ . Дирак, который подчеркнул это обстоятельство, вводит понятие двух интервалов ds_E и ds_A . Первый из них — эйнштейновский — определяется из измерений движений в поле тяжести, а второй строится по результатам атомных измерений. Они совпадают только в случае, если γ не зависит от времени. Измерение отношения ds_E/ds_A и вводит метрику в геометрию пространства.

РЕШЕНИЕ ШВАРЦШИЛЬДА

Если гравитационное поле создается материальным телом (массу которого мы обозначим через M), то тем самым сразу же задается эталон длины, который называют гравитационным радиусом:

$$R_0 = \frac{2\gamma M}{c^2}.$$

Гравитационный радиус получается из классического электромагнитного радиуса e^2/mc^2 , у которого e^2 заменено на γM^2 . Материальное тело создает вокруг себя гравитационное поле, которое описывается метрикой Шварцшильда. Для нас важно следующее обстоятельство. Если метрика вокруг тяжелого тела рассматривается с точки зрения покоящегося наблюдателя, то на расстояниях от тела $r = \frac{2RM}{c^2} = R_0$ (отсюда и двойка!) коэффициенты в метрике обращаются либо в ноль (при dt^2 , либо в бесконечность (при пространственной части). Это значит, что

с точки зрения покоящегося наблюдателя пространство на этой «сфере Шварцшильда» «кончается». Наблюдатель не может получить никакой информации о том, что происходит внутри этой сферы. Однако не следует думать, что на сфере Шварцшильда происходит что-то особенное. Если наблюдатель будет падать на центр, то для него никаких особых происшествий во время пересечения этой сферы не произойдет; никаких особых поверхностей для него не существует.

В этом примере физики натолкнулись впервые на то, что геометрия пространства может быть такой, что не все области оказываются доступными наблюдению. Вещество может поступать внутрь сферы Шварцшильда, но не может оттуда выходить.

Если мы предположим, что вся масса тела, создающего поле, находится под сферой Шварцшильда, то наблюдатель, находящийся снаружи, не может ничего узнать о природе этого тела, о его внутренней структуре. Для него сфера Шварцшильда выступает только как источник гравитационного поля конечного радиуса. В смысле геометрии такой источник определяет масштаб длины, поле перестает быть «безразмерным», его симметрия понижается, но на этом его роль и заканчивается. Никакие измерения, проведенные снаружи, ничего не скажут нам о распределении массы в его недрах.

Невозможность получить информацию о внутренних областях источника не должна особенно нас удивлять. С похожим явлением мы встречаемся и в обычной, ньютоновской теории гравитации. Ньютон доказал теорему, согласно которой тело со сферически симметрично распределенной плотностью создает такое же гравитационное поле, как точечное тело той же массы. Отсюда следует, что никакими измерениями гравитационного поля снаружи нельзя узнать, как распределена масса по радиусу тела.

Теорема Ньютона может быть усилена. Биркгоф показал, что если имеется система материальных точек или тел, движущихся или покоящихся, если их распределение все время сохраняет сферическую симметрию, то гравитационное поле такой системы будет статическим шварцшильдовым полем. Опять мы встречаемся со случаем, когда внешние измерения не позволяют определить всех свойств системы. Эти примеры, конечно, слабее модели, о которой мы говорили вначале; однако они помогают понять суть явления.

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Решение Шварцшильда получило в последние годы очень эффективное и важное применение. Давно было известно, что если материальное тело (мы будем говорить дальше — звезда) имеет массу, в несколько раз превышающую солнечную, то такая звезда под действием сил тяготения будет неограниченно сжиматься,

неограниченно близко подходя к своему гравитационному радиусу. При этом из-за возрастающего гравитационного поля (равного ∞ при $R=R_0$) звезда перестает излучать свет радиоволны и превращается в невидимый, но тяжелый темный объект — черную дыру. Существование таких «черных дыр» во Вселенной долго подвергалось сомнению. Сейчас существуют достаточно убедительные (хотя и не безусловно надежные) данные о том, что одна из компонент двойной звезды X-1 в созвездии Лебедь похожа на черную дыру.

Наблюдаются рентгеновские лучи, которые, как считают, происходят оттого, что существует поток ионизированного газа от светлой компоненты к темной. Есть и еще несколько кандидатов в черные дыры. Однако кардинального ответа вопрос пока еще не получил.

Черные дыры, если они существуют, представляют собой объекты с совершенно новыми для астрономов свойствами. Внешний наблюдатель может измерить массу и момент количества движения черной дыры. Эти два параметра (M и J) полностью характеризуют поведение черной дыры для внешнего наблюдателя. Что происходит внутри «дыры», мы знать не можем. Черная дыра предстает как постоянно действующий «сток» вещества. Мир, лежащий по ту сторону горизонта (так называют поверхность, которая отделяет от наблюдателя недоступную ему область), лежит как бы на другом листе атласа. Геометры даже используют этот термин, указывая, что внешность и внутренность «черной дыры» нельзя отобразить на одну плоскую карту — необходимо их иметь по крайней мере две. Если двойная звезда в Лебеде на самом деле содержит черную дыру, то тогда нет оснований сомневаться и в том, что таких объектов во Вселенной много. Тогда во Вселенной мы столкнемся с проблемой, которая давно волнует физиков, исследующих элементарные частицы: такие законы определяют спектр масс черных дыр — произвольны ли они или их значения ограничены какими-то значениями. Какие ограничения могут быть установлены, если мы смогли хотя бы теоретически понять, что происходит внутри звезды; если бы могли сшить внутреннее и внешнее решения задачи.

Во всяком случае, мир с большим количеством черных дыр выглядит крайне несимметричным: ему не хватает гармонии. Более того, существование черных дыр и разных листов атласа наводит на подозрение, что должны существовать и белые дыры — проходы со второго листа обратно в наш мир. Белые дыры должны выглядеть как непрерывные источники энергии, поступающей во Вселенную. Такие «белые дыры» будут сравнительно быстро сгорать, и если опять обратиться к аналогии с микромиром, можно сказать, что наша Вселенная несимметрична и подобно тому, как в ней нет антипротонов, в ней нет и «антидыр».

Напишем теперь одну формулу, определяющую решение

Шварцшильда. Квадрат четырехмерного интервала в поле тяжелого тела может быть написан так:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{R_0}{r}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_{\text{чп}}}{R_0}} - r^2 dN,$$

где $r^2 dN$ — квадрат обычного двумерного элемента длины на поверхности сферы, а R_0 — гравитационный радиус тяжелого тела $= 2\gamma M/c^2$. Для луча света, который распространяется по радиусу $ds=0$, и

$$\frac{dr}{dt} = \left(1 - \frac{R_0}{r}\right) c.$$

Если (как это часто принято) описывать движение графиком в координатах x, y, z и ct , то вне поля тяготения графики лучей света образуют трехмерный конус; осью служит ось времени. Такое описание соответствует тому, что в трехмерном пространстве свет от точечного источника распространяется в виде расширяющейся сферической волны.

С приближением к сфере Шварцшильда скорость света, распространяющегося от «черной дыры», будет уменьшаться, свет будет «падать» обратно на «дыру». Для удаленного наблюдателя это означает, что все частицы и кванты света будут двигаться вместе с черной дырой и не смогут вырваться из ее поля — черная дыра как бы «исчезнет». Формально это исчезновение произойдет лишь за бесконечное время, — ведь с точки зрения того же удаленного наблюдателя время в сильном гравитационном поле течет медленнее. К этому, однако, добавляется еще один эффект, который влияет на наблюдаемую картину. В гравитационном поле изменяется частота излучения — по мере приближения к гравитационному радиусу она уменьшается, а на самой сфере Шварцшильда частота обращается в нуль (т. е. поле становится статическим). Но на достаточно большом расстоянии от сферы Шварцшильда излучение должно практически исчезнуть: это произойдет потому, что в спектре излучения обычных объектов-атомов и молекул практически нет линий со сколь угодно большими частотами, которые могли бы, претерпев красное смещение, попасть в регистрируемую часть спектра. Этот эффект, в частности, объясняет, почему трудно наблюдать квазары с очень большим красным смещением: слишком беден линиями спектр таких квазаров.

Таким образом, «черная дыра» не только не отпускает от себя ни частиц, ни квантов света, но и «гасит» их, уменьшая их частоту, а значит, и энергию. Полезно подчеркнуть, что такая картина возникает благодаря принципу эквивалентности; лишь в рамках этого принципа свет обладает гравитационной массой

и может взаимодействовать с гравитационным полем. Не только кванты света не могут покинуть черную дыру. Так же обстоит дело с самими гравитационными волнами. Гравитационное поле черной дыры статично. Оно описывается как статическое поле источника с массой m . Черная дыра в принципе может содержать в себе электрический заряд. Электромагнитное поле такого образования тоже статическое и характеризуется только полным зарядом Q .

Наконец, черная дыра может вращаться, ее угловой момент — спин служит третьей ее характеристикой.

Спин черной дыры принято обозначать через a . В обычных единицах угловой момент

$$J = mca.$$

Следовательно, черная дыра для внешнего наблюдателя предстает как точечный объект, характеризуемый тремя числами m , Q , a . Аналогия с элементарной частицей напрашивается сама собой. Могло бы показаться, что существует более полное описание поля черной дыры, которое учитывает зависимость поля от больших подробностей распределения массы и заряда. Могло бы, например, случиться, что электрическое поле зависело от дипольного или квадрупольного электрического моментов. Теория, однако, показывает, что такого рода эффекты быстро вымирают со временем, при образовании черной дыры, и никаких других характеристик кроме m , Q и a внешний наблюдатель измерить не может. В этом смысле черная дыра даже беднее элементарной частицы, которая может иметь более высокие электромагнитные мультипольные моменты.

Черная дыра обладает еще одним парадоксальным свойством. Внешний наблюдатель не может узнать, сделана ли она из вещества или антивещества. Так как никакие сигналы не могут выйти из черной дыры, то нельзя выяснить, что произойдет с протоном, упавшим в дыру, — аннигилирует он или нет. Поле ядерных сил, которое окружает протон, не может выйти во внешнее пространство. Так как такое поле протона, в отличие от электромагнитного поля, имеет конечный радиус действия, то этот радиус уменьшается, и поле, так сказать, уходит внутрь черной дыры. Значит, черная дыра оказывается местом, где нарушаются (с точки зрения обычного внешнего наблюдателя) по крайней мере два закона сохранения — энергии и барионного заряда.

Аналогия с элементарной частицей навела на мысль построить теоретически частицу, у которой гравитационная энергия и энергия электростатическая компенсировались бы. Не следует думать, что получилось бы образование космических размеров; ведь черная дыра предстает перед внешним наблюдателем как точечная частица. Такая «скомпенсированная» частица, которую М. А. Марков назвал «фридмоном», могла бы играть существен-

ную роль в природе (если, конечно, существует на самом деле). Массу ее легко оценить, приравнявая γm^2 и e^2 :

$$m \sim e/\gamma^{1/2} \sim 4,80 \cdot 10^{-10}/2,6 \cdot 10^{-4} \sim 2 \cdot 10^{-8} \text{ г.}$$

Интересным объектом является вращающаяся черная дыра. Ее строение можно схематически описать как обычную сферическую дыру, окруженную эллипсоподобной «эргосферой», касающейся сферической дыры на полюсах. В эргосфере частицы ведут себя различно: те, что двигаются по вращению, могут выскочить в окружающее пространство; те, что движутся против вращения, падают в центр. Асимметрия проявляется в захвате частиц вращающейся черной дырой. В принципе внутри «эргосферы» может происходить частичный возврат энергии, накопленной в черной дыре.

Если какая-нибудь частица, способная к распаду, попадет в эргосферу и распадется в ней, то одна из частиц — продуктов распада может поглотиться дырой, а за этот счет вторая (если распад происходит на две частицы) вылететь наружу, увеличив свою кинетическую энергию.

Однако такой механизм «выкачивания» энергии не слишком эффективен. Было показано, что у черной дыры должна остаться масса не меньшая, чем

$$m_0^2 > \frac{1}{2} \pi m [m + (m^2 - a^2)^{1/2}].$$

К этому можно добавить, что черные дыры при столкновении могут слиться в одну. Но и при этом они не будут полностью аннигилировать: не более 70% их полной массы покоя может вращаться в виде излучения. По-видимому, создание полной теории образования черной дыры, основанной на механизме коллапса, потребует еще значительной работы.

Кроме черной дыры в гравитационном поле могут существовать и точки, где гравитационное поле становится очень большим, без того, чтобы в этом месте была массивная звезда. В таких точках будут происходить процессы, для описания которых необходимо будет также выйти за рамки обычных представлений.

Очень возможно, что таких особенностей на самом деле нет — здесь еще многое остается непонятным.

Появление черных дыр нарушает спокойное течение событий в космологии. Однородная Вселенная Фридмана выглядела очень симметричной и простой; такой простой, что трудно было не поддаться соблазну считать ее реальной.

Сейчас видно, что симметрия Фридмана нарушена. Вселенная несет в себе сама свои масштабы длин и масс, которые как-то (может быть, через черные дыры) связаны с квантовыми свойствами вещества. Мир опять, как это было не раз перед научными переворотами, предстает перед нами запутанным и

сложным. Целые области оказываются выключенными даже из мысленного эксперимента. Можно ли разобраться в таком мире? Хватит ли ресурсов человечества для того, чтобы сделать со Вселенной то, что когда-то сделал с Солнечной системой Коперник? Проблемы астрофизики переплелись с проблемами микромира, и, по-видимому, надо увидеть новую симметрию, объединяющую микромир и Вселенную, чтобы опять вернуть ей утраченную на время гармонию.

Но если мы не в состоянии еще мысленно окинуть взглядом всю Вселенную, которая еще недавно могла казаться такой простой, мы должны сосредоточить усилия на понимании свойств «особых точек» Вселенной, мест выделения и поглощения энергии, которые могут играть существенную роль в определении масштабов Вселенной.

Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков

ПРОБЛЕМЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИИ

ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ, ЕЕ ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ

Что представляет собой наблюдаемая нами Вселенная? До последнего времени мы могли наблюдать непосредственно лишь светящиеся тела, т. е. почти исключительно звезды, звездные системы.

Здесь важно отметить, что в малом масштабе звезды распределены совершенно неравномерно. Это стало ясно с того момента, когда поняли, что Млечный путь является скоплением звезд. По мере того, как сила телескопов возрастала, выяснилось, что галактик много, что они распределены неравномерно и что общая картина Вселенной представляется чем-то вроде совокупности отдельных относительно плотных образований — скоплений галактик. Причем среднее расстояние между ними порядка 30 мегапарсек — 100 млн световых лет, средний размер 3—5 мегапарсек, т. е. средний размер в 10 раз меньше, чем расстояние между ними. Это означает, что средняя плотность каждой структурной единицы в 100—1000 раз больше, чем та плотность, которая бы получилась, если бы все вещество разместить по всему пространству. Скопления распределены более или менее хаотично. Таким образом, в масштабе 30 мегапарсек имеются отдельные структурные единицы, и, следовательно, Вселенная неоднородна. Если возьмем в 10 раз больший масштаб, то в таком кубе (содержащем в среднем около 1000 скоплений), где бы его ни помещать, будет примерно одно и то же количество скоплений

галактик, т. е. в большом масштабе Вселенная приблизительно однородна.

Пока исследовались скопления галактик с помощью оптических телескопов, мы не слишком глубоко проникали в пространство, так как оптический телескоп позволяет исследовать объекты (наиболее яркие!), находящиеся на расстоянии не более 5 млрд световых лет. Это значит, что число скоплений галактик, доступных исследованию, порядка миллиона. С другой стороны, точность наблюдений оптической астрономии была невелика, и утверждение относительно того, что мир в среднем однороден, имело точность порядка 10—20%. Новые наблюдательные возможности последнего десятилетия, о которых мы будем говорить в дальнейшем, позволяют сделать утверждение об однородности в больших масштабах с несравненно более высокой точностью.

Таким образом, первый факт, на который следует обратить внимание,— это неоднородность Вселенной в малом масштабе и однородность в большом масштабе. Так, если мы будем рассматривать песок под микроскопом, то обнаружим, что он состоит из отдельных песчинок различного цвета, различных геометрических форм и т. п., а если смотреть невооруженным глазом, то мы увидим некое однородное вещество. Подобная же ситуация имеет место во Вселенной, где роль «песчинок» играют галактики.

Второй момент, на который необходимо обратить внимание, это вопрос о движении структурных единиц, о движении скоплений галактик. Наблюдения показали, что скопления удаляются от нас, причем чем дальше скопление, тем с большей скоростью оно удаляется.

Подчеркнем, что единственная величина, которую мы можем измерить, это проекция скорости скопления на направление движения. Непосредственно по результатам наблюдений мы не можем заключить — движется ли данное скопление галактик точно по лучу зрения или вкось? Единственный способ измерять движение галактик — это измерение смещения частоты спектральных линий в свете галактик. По этому смещению вычисляется скорость по лучу зрения. Все расстояния так велики, что, несмотря на большую скорость, наблюдать смещения скоплений на небе не удается. Эти смещения — за пределами возможностей современных инструментов. С наблюдательной точки зрения мы не можем отличить, движется ли то или иное скопление относительно нас точно по лучу зрения или же при этом имеется еще заметная поперечная скорость. Для решения проблемы мы принимаем очень важный по существу, методологический принцип, который можно назвать принципом Джордано Бруно или множественности миров — принцип эквивалентности разных мест во Вселенной.

Нельзя ли представить себе, что в действительности удаление происходит не обязательно по прямым линиям, но что возможны

и вращательные, касательные движения? Оказывается, если мы допустим, что наблюдатель в любом другом скоплении галактик видит такую же картину, как и мы, то из принципа, что мы не находимся в исключительном положении (принцип Джордано Бруно)¹, следует, что не должно быть боковых относительных скоростей, а должны быть относительные скорости, направленные строго от нас. Таким образом, картина расширения, при которой все скорости в нашей системе координат направлены строго по радиусам, на самом деле есть результат не только наблюдений, но и соединения наблюдений с принципом Джордано Бруно, согласно которому такая же картина должна наблюдаться из любой другой галактики².

Весьма существенно, что прямые исследования подтвердили принцип Джордано Бруно. Оказалось, что при усреднении по большим масштабам свойства разных мест во Вселенной действительно одинаковы. Сейчас этот принцип, доказанный наблюдениями, называют принципом пространственной однородности Вселенной. Все скопления удаляются друг от друга, и ни одно из них не находится в выделенном положении.

Итак, мы наблюдаем красное смещение спектральных линий, причем это смещение, а следовательно, и скорость пропорциональны r -расстоянию до галактики. При определении этой зависимости самым трудным является измерение расстояний до галактик. Многие трудности в космологии были связаны с тем, что способ определения расстояния был не очень надежен и он все время совершенствуется. Поэтому меняется численная константа в законе $V = Hr$. В этом законе легко определить V , но трудно определить r . Поэтому величина H определялась не точно и продолжает уточняться до сих пор. Она «изменилась» в полтора раза за последние пять лет, потому что уточнялся масштаб, «метр», «линейка», с помощью которых мы измеряем расстояние. Так что количественно здесь не все точно известно. Но важно подчеркнуть, что сам качественный вид этого закона — пропорциональность V и r — установлен с высокой точностью.

Такова картина общего расширения окружающего нас мира, которая следует из соединения наблюдений и некоторого методологического принципа, подтвержденного наблюдениями.

Теперь обратимся к прошлому. Ясно, что если сейчас галактики находятся на некотором расстоянии друг от друга, причем система галактик расширяется, то в прошлом они были ближе друг к другу. В какой-то момент в прошлом они должны были оказаться соприкасающимися, и этот момент характерен не толь-

¹ Этот принцип в зарубежной литературе иногда называют «космологическим принципом».

² Математическое доказательство этого утверждения см. в кн.: Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Строение и эволюция Вселенной. М., 1975.

ко для двух скоплений, но и для всех скоплений галактик. Это видно из характера формулы:

$$t = \frac{r}{v} = \frac{1}{H}.$$

Расстояние пропорционально скорости, значит, $\frac{1}{H}$ есть характерное время, в течение которого проходило разбегание скоплений. В действительности время несколько меньше, так как взаимное тяготение галактик уменьшает скорость с течением времени, поэтому средняя скорость несколько больше скорости, измеренной в настоящее время. По современным оценкам $1:H=18$ миллиардов лет. Следовательно, около 18 млрд лет тому назад было какое-то качественно иное состояние окружающего нас мира. Отдельных скоплений и самих галактик не было, вещество было в очень плотном состоянии. Таким образом мы приходим к идее эволюционной космологии. Согласно современной космологии, состояние вещества в прошлом качественно отличалось от сегодняшнего состояния. Сама эта идея общей эволюции с большим трудом овладевала сознанием даже крупных ученых.

В качестве примера можно привести самого творца теории относительности Эйнштейна. Когда он создавал общую теорию относительности, он понимал, что эта теория нужна будет в космологии. Получив первые уравнения теории, он стал выяснять, есть ли у этих уравнений *статические* решения, т. е. решения, описывающие состояние, не меняющееся со временем. Из общих философских соображений Эйнштейн считал желательным построить статическую, неэволюционирующую модель Вселенной.

Нередко бывает, что уравнение физической теории содержит больше того, что мог предвидеть теоретик, создавший теорию. Ведь математика по существу играет роль логики, и логики очень сильной, содержащей даже те силлогизмы, которые человек не видит в момент формулирования теории. Так вот, уравнения общей теории относительности не давали статических решений. Тогда Эйнштейн стал их изменять. Идея статического мира казалась привлекательной в начале века. Она питалась фактом-видимой стационарности, неизменности астрономических систем, будь то наша Солнечная система, звездные скопления или галактики. Поэтому казалось естественным наблюдаемое постоянство астрономических явлений в малой шкале сопоставить с постоянством астрономических явлений в большой шкале. Словом, долгое время считалось желательным построить картину Вселенной, которая бы не только удовлетворяла пространственному принципу Джордано Бруно (все точки Вселенной равноценны друг другу), но и дополняла бы этот принцип аналогичным принципом, относящимся ко времени (чтобы вообра-

каемый путешественник на машине времени фантаста Уэллса видел в прошлом и в будущем картину, которую мы видим сейчас)³.

С сегодняшней точки зрения это антиэволюционное предубеждение, эти поиски статических решений кажутся принципиально неправильными, неразумными прежде всего потому, что мы видим эволюцию везде. Там, где раньше видели только покой или вращение по стационарным орбитам, мы теперь видим картину эволюции. Начать с того, что мы видим картину эволюции в распаде радиоактивных веществ. Эти вещества необратимо распадаются. Если бы Земля существовала вечно, то все радиоактивные вещества распались бы и мы не могли бы их находить в земной коре. Но мы знаем, что это не так, что радиоактивные вещества существуют в Земле, значит с момента образования Земли (и радиоактивных веществ) прошло конечное время. Более того, по количеству радиоактивных веществ в горных породах определяют возраст Земли.

Далее, мы видим, что Солнце излучает энергию, и мы знаем, что эта энергия есть результат ядерных реакций. Конечно, ядерные реакции весьма калорийны, но они имеют конечную калорийность. И если Солнце светит, то оно расходует ядерное горючее, и этого горючего может хватить, как показывают подсчеты, примерно на 10 млрд лет, но не на бесконечность. Мы знаем, что возраст Солнца не больше 5 или 10 млрд лет, а возраст старых звезд около 12—15 млрд лет.

Обратим внимание, что есть замечательное соответствие между тем промежутком времени, который получен из космологии, из механических соображений о движении галактик от начала расширения, и возрастом, который получен из других соображений — из соображений об эволюции звезд. Словом, статическая картина для нас неприемлема. И если бы сегодня надо было заново строить теоретическую космологию, мы потребовали бы, чтобы космология была эволюционной, в частности, чтобы она содержала в себе указание на эпоху, когда во Вселенной началось рождение звезд и т. д.

Следует подчеркнуть, что убежденным сторонником эволюционного подхода ко всей современной астрономии является В. А. Амбарцумян. Его настойчивое требование рассмотрения эволюционных процессов, и особенно процессов в ядрах галактик, заслуживает всяческого уважения и находится в русле всей современной картины эволюции Вселенной, хотя можно и не соглашаться с отдельными конкретными положениями его концепции.

Прежде чем подробнее говорить о прошлом Вселенной, начнем с более простого вопроса — чего можно ожидать в будущем? Вопрос о том, что станет в будущем с расширяющимся миром

³ Так называемый совершенный космологический принцип.

скопления галактик, зависит от соотношения между скоростью их удаления и силой, с которой они друг друга притягивают. Скорость расширения мы знаем из наблюдений достаточно точно. Сила притяжения определяется средней плотностью вещества во Вселенной, которая, к сожалению, известна недостаточно хорошо. Таким образом, вопрос о будущем Вселенной есть вопрос о средней плотности вещества⁴. Оказывается, что существует критическая величина плотности, приблизительно равная 10^{-29} г/см³ или 10^{-5} атома в см³, т. е. 10 атомам водорода в одном кубическом метре. Если плотность материи во Вселенной превышает эту величину, то удаление галактик будет с течением времени замедляться, затем остановится и перейдет в сближение. Красное смещение превратится в фиолетовое. Эта смена удаления сближением аналогична тому, как подъем ракеты с поверхности Земли сменяется падением в том случае, если она запущена со скоростью меньшей, чем вторая космическая скорость. Если плотность вещества во Вселенной меньше критической, то расширение будет продолжаться неограниченно. Но фактическое определение плотности вещества очень трудная задача. Оно связано с конкретным исследованием трудно наблюдаемого вещества (например, несветящегося вещества в галактиках), с определением количества разреженного горячего газа и других видов материи.

Согласно современным данным, плотность вещества во Вселенной равна приблизительно одному атому на кубометр, т. е. примерно в 5—10 раз меньше, чем то критическое значение, которое достаточно для остановки расширения и перехода к сжатию. Отсюда для будущего Вселенной следует вывод: если плотность вещества в 10 раз меньше критической, то его тяготение не сможет остановить расширения системы галактик. Общее расширение будет продолжаться вечно, неограниченно долго. Этот вывод, однако, не может считаться окончательным, ибо некоторые виды материи наблюдать очень трудно. Так, трудно обнаружить межгалактический газ, слабо светящиеся звезды и т. д. Надо только подчеркнуть, что когда говорят о расширении Вселенной, то имеется в виду удаление скоплений галактик друг от друга, а не расширение «всего на свете». Здесь нет простого подобия. Во Вселенной есть разные галактики, разные небесные тела, между которыми — огромные пустоты. Если несколько небесных тел связаны силами тяготения в единую систему (подобно Солнцу и планетам в Солнечной системе или звездам в той или иной галактике), то эти системы не расширяются. Тем более не расширяются отдельные небесные тела-звезды, планеты.

Иногда приходится слышать утверждение, что все расши-

⁴ Под средней плотностью подразумевается плотность вещества всех галактик и другой материи, равномерно распределенная по всему пространству.

ряется в силу расширения Вселенной. Это совершенно неверно, расширение относится именно к относительному движению скоплений галактик, к усредненному движению в очень больших масштабах, а не к отдельным изолированным объектам, гравитационно связанным, в которых плотность вещества гораздо больше средней во Вселенной.

Вопрос о будущем движения скоплений, таким образом, сравнительно прост. Правда, он связан с определением некоторой конкретной величины — средней плотности материи, но концептуально он ясен. Что же касается прошлого, то, как мы уже отмечали, был момент, когда отдельные скопления почти касались друг друга, а еще раньше отдельные скопления вообще не могли существовать. Значит еще раньше картина была какая-то качественно другая, было состояние большей плотности, не было отдельных тел.

Специальный раздел космологии — исследование ситуации, которая существовала при очень высокой плотности. Для изучения этой проблемы большое значение имеет открытие так называемого реликтового излучения. Речь идет о следующем. Считалось, что во Вселенной в среднем в одном кубическом метре имеются одна-две частицы — один атом водорода, т. е. один протон и один электрон. Оказалось, что это глубоко неверное утверждение. На самом деле в одном кубическом метре имеется еще примерно 400 млн. фотонов.

В 1965 г. было сделано открытие, что космос пронизан электромагнитным излучением с длинами волн в сантиметровом и миллиметровом диапазоне. В этом излучении, как уже говорилось, имеется огромное число фотонов. Такое радиоизлучение нельзя приписать ни звездам, ни отдельным другим источникам. Фотоны обладают очень малой энергией, это кванты радиоволн. Важнейшим свойством излучения, получившего название реликтового, является то, что оно имеет равновесный спектр, описываемый формулой Планка с температурой около 3°K . Масса каждого из фотонов, эквивалентная его энергии, составляет примерно 10^{-13} от массы атома водорода.

Поэтому при подсчете средней плотности вещества фотоны можно не учитывать, хотя их очень много, но каждый из них обладает чрезвычайно малой массой. Как показывает расчет, все эти 400 млн фотонов, находящиеся в кубическом метре вместе с одним атомом водорода, обладают массой меньше одной тысячной массы атома водорода.

Однако наличие фотонов оказывается очень существенным при рассмотрении вопроса о прошлом Вселенной, и вот по какой причине. Когда мы прослеживаем космологическое расширение, мы должны сказать, что массы атомов в нашу эпоху остаются неизменными, а энергия каждого фотона убывает, т. е. убывает температура реликтового излучения. Поэтому масса фотонов также убывает и будет завтра меньше, чем сегодня,

Следовательно, если мы идем в будущее, роль этих фотонов оказывается все меньше. Если же мы идем в прошлое, мы должны будем сказать, что сегодняшние фотоны обладают массой меньшей, чем они обладали вчера, что вчера они были более энергичными, т. е. что в прошлом температура их была выше. Таким образом, двигаясь в прошлое, мы приходим к картине «горячей Вселенной». В прошлом фотоны имели большую энергию, их большая температура играла определенную роль в физических процессах.

Сегодня температура этого излучения около 3°К . В звездах, в Солнечной системе температура определяется излучением звезд и Солнца, и она гораздо выше. Реликтовое же радиоизлучение сейчас почти не имеет значения в физических процессах. Его можно измерить с помощью чувствительной аппаратуры, но существенной роли оно не играет. Совсем иная картина наблюдалась в прошлом. Возьмем момент, когда все расстояния были в 1000 раз меньше. Тогда температура была 3000° . Еще раньше был момент, когда температура была $3\,000\,000^\circ$ и т. д.

Картина эволюции такова, что в ранний период расширения Вселенной мы имели высокотемпературную плотную плазму, которая была смесью протонов, электронов и фотонов, более или менее равномерно распределенных в пространстве. Лишь по мере расширения и охлаждения должны были создаваться условия для слипания отдельных атомов друг с другом или по крайней мере для объединения их в скопления повышенной плотности, в результате чего образовались небесные тела различных масштабов.

В еще более далеком прошлом температура была еще выше, чем $3\,000\,000^\circ \text{К}$, и был период, когда в плазме в равновесии было много электронно-позитронных пар.

В настоящее время небесные тела состоят из частиц, но не античастиц (т. е. из протонов, нейтронов, электронов, но не антипротонов, антинейтронов, позитронов). Земля и Солнце состоят из протонов, нейтронов и электронов. В принципе какие-то далекие тела могли бы состоять не из протонов, нейтронов и электронов, а из античастиц. Но тогда где-то на границе между одними и другими телами наблюдалась бы аннигиляция вещества и антивещества. Ничего подобного не наблюдается. И отсюда делается вывод (к этому имеются еще и косвенные доказательства), что, по-видимому, в настоящее время и в ближайшем прошлом везде мы имеем дело с протонами и электронами, но не с античастицами. Говорят, что Вселенная зарядово-несимметрична — есть много частиц и почти нет античастиц. В прошлом во Вселенной, когда существовали очень высокие температуры, фотоны были столь энергичными, что при их столкновении могли рождаться протоны и антипротоны. Поэтому здесь к некоторому количеству протонов добавлялось еще большее количество антипротонов. Таким образом, мы приходим к выводу,

что в далёком прошлом мир был почти зарядово-симметричным. Повторим кратко описание картины эволюции Вселенной в направлении увеличения времени от сингулярного состояния к нашим дням (а не от сегодняшнего дня к прошлому, как мы это делали до сих пор). Важнейшей проблемой космологии является проблема сингулярного состояния — проблема начала космологического расширения. По-видимому, в сингулярности сильнее всего изменяются свойства пространства и времени; возможно, они приобретают квантовый характер. Конкретной физической теории подобного необычного состояния нет. Наука только нащупывает пути подхода к этой проблеме.

Если оставить пока в стороне вопрос о сингулярности, то картину эволюции Вселенной от очень большой плотности можно проследить с помощью законов физики, применимость которых в соответствующих условиях не вызывает сомнений. Когда плотность была чрезвычайно высока, то была чрезвычайно высока и температура. Поэтому в плазме был в равновесии набор элементарных частиц самого различного сорта, но в этом наборе количество вещества было чуть больше, чем количество антивещества. По мере расширения температура снижалась, поэтому процесс аннигиляции (взаимного уничтожения протонов и антипротонов) оказывался сильнее, чем процесс рождения пар частиц-античастиц. По мере охлаждения равновесие нарушалось: вначале исчезли протоны и антипротоны, осталось только относительно небольшое количество протонов, равное их избытку над антипротонами при высокой температуре; потом аннигилировали электроны и позитроны, остался лишь избыток электронов; в результате плазма оказалась состоящей из протонов, электронов и огромного числа взаимодействующих с ними фотонов. Примерно на этой стадии во Вселенной при достаточно высокой температуре происходил синтез легких элементов, образовалось около 30% (по весу) He^4 и небольшая примесь дейтерия и других элементов. Основная же масса вещества осталась в виде водорода. А еще позднее, когда протоны соединились с электронами в атомы водорода (и гелий тоже стал нейтральным), вещество начало объединяться в отдельные галактики.

Таким очень схематично представляется нам «сценарий» развития Вселенной. Хочется подчеркнуть, что сценарий этот относится к однородной Вселенной. Но если предположить, что начальное распределение вещества было строго равномерным, то эволюция Вселенной привела бы к картине равномерно распределенного газа без отдельных небесных тел; они могли возникнуть, согласно теории, лишь из небольших вначале неоднородностей.

Итак, оказывается, что та часть картины, которая математически рассмотрена полностью, не полностью удовлетворяет современным наблюдениям. Некий очень важный момент в картине отсутствует — отсутствует распад вещества на скопления га-

лаптик, галактики и т. д. Поэтому один из главных вопросов, над которыми работают сегодня космологи, — это переход от идеализированной картины строго однородной Вселенной к картине Вселенной, неоднородной в масштабах скоплений галактик. Оказывается (и это недостаток теории), необходимо предположить, что зародыши тех неоднородностей, которые мы наблюдаем сегодня, существовали и в начальном состоянии. Если мы не будем исходить из этого предположения, то мы не получим разделения вещества на отдельные галактики сегодня. Следовательно, полная теория, включающая в себя и образование галактик, требует предположения о том, что в самом начальном состоянии, когда плотность была чрезвычайно велика, распределение и движение материи были лишь приблизительно однородными. Слово «приблизительно» здесь так же нельзя опустить, как и слово «однородно». Если мы опустим слово «однородно», мы получим картину очень неправдоподобную, ибо наблюдения говорят об однородности в больших масштабах. Но если мы опустим слово «приблизительно», то скоплений галактик не будет. Значит, нужно предположить, что была некоторая неравномерность распределения плотности, или непостоянство, как говорят физики, метрики пространства времени. Если предположить, что было непостоянство метрики, тогда, по-видимому, можно будет получить полную картину эволюции Вселенной от момента сингулярности, включающую процесс образования галактик. Следует подчеркнуть, что сейчас такая теория только разрабатывается и не все вопросы разрешены.

Один из важных вопросов заключается в следующем: какова амплитуда начальных неоднородностей в зависимости от их размера, т. е. каков начальный спектр неоднородностей? Можно, например, задать неравномерность в большом масштабе, которая содержит еще неоднородность гораздо меньшего масштаба. Оказывается, что эта «мелкая рябь», по законам физики, должна исчезать со временем. В период, когда температуры высоки, происходит сглаживание мелких неоднородностей, а крупные неоднородности сохраняются. При этом варианте расчетов мы приходим к картине, согласно которой из расширяющегося остывающего газа вначале образуется скопление галактик, потом в них выделяются отдельные галактики и в галактиках отдельные звезды.

В другом варианте конкретной теории образования галактик предполагается, что главным в отклонении от картины однородного изотропного расширения было вихревое движение вещества. У этой концепции есть свои трудности, заключающиеся в том, что она требует отказа от картины изотропного расширения в начале эволюции и совершенно специального подбора начальных условий вблизи сингулярности. Это те проблемы, над которыми сейчас работают, поэтому окончательных выводов пока делать нельзя.

В числе наблюдательных проблем большое значение имеют исследования спектра реликтового излучения и его интенсивности в разных направлениях на небе. Малые отклонения от полной равновесности этого излучения (которые пока не обнаружены!) помогут установить картину эволюции в прошлом неоднородностей распределения вещества и формирования отдельных небесных тел.

Такова в самом общем виде фактическая сторона дела в космологии. Мы описали очень кратко и схематично вопросы, исследуемые современной космологией. Характерной ее чертой является исследование не только кинематики, механики расширения (как это было лет 20—30 назад), но в первую очередь физики процессов. Космология стала физической наукой. Она, как любая естественная наука, делает предсказания на основе своих теорий, которые проверяются наблюдениями.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ КОСМОЛОГИИ

Остановимся подробнее на принципиальных основах космологии, физико-математическим фундаментом которой является общая теория относительности. В связи с этим возникает следующий вопрос: в какой мере мы можем пользоваться современной физической теорией при развитии астрономии и астрофизики вообще, космологии в частности?

Когда обсуждают этот вопрос, то выдвигают конкретные соображения. Всегда при переходе в исследовании к другим масштабам, возникают новые качественные явления, обусловленные этими масштабами. Спрашивается, должны ли проявиться какие-то новые законы по той причине, что мы переходим от масштабов Земли и Солнечной системы к масштабам Вселенной в целом? Мы думаем, что такие новые закономерности обязательно проявляются и они уже отражены в космологии. Сама теория относительности с ее понятием искривления пространства-времени есть та самая теория, которая необходима именно для больших масштабов, для сильных, релятивистских полей тяготения, т. е. для Вселенной, — в отличие от ньютоновской теории, которая вполне хороша для Солнечной системы, для Галактики, но приводит к парадоксам, когда ее применяют к космологическим задачам. Общее среднее искривление трехмерного пространства в космологии важно только в большом масштабе. Соотношение между общей теорией относительности и евклидовой геометрией и ньютоновской физикой вполне аналогично ситуации с геометрией на искривленной поверхности для больших и малых кусков. Для больших кусков надо учитывать искривление поверхности, для малых кусочков поверхности хороша плоская геометрия. Таким образом, общая теория относительности как раз и есть та новая теория, которая необходима для больших масштабов и дает качественно новые эффекты.

Где же можно ожидать проявления новых закономерностей уже сверх общей теории относительности? По-видимому, классическая общая теория относительности становится недостаточной там, где кривизна пространства-времени превышает определенный предел, связанный с квантовой теорией. Речь идет о сингулярном состоянии в прошлом, в начале космологического расширения. Вблизи этого состояния огромны плотности вещества и огромны искривления пространства-времени. Из соображений размерности можно указать параметры, при которых в явлениях гравитации (а значит, и искривления пространства-времени) начнут сказываться квантовые эффекты. Из фундаментальных постоянных физики: постоянной тяготения G , скорости света c и постоянной Планка $\hbar$ можно построить величину размерности длины:

$$r_{\text{крит}} = \left(\frac{\hbar G}{c^3} \right)^{1/2} \approx 10^{-33} \text{ см.}$$

Когда радиус искривления пространства-времени очень мал (кривизна $\sim \frac{1}{r^2}$ — очень велика), общая теория относительности уже не применима, поскольку существенны квантовые эффекты. Теории, соответствующей этому радиусу искривления, пока нет. Величине r крит. соответствует время t крит. $\approx r$ крит. $\times c \approx \approx 10^{-43}$ сек. В этот период в начале космического расширения общая теория относительности неприменима. Для анализа необходима новая обобщенная теория.

Таким образом, существует период, для описания которого нужно слить вместе общую теорию относительности и квантовую теорию. Но нельзя понятие нового понимать слишком узко. Есть некоторый снобизм в том, чтобы считать новым лишь получение и применение новых уравнений. Новое — это также и новые выводы, новые результаты в рамках уже существующих теорий. Комбинация хорошо известных законов, проявляющихся в необычных условиях Вселенной, часто приводит к абсолютно нетривиальным новым результатам. Такого рода примером может служить в космологии теория «горячей Вселенной».

Если новое в снобистском смысле ограничено далеким моментом в прошлом и сегодня не проявляется непосредственно, то новое в смысле качественно новых выводов из существующих уравнений — это результаты, которые могут относиться к явлениям, уже сейчас существующим вокруг нас. Если говорить конкретно об общей теории относительности и астрономии, то новой возможностью является принципиальная возможность того, что мир хотя и безграничен, но замкнут, как безгранична, но замкнута поверхность шара. В действительности, вероятно, в природе осуществляется противоположная ситуация (как мы уже подчер-

кинали выше) — плотность во Вселенной меньше критической и объем трехмерного пространства бесконечен. Тем не менее принципиальная возможность замкнутого мира важна.

Новым в астрофизике является полученный из теории относительности вывод о возможности образования в конце эволюции массивных звезд — черных дыр. Смысл его заключается в том, что при сжатии звезды до размеров гравитационного радиуса (порядка нескольких километров) сила тяготения возрастает настолько, что не выпускает никакого излучения.

Черная дыра — это новое или не новое? Мы думаем, что это качественно новое явление, предсказанное общей теорией относительности. Теоретики построили теорию процессов в окрестности черных дыр и указали, что газ, падающий в поле тяготения «дыр», будет сильно нагреваться и излучать рентгеновские лучи. Есть основания думать, что черные дыры уже открыты по рентгеновскому излучению падающего газа.

Подчеркнем два важных момента, отличающих космологию от физики. Первое — это то, что в космологии невозможен прямой эксперимент: проверка теорий осуществляется путем наблюдений. Второе отличие заключается в следующем. До сих пор задача физики состояла в том, чтобы устанавливать законы, в которые можно подставлять те или иные начальные условия. Например, на основе законов баллистики мы можем рассчитать траекторию снаряда, подставив ту или иную начальную скорость и направление выстрела. В космологии, говоря образно, у нас только один выстрел. Мы не вправе рассматривать много разных вселенных, мы имеем одну Вселенную. Откуда, каким образом можно задать единственные начальные условия? До сих пор в физике такие задачи не ставились.

Сегодня мы ограничиваемся тем, что пытаемся из наблюдений выяснить эти начальные условия, т. е. пытаемся реконструировать прошлое. Будущие исследования должны дать ответ на вопрос, *почему* начальные условия в расширяющейся Вселенной были те, а не другие. Необходимо также дать ответ на вопросы: почему Вселенная расширяется изотропно, почему она в большом масштабе однородна и имеются отклонения от однородности в масштабах скоплений галактик, почему Вселенная горячая?

В последнее время намечается возможность того, что учет квантовых явлений сильно ограничит допустимые типы начальных условий по сравнению с классической общей теорией относительности. Это является важным шагом в направлении теоретического объяснения начальных условий. С другой стороны, надо помнить условность самого термина «начальные» условия. Мы строим космологию как теорию эволюции от сингулярности до настоящего времени и дальше в будущее, отвлекаясь от вопроса о том, что было до сингулярности. Такое ограничение постановки задачи является необходимым условием развития на-

уки на определенном этапе. Однако при философском осмыслении проблемы нельзя упускать из вида, что этап этот когда-то закончится и тогда вопрос об эволюции до сингулярности станет одним из важнейших вопросов космологии.

Уже сейчас делаются первые попытки подойти к решению этой проблемы. Происходило ли на предыдущем этапе (до сингулярности) сжатие вещества? Или, может быть, вещество до начала расширения всегда было в сверхплотном особом состоянии? При попытках осмысления этой проблемы надо иметь в виду следующее. Особенность современной теории заключается в том, что пространство и время низложены с пьедестала абсолюта, который они занимали в теории Ньютона. Пространство и время не являются вечной, неизменной сценой, на которой приходящие артисты — частицы, поля разыгрывают свою пьесу. Свойства пространства-времени зависят от движущейся материи. Поэтому, когда речь идет о сингулярности, т. е. о бесконечной плотности материи, то сама постановка вопроса о природе времени до сингулярности становится неочевидной. Свойства времени и пространства вблизи сингулярности могут, например, приобретать квантовый характер, могут в корне изменяться топологические свойства пространства-времени, возможно, само понятие «до» теряет смысл или коренным образом изменяется.

Таким образом, в современной космологии есть и конкретные задачи относительно ближайшего прошлого и проблемы, в которых формулировка задачи трудна и нуждается в философском осмыслении.

Несомненно, что развитие физики — теоретической и экспериментальной — и развитие астрофизики — теоретической и наблюдательной — решит и эти трудные вопросы.

Н. В. Мицкевич

**КОСМОЛОГИЯ,
РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА
И ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

Вселенная, в которой мы живем, удивляет своей неистощимой фантазией.словно карточные домики, она разрушает наши самые смелые прогнозы, причем делает это как раз в минуты наибольшей нашей самоуверенности. Достаточно вспомнить прогнозы физиков на XX век, когда все были убеждены в принципиальной завершенности здания науки. Но те облачка, которые тогда нарушали идиллию ясных небес физики, разрослись в бурю

становления теории относительности и квантовой механики. Эта буря захлестнула все смежные науки и поднялась до самых сфер астрономии, казавшихся до этого застывшими в своем безразличном великолепии. И, словно пришла в движение кинолента, с которой прежде демонстрировался застывший кадр: Вселенная оказалась полна своей особой жизни, своего титанического развития, в котором один неповторимый этап сменялся другим, столь уже уникальным. Это было разящей неожиданностью даже для таких непредвзятых и критических умов, как Эйнштейн.

Потрясенное человечество увидело себя между двумя бездонными пропастями — миром бесконечно малого с его чуждыми нам вероятностными законами и мегамиром, также ускользающим от нашего обыденного представления. Однако сам диалектический факт встречи с этими мирами знаменовал начало их познания человеком.

Выход в микро- и мегамир был подготовлен первыми же шагами научно-технической революции — огромными достижениями эксперимента и теории, тесно связанными между собой и питавшими друг друга. Стали возможны прецизионные измерения длин, времени, различных характеристик вещества и полей. Были достигнуты сверхнизкие и сверхвысокие температуры, высокий вакуум и «столь же» высокие давления. Наконец, лабораторный эксперимент в ряде областей достиг своего «потолка», и потребовались принципиально новые приборы, невозможные в лаборатории и вообще на нашей Земле. Оказалось, что для дальнейшего овладения секретами природы необходимо «поместить в лаборатории» целую звезду, галактику и даже (какой кошунственной показалась бы такая мысль исследователям прошлых веков!) Вселенную. Причем Вселенная как лабораторный прибор необходима не только для анализа глобальных проблем, но — диалектически — и для изучения тонкостей микромира, проверки таких деталей теории (например, гравитации), которые ускользают от исследователя в рамках Земли, Солнечной системы, отдельных галактик. В своих Джэйновских лекциях 1969 г. Р. Дикке дал яркие примеры этой ситуации¹; здесь же мы подойдем к ней с несколько иной стороны.

Попытаемся бросить общий взгляд на связи между мегамиром и микромиром, как они вырисовываются в современной науке в виде трудностей и проблем теории. Наш подход не может претендовать на полноту: здесь нет места ни для строгого изложения материала, ни для выхода за некоторые условные рамки, определенные привычками и вкусами автора (хотя не только ими) и «принципом дополнительности» по отношению к другим статьям этой книги. Мы коснемся здесь некоторых сторон сингулярностей в теории гравитации; роли в ней квантовых представлений (включая недавние попытки реинтерпретации и моди-

¹ Р. Дикке. Гравитация и Вселенная. М., 1972.

фикации последних), связанных с ними надежд и целей исследователей; попыток связать некоторые космологические модели со структурой элементарных частиц; поисков удивительных совпадений (прежде всего мировых констант) в мега- и микромире; надежд на построение некой единой физической теории, заменяющей в определенной области и квантовую теорию, и релятивистскую теорию тяготения. Ясно, что в одной статье об этом можно сказать лишь вскользь, с неизбежным привнесением субъективной окраски.

СИНГУЛЯРНОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

Еще в классической максвелловской электродинамике были известны трудности, отчасти сводящиеся к сингулярностям, а отчасти — родственные им. Примером первой является бесконечная собственная энергия точечного заряда; о второй несколько раз упоминал в своих выступлениях Дж. А. Уилер — это падение электрона на ядро атома вследствие потери энергии на излучение в классической (неквантовой) теории. Эта последняя трудность была устранена уже на первых шагах развития квантовой теории. Уилер высказывал в связи с этим предположение, что и трудности типа коллапса в теории тяготения могут быть симптомом назревающего перехода к новой теории типа квантовой (в этой области). Однако в общей теории относительности имеется качественная специфика, отличающая ее сингулярность. Мы сталкиваемся здесь с особой ролью светового конуса, определяющего допустимые направления движения частиц в пространстве-времени, и с ориентацией векторов Киллинга относительно конуса, что дает критерий стационарности (или принципиальной нестационарности) пространства-времени в данной области. Векторы Киллинга описывают свойства симметрии пространства-времени, носящие название подвижности или изометрии; простейшие примеры этих свойств — симметрии по отношению к сдвигам или поворотам. В результате предсказывается явление гравитационного коллапса, когда частицы (в том числе и свет) проходят поверхность односторонней мембраны и, направляемые шорами светового конуса, неотвратно падают на сингулярность поля (где кончаются их мировые линии). Это явление приобрело уже права гражданства в релятивистской астрофизике, особенно в связи с предполагаемым открытием «черных дыр» во Вселенной.

Что же представляет собой сингулярность (например, в поле Шварцшильда), на которую неотвратно падают зашедшие за гравитационный радиус частицы? Сама сингулярность изображается здесь пространственноподобной мировой линией, тогда как материальные объекты (кроме гипотетических тахионов) обладают временноподобными линиями. Гравитационное поле на ней неограниченно велико — инварианты, квадратичные по

кривизне, расходятся. Эту сингулярность нельзя рассматривать как истинное материальное тело, порождающее шварцшильдовское гравитационное поле, — оно не подчиняется здесь принципу причинности, двигаясь вне светового конуса. Естественно думать, что вблизи сингулярности теория, в которой она возникает, теряет силу. В. Л. Гинзбург пишет в связи с этим: «Наличие сингулярностей не лишает смысла и не делает противоречивыми соответствующие решения. Поэтому, видимо, нет вполне строгих оснований считать решения и модели с сингулярностями лишь ограниченно годными, приближенными и т. п. Тем не менее при появлении сингулярностей естественно возникает вопрос о законности использования теории (в данном случае ОТО) при сколь угодно больших значениях ρ и R_{ijkl} . Более того, если говорить о физической интуиции, являющейся продуктом накопленного физикой опыта, то наличие сингулярностей представляется явно неприемлемым. Наконец, под ОТО мы, как и обычно, понимаем построенную Эйнштейном классическую теорию гравитационного поля g_{ij} , а такая теория... заведомо ограничена в связи с неучетом квантовых эффектов, которые вблизи сингулярностей, вообще говоря, особенно велики. Таким образом, необходимость анализа пределов применимости ОТО в сильных гравитационных полях и особенно вблизи сингулярностей не вызывает сомнений»².

Мы привели здесь этот абзац из работы В. Л. Гинзбурга полностью, ибо только так можно увидеть, на грани какой ломки представлений стоят современные исследователи. Могло бы показаться, что приведенная цитата внутренне противоречива, на самом же деле в ней делается возражение против огульного отрицания всей теории из-за того, что она имеет определенные границы применимости. Но нет и никогда не будет абсолютной, неограниченно применимой теории, и уж тем более нельзя поэтому нигилистически относиться к теориям существующим: факт их объективности не имеет никакого отношения к ложному требованию абсолютности! В космологии положение аналогично, и слова В. Л. Гинзбурга относятся именно к ней (почему он и апеллирует к бесконечной плотности). В конце концов он ставит вопрос о построении квантовой теории гравитации и квантовой космологии, которым должны соответствовать какие-то специфические решения, сшивающиеся с классическими на умеренных плотностях. Причем все это, заключает Гинзбург, «повидимому, является сейчас космологической проблемой номер один»³.

С. Хоукинг и Дж. Эллис развивают аналогичную мысль, исследуя сингулярности в гравитации, но захватывают при этом и неэйнштейновские варианты теории, сравнительный анализ ко-

² В кн.: Гравитация, проблемы и перспективы. Киев, 1972, с. 40.

³ Там же.

торых в последние годы привлекает все большее внимания. Их высказывание вполне четко: «Возможно, что ОТО не дает корректного описания Вселенной. Эта теория была пока проверена лишь в случаях, когда отклонение от плоского пространства весьма мало (при радиусах кривизны порядка 10^{12} см). Поэтому ее приложение к таким объектам, как коллапсирующие звезды, для которых радиус кривизны становится менее 10^6 см, — это огромная экстраполяция... Видимо, разумно предположить, что предсказание физической теорией сингулярности служит указанием на нарушение этой теории, т. е. на то, что она дальше не дает верного описания наблюдаемых фактов. Встает вопрос: где терпит такое крушение общая теория относительности?»

Исходя из соображений размерности, авторы, естественно, приходят затем к выводу, что сама теория гравитации вместе с общими идеями относительности и квантовой механики не может дать критического радиуса кривизны, превышающего 10^{-33} см, и критической плотности, меньшей 10^{94} г/см³; это, конечно, совершенно неудовлетворительно, так что предлагается считать критическими для ОТО области, где радиус кривизны достигает лишь 10^{-15} см («внутри» элементарных частиц), и вводить специальные поверхности такого радиуса. «На нашей стороне этой поверхности была бы приемлема структура многообразия для пространства-времени, тогда как на обратной стороне потребовалось бы еще не известное квантовое описание. Пересекая эту поверхность, вещество (как можно думать) проникало бы во Вселенную или покидало ее, и не было бы никаких оснований для того, чтобы эти процессы находились в равновесии»⁴.

Авторы и здесь делают упор на программу построения квантовой теории пространства-времени с возможными обобщениями структуры многообразия и топологии, однако сразу же замечают, что понимание этой проблемы еще не достигнуто. Мысли о топологических изменениях в пространстве-времени в малом вследствие флуктуаций метрики высказываются также Р. Пенроузом, ранее же всего они были взяты на вооружение, вероятно, Ч. Мизнером и Дж. Уилером⁵.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ГРАВИТАЦИЯ

Ввиду очевидности того, что классические и квантовые законы не могут (в известном смысле) одновременно действовать в одних и тех же масштабах, возникает потребность квантового обобщения релятивистской теории гравитации в областях, где, по крайней мере, действие становится сравнимым с постоянной

⁴ S. W. Hawking, G. F. R. Ellis. The Large Scale Structure of Space-Time. Cambridge, 1973, p. 362—363.

⁵ См.: Р. Пенроуз. Структура пространства-времени. М., 1972, с. 15; Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино, Вселенная. М., 1962, с. 159, 333.

Планила. Работы в этом направлении начались давно, еще Л. Розенфельдом (1930), М. П. Бронштейном (1936), Д. Д. Иваненко и А. А. Соколовым (1947 г.), С. Н. Гуптой (1952 г.), Дж. Л. Андерсоном (1954 г.) и другими. Общие обзоры этой проблемы (с разных позиций) можно найти в ряде публикаций⁶. Подход к гравитации как к физическому полю, подлежащему вторичному квантованию, т. е. связанному со специфическими элементарными частицами — гравитонами, никак не выходит за рамки традиционных идей теоретической физики, если не обращать внимания на совершенно особую связь между гравитацией и пространством и временем. Конечно, и в классической теории пространство-время общей теории относительности и гравитационное поле как материальный объект теснейшим образом связаны одно с другим, и им свойственна единая тонкая специфика. Стоя на почве физики принципов, а не физики гипотез⁷, по крайней мере избегая последнюю, мы не видим смысла и в каком-то модельном описании гравитации (или любого другого поля), сводящем все к механической или подобной ей картине. Такой отказ от вульгаризации и соответствует последовательному диалектико-материалистическому подходу к физике. Качественно новые объекты познания качественно новы именно тем, что они не сводятся к описанию с помощью прежних качеств. В частности, поэтому «понять» их — значит, главным образом, привыкнуть к ним, встроить их в здание своей интуиции.

Что происходит при квантовании, при введении вместо прежних гравитационных потенциалов операторов рождения и уничтожения гравитонов, с 4-мерным интервалом, с пространственными длинами и с промежутками времени, определяемыми через эти потенциалы — метрику? Здесь внезапно координаты, дифференциалы которых входят в интервалы, становятся как бы «инородным телом». Пожалуй, только фейнмановский подход к квантованию, более всего сохраняющий классические понятия и добавляющий к ним главным образом вероятностную трактовку, может примирить эти противоречия. Однако, если даже не задумываться над последствиями для основных понятий, проводя программу вторичного квантования гравитации, мы неизбежно приходим к результатам, влияющим на понимание астрофизических и космологических процессов. Известно, например, что взаимодействие электромагнитного поля с электронно-позитронным

⁶ Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности. М., 1969; с. 189; Ю. С. Владимиров. Квантовая теория гравитации. — В кн.: Эйнштейновский сборник, 1972. М., 1974, с. 280; Л. Д. Фаддеев, В. Н. Попов. Ковариантное квантование гравитационного поля. — «Успехи физических наук», 1973, т. 111, вып. 3, с. 427.

⁷ См., например: С. И. Вавилов. Исаак Ньютон. М., 1961, с. 110; в отношении самого Ньютона эти соображения, возможно, неприменимы (см. статью: Л. Розенфельд. Ньютон и закон тяготения. — В кн.: У истоков классической науки. М., 1968, с. 64, 94).

вакуумом приводит в квантовой теории к модификации лагранжиана (и уравнений) Максвелла, внося в них нелинейность (Эйлер и Гейзенберг, Швингер). В гравитации при проведении аналогичного исследования на простейшем этапе мы приходим к появлению космологического члена за счет взаимодействия гравитационного поля с вакуумом всех остальных полей⁸; анализ проводился отдельно для влияния вакуума электромагнитного поля⁹, скалярного¹⁰ и электронно-позитронного¹¹.

Иными словами, первым приближением влияния вакуума различных физических полей на гравитацию является космологический эффект, сказывающийся на процессе расширения Вселенной, возможно, через эффективное гравитационное отталкивание на сверхбольших расстояниях (см. обзор ситуации у И. Д. Новикова¹²). В других задачах, учитывающих рождение частиц, обнаруживается возможность превращения квантов различных полей при соответствующих условиях в гравитоны; и наоборот, — даже классическое гравитационное поле, если оно достаточно сильно и нестатично, рождает кванты других полей¹³. Так как рождение Вселенной из сингулярности может рассматриваться как развитие черной дыры, обращенное во времени («белая дыра»), и для него на ранних этапах характерны сверхсильные нестационарные гравитационные поля, то это должно было привести к рождению огромного числа элементарных частиц (пар) еще до выхода белой дыры из-под гравитационного радиуса (так Я. Б. Зельдович рассматривал модель задержавшейся в развитии белой дыры в уже расширившейся Вселенной); И. Д. Новиков, однако, обнаружил, что такое рождение частиц под гравитационным радиусом изменит характер общего поля дыры и будет препятствовать ее «вскрытию». Эти подходы, однако, опираются на традиционные методы и традиционную интерпретацию теории, лишь приложение их к гравитационным проблемам наделяет их некоторой спецификой.

КВАНТОВАНИЕ В КОСМОЛОГИИ

Другие подходы, хотя они и не рвут с установившимся аппаратом квантовой теории, лишь внося в него необходимые естественные модификации, опираются на принципиально новое истол-

⁸ Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности, с. 260.

⁹ Н. В. Мицкевич. О вакуумном вкладе электромагнитного поля в лагранжиан гравитации. — «ДАН Узбекской ССР», 1959, № 9, с. 14.

¹⁰ Н. В. Мицкевич. Вакуумный нелинейный эффект в теории гравитации. — «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1959, т. 36, с. 1207.

¹¹ В. П. Нисиченко. Некоторые квантово-гравитационные эффекты. М., 1970.

¹² И. Д. Новиков. Гравитирует ли вакуум? — «Земля и Вселенная», 1969, № 5, с. 36.

¹³ Я. Б. Зельдович. Квантовый взрыв белой дыры. Институт прикладной математики АН СССР. Препринт 65. М., 1973; он же. Рождение частиц и космология. Институт прикладной математики АН СССР. Препринт 66. М., 1973.

кования квантовых законов. Это истолкование не должно оставаться, с точки зрения таких авторов, как Б. С. Де Витт, лишь принадлежностью квантовой космологии, но его следует расширить на всю квантовую физику вообще; оно должно будет тогда заменить привычную копенгагенскую интерпретацию квантовой механики. Исторически положение сложилось так, что новая интерпретация Х. Эверетта¹⁴ была предложена до внесения квантования в космологию; тогда ее поддержал, наверное, один только Дж. Уилер¹⁵. Затем, подойдя к проблеме квантования Вселенной, Б. С. Де Витт¹⁶ обнаружил необходимость введения сверхпространства и нашел, что этот формализм наилучшим образом согласуется с концепцией ветвящихся миров Эверетта (см. статью Б. С. Де Витта¹⁷ с красочным изложением концепции Эверетта).

Предположим, что физический мир эволюционирует по законам классического детерминизма, но принцип экстремума действия может не выполняться строго. Тогда у мира есть множество возможностей эволюции, зависящих от конкретного характера отхода от экстремума. Обычно рассуждают о том, что физическая система «выбирает» вероятностным образом ход своего развития из подобного множества (вводят, например, случайное возмущение, толкающее систему на тот или иной путь); но почему бы не реализовались все пути сразу? Последнее и предположил Эверетт. Пусть одновременно существует не один, а бесчисленное множество миров — вселенных. Они существуют не в одном пространстве, а как бы параллельно, не взаимодействуя друг с другом никаким из известных физике способов. Но каждый из миров в каждое мгновение в ходе своей эволюции делится на бесчисленное множество себе подобных; собственно, и все уже существующие миры в этом представлении произошли путем такого «ветвления», начавшись от какого-то общего ствола. Это ветвление предполагает разброс законов эволюции, неподчинение их, вообще говоря, принципу экстремума некоторого стандартного действия. Пусть, однако, плотность миров будет больше там, где более точно выполняется принцип экстремума, а если эта плотность определяется вероятностью, которую можно получить из фейнмановского интеграла по траекториям, то мы имеем все количественные законы стандартной квантовой механики! В космологии Уилер¹⁸ предположил понятие сверхпро-

¹⁴ *Hugh Everett, III. «Relative State» Formulation of Quantum Mechanics.—«Reviews of Modern Physics», 1957, v. 29, N 3, p. 454.*

¹⁵ *J. A. Wheeler. Assessment of Everett's «Relative State», Formulation of Quantum Theory.—«Reviews of Modern Physics», 1957, v. 29, N 3, p. 463.*

¹⁶ *B. S. DeWitt. Quantum Theory of Gravity (pt I—III).—«Physical Review», 1967, v. 160, p. 1113; v. 162, p. 1195, 1239.*

¹⁷ *B. S. DeWitt. Quantum Mechanics and Reality. Could the Solution to the Dilemma of Indeterminism be a Universe in which all Possible Outcomes of an Experiment Actually Occur?—«Physics Today», 1970, v. 23, N 9, p. 30.*

¹⁸ *Дж. А. Уилер. Предвидение Эйнштейна. М., 1970, с. 26.*

странства, которым и воспользовался Б. С. Де Витт при квантовании¹⁹.

Начнем с классики. Пространство-время можно разделить на пространственноподобные гиперповерхности, и переход с одной из них на другую будет изображать эволюцию Вселенной. Всевозможные состояния Вселенной на данный момент представляют собой множество альтернативно рассматриваемых таких гиперповерхностей. Обозначим каждую из них «точкой»; мы получим тогда как совокупность таких «точек» сверхпространство. Ясно, что в нем будут учтены всевозможные состояния Вселенной — и те, что были когда-то, и те, которые когда-нибудь реализуются, и вообще нереализуемые.

Пусть Вселенная развивается непрерывно (в смысле постепенности); это развитие тогда можно изобразить как «линию», состоящую из «точек» сверхпространства. Концепция Эверетта состоит, на языке сверхпространства Уилера, в том, что вместо «линии» следует взять бесконечно разветвленное дерево. (Так, в известном рассказе Р. Брэдли «И грянул гром»²⁰ возвращение из прошлого не в ту Вселенную можно толковать как выбор не той последовательности ветвей при подъеме по времени, чем при спуске.) Теперь квантование космологии можно понимать как введение волновой функции для мира в целом и установление квантового закона эволюции «точек» в сверхпространстве. Уже Де Витт нашел, что уравнения Эйнштейна на языке сверхпространства принимают вид уравнения геодезической линии (с присутствием некоторой «силы» справа); это представление «сверхгеодезической» было улучшено Ю. С. Владимировым и Б. Г. Алиевым²¹.

Переход к квантовой теории здесь аналогичен «первичному» квантованию в физике частиц. В качестве параметров «частиц»-вселенных используются их глобальные характеристики, вследствие чего такой подход пригоден, как правило, лишь в случае замкнутых моделей. Мы приходим тогда к уравнению типа Клейна — Гордона или Шредингера, где операторы действуют на волновую функцию Вселенной. Так была проквантована модель Фридмана (Де Витт²²), миксмастеровская модель анизотропной и неоднородной Вселенной (Мизнер)²³, модель с кос-

¹⁹ B. S. DeWitt. Quantum Theory of Gravity (pt I, III).—«Physical Review», 1967, v. 160, p. 1113; v. 162, p. 1195, 1239.

²⁰ Фантастика Рая Брэдли. М., 1964, с. 25.

²¹ Б. Г. Алиев, Ю. С. Владимиров. Уравнения Эйнштейна как кинематически инвариантные уравнения геодезических в суперпространстве. Препринт ИТФ—74—7Р, Киев, 1974.

²² B. S. DeWitt. Quantum Theory of Gravity, pt. I.—«Physical Review», 1967, v. 160, p. 1113.

²³ C. W. Misner. Quantum Cosmology. I.—«Physical Review», 1969, v. 186, p. 1319. «Миксмастеровская модель» — космологическая модель, претерпевающая одновременно расширение по двум осям пространства и сжатие по одной оси, а затем сжатие по двум осям с расширением по одной; далее

мологическим членом (М. И. Калинин и В. Н. Мельников²⁴ и др.). Выяснилось, что квантовая теория допускает переходы Вселенной из одного состояния в другое и даже, может быть, переходы от замкнутой модели к открытой и наоборот (что еще нуждается в серьезном анализе). Обзор первоначальных этапов исследований в этих направлениях дан Д. Бриллом и Р. Гоуди.

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ: НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ И НАДЕЖДЫ

Квантовая теория гравитации должна существенно изменить наши представления о пространстве-времени. Это видно из сказанного выше, а также из применения обычных соотношений неопределенностей к проблеме гравитационных измерений. Впервые обратил на это внимание, как мы уже упоминали, Дж. Л. Андерсон²⁵, а вслед за ним проблему анализировали Т. Редже²⁶ и А. Перес и Н. Розен²⁷. Этот анализ показал, что идеи классической и квантовой теории гравитации находятся в резком взаимном противоречии. Если в классической теории ввиду нелинейности гравитационного поля для максимально точного измерения его «напряженности» необходимо брать пробные массы исчезающе малой величины, то квантовая теория диктует необходимость взятия для этой же цели неограниченно больших измеряющих масс (их теперь уже не назовешь «пробными»!). Тем самым важнейшие характеристики гравитации становятся в известных пределах неопределенными, и мы не имеем права вводить в соответствующих областях эти понятия. Речь идет не о позитивистском стремлении лишить мир присущих ему самому характеристик, не зависящих от субъекта, но дело в объективно существующем внутреннем противоречии между двумя типами классических понятий при переходе в квантовую область — противоречии, отражающем (как можно думать) неадекватность там этих понятий. Уже без гравитации, но в силу соотношений неопределенностей для координаты и импульса теряет четкий смысл понятие траектории микрочастицы.

оси меняются ролями. Это приводит к интенсивному перемешиванию во всей (замкнутой) Вселенной («миксмастер» — название смесителя при изготовлении коктейлей).

²⁴ М. И. Калинин, В. Н. Мельников. О космологическом члене в квантовой космологии.—Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. Труды ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений, вып. 16 (46). М., 1972, с. 43.

²⁵ J. L. Anderson. Restricciones Cuanticas Sobre la Mensurabilidad de los Campos en la Teoria de la Gravitacion.—«Revista Mexicana de Fisica», 1954, v. 3, N 3, p. 166.

²⁶ T. Regge. Gravitational Fields and Quantum Mechanics.—«Nuovo cimento», 1958, v. 7, p. 215.

²⁷ A. Peres, N. Rosen. Quantum Limitations on the Measurement of Gravitational Fields.—«Physical Review», 1960, v. 1118, p. 335.

В целом все это дает право думать о невозможности реализации классических понятий пространства и времени в микромире движением частиц (точка — мгновенное положение частицы, линия — ее траектория и т. д.). Классическая геометрия становится в микромире чистой декларацией, в действительности она должна быть заменена там некой «микрогеометрией», «квантовой геометрией». К такой мысли приходит все больше исследователей, отправляясь от разных исходных позиций²⁸.

Чего можно ожидать от построения микрогеометрии? Очевидно, она должна дать в соответствующем пределе всю информацию о макроскопическом пространстве-времени, осветив его природу, вероятно, с какой-то неожиданной стороны. Мы можем надеяться узнать, почему макроскопическое пространство-время 4-мерно и обладает именно такой сигнатурой. Микрогеометрия, возможно, глубже определит взаимосвязь между «различными» (на макроуровне) физическими полями. Что касается размерности пространства-времени, то она может быть связана с искривленностью и необычной топологией микропространства. Можно, например, представить себе, что двумерное многосвязное пространство сигнатуры 0, обладая структурой «пены», при рассмотрении через приборы с малой разрешающей способностью выглядит как пространство большего числа измерений, скажем, четырех. Накладывая определенные условия на средние характеристики искривленности и многосвязности 2-пространства «пены», можно получить для эффективного 4-многообразия «в большом» требуемые свойства обычного пространства-времени. Такая двумерная модель максимально проста; более того, в ней легко строится регуляризуемая квантовая теория²⁹. Единственное измерение было бы чрезмерно бедно, а трехмерная модель (скажем, 2 пространственных и 1 временное измерения) не соответствовала бы ряду наблюдаемых фактов даже после построения в ней такой «топологической пены».

Ниже мы еще раз вернемся к двумерной пене как возможной модели реального мира. В свою очередь, искривленное 4-многообразие могло бы при сверхмакроскопическом описании (в рамках мегамира) проявлять себя как пространство еще большего числа измерений, хотя для этого, возможно, потребовалась бы специфическая топология. Так, например, известные попытки ввести пятое измерение (в частности, для включения электромагнетизма в геометрию), основывающиеся на объективно существующей пятимерной симметрии, вполне могут быть предвосхищением пятимерной картины, господствующей на следующем «масштабном этаже» мира.

²⁸ Предварительный анализ этой ситуации см. в кн.: *Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности*, с. 189 и далее.

²⁹ См., например, *W. E. Thirring. A Soluble Relativistic Field Theory.*—«Annals of Physics», 1958, v. 3, p. 91.

Проводились классические по своей методике (по квантовые по включению в формулы постоянной Планка) попытки рассматривать замкнутые (или полужамкнутые) миры как частицы. Вероятно, все началось с того, что М. Планк в 1906 г. ввел понятие элементарной длины³⁰, составленной из мировых констант: постоянной Планка, скорости света и гравитационной постоянной, $l_0 = \sqrt{\hbar\gamma/c^3} = 1,6 \cdot 10^{-33}$ см. Эта характерная длина применялась в квантово-гравитационных построениях Дж. Уилером³¹, М. А. Марковым³², К. П. Станюковичем³³ и другими. Дело в том, что таков радиус кривизны замкнутой модели, которую можно считать некоторым универсальным «эталоном»; при некоторых отклонениях от этих размеров соответствующий мир оказывается почти замкнутым, и его удастся гладко сшить с почти плоской в других областях Вселенной. Это «максимоны» и более гибкие «фридмоны» Маркова; в случае весьма аналогичных «планкеонов» Станюковича предполагается полная замкнутость внутреннего пространства частицы. Как справедливо замечает М. Б. Менский³⁴, при этом становится неясным предположение о существовании планкеонов внутри обычного, слабо искривленного мира. В связи с этим Менский предлагает отказаться от описания пространства-времени в целом как дифференцируемого многообразия и считать его таковым лишь кусочно (везде, за исключением мест сшивки планкеонов с внешним миром).

Сшивка производится здесь так, что некоторые точки обладают окрестностями одновременно в обоих пространствах и, на наш взгляд, эффективно ведут себя как точки мира большего числа измерений, потому что помещенная в них пробная масса должна обладать дополнительными степенями свободы. Топологию такого пространства в принципе нельзя получить, исходя из локально евклидовой топологии. Менский «сшивает» таким необычным образом плоский псевдоевклидов мир Минковского (снаружи) с замкнутым пространством Эйнштейна (внутри), получая как бы плоскость, в одном месте раздутую пузырем

³⁰ М. Planck. Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. Leipzig, 1906.

³¹ Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино, Вселенная, с. 333; он же. Предвидение Эйнштейна, с. 39.

³² М. А. Marcov. Can the Gravitational Field Prove Essential for the Theory of Elementary Particles?—«Progress of Theoretical Physics». Supplement (Extra Number). 1965, p. 85; М. А. Марков. Элементарные частицы максимально больших масс (кварки, максимоны).—«ЖЭТФ», 1966, т. 51, с. 878.

³³ К. П. Станюкович. К вопросу о существовании устойчивых частиц в Метагалактике.— В кн.: Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. М., 1966, с. 267; он же. Элементы теории гравитационного вакуума.— В кн.: Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. М., 1972, с. 125.

³⁴ М. Б. Менский. Сшивание пространств Эйнштейна и Минковского по сфере через топологическую сингулярность. Препринт 70-8, ВНИИ оптико-физических измерений. М., 1970.

(последний симметрично выпирает в обе стороны). Эта простая иллюстративная модель указывает на новые возможности конструирования пространств, связанные, можно думать, с моделированием 4-мерного пространства 2-мерной «пеной». В модели Менского сохранена такая важная характеристика пространства, как метрика; было бы очень интересно проанализировать динамику подобных пузырей, их «движение» и «вид» с точки зрения приборов с малой разрешающей способностью. Правда, пространство Минковского может при этом в качестве фона оказаться недостаточным.

В более обычном (гладком) аспекте динамику топологических образований исследовал Уилер³⁵. Он показал (вместе с Мизнером), что точечные заряды обычной электродинамики могут представлять собой эффект наблюдения приборами с малой разрешающей способностью топологических ручек (их «входов» и «выходов») с «провалившимися» в них силовыми линиями электрического поля. Движение этих входов и выходов соответствует поведению электрических зарядов противоположных полярностей. Это не означает «материи без материи»: под «материей» здесь по традиции понимается вещество механического типа (сами заряды), тогда как электромагнитное поле, в материальности которого с философской точки зрения не приходится сомневаться, «материей» в такой жаргонной терминологии не считается. То же самое можно сказать и о гравитационном поле.

Следовательно, подход Уилера вполне соответствует материалистической философии. Вопрос лишь в том, насколько его физические представления согласуются с реальностью, т. е. можно ли последовательно описать известные объекты и их поведение в рамках геометродинамической схемы. Это далеко не очевидно, особенно учитывая другие физические поля (хотя бы электронно-позитронное). Однако получил развитие подход, близкий к теории Райнича — Мизнера — Уилера, для электромагнитного и заряженного спинорного полей³⁶. Не исключено, что кажущееся в среднем плоским пространство со множеством пузырей-планкеев таят в себе способность высвобождать энергию в сериях локальных взрывов (гипотеза, высказанная К. П. Станюковичем), однако описание такого процесса несомненно будет выходить за рамки известного ныне геометрического аппарата общей теории относительности.

Некоторые авторы надеются, что описанный подход объяснит структуру элементарных частиц. Это маловероятно: слишком уж классическими при всех своих необычных свойствах выглядят привлекаемые здесь представления. Однако, если вспомнить, что фейнмановский подход (интегралы по траекториям) не

³⁵ См.: Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино, Вселенная, с. 333; он же. Предвидение Эйнштейна, с. 31, 52.

³⁶ См.: Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности, § 4. 9.

столько состоит в отказе от понятия траектории микрочастицы, сколько (в определенной интерпретации) от дифференцируемости этой траектории во всех ее точках, то можно провести параллель между этой недифференцируемостью траекторий точечных частиц и недифференцируемостью пространства-времени в местах сшивания «внешнего» и «внутреннего» миров для частиц-пузырей. Все же новая «безумная» идея смогла бы убедить в наши дни физиков лишь при условии, что она даст не просто «объяснение мира на пальцах», а достаточно простое (по сравнению с прежними) и логически безупречное конкретное математическое описание всей совокупности фактов классической и квантовой теории поля.

Следовало бы специально акцентировать внимание на возможности моделирования 4-мира с помощью двумерной топологической пены, уже кратко обсуждавшейся нами. Эта пена должна представляться не погруженной в пространство большего числа измерений, а как существующая сама по себе: «внутри» и «вне» пузырей нет ни «материи», ни самого пространства-времени! Отдельные пузыри могут пересекать друг друга, «сшиваясь» по рецепту Менского (недифференцируемым образом). Тогда мы имеем многосвязное двумерное (в малом) не везде дифференцируемое многообразие. Рассматривая в нем движение «частицы», обнаружим, что на пересечении пузырей она приобретает возможность выбора, по какой «поверхности» (пространство-время!) ей продолжать движение. С точки зрения прибора, разрешающая способность которого не позволяет «разглядеть» отдельные пузыри, это означает, что частица будет обладать большим числом степеней свободы, чем она имела бы в $(1+1)$ -пространстве-времени, т. е. эффективное число измерений мира превысило бы в среднем по большой области 2. Недифференцируемость многообразия на стыках пузырей отразилась бы тогда в недифференцируемости (пока только кусочной дифференцируемости) мировых линий «частиц», что в определенном приближении соответствовало бы стандартной квантовой механике по Фейнману, тем более что при макроскопическом 4-мерном описании (если топология и кривизна пены в малом подчинены соответствующим ограничениям) траектории эффективно будут вообще недифференцируемыми. Заметим, что двумерный случай дает много пищи для размышлений и в фейнмановской квантовой механике, где обнаруживаются неожиданно простые правила построения квантового функционала³⁷.

ИГРА КОНСТАНТ

Масштабы различных «этажей» нашей Вселенной находят отражение в величине основных физических констант. Конечно, нет такого этажа, на котором действовали бы только специфические

³⁷ См.: Р. Фейнман, А. Хибс. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968, с. 48—49.

для него константы, ни одна из которых не играла бы какой-то роли на других этажах. Однако константы обычно имеют свои «излюбленные» этажи, на которых их роль особенно заметна. Можно подразделять константы на микроскопические, макроскопические и мегаскопические или, возможно, на константы, связанные с иерархиями взаимодействий (хотя мы вовсе не ограничиваем здесь себя собственно константами взаимодействий!).

Итак, у нас есть весьма общие константы — скорость света, гравитационная постоянная, постоянная Планка, элементарный заряд (заряд электрона), затем константы сильного и слабого (фермиевского) взаимодействий, массы основных элементарных частиц (можно для начала ограничиться электроном и протоном), постоянная Хаббла, средняя плотность масс во Вселенной и т. д. Их численные значения регулярно появляются в справочных изданиях, главное же состоит в том, что из этих констант можно построить характерные безразмерные величины, распадающиеся на два типа — «лабораторные (атомные) константы» и «космологические (эйнштейновские) константы»³⁸. Для последних в стандартной модели расширяющейся Вселенной характерно изменение во времени (т. е. слово «константа» в этом случае соответствует лишь принятому жаргону) ввиду переменной постоянной Хаббла (см. обсуждение этого вопроса, например, у Новикова³⁹) и плотности массы.

С другой стороны, эти безразмерные величины распадаются на две группы, не тождественные предыдущим, причем для одних величин характерен порядок $10^{-3} \div 10^{-2}$ (общезвестным представителем является электромагнитная постоянная тонкой структуры), а для других — около 10^{40} (или 10^{-40} — в зависимости от того, что принять за прямое, а что — за обратное значение безразмерной конструкции).

С точки зрения традиционной теории (в которой переменными считаются лишь плотность массы и постоянная Хаббла) тот факт, что одна из космологических безразмерных констант принадлежит к одной группе, а вторая — к другой, — чистая случайность, реализующаяся лишь на нашем этапе эволюции Вселенной; на других этапах космологических константы «разбредутся», покинув эти группы. Но с точки зрения эстетики естественно выдвинуть гипотезу о том, что принадлежность всех безразмерных констант (разумным образом определённых) к двум и только двум группам — это фундаментальный закон природы, который должен выполняться всегда. Если так, то ряд величин, которые прежде считались «константами», на самом деле должны

³⁸ F. J. Dyson. Energy in the Universe.—«Scientific American», 1971, v. 225, p. 51. См. также P. A. M. Dirac. Long Range Forces and Broken Symmetries.—«Proceedings of Royal Society», London, 1973, v. 333 A, p. 403.

³⁹ И. Д. Новиков. Гравитирует ли вакуум?—«Земля и Вселенная», 1969, № 5.

меняться со временем, если, конечно, не постулировать, что космологическое красное смещение — эффект, не связанный ни с каким расширением Вселенной, которая на самом деле стационарна⁴⁰, причем постоянна и средняя плотность массы; эту точку зрения мы считаем здесь неуместным обсуждать. Оказываются возможными различные варианты теории, первый из которых был сформулирован П. А. М. Дираком почти сорок лет назад⁴¹ и далее развит П. Йорданом⁴², другой — Ч. Брансом и Р. Дикке⁴³, третий — Г. Гамовым⁴⁴, четвертый — Э. Теллером⁴⁵ и развит затем Л. Д. Ландау⁴⁶ и Б. С. Де Виттом⁴⁷.

Укажем, кроме того, на сводки данных о мировых постоянных и обсуждение свойств комбинаций этих постоянных⁴⁸, но остановимся здесь лишь на некоторых заключениях, сделанных Дайсоном⁴⁹, а также С. Вайнбергом⁵⁰. Свидетельствовать об изменении во времени мировых констант или говорить против такой возможности может ряд наблюдательных фактов. Изменение электромагнитной постоянной тонкой структуры может быть замечено по спектрам далеких галактик, так как, кроме линий, частота которых пропорциональна квадрату постоянной тонкой структуры, имеются и линии, пропорциональные ее четвертой степени. Эти линии будут поэтому сдвигаться при изменении постоянной тонкой структуры в разных пропорциях, и можно было бы обнаружить их относительный сдвиг.

Величина постоянной тонкой структуры должна сказываться также на процессах α - и β -распадов, ход которых можно анали-

⁴⁰ Те, кто так считает, иногда выдвигают ложный тезис (игнорируя факт неприменимости космологической метрики внутри отдельных галактик), якобы наши масштабы в расширяющейся Вселенной также должны расширяться, что повлекло бы ненаблюдаемость расширения.

⁴¹ P. A. M. Dirac. The Cosmological Constants.—«Nature», v. 139, 1937, p. 323; P. A. M. Dirac. «Proceedings of Royal Society», v. 165A, 1938, p. 199.

⁴² P. Jordan. *Schwerkraft und Weltall*. Braunschweig, 1955.

⁴³ C. Brans, R. H. Dicke. Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation.—«Physical Review», 1961, v. 124, p. 925.

⁴⁴ G. Gamow. Electricity, Gravity and Cosmology.—«Physical Review Letters», 1967, v. 19, p. 759.

⁴⁵ E. Teller. On the Change of Physical Constants.—«Physical Review», 1948, v. 73, p. 801.

⁴⁶ Л. Д. Ландау. Квантовая теория поля.— В кн.: Нильс Бор и развитие физики. М., 1958, с. 75.

⁴⁷ B. S. DeWitt. Gravity: A Universal Regulator?—«Physical Review Letters», 1964, v. 13, p. 114.

⁴⁸ F. J. Dyson. The Fundamental Constants and their Time Variation; F. J. Dyson. Energy in the Universe.—«Scientific American», 1971, v. 225, p. 51; Гравитация и относительность (под ред. Х. Цзю и В. Гоффмана). М., 1965; П. Н. Кропоткин. Соотношение мировых физических констант и расширение Вселенной.—«ДАН СССР», 1971, т. 198, № 4, с. 798; P. C. Davies. Time variation of the coupling constants.—«Journal of physics. A: «General Physics», 1972, v. 5, p. 1296.

⁴⁹ F. J. Dyson. The Fundamental Constants and their Time Variation.

⁵⁰ S. Weinberg. Gravitation and Cosmology. Principles and Applications of the General Theory of Relativity. New York — London — Sydney — Toronto, 1972.

зировать по древним минералам земной коры. Тот же β -распад может дать информацию об изменении константы фермиевского взаимодействия. Изменение гравитационной постоянной сказывалось бы на орбитах планет Солнечной системы; наиболее точных данных по этому каналу можно ожидать в ближайшее десятилетие, когда смогут быть запущены радиоответчики на орбиты вокруг Марса и Венеры. С другой стороны, изменение гравитационной постоянной должно сказываться на эволюции звезд и ходе синтеза элементов в ранней Вселенной. Так, ссылаясь на Теллера⁵¹, Вайнберг пишет: «...если бы гравитационная постоянная G уменьшалась как t^{-1} в соответствии с предсказаниями дираковской космологии, то 10^9 лет назад температура на поверхности Земли должна была превышать температуру кипения воды, если только земное альbedo не было тогда намного больше теперешнего. Следовательно, слишком большое значение гравитационной постоянной в прошлом не должно было допустить возникновения таких форм жизни, которые смогли бы проявить интерес ко Вселенной»⁵². Здесь невозможно, однако, разбирать альтернативные возможности, теория которых также развита в деталях. Остановимся лишь на некоторых итогах. Во-первых, традиционный подход, при котором предполагается изменение лишь плотности масс и постоянной Хаббла, никак не противоречит современным опытным данным. Гипотеза Гамова (изменение постоянной тонкой структуры) опровергается наблюдением спектров далеких туманностей. Гипотеза Теллера (постоянная тонкой структуры также изменяется, но слабее; в обоих случаях изменяются и некоторые другие константы) опровергается исследованием нестабильных изотопов в земной коре. Гипотеза Дирака (см. выше цитату из Вайнберга) стоит на грани опровержения, и окончательный приговор будет ей вынесен в ближайшие годы. Лишь гипотеза Бранса — Дикке на современном уровне так же неуязвима, как традиционный подход; эта гипотеза предполагает более слабые вариации гравитационной постоянной, чем гипотеза Дирака, и весьма успешно вписывается в общую теорию относительности, добавляя к эйнштейновскому тензорному гравитационному полю ($g_{\mu\nu}$) скалярное, также гравитационное поле (скалярно-тензорная теория тяготения). С некоторыми выводами из этой теории можно ознакомиться по лекциям Дикке⁵³. Ряд интересных статей, написанных авторитетными авторами и содержащих новые данные, можно найти в сборнике, посвященном памяти Г. Гамова⁵⁴.

⁵¹ E. Teller. On the Change of Physical Constants.—«Physical Review», 1948, v. 73, p. 801.

⁵² S. Weinberg. Gravitation and Cosmology, ... с. 631.

⁵³ Р. Дикке. Гравитация и Вселенная. М., 1972.

⁵⁴ См.: Cosmology, Fusion Other Matters. George Gamow Memorial Volume. London, 1972.

В самое последнее время Дирак предложил новую теорию, возобновляющую и модернизирующую старую (почти уже забытую) геометрию Вейля⁵⁵. Обоснование этой теории также базируется на «игре констант», но теперь выводы связываются с нарушением C и T симметрий (зарядового сопряжения и обращения времени). Вводится предположение о существовании принципиально разных «атомной» и «эйнштейновской» (см. выше рассуждения о константах) метрик: первая измеряется лабораторными приборами, вторая же влияет на движение гравитирующих тел. Факт единства мира устанавливает связь между метриками, проявляющуюся в наблюдениях, но эта связь может (по Дираку — должна) меняться со временем и от точки к точке. Такое изменение проявляется в изменении гравитационной постоянной. Дирак утверждает, что введение в геометрии Вейля не одной, а двух метрик снимает все возражения, из-за которых физики (и сам Вейль) в свое время от нее отказались. Новая теория, как и теория Вейля, единым образом описывает гравитацию и электромагнетизм, связывая последний с геометрией. Дирак заканчивает свою статью следующими словами: «Изложенная теория предполагает решительный пересмотр наших представлений о пространстве и времени... В пользу этой теории имеется один сильный довод. Видимо, в природе одним из фундаментальных принципов является инвариантность уравнений, выражающих основные законы, относительно возможно более широких групп преобразований. Доверие, которое мы питаем к теории Эйнштейна, опирается на инвариантность ее уравнений относительно очень широкой группы — группы преобразований криволинейных координат в римановом пространстве... Переход к геометрии Вейля — это еще один шаг в сторону расширения группы преобразований, которым подвергаются физические законы. Теперь наряду с преобразованиями криволинейных координат следует рассматривать и калибровочные преобразования...»⁵⁶

Сейчас трудно судить о будущем новой теории; она формулируется пока существенно классическим (неквантовым) образом, и Дирак считает основной проблемой распространение ее на квантовую область.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ДЛИНА И ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

Не развивая здесь идеи фундаментальной длины, коснемся лишь поверхностно актуальности этой проблемы, которая несомненно назрела и может оказаться связанной одновременно с микроми-

⁵⁵ *H. Weyl. Raum, Zeit, Materie. Berlin, Heidelberg, N. Y., 1970, S. 298 и далее; см. также: А. С. Эддингтон. Теория относительности. Л.—М., 1934.*

⁵⁶ *P. A. M. Dirac. Long Range Forces and Broken Symmetries.— «Proceedings of Royal Society of London», 1973, v. 333 A, p. 403.*

ром и с космологией (связь с микромиром неоспорима). С одной стороны, широко известны попытки «квантования» пространства-времени (в смысле введения дискретности). На первый взгляд, дискретное пространство-время противоречит релятивистской инвариантности, однако теория может быть сформулирована, например, операторным образом в лоренц-инвариантной форме. Главное, однако, — причины, почему появился интерес к введению фундаментальной длины. При исследовании расходимостей в квантовой теории поля было замечено, что они связаны с произведениями обобщенных функций (дельта-функции Дирака, ступенчатой функции и т. д.) с совпадающими особенностями. Эти особенности локализованы на световом конусе, с помощью которого определяется принцип причинности. На световом конусе лежат мировые линии фотонов и вообще частиц с нулевой массой покоя, а около него — линии ультрарелятивистских (в данной системе отсчета) частиц с ненулевыми массами. При этом «законное» движение частиц в релятивистской теории связано с выполнением известного уравнения $E^2 - p^2 = m^2$, т. е., как часто говорят, требования, чтобы в пространстве импульсов частицы лежали на массовой поверхности. Сам факт, что это уравнение удовлетворяется, хорошо проверен экспериментально, но в формулировке принципа причинности, где сравниваются точки, связанные пространственноподобными интервалами (лежащими вне светового конуса), происходит и отход от массовой поверхности (одно с другим тесно связано).

В. Г. Кадышевский⁵⁷ (его ранняя работа, связанная с понятием фундаментальной длины, опубликована в 1960 г.⁵⁸) предложил смягчить формулировку принципа причинности в надежде, что это ликвидирует сингулярности квантовой теории. Для этого он ввел в качестве простейшей альтернативы обычному плоскому пространству импульсов пространство де Ситтера (импульсное, а не конфигурационное) — пространство импульсов постоянной кривизны. Радиус этого пространства имеет смысл некоторой массы (конечно, очень большой, по сравнению с массами элементарных частиц, чтобы ее влияние чувствовалось лишь вблизи светового конуса для обычных частиц), конструкция же $l = \hbar |M \cdot c|$ (M — эта фундаментальная масса) имеет смысл фундаментальной длины. Более того, оказывается, что свойства импульсного пространства требуют от обычного (конфигурационного) пространства дискретности. Отметим, что эта теория еще не завершена (мы опирались здесь на ее опубликованные фрагменты) и может принести много новых сюрпризов.

⁵⁷ В. Г. Кадышевский. Квантовая теория поля и импульсное пространство постоянной кривизны. — В кн.: Проблемы теоретической физики. М., 1972, с. 52.

⁵⁸ В. Г. Кадышевский. К вопросу о спектре масс и фундаментальной длине в теории поля. — «ДАН СССР», 1960, т. 133, с. 1305; см. также: А. Н. Вальцев. Дискретное пространство-время. М., 1965; Д. И. Блохинцев. Пространство и время в микромире. М. 1970.

Исходя из идей, высказанных еще Риманом (1854) и Вейлем (1919), можно думать, что будущая теория («микрогеометрия») укажет корни происхождения метрических свойств пространства-времени. Риман говорил в своей знаменитой лекции: «От той точности, с которой нам удастся проследить явления в бесконечно малом, существенно зависит наше знание причинных связей. ...Эмпирические понятия, на которых основывается установление пространственных метрических отношений, — понятия твердого тела и светового луча, — по-видимому, теряют всякую определенность в бесконечно малом. ...Вопрос о том, справедливы ли допущения геометрии в бесконечно малом, тесно связан с вопросом о внутренней причине возникновения метрических отношений в пространстве. Этот вопрос, конечно, также относится к области учения о пространстве, и при рассмотрении его следует принять во внимание... замечание о том, что в случае дискретного многообразия принцип метрических отношений содержится уже в самом понятии этого многообразия, тогда как в случае непрерывного многообразия его следует искать где-то в другом месте. Отсюда следует, что или то реальное, что создает идею пространства, образует дискретное многообразие, или же нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним — силами связи, действующими на это реальное. ...Здесь мы стоим на пороге области, принадлежащей другой науке — физике, и переступить его не дает нам повода сегодняшний день»⁵⁹.

Сейчас невозможно без волнения перечитывать эти слова, произнесенные 120 лет назад обреченным на безвременную гибель гением. В начале нашего века, когда общая теория относительности уже была совершившимся фактом, Вейль комментировал текст лекции Римана и писал: «Оставляя в стороне первую из упоминаемых возможностей..., — хотя, быть может, именно в этом направлении следует искать решения проблемы пространства, — Риман отказывается принять концепцию, до него разделявшуюся всеми математиками и физиками, будто бы метрика пространства независима от протекающих в нем физических процессов и будто реальное вступает в это метрическое пространство, как наниматель в готовую квартиру; более того, он утверждает, что пространство само по себе есть аморфное трехмерное множество..., и только наполняющее его материальное содержание организует его путем установления метрики»⁶⁰.

Может быть, Риман не стал развивать идею возможной дискретности пространства в малом ввиду явной метафизичности такой модели (всякий настоящий исследователь, осознанно или неосознанно, тяготеет к диалектическому подходу к вещам!). Однако метафизична лишь застывшая дискретность, так сказать,

⁵⁹ Об основаниях геометрии. М., 1956, с. 323.

⁶⁰ Там же, с. 340.

дискретность в себе, но ведь можно мыслить и более гибкие, динамические варианты дискретности, которых Риман не мог предусмотреть (да и наши догадки о них еще довольно смутны). Интересно все же рассмотреть диалектическое объединение непрерывности и дискретности для пространства-времени, которое, отвечая духу квантовой теории, должно быть богаче качественным содержанием. Такая микрогеометрия (может быть, на основе двумерной «пены», о чем уже говорилось) должна объяснить и характер сигнатуры макроскопического пространства-времени, и сам факт его 4-мерности. Это не значит, что будущая теория объяснит на каком-то конечном (а не асимптотически; впрочем, характер асимптотического приближения к истине также не столь уж тривиальный вопрос⁶¹) этапе «все» — это было бы явной нелепостью. Здесь она должна свести фундаментальные прежде понятия макрогеометрии к более фундаментальным теперь микропонятиям. Время для построения новой теории, возможно, уже назрело, но мы еще делаем в этом направлении первые шаги и можем лишь гадать, что будет для нее действительно существенным из арсенала современных математики и физики.

Заметим к тому же, что мы недооцениваем понятие более тонкое, чем дискретность и непрерывность: фактически с последней при качественном обсуждении отождествляется дифференцируемость, а ведь нарушение дифференцируемости многообразия имеет много общего с основными идеями квантовой теории. Когда говорят о знаменитых соотношениях неопределенностей, часто сразу же делают вывод о разрывности движения квантовых «частиц»; на самом же деле в квантовой физике классические траектории отсутствуют не в смысле перехода к грубо разрывному движению, а в смысле возникновения недифференцируемости. Здесь, правда, приходится заново продумывать симметрию между координатным и импульсным представлениями в квантовой механике, и характер данного сообщения не позволяет уделять этому вопросу большего места.

К «ЕДИНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ» БУДУЩЕГО

Приведенная выше беглая зарисовка различных проблем космологии, физики микромира и смежных областей изображает некую прифронтовую область развития науки. Ясно, что значительная часть предположений будет отброшена или отомрет, другие видоизменятся, но так же ясно и то, что анализ всех аспектов необходим для определения стратегии и тактики «боевых действий». Мы не говорили, по сути дела, о многих руководящих принципах теории, о тех подводных хребтах, вершины которых кажутся причудливо, случайно разбросанными архипелагами на

⁶¹ См., например: Д. Бом. Специальная теория относительности. М., 1967, с. 158.

поверхности — бурного моря развивающегося познания. Что лежит в их основе — станет яснее в будущем, но диалектика хода нашего (и любого вообще) познания такова, что до дна это море исчерпать невозможно, и по мере достижения все новых глубин мы обнаруживаем и новые перспективы, уходящие и ведущие нас за собой во все большую и большую глубину.

Несомненно, что фундаментальную роль в природе играют различные симметрии, позволяющие трактовать прежнюю динамику часто как кинематику, ведущие к законам сохранения или перечеркивающие их. Заметим, что существуют две, в общем независимые, плоскости рассмотрения пространства-времени (и, вообще говоря, не только пространства-времени): 1) абсолютность и относительность; 2) кинематика и динамика. Иногда они как бы отражают друг друга, но отождествление их недопустимо. В каждой из плоскостей при развитии нашего познания происходила борьба противоположностей, сопровождавшаяся некоторым балансом и синтезом этих противоположных сторон. Наблюдалась также определенная тенденция вытеснения абсолютности относительностью или, точнее, поглощения абсолютностью все более широких понятий с передачей их отдельных частных относительности. Вторжение динамики в прежде кинематические понятия и области (обобщение третьего закона Ньютона или принципа Ле Шателье) делало их все более содержательными и изгоняло их метафизические истолкования. В геометрии Вейля, поднятой на щит Дираком, важную роль в симметриях играют калибровки (само понятие калибровки было введено в теорию Вейлем), которые, как и преобразования симметрии вообще, эвристически раскрываются в так называемой компенсирующей процедуре⁶². В этом направлении в космологии пока сделано не много. Можно ожидать, что будущая физика синтезирует (с качественной переработкой) известные сейчас принципы, которые пока не удалось совместить друг с другом. Попытки такого синтеза время от времени предпринимаются; укажем здесь лишь на один из них — аксиоматический подход Ю. С. Владимирова⁶³, пока явно незавершенный. Речь в нем идет о формулировке аксиом теории относительности (в том числе и теории гравитации) на языке, совместимом с языком параллельно формулируемых аксиом квантовой теории; затем рассматривается возможность (или несколько возможностей) объединения этих аксиом за вычетом части их, вступающей в противоречие с другими, и дедуктивно выводится некоторая единая физическая теория (конечно, не «единая теория поля», так как нет необходимости требовать объединения всех полей в одно!).

⁶² Элементарные частицы и компенсирующие поля. М., 1964, Н. П. Коноплева, В. Н. Попов. Калибровочные поля. М., 1972.

⁶³ Ю. С. Владимиров. Аксиоматизация свойств пространства-времени общей теории относительности. — В кн.: Современные проблемы гравитации. Тбилиси, 1967, с. 407.

Глубокий общий анализ этих вопросов под своим углом зрения дал А. Л. Зельманов⁶⁴, основываясь на проблеме измерений и реализации эталонов в разных физических областях (состояниях материи). Заметим, что эти идеи отчасти перекликаются с доводами Дирака⁶⁵, хотя последние не столь общи и широко применимы. Будущая «общая физическая теория», по Зельманову, возможно, будет ближе к некоему «исчислению принципов», не складываясь из систем дифференциальных уравнений, как современные теории. Веские доводы в пользу этого Зельманов дал также в выступлениях на своих семинарах при анализе возможных теорий, оперирующих комбинациями мировых констант (скорость света — частная теория относительности; постоянная Планка — квантовая механика; скорость света + постоянная Планка — релятивистская квантовая теория поля и т. д.); особенно наглядно это рассуждение иллюстрируется им с помощью графического построения (куб теорий). В этих же работах Зельманов коснулся того, что можно назвать макроскопическими и мегаскопическими системами отсчета. Дополнив это микроскопическими системами отсчета, заметим⁶⁶, что один из возможных путей к объединению идей квантовой теории и общей теории относительности состоит в описании и применении таких квантовых систем отсчета, в которых существенную роль будет играть указание на тип представления (сейчас определяемый измерительным прибором, измеряющим координату, импульс микрочастицы или иные ее характеристики) в духе В. А. Фока⁶⁷. Конечно, при этом сюда же следует органически внести и элемент представлений о системах отсчета из теории относительности.

Отметим здесь, возвращаясь к неклассической теории, что равноправные системы отсчета определяются свойствами подвижности (изометриями) пространства-времени. Если в частной теории относительности ∞^3 -континуум равноправных систем отсчета (и еще больше равноправных систем координат, так как, например, повороты трехмерных осей не влияют на определение систем отсчета), то в искривленных мирах (подчеркнем, что искривление существенным образом касается не только собственно пространства, но вместе с ним и времени) равноправных систем будет меньше, а при максимальной неоднородности пространства-времени таких систем не будет вообще. Иначе говоря, общая

⁶⁴ А. Л. Зельманов. О понятиях и эталонах длины и длительности.— В кн.: Методологический анализ теоретических и экспериментальных оснований физики гравитации. Киев, 1973, с. 150; он же. Некоторые вопросы космологии и теории гравитации.— В кн.: Физическая наука и философия. М., 1973, с. 275.

⁶⁵ P. A. M. Dirac. Long Range Forces and Broken Symmetries.

⁶⁶ Н. В. Муцкевич. О различии понятий «система отсчета» и «система координат».— В кн.: Физическая наука и философия, с. 300.

⁶⁷ В. А. Фок. Квантовая физика и философские проблемы.— «Вопросы философии», 1971, № 3, с. 46.

теория относительности (а именно она и есть тот случай, когда реализуются неоднородности) не несет большего равноправия систем отсчета, чем частная теория, а, вопреки распространенному мнению, напротив, сильнее выделяет привилегированные системы, хотя в крайнем пределе делает все системы достаточно нефизичными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проделанном обзоре мы концентрировали внимание на свойствах пространства-времени и роли гравитационного взаимодействия в самых широких рамках — от мира элементарных частиц и до масштабов космологии, стремясь больше обращаться в первую очередь к этим крайним пределам. Такой подход нужно признать естественным ввиду особого места, занимаемого гравитацией в физическом мире. Всегда уместно повторять тезис об универсальности гравитационного взаимодействия и о тесной связи этой универсальности со всеобщностью пространственно-временной формы существования материи. Во всех областях, затронутых в нашем обзоре, — в космологии, релятивистской астрофизике и физике элементарных частиц — так или иначе анализируется поведение материи в ее пространственно-временных аспектах. В теоретической физике дается подробный анализ различных систем, и их характеристики в определенном смысле можно называть конкретными физическими формами существования материи; пространственно-временная форма занимает среди них особое место. Всеобщность пространства-времени как формы существования материи накладывает свой отпечаток на наш подход к геометрии реального мира: мы склонны невольно верить в ее априорность, в независимость абстрактной формализованной геометрии от опыта. Ход развития науки и техники за последнее столетие решительно опровергает подобные наивные взгляды. Мы описываем теперь пространство-время как 4-геометрию, базирующуюся на строго установленных опытных фактах, то есть как физическую геометрию, позволяющую в зависимости от выбора конкретной системы отсчета (свойств движения наблюдателя и его приборов) приходиться к различным формам выделения физического времени и физического (а не координатного) 3-пространства.

В теореме Нётер с инвариантностью физических систем по отношению к пространственно-временным преобразованиям (называемым в римановой геометрии движениями — отсюда подвижность или изометрия) связываются законы сохранения и в первую очередь сохранение энергии-импульса. При этом выводится конкретное выражение тензора энергии-импульса, если, конечно, заданы лагранжианы физических полей. Итак, энергия-импульс оказывается также всеобщей характеристикой материальных систем, причем эта всеобщность является следствием или

отражением всеобщности пространства-времени как формы существования материи. В частности, не может быть физического объекта, лишённого этой характеристики.

Наконец, тензор энергии-импульса, как известно, стоит в первой части уравнений гравитационного поля Эйнштейна, являясь, таким образом, источником этого поля. Этот факт обнаружился, собственно, уже при формулировке теории тяготения Ньютона, когда выяснилась роль массы как источника поля. И здесь мы вновь сталкиваемся с фактом универсальности, всеобщности — теперь уже в приложении к гравитации. Ввиду этой неразрывной связи всеобщих характеристик материального физического мира представляется вполне естественным, что мы концентрировали в этом обзоре внимание на свойствах пространства-времени и гравитационного взаимодействия, рассматривая фронтовые области развивающегося научного знания — как в бесконечно малом, так и в бесконечно большом.

Указанное глубокое диалектическое единство, тройная связь пространства-времени — гравитационного взаимодействия — энергии-импульса есть проявление свойств единой сущности, материи в ее наиболее универсальном для физики аспекте. Другие проявления носят более ограниченный характер в соответствии с иерархией физических взаимодействий. Поэтому геометризация тяготения, вопреки распространенному мнению, не таит в себе ничего загадочного, а описание гравитации с помощью тензора кривизны пространства-времени (тот факт, что этот «геометрический» тензор и есть относительная величина гравитационной напряженности) оказывается как нельзя более естественным.

В этой статье мы выделили проблемы микромира, где, на наш взгляд, следует ожидать скорейшего разрешения назревших в теории проблем и противоречий. При всем желании автора сохранить нейтралитет и донести до читателя саму атмосферу ведущегося в этой области науки поиска без существенных субъективных искажений наш обзор не мог быть бесстрастным. В нем не нашли должного отражения, вероятно, многие тенденции исследований, а отдельные подходы были освещены непропорционально подробно или сочувственно. Особенно ощущалось желание подчеркнуть актуальность попыток объяснения таких свойств пространства-времени, как четырехмерность и сигнатура — попыток сведения этих важнейших свойств к более элементарным (объяснить все и вся ни на каком конкретном этапе невозможно без такого сведения по самому смыслу объяснения). Такие попытки имеют объективно фундаментальное значение сразу и в области малого, где должны совершаться решающие открытия, и в космологически большом, где они должны дать сильнейший эвристический резонанс.

Как в теоретической физике, так в космологии и в релятивистской астрофизике открытия последних десятилетий приводили к коренной ломке установившихся понятий. В этом, види-

мо, состоит одна из закономерностей развивающегося познания, отражающая объективные свойства познаваемого реального мира. В корне преобразались и даже, на первый взгляд, отменялись понятия, казавшиеся прежде самоочевидными и неизбежными. Так, физику потрясли «отмена» абсолютности времени, отход от лапласовского детерминизма в квантовой механике; сейчас мы привыкли уже к таким понятиям, как горизонты событий в космологии, и теории черных дыр, и многое, многое другое. На очереди — новые неожиданные перемены. Ясно, что при дальнейшем углублении в физику бесконечно малого и бесконечно большого мы неизбежно придем к новым качественным переоценкам понятий соответственно нашему проникновению в качественно новые физические области. Такой процесс не может быть однозначно «спланирован» заранее, и мы должны быть готовы к серьезному критическому анализу даже самых основ теории, анализу, чуждому следов догматизма. При этом трудно переоценить роль нашей методологии и нашей способности давать научный философский анализ постоянно меняющейся ситуации в естественнонаучном знании — ситуации, которая никогда не останавливается в своем изменении.

Н. В. Мицкевич, Э. М. Чудинов

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КОСМОЛОГИЯ И НЕООПЕРАЦИОНАЛИЗМ Л. БРИЛЛЮЭНА

Как известно, теоретической основой современной космологии является общая теория относительности. Подавляющее большинство физиков и космологов рассматривают ее как одну из надежно обоснованных фундаментальных теорий физики XX в., космологические приложения которой вполне заслуживают доверия. Вместе с тем для некоторых физиков характерна известная неудовлетворенность этой теорией, объясняющаяся сравнительной бедностью ее эмпирического базиса, а также неудачами попыток создать единую теорию геометризованного поля. В настоящее время в противовес общей теории относительности разрабатываются различные нетрадиционные теории гравитации. Это прежде всего релятивистская теория гравитации в плоском пространстве и скалярно-тензорная теория. Критические веяния в теоретическом осмыслении гравитации не следует сбрасывать со счетов. Они заслуживают внимания и эмпирической проверки.

Одна из попыток критического подхода к общей теории относительности принадлежит известному французскому физику

Л. Бриллюэну. Этот подход имеет ряд отличительных особенностей¹. Он направлен не только против отдельных постулатов этой теории, но и против ее философских основ. В своем пересмотре общей теории относительности Бриллюэн исходит из философской концепции, разработанной еще в 30-е годы американским физиком П. Бриджемном и получившей название операционализма.

В этой статье мы критически проанализируем основные установки операционализма, которые используются Бриллюэном в качестве исходного пункта ревизии теории относительности и ее космологических приложений.

ПРИНЦИП НАБЛЮДАЕМОСТИ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Главным пунктом критики Бриллюэном философских оснований общей теории относительности является эйнштейновская концепция наблюдаемых и связанные с ней критерии осмысленности и содержательности физических предложений.

Принцип наблюдаемости занимает важное место в теории относительности, как специальной, так и общей. В соответствии с ним Эйнштейн дал физическую интерпретацию пространственно-временным понятиям, которые казались самоочевидными и априорными представителям классической физики. Вместе с тем на основе данного принципа Эйнштейн исключил из рассмотрения лоренцевский эфир, что позволило сформулировать ему свою специальную теорию относительности.

Принцип наблюдаемости в том виде, как он обычно понимается в современной физике, требует не только фактической, но, прежде всего, принципиальной возможности измерения физической величины. Это означает, что во многих случаях мы можем абстрагироваться от чисто технических трудностей процедуры измерения, связанных с несовершенством нашей аппаратуры, с влиянием на измеряемую величину других физических факторов. Такое абстрагирование осуществляется путем перехода от реального эксперимента к идеализированному. Принципиально наблюдаемое — это то, что может быть измерено если не в реальных, то в идеализированных условиях.

Эйнштейновский принцип наблюдаемости, допускающий идеализированный эксперимент, представляется неудовлетворительным Бриллюэну. Он предлагает следующее ограничение понятия наблюдаемых: «...некоторая величина является наблюдаемой только тогда, когда для ее наблюдения можно указать метод и дать подробное описание экспериментальной установки»².

¹ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности. М., 1972.

² Там же, с. 15.

Это уточнение, на первый взгляд совершенно безобидное, приводит к далеко идущим последствиям. Исходя из него Бриллюэн исключает из физики многие теоретические конструкции, не связанные с реальным экспериментом. Известно, что идеализированные эксперименты сыграли важную роль в становлении и развитии общей теории относительности. Например, известный эксперимент Эйнштейна с двумя совпадающими кругами, один из которых неподвижен, а другой вращается вокруг общей их оси, позволил ему связать поле сил инерции с полем тяготения и сделать вывод о геометрической сущности гравитации. Исключая идеализированный эксперимент как совершенно нереальную процедуру, Бриллюэн вполне логично приходит к выводу о физической бессмысленности утверждения о геометрической природе гравитации.

Однако если быть последовательным и исключить идеализированные эксперименты из физики вообще, то жертвой этой критики будут не только общая теория относительности и космология, но и вся физическая наука. Введение идеализированных экспериментов явилось началом жизни физики. Именно таким путем был установлен первый закон ньютоновской механики — закон инерции. Но даже и в квантовой физике, которая считается Бриллюэном образцом науки, связанной с реальным экспериментом, без идеализированных экспериментов не обойтись.

Бриллюэн утверждает, что расстояния порядка 10^{-50} см лишены физического смысла. Эта мысль аргументируется им следующим образом. Для измерения этого расстояния мы должны воспользоваться волной, энергия которой имеет порядок величины 10^{34} эрг, что соответствует энергии, получаемой в результате аннигиляции 10^7 т вещества. Такое измерение неосуществимо, так как оно привело бы не только к уничтожению лаборатории, но и Земли. Этот результат, продолжает Бриллюэн, «убедительно показывает полную невозможность измерения величины 10^{-50} см. И если физик не способен ее измерить, то он никогда и не отважится говорить о ней»³.

Если следовать логике вышеприведенных рассуждений, ставящих смысл физических понятий в зависимость от реальной процедуры измерения, то нужно признать бессмысленными не только расстояния 10^{-50} см, но и расстояния, на много порядков большие, поскольку и в этом случае процедура измерения в обычных (в современном смысле) лабораторных условиях имела бы катастрофические последствия для человека. Хотя в некоторых случаях понятия таких малых расстояний и считаются действительно не имеющими физического смысла (в силу вырождения метрики, квантования пространства и т. д., т. е. по другим причинам, чем те, на которые указывает Бриллюэн), все же они оказываются объективно полезными в рамках теоретических ис-

³ Л. Бриллюэн. Научная неопределенность и информация. М., 1966, с. 59.

следований. Примером этого могут служить исследования сингулярностей в релятивистской космологии.

Для операционализма Бриджмена — Бриллюэна характерны не только ограничительная трактовка проблемы наблюдаемых, элиминирующая идеализированный эксперимент, но и принцип, требующий сепаратной эмпирической проверки каждого утверждения физической теории. Согласно этому принципу совершенно недостаточно проверять следствия, вытекающие из физической теории как целого; теория только тогда имеет смысл, когда каждое ее утверждение допускает операциональную эмпирическую проверку.

Существуют две принципиально непреодолимые трудности на пути последовательного проведения вышеизложенного операционалистского принципа. Во-первых, это системный характер физической теории. При проверке любого утверждения физической теории посредством конкретного эксперимента ученые вынуждены пользоваться дополнительными гипотезами, принципами, без которых проверяющий эксперимент был бы невозможен. Ингредиенты теории получают свое содержание не только из опыта, но и из связи с остальной частью физики.

Во-вторых, любая физическая теория состоит не только из утверждений, имеющих реальный смысл и допускающих эмпирическую интерпретацию, но и из утверждений, составленных из абстрактных терминов, которым не соответствует непосредственный референт в реальном мире. Ни о какой эмпирической проверке этих предложений самих по себе говорить не приходится.

Если последовательно проводить операционалистскую точку зрения, то, по-видимому, следовало бы вообще запретить абстрактные термины и предложения, составленные из них. Но без них физическая теория функционировать не может. Поэтому осуществление такой меры привело бы к разрушению всего здания физики. Естественно, что Бриллюэн не выступает против абстрактных терминов теории как таковых. Но в то же время он объявляет бессмысленными и не имеющими законного места в физике такие понятия общей теории относительности, как «событие», «произвольная система координат», «ковариантные законы».

Нет необходимости доказывать, что эти понятия являются центральными для теории относительности, без которых она просто невозможна. Понятие системы координат — математическое. Физике необходим переход от понятия систем координат к понятию систем отсчета. Каким же образом он должен быть осуществлен? Эйнштейн считал, что физика может иметь дело не только с реальными, но и с идеализированными ситуациями. В последнем случае допустимо рассматривать системы координат в пространстве событий, связывая начало координат с одним из событий. Бриллюэн, следуя Бриджмену, отклоняет такой подход к понятиям события и системы координат. С его точки зре-

ния понятие «событие» не соответствует реальному объекту, и это понятие не дает возможности перейти от математической системы координат к физической системе отсчета: необходимо, чтобы система отсчета была связана не с событиями, а с физическими объектами — частицами, материальными телами. Бриллюэн считает, что в физике допустимы не системы координат, а только системы отсчета, связанные с тяжелыми телами, обладающими бесконечной массой.

Еще большие возражения у Бриллюэна вызывает понятие произвольной системы координат. В общей теории относительности это понятие является естественным обобщением декартовой системы координат, имеющим важное значение для формулировки ковариантных законов. Но с точки зрения операционализма оно не имеет смысла, так как реальный наблюдатель всегда имеет дело лишь с некоторой специальной системой отсчета, к которой отнесена его экспериментальная установка.

В свое время Эйнштейн подверг критике операционалистский критерий содержательности физических утверждений. В ответ на требование Бриджмена, чтобы каждое утверждение теории было независимо интерпретировано и операционально проверено, Эйнштейн писал: «В действительности же еще ни одна теория не смогла удовлетворить этим требованиям, и им вообще невозможно удовлетворить. Для того чтобы какую-нибудь теорию можно было считать физической теорией, необходимо лишь, чтобы вытекающие из нее утверждения в принципе допускали эмпирическую проверку»⁴.

Именно на этом принципе — принципе эмпирической проверки следствий, вытекающих из теории как целого, и построена теория относительности. Он позволяет включить в теорию, кроме «реальных», абстрактные теоретические конструкции, не связанные непосредственно с реальными экспериментами.

Конечно, вышеизложенный принцип имеет теневые стороны. Он не дает возможности в полной мере выявить отношение к реальному миру отдельных фрагментов теории. В этом отношении операционалистский принцип сепаратной эмпирической проверки утверждений физической теории имеет определенное преимущество. Он упрощает теорию, оставляя в ней только «надежно» установленные положения. Но это достоинство оборачивается серьезным недостатком, так как надежность такого рода приводит к обеднению физики.

⁴ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. IV. М., 1967, с. 306.

Бриллюэн считает краеугольным для физической теории еще один гносеологический принцип. А именно: он полагает, что развитие физической теории должно осуществляться не только в ходе коренной ломки идей и аппарата, но и (главным образом) при постоянной подгонке теории под новые данные опыта. Теория относительности, в особенности общая, не удовлетворяет этому требованию. Он сравнивает ее с квантовой механикой, которая обладает следующим «преимуществом» перед ней: «Квантовая теория — это теория фундаментальная, но постоянно изменяющаяся; квантовомеханические представления искусно развиваются и почти каждый год приспособливаются к объяснению все новых и новых экспериментальных фактов»⁵. Однако теория, допускающая постоянную подгонку путем введения все новых «эпициклов», — не настоящая научная теория, а всего лишь интерполяция между рядом экспериментальных точек. И квантовая теория вовсе не такова, как о ней пишет Бриллюэн. Нельзя принимать за подгонку, «приспособление» квантовой теории к новым фактам развитие ее математических методов при неизменности принципов. (Мы не говорим здесь о трудностях квантовой теории поля и поисках направлений ее развития, ограничиваясь, естественно, квантовой механикой.)

Операционалистская критика Бриллюэном общей теории относительности закономерно приводит его к более общему вопросу о стиле научного мышления, о месте и роли математики в физическом познании. Он бросает упрек общей теории относительности в том, что она слишком математична. По его мнению, назначение математики состоит в кодировании опытных данных; она не может выступать в качестве исходного пункта физического исследования и быть источником нового знания; им является опыт, и только опыт.

С такого рода оценкой роли математики и ее места в физическом познании трудно согласиться. Было бы небезынтересно обратиться к мнению Вигнера, который озаглавил один из своих докладов «Непостижимая эффективность математики в естественных науках». Вигнер обсуждает природу математического и физического знания⁶ и их взаимную связь, честно признавая, что отнюдь не решает проблему, но под конец пишет: «Я хотел бы закончить более радостной нотой. Математический язык удивительно хорошо приспособлен для формулировки физических за-

⁵ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности, с. 81.

⁶ Критический анализ этой работы Вигнера дан в работах: С. Г. Суворов. О некоторых гносеологических проблемах физики.— «Успехи физических наук», 1969, т. 98, вып. I; П. В. Копнин. Марксистско-ленинская теория познания и современная наука.— В кн.: Проблемы философии и методологии современного естествознания. М., 1973, с. 37.

копов. Это чудесный дар, который мы не понимаем и которого не заслуживаем. Нам остается лишь благодарить за него судьбу и надеяться, что и в своих будущих исследованиях мы сможем по-прежнему пользоваться им. Мы думаем, что сфера его применимости (хорошо это или плохо) будет непрерывно возрастать, принося нам не только радость, но и новые головоломные проблемы»⁷. В этих строках, как и во всей статье Вигнера, чувствуется вера в глубину и объективность познания мира при синтезе эксперимента и аппарата математики, вера, основанная на свободном владении аппаратом.

Требую от математического языка раболопного отражения всей прозы эксперимента, без взлета в простор абстракции, исследователь обрекает себя на серые будни феноменологии, которую тогда едва ли можно назвать теорией.

В общей теории относительности математика играет совсем иную роль, чем та, которую ей отводит операционализм. Здесь она выступает не только в качестве технического средства обработки уже полученного эмпирического материала, но, и это следует подчеркнуть, в качестве исходного пункта исследования, дающего новые знания. Эта роль математики нашла свое проявление в самом процессе становления общей теории относительности. Было бы наивно думать, что последняя вытекает из единственного эмпирического факта, известного до нее, — эквивалентности тяжелой и инертной масс. Прежде всего, сам по себе этот факт еще не приводит к общей теории относительности. Он связан с ней лишь при условии определенной его интерпретации (при соответствующем изменении интерпретации он может рассматриваться в качестве эмпирической основы не общей теории относительности, а, например, конкурирующей с ней скалярно-тензорной теории гравитации). Но даже в том случае, когда факт эквивалентности тяжелой и инертной масс берется в трактовке, приводящей к общей теории относительности, он не может рассматриваться достаточным ее основанием. Из него нельзя получить ни вывода о том, что гравитация имеет геометрическую природу, ни ковариантных уравнений гравитационного поля. Для получения этих выводов нужны дополнительные гипотезы математического порядка. В частности для вывода гравитационных уравнений требуется постулирование следующих формальных условий: пространство-время четырехмерно, его структура определяется симметричным метрическим тензором, уравнения должны быть инвариантными относительно группы непрерывных преобразований.

Является ли изложенная роль математики чисто специфической особенностью общей теории относительности? Нет! Метод, применяемый в общей теории относительности и получивший название математической гипотезы, является общим для всей

⁷ Е. Вигнер. Этюды о симметрии. М., 1971, с. 197.

теоретической физики. Его можно проследить не только в общей теории относительности, но и в электродинамике Максвелла, специальной теории относительности, квантовой механике, физике элементарных частиц.

Операционализм ставит своей задачей освободить физику от математических «излишеств», привязать математический аппарат физики к реальной эмпирической ситуации. Иным является подход к интерпретации математического формализма, предпринятый Эйнштейном в общей теории относительности. Эйнштейн считал нецелесообразным вводить с самого начала те ограничения, которые представлялись необходимыми операционалистам. Наоборот, он допускал свободное развитие математического формализма в его более или менее абстрактном виде. Такой подход давал возможность более полно выявить эвристические возможности, заложенные в математике.

Плодотворность этого метода нашла свое выражение не только в самом факте создания уравнений общей теории относительности, но и в их дальнейшем развитии. В них оказалось значительно больше содержания, чем то, которое вкладывал сам Эйнштейн. Иллюстрацией эвристических возможностей математического формализма общей теории относительности явился следующий, ставший уже хрестоматийным, факт. Первоначально Эйнштейн считал, что уравнения общей теории относительности допускают только статические, т. е. не зависящие от времени, решения. Исходя из этого предположения он получил космологическую модель, пространственная метрика которой не изменялась во времени. Эйнштейн считал, что пространственная структура с неизменной метрикой является единственной возможностью, допускаемой общей теорией относительности. Однако такой взгляд оказался неверным. А. Фридман нашел, что ее уравнениям удовлетворяют не только статические пространственные структуры, но и (к тому же более естественным образом) структуры с изменяющейся во времени метрикой. Более того, в дальнейшем (после открытия Хабблом закона красного смещения) было установлено, что именно эволюционирующие, а не статические модели являются описанием структуры реального мира. Уравнения теории оказались «умнее» своего создателя!

Приведенный пример не единичен. Факты, подобные ему, можно встретить и в других физических теориях, применяющих метод математической гипотезы и допускающих известную свободу от операционалистских ограничений в развитии математического формализма. Здесь можно было бы отметить чисто математическое предвосхищение Максвеллом электромагнитных волн, предсказание Дираком античастиц и целый ряд других фактов из области физики.

Если кратко охарактеризовать позитивную программу Бриллюэна, то суть ее сводится к попыткам обоснования эффектов теории относительности посредством квантовой механики. По существу речь идет о замене стройной и до конца логичной теории Эйнштейна на оторванную от геометрии лоскутную модель, не квантовую по предназначению, но включающую квантовомеханические представления. При этом, по мысли автора, новая теория должна быть открыта для непрерывной модификации, чего-то вроде внесения эпициклов, по мере обнаружения новых опытных фактов.

Вообще для книги Бриллюэна характерно избыточное привлечение всевозможной физической эмпирики. Однако, обращаясь к данным опыта, непосредственно связанным с проверкой и обоснованием теории гравитации, автор производит явно пристрастный выбор. Хотя оригинал книги вышел в свет в 1970 г., одним из главных авторитетов для автора остается Шази, обзор которого был опубликован в 1930 г. Он, в частности, пишет: «Подробный анализ старых результатов можно найти в книге Шази; новые эксперименты не лучше»⁸. Даже если бы автор опирался на данные, широко известные ко времени написания его книги, например на содержащиеся в сборнике «Гравитация и относительность»⁹, он не мог бы заявлять о 100-процентной погрешности в релятивистском эксперименте. Вместе с тем Бриллюэн требует «согласия» между теориями, работающими в принципиально различных областях, — между теорией гравитации и квантовой теорией, удивительным образом тут же смешивая этот активно обсуждающийся вопрос (без ссылок на действительно содержательные работы) с явно классическими (неквантовыми) проблемами — отклонением луча света, смещением перигелия Меркурия. И он пишет совершенно категорически и безапелляционно: «Вывод: нет никаких экспериментальных фактов, подтверждающих громоздкую в математическом отношении теорию Эйнштейна. Все, что сделано после Эйнштейна, представляет математически сложные обобщения, дополнения или видоизменения, не имеющие экспериментального подтверждения»¹⁰. При этом нельзя сказать, что Бриллюэн вообще не знаком с новым экспериментом: так, он цитирует результаты Шапиро (1968 г.) по дистанционному измерению скорости света вблизи Солнца. Просто он ссылается лишь на то, что может толковать благоприятно для своего подхода к теории, и толковать при этом одно-сторонне.

⁸ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности, с. 131.

⁹ Гравитация и относительность. М., 1965.

¹⁰ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности, с. 83.

Таким образом, для взглядов Бриллюэна характерно привлечение представлений квантовой механики для критики частной и общей теории относительности. Рискнем повторить здесь прописные истины: всякая теория хороша лишь в границах своей области применимости; исключений из этого правила нет. Совершенно очевидно, что предмет квантовой физики выходит за границы области любой классической (неквантовой) теории. Последнюю можно поэтому раскритиковать с точки зрения квантовой механики, но это будет критика не по существу. Другое дело, если, оставаясь на почве признания существующей неквантовой теории, обсуждать перспективы и пути ее синтеза с квантовыми идеями. Но Бриллюэн подвергает с подобных «позиций» критике общую теорию относительности, а заодно и ее космологические приложения внутри области применимости этой теории!

СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА И ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Посмотрим, как Бриллюэн решает проблему системы отсчета. Свою позицию по данному вопросу он определяет следующим образом: «Система координат — чисто геометрическое понятие; она не имеет массы по той простой причине, что в геометрии понятие массы не рассматривается. Система отсчета же должна обладать массой, причем необходимо предполагать, что эта масса много больше массы любого движущегося относительно нее тела»¹¹. Такой подход в корне противоположен общепринятому, успешно работающему в физике подходу к системам отсчета. Как рассуждает автор, видно из следующего отрывка: «Пусть дано некоторое силовое поле и найден его потенциал. Сила задана как функция координат x , y , z и описывает действие на снаряд. А к чему приложено противодействие? Очевидно, к системе отсчета $OXYZ$. Эта система должна оставаться в покое, следовательно, ее масса должна быть бесконечной!»¹² Итак, автор считает, что снаряд запускается «из» системы отсчета. Дело не ограничивается просто его наблюдением, когда (будем рассуждать по образцу автора) система отсчета принимает фотоны, излучаемые по той или иной причине снарядом. Но разве обязательно осуществлять запуск всех исследуемых объектов «из» нашей системы отсчета? Разве астрономы запустили в космос Луну, планеты и все прочее, чтобы иметь право на наблюдения?! Значит, дело должно ограничиваться импульсами отдачи фотонов или других малых возмущающих объектов. В квантовой теории, конечно, этими импульсами пренебрегать нельзя, и там для сохранения классического языка, на фоне которого и средствами которого проводится теоретический и экспериментальный анализ, приходится опираться на макроскопические приборы, конеч-

¹¹ Там же, с. 18.

¹² Там же, с. 69.

по, много более массивные, чем средства наблюдения, — фотоны, электроны и проч.

Следует оговориться, что автор обсуждает классическую, т. е. неквантовую, общую теорию относительности, а не пути ее обобщения и синтеза с квантовой теорией. Что же такое система отсчета в классической физике? Конечно, в ее основе лежит представление об измерительных приборах — всех, которых требует постановка эксперимента. В классике предполагается, что измерения можно производить не возмущая исследуемую физическую систему. Это положение уязвимо, но его критика выводит нас из классической области в квантовую, и, если мы хотим остаться в рамках применимости классической физики, необходимо это положение принять. Без известной идеализации научное знание невозможно. Но тогда прибору следует приписать исчезающе малую массу, устремляя к нулю величину импульса отдачи и прочие возмущения в ходе измерительного процесса. Множество пробных приборов — тело отсчета, также пробное.

Чтобы применять методы дифференциального исчисления, мы обычно рассматриваем это тело как некоторую непрерывную среду. Конечно, было бы странно, если бы мы, говоря о каждой ее точке как об идеализированном приборе, приписывали ему бесконечно большую массу! Каждая такая трехмерная точка как-то движется, что изображается в четырехмерном аспекте мировой линией. Тело отсчета — это в геометрическом аспекте конгруэнция мировых линий (временноподобных, так как прототипом послужили реальные приборы). На эти приборы действуют какие-то силы, которые мы, по предположению, можем контролировать (задавать конкретное движение системы отсчета, включая, в частности, ее деформацию). При исчезающе малой (в пределе — нулевой) массе приборов эти силы не дают бесконечно больших ускорений, так как они выбираются тоже бесконечно малыми, и в рамках классической физики не возникает никаких противоречий. Более того, оказывается, что такое определение системы отсчета чрезвычайно плодотворно.

Относительно конкретной системы отсчета в теории относительности определяют наблюдаемые — величины, в принципе поддающиеся измерению, в отличие от координат, задаваемых соглашением, и компонент тензорных величин. В специальной теории относительности при использовании декартовых пространственно-временных координат эти компоненты автоматически являются наблюдаемыми лишь вследствие простой связи там между системой координат и системой отсчета (сопутствующих друг другу). В общей теории относительности и в неинерциальных системах отсчета в специальной теории приходится применять в более полном объеме математический аппарат описания систем отсчета — монадный¹³, тетрадный или какой-либо иной.

¹³ См., например: *E. Massa. Space Tensors in General Relativity.* — «General Relativity and Gravitation Journal», 1974, v. 5, p. 555, 573, 715.

В квантовой физике понятие наблюдаемых несколько иное по своему оформлению, чем в теории относительности, однако и здесь главное — проблема измерения. Но теперь уже нельзя пренебрегать возмущениями в процессе измерения, и соотношения неопределенностей диктуют известные ограничения. Говоря формально, в квантовой теории наблюдаемые — это величины, описываемые самосопряженными операторами, собственные значения которых и являются допустимыми результатами отдельных измерений. Однако это очень далеко от идей теории относительности. В этой связи поучительны соображения, высказанные Вигнером. В отличие от Бриллюэна, требующего одновременного использования и линейек, и часов, Вигнер приводит аргументы в пользу унификации измерений длины и времени, отмечая, что «желательно свести все измерения в пространстве-времени к измерениям с помощью часов»¹⁴. Он анализирует и свойства атомных часов, отнюдь не противопоставляя их «часам Эйнштейна». Вигнер отмечает неизбежность наличия массы у приборов (тем самым — и у системы отсчета) в квантовой теории. Он пишет: «Например, часы с суточным заводом и точностью 10^{-8} сек. должны весить почти 1 г (по причинам, проистекающим из соотношений неопределенности и тому подобных соображений)»¹⁵. Такая масса ничтожна в области, где существенна общая теория относительности в существующих релятивистских экспериментах, но она весьма значительна для микрообъектов, в рамках масштабов которых сейчас делаются конкретные гравитационные предсказания. Таким образом, проблема актуальна и заслуживает пристального внимания, но она не перечеркивает общую теорию относительности, а предполагает построение новой теоретического «этажа» в результате синтеза ее с квантовой теорией.

НЕКОТОРЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ И КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФИЗИКИ

Следует остановиться еще на одном утверждении Бриллюэна, имеющем отношение к теории относительности. Он подчеркивает, что скорость света переменна, не уточняя, в каком смысле в теории гравитации говорят об этой «переменной». Общая теория относительности точно так же, как и специальная, утверждает, что скорость света в вакууме — фундаментальная постоянная. Однако это касается локального измерения этой величины, когда и пройденные пути, и интервалы времени определяются в одном и том же месте (имеются в виду бесконечно малые отрезки). В опытах Шапино, на которые ссылается Бриллюэн, проводилось *дистанционное* измерение скорости света, так как время отсчитывалось на Земле, а путь, пройденный лучом, лежал **вбли-**

¹⁴ Е. Вигнер. Этюды о симметрии, с. 71.

¹⁵ Там же, с. 74.

зи Солнца. Таким образом, фактически сравнивался ход часов в областях с различными гравитационными полями.

Бриллюэн делает утверждение о «неощутимости» вращения тел «со стороны»: «Планеты не «ощущают» вращения Солнца»¹⁶. Это тоже неверно. Гравитационные поля вращающихся и невращающихся масс различны с точки зрения общей теории относительности, и существует целый ряд работ (начиная с исследований пятидесятилетней давности), посвященных анализу соответствующих эффектов. К этой же проблеме имеет отношение и ссылка Бриллюэна на «гравитационный вихрь» Карстуа¹⁷. Он освещает дело так, будто подобного эффекта нет в стандартной теории гравитации Эйнштейна. В действительности же этот эффект квазимагнитного гравитационного поля (поле Лензе — Тирринга) описан в любом серьезном учебнике, например в стандартном курсе Ландау и Лифшица¹⁸. Отметим, что он приводит к принципиальным физическим эффектам, в частности касающимся движения планет¹⁹.

Бриллюэн утверждает, что при значении r , равном гравитационному радиусу, решение Шварцшильда имеет сингулярность. Однако известно, что на гравитационном радиусе сингулярности в общепринятом смысле нет. Далее Бриллюэн выражает недовольство по поводу различных форм шварцшильдовых решений и численных значений для одного и того же гравитационного радиуса в разных системах координат. Последнее основано на недоразумении: в разных системах координат, естественно, радиальная координата r также неодинакова, и одной и той же шварцшильдовской сфере отвечают разные значения радиальных координат в разных системах. Поясним это обстоятельство. Дело в том, что криволинейные координаты вообще и координаты в общей теории относительности в частности не могут непосредственно изображать измеряемые значения длин. Чтобы перейти от координат к физическим длинам, необходимо задаться системой отсчета и определить в ней физические наблюдаемые (здесь уже не в смысле Бриджмена — Бриллюэна). Можно показать, что тогда результат оказывается не зависящим от выбора системы координат (если мы не отказались от исходной топологии).

Что же касается собственно космологии, то ее критика Бриллюэном естественно вытекает из его отношения ко всем остальным аспектам релятивистской физики. Отличительной чертой этой критики является только более резкая прямолинейность. Здесь сомнения в содержательности теории вообще никак не аргументируются; так, Бриллюэн пишет: «Приятно рассуждать

¹⁶ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности, с. 72.

¹⁷ Там же, с. 134.

¹⁸ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля. М., 1973, с. 419, 426.

¹⁹ Н. В. Мицкевич, И. Пулидо Гарсия. О движении пробных масс в гравитационном поле вращающегося тела. — ДАН СССР, 1970, т. 192, с. 1263.

о происхождении Вселенной, но надо помнить, что такие рассуждения — лишь чистая фантазия. И нечего ожидать, что читатель поверит в какую-либо модель Вселенной...»²⁰ Вообще вместо термина «космология» Бриллюэн предпочитает говорить «космогония» — это позволяет ему объединять сомнения в правомерности построения моделей Вселенной с неудовлетворенностью информацией о строении звезд. Действительно, именно космология представляет собой ту область, где исследуются наиболее далеко идущие следствия общей теории относительности, — область, в которой операционалистические рассуждения оказываются особенно неуместными, а последовательная теория (не феноменология!) проявляет подлинную мощь. Космология в наши дни представляет собой пробный камень общей теории относительности, позволяющий проводить тончайшую проверку этой теории по таким ее следствиям, которые (без знания ее) показались бы всего лишь разрозненными случайными фактами, данными нам то в концентрациях различных изотопов во Вселенной, то в свойствах реликтового излучения, то в хаббловском красном смещении, — это перечисление можно продолжать и продолжать. И это Бриллюэн называет ситуацией, когда «желаемое выдается за действительное»!

Бриллюэн формулирует «Фундаментальный нелинейный закон гравистатики», взяв за основу закон всемирного тяготения Ньютона в форме уравнения Пуассона и подставив туда плотность массы (энергии) самого гравитационного ньютоновского поля. Мысль эта заслуживает внимания, если автор хочет сравнить возможности теории Ньютона, обогащенной релятивистскими идеями ($E = M \cdot c^2$), и теории гравитации Эйнштейна, но ее никак нельзя использовать в целях замены эйнштейновской теории.

Перечень подобных замечаний в адрес конкретных утверждений Бриллюэна можно было бы продолжить. Но и то, что сказано нами, дает основание утверждать о неприемлемости предложенной им программы ревизии теории относительности и космологии.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ НЕООПЕРАЦИОНАЛИЗМА БРИЛЛЮЭНА

В заключение отметим, что операционализм Бриллюэна имеет ряд особенностей, отличающих его от операционализма Бриджмена. С целью подчеркнуть это отличие мы назовем его неооперационализмом.

Особенностью операционализма Бриджмена является то, что он смыкается с субъективным идеализмом. Так, по Бриджмену, содержание понятий определяется не объективно реальными референтами, а лишь совокупностью операций, осуществляемых

²⁰ Л. Бриллюэн. Новый взгляд на теорию относительности, с. 17.

над понятиями. Бриджмен по существу отрицает объективный характер содержания научных законов, считая, что законы, равно как и вся наука, носят сугубо личный и субъективный характер.

Субъективизм Бриджмена особенно выпукло проявился в его критике эйнштейновской идеи ковариантности физических законов, их общезначимости и объективности. Бриджмен исходит из того, что законы не могут быть общезначимыми, так как опыт, на основе которого они формулируются, индивидуален. Бриджмен пишет: «...Наиболее радикальной особенностью мировоззрения Эйнштейна, нашедшего свое выражение в общей теории относительности, является то, что он верит в возможность выхода за рамки специальной точки зрения индивидуального наблюдателя и возведения ее в нечто универсальное, «общезначимое» и «реальное». Я, со своей стороны, занимаю позицию, согласно которой тщательный анализ всего, что мы делаем в физике, указывает на общую невозможность выхода за пределы исходной точки зрения индивидуального наблюдателя»²¹. Как мы видим, критика общей теории относительности переходит в критику объективного содержания не только общей теории относительности, но и всей физики.

Бриллюэну, в отличие от Бриджмена, чужда субъективистская трактовка опыта и законов науки. Знакомство с его работами, в особенности с философскими, убеждает в том, что он принимает материалистическую концепцию науки. Но этот материализм ограниченный. Ему свойствен узкий эмпиризм, который не позволяет правильно оценить не только общую теорию относительности и релятивистскую космологию, но и основные тенденции развития современной физики в целом.

И. Б. Новик, А. Турсунов

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АСТРОНОМИИ И ФИЗИКИ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ УСИЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ

Ф. Энгельс, анализируя историю естественнонаучной мысли, подчеркивал, что естествознание XIX века медленно выходило за рамки метафизической методологии мышления, мучительно впи-

²¹ P. W. Bridgman. Einstein's Theories and the Operational Point of View.— Albert Einstein: Philosopher-Scientist. London, 1970, p. 349.

тивая в себя принцип развития. Это в особенности относится к астрономии. Действительно, хотя именно астрономия фактически первой среди всех наук о природе пробила первую брешь в окаменелом метафизико-теологическом мировоззрении естествознания XVIII столетия, тем не менее ей самой суждено было еще долго (вплоть до середины нашего столетия) оставаться *наукой о законченных вещах*; она в основном изучала только пространственное распределение и движение космических тел и их систем, а ее объект познания вплоть до начала XX в. фактически ограничивался Галактикой и (как мы теперь знаем) сравнительно близкими ее окрестностями.

За последние полвека в результате применения в астрономии новых методов исследования (включая экспериментальные) значительно раздвинулись границы доступной эмпирическому изучению части Вселенной. Вместе с тем само астрономическое познание поднялось на качественно новую ступень развития. В теоретическом плане центр тяжести переместился на исследование физической структуры и механизма эволюции космических объектов, а в этой связи — на проблему общих закономерностей процессов развития в космосе.

Такие изменения вызваны тем, что сейчас главное направление астрономических исследований вливается в общее русло физического исследования, сфера которого по внутренней логике развития самой физики последовательно охватывает все более сложные уровни структуры материи.

Закономерный процесс сращивания астрономических и физических исследований идет в следующих двух планах:

1. Своеобразная «космизация» физического эксперимента, выражающаяся в непосредственном экспериментальном изучении космического пространства. Экспериментальная астрофизика (космофизика, космическая астрофизика) включает большое число направлений исследования — в нее входят такие относительно самостоятельные разделы, как экспериментальная геофизика, экспериментальная гелиофизика, ракетно-спутниковая физика космических лучей, физика межпланетного вещества и т. д.; формируются экспериментальная нейтринная астрофизика, физика космических электромагнитных полей и т. д. Кроме этих, так сказать, чисто физических разделов, экспериментальная астрофизика включает и такие разделы, как инфракрасная и ультрафиолетовая астрономия, рентгеновская и гамма-астрономия, ракетно-спутниковая фототелевизионная астрономия, которые, естественно, развиваются в тесной взаимосвязи с прогрессом экспериментальной физики (земной!) и физического приборостроения. Таков общий ход тесного взаимопереплетения и глубокого внутреннего единения физических, астрофизических и наблюдательно-астрономических исследований в практическом плане.

2. Рассматриваемый процесс можно проследить и на теоретическом уровне. Исторически развитие теоретической астрофизиче-

ки шло по линии последовательного привлечения к решению проблем физики космоса современных разделов теоретической физики: сначала — теория излучения и атомная физика, а затем — электродинамика и магнитная газодинамика, далее — ядерная физика, статистическая и квантовая механика, наконец — общая теория относительности и физика элементарных частиц. Характерной особенностью нынешней стадии развития теоретической астрофизики является то, что она больше, чем когда-либо, переплетается с другими, «некосмическими» разделами теоретической физики. Достаточно яркими примерами сказанного являются: взаимопереплетение астрофизических и собственно физических аспектов проблемы кварков, «стыковка» проблем синтеза трансурановых элементов на Земле и происхождения химических элементов во Вселенной и т. д. Сближение астрофизики с земной физикой стало настолько тесным, что физикам из ее «земных» областей «ничего не стоит» переключаться на астрофизическую проблематику.

Таким образом, экспансия физики в исконные владения астрономии идет параллельно двумя тесно взаимосвязанными и перекрещивающимися путями: с одной стороны, физика со своими научно-измерительными приборами проникает в космос и самостоятельно исследует интересующие ее явления, а с другой — по мере открытия все новых и новых эмпирических фактов астрономия призывает на помощь весь мощный методический и концептуальный аппарат теоретической физики — от общерелятивистской теории коллапса до гипотетической модели кварков — с тем, чтобы интерпретировать свой все возрастающий материал наблюдения.

Взаимопереплетение этих двух объективных тенденций неизбежно ведет к тому, что коренным образом меняется характер самой астрономии как естественной науки: в основном она становится частью физики, ее прямым продолжением в новую экстремальную область — мегамир, который в отличие от другой такой области — микромира, поражает своими чрезвычайно большими масштабами. (Мы говорим «в основном», имея в виду тот факт, что проблематика астрономии по своему характеру не сводится к одной только физике, она имеет и не менее важные химические, биологические, геологические и т. д. аспекты.)

В свете этой главной тенденции интересно проследить некоторые характерные черты современного этапа астрономического познания, которые при ближайшем рассмотрении оказываются частными проявлениями особенностей, присущих всему естествознанию наших дней.

Характеризуя тенденцию слияния физико-математических дисциплин в единую науку, Л. А. Арцимович отмечает: «По сложившейся традиционной классификации... принято различать в виде самостоятельных научных дисциплин астрономию, механику и физику, хотя, в сущности, здесь речь идет об отдельных

областях единой физической науки, объединенных общими научными принципами и тесно связанных между собой благодаря непрерывному обмену идеями и методами исследования»¹.

Первой характерной чертой нынешней стадии исследования Вселенной является комплексный подход к решению проблем, многоплановое изучение объекта познания.

Возникновение принципиально новых методов эмпирического исследования космоса — начиная от радиоастрономии и кончая нейтринной астрофизикой — с одной стороны, существенно расширило «кругозор» исследователей неба, а с другой — придало астрономии некоторые черты экспериментальной науки. Взрывы в ядрах галактик (включая квазары), дискретные рентгеновские источники, реликтовое метагалактическое излучение, радиоизлучение сильно возбужденных атомов водорода и пульсары — таков неполный перечень открытий фундаментального характера, сделанных в последние годы благодаря использованию новых методов исследования Вселенной.

Очевидно, разные методы при одновременном применении к одному и тому же астрономическому объекту отнюдь не дублируют друг друга; «каждому свое»: каждый метод «своими силами» раскрывает какие-то стороны единого целого, и задача познания заключается в том, чтобы органически связать их друг с другом и с объектом в целом; тем самым будет получено синтетическое представление об объекте, его структуре и единых закономерностях движения и развития. В этом состоит «гвоздь» истинно диалектического познания (развертывание всей совокупности моментов действительности в их взаимосвязи и противоречии).

Комплексное исследование материального объекта путем применения разных методов означает взаимодействие различных отраслей одной и той же науки или даже нескольких наук. Сейчас, например, значительно углубилось комплексное изучение Земли всеми доступными методами — к ним помимо старых классических методов прибавились новые, в результате чего началось сложное взаимодействие и взаимопереплетение геологии, геодезии, географии, физики (геофизики), химии (геохимии), механики, космогонии, кибернетики и т. д. Этот пример убедительно свидетельствует, что чем сложнее структура объекта, чем многограннее его свойства и отношения, тем в большей мере требуется комплексный многоплановый подход к его исследованию. Но Земля — лишь одна из планет Солнечной системы, остальные члены которой требуют такого же комплексного подхода.

Во времена Галилея астрономия еще не могла осуществлять комплексное изучение своих объектов познания, и лишь с конца

¹ Л. А. Арцимович. Будущее принадлежит астрофизике. — «Природа», 1972, № 9, с. 2.

XIX столетия, с возникновением астрофизики, реально появилась подобная возможность. Сейчас, в век усиливающегося взаимодействия наук, астрономия получила большие возможности комплексного изучения космических явлений, что особенно заметно в области планетной астрономии. Здесь исследования уже ведутся на базе взаимопереплетения астрометрического, астроспектроскопического, фотометрического, фотографического, небесно-механического, радиолокационного, лазерно-локационного и, наконец, ракетно-спутникового фототелевизионного методов, в результате чего между классической астрономией (астрометрией), физикой, химией, механикой, квантовой электроникой, радиоэлектроникой, космонавтикой и другими происходит тесная кооперация и взаимодействие.

Такое же взаимодействие происходит и в случаях, связанных с возникновением новых дисциплин. Интересно, например, возникновение релятивистской астрофизики, сформировавшейся на стыке наблюдательной космологии и общей теории относительности. А на основе взаимопроникновения ядерной физики и астрофизики возникла новая синтетическая дисциплина — ядерная астрофизика. В самое последнее время в связи с открытием и интенсивным изучением высокоэнергетических космических процессов (типа взрывов в ядрах галактик) на стыке внегалактической астрономии, ядерной астрофизики и релятивистской астрофизики сформировалась астрофизика высоких энергий. Заманчивые перспективы открываются и на пути «встречного» взаимодействия космологии и физики элементарных частиц, которое в форме единства микро- и мегамиров превращается в одну из фундаментальных проблем науки.

Таким образом, можно говорить о второй характерной черте современной астрономии, заключающейся в ее тесном взаимодействии с другими («земными») науками и во взаимодействии между отдельными разделами ее самой. Но интеграция различных наук или же взаимодействие разных разделов одной и той же науки рождает новые узкоспециальные дисциплины. Следовательно, данный процесс в другой плоскости выступает как дифференциация знания, как его расчленение и углубление. В этом отношении возникновение релятивистской астрофизики и ядерной астрофизики — это явная дифференциация самой астрофизики, ее углубленная специализация, что позволяет ей более полно и адекватно отображать в своих понятиях и законах глубинные связи астрономических явлений.

В общем случае данное явление следует рассматривать в связи с процессом дифференциации самой астрономии, который в настоящее время приобретает сравнительно резкий характер. Астрономия, возникшая на заре цивилизации как наука о небесных явлениях вообще, долгое время объединяла в себе всю сумму наших знаний о Вселенной. В последние же сто лет предмет астрономии глубоко изменился. Классическая астрономия

по сути дела сводилась к астрометрии, интересующейся измерением положений космических объектов на небесной сфере и вычислением их движений; она не ставила своей целью изучать структуру космических объектов и глубинные процессы, происходящие в них. Этого могла добиться только физика. «Физикализация» астрономии, в конечном счете, привела к основательной перестройке характера астрономических наблюдений на базе физических методов и средств исследования.

С другой стороны, физика подготовила почву для расширения области своих собственных приложений. Последнее стало возможным в середине XX столетия, когда астрофизика превратилась в самостоятельную физическую науку со *своей проблематикой* и собственными методами и средствами познания. Далее, сейчас уже определенно можно говорить о космологии как о самостоятельной науке. В дальнейшем неизбежно отпочкование и экзобиологии или астробиологии, науки о внеземных формах жизни².

Таким образом, по мере прогресса в познании Вселенной, по мере того как каждый из разделов астрономии достигает «зрелого возраста», совершается постепенная дифференциация — формируются новые самостоятельные науки и их разделы со своими предметами и методами исследования. Историческая ретроспекция дает здесь любопытную аналогию. Известно, что в далеком прошлом всеобъемлющей наукой о Земле была география. Однако по мере развития знания и методов познания география стала дифференцироваться и ее отдельные разделы стали превращаться в самостоятельные науки. Так возникли, в частности, геология, геодезия, картография и т. д., что привело к изменению предмета самой географии. Видимо, аналогичная историческая судьба ожидает астрономию.

Сравнительно резкая дифференциация астрономии, которую можно выделить как третью характерную черту современного этапа развития этой науки, — закономерный процесс, вытекающий из самой логики исторического развития человеческого познания вообще и исследования космоса в особенности. Глубокое переплетение «космических» и «земных» ветвей науки, которое началось в наше время, является отражением революции в системе человеческого знания, которая идет в направлении радикальной ломки прежних геоцентрических рамок познания природы вообще.

² Ж.-К. Пекер считает, что «основной чертой будущих исследований... будет появление на сцене биологии, тесно связанной с астрономией, — «биоастрономии». Эта новая отрасль, которой предстоит развиваться в наиболее важном направлении, явится естественным продолжением подробного изучения планет и даже их использования в целях, которые не будут иметь ничего общего с астрономией» (Ж.-К. Пекер. Экспериментальная астрономия. М., 1973, с. 146).

Коренные перемены, происходящие ныне в структуре астрономии, как видно, являются следствием двух важнейших тенденций — «космизации» и «физикализации», пронизывающих всю структуру современного естествознания. Первая из них, уже подмеченная и в определенных аспектах осмысленная в литературе по методологии науки (работы Е. Т. Фаддеева и А. Д. Урсула³), характеризует переход самых различных естественных наук от изучения локальных (земных) явлений к исследованию процессов космического характера. На наш взгляд, этой тенденцией современного естествознания не исчерпывается сущность процесса космизации науки, ибо она отражает лишь одну, а именно, экстенсивную сторону последней — пространственное расширение сферы приложения научного знания. Внутренний, интенсивный аспект космизации связан с более глубоким осмыслением зависимости земных процессов от внеземных, изучение земных явлений с точки зрения их связи с космическими явлениями⁴. Так, современная наука все более и более обнаруживает следы заметного влияния солнечной активности на широкий диапазон земных явлений — от распространения массовых эпидемий и наследственных аномалий до вариаций ряда геонаучных процессов. Важно заметить, что прогресс в этой области естественнонаучного поиска тесно связан с развитием второй из отмеченных тенденций — «физикализацией» естествознания.

Сущность этой тенденции, которую мы рассматриваем как одну из важнейших особенностей современного естествознания (наряду с математизацией и кибернетизацией), состоит не просто в прогрессирующем проникновении средств и методов физического исследования в ткань наук о природе; она охватывает и сферу теории. Важно, однако, подчеркнуть, что «физикализация» — глубоко диалектический процесс. Она не представляет собой просто механическую экстраполяцию сложившегося понятийного аппарата физики на все сферы естественнонаучного познания, а значит, не сведение высшего к низшему, сложного к простому, а включает принципиальное *обобщение* физического знания и соответственно изменение самого стиля физического мышления (в рассматриваемом случае — проникновение в физику идеи эволюции).

³ См.: Е. Т. Фаддеев. Философские проблемы освоения космоса. М., 1965; А. Д. Урсул. Освоение космоса (философско-методологические и социологические проблемы). М., 1967.

⁴ См.: А. Л. Чижевский. Земное эхо солнечных бурь. М., 1973, с. 26.

Усиление влияния физики на астрономию представляет собой лишь одну сторону процесса интеграции современного естественного знания. Другая сторона этого комплексного процесса связана со все усиливающимся влиянием астрономии на физику. В развитии этой последней тенденции, исключительно важной в методологическом отношении, следует выделить два аспекта — собственно физический и общенаучный. Остановимся вначале на первом из этих аспектов. Сама логика развития физического познания требует радикального расширения исследовательского горизонта физики. Р. Дикке, касаясь перспектив науки, справедливо подчеркивает: «Наконец, может быть, что физику следует быть дерзким, и, если обычный лабораторный прибор слишком мал, чтобы выявить слабый эффект, нужно покинуть лабораторию и взять в качестве прибора Землю, Солнечную систему, Галактику или всю Вселенную»⁵.

Каков характер этого процесса расширения сферы приложений физики в плане взаимодействия дисциплин физико-математического цикла? С одной стороны, физика со своими совершенными орудиями и методикой познания усиливает исследовательские возможности соответствующих наук (разумеется, как отмечалось, применение физических методов не есть механическая экстраполяция, а их обобщение!), а с другой — она сама начинает изучать специфические проявления своих ранее установленных законов и представлений в новых условиях. Дело здесь в следующем. В основе каждой конкретной структуры, где действуют законы физики, лежит специфический вид взаимодействия ее элементов, что создает дополнительные связи, которые и определяют качественное своеобразие данного материального объекта. С этой точки зрения, при исследовании, скажем, биологических или геологических структур физика должна учитывать преобразующее влияние именно этих «фоновых» связей на свои законы.

Ясно, что здесь могут быть скрыты новые, неподмеченные в обычных условиях физические закономерности, которые как раз выражают взаимосвязь физического с биологическим или геологическим (возможно, новые биофизические или геофизические законы, будучи соответствующими обобщениями обычных законов «чистой» физики, вместе с тем содержат последние в качестве предельного случая — в духе принципа соответствия). На этой основе формируются целые новые области исследования, пополняющие физические науки (например, изучение физиче-

⁵ Р. Дикке. Гравитация и Вселенная. М., 1972, с. 41.

скими методами кристаллической структуры минералов, исторически начавшееся в рамках составного элемента геологии — минералогии, постепенно слилось с общим руслом физических исследований, и, в конечном счете, сформировалась кристаллофизика).

Следовательно, имеется и своеобразная обратная связь: «фикиализированные» науки в свою очередь могут оказать ответное воздействие и на саму физику. С этой точки зрения астрофизика, геофизика (в сущности это относится и к теоретической биофизике), начавшие свое существование как области экстенсивных исследований, со временем, надо полагать, станут сферами интенсивных исследований.

В этом плане особенно обнадеживает астрофизика. Специфика ее объекта познания (если отвлечься от планетной астрофизики) заключается в том, что он представляет собой область природы, где господствуют совершенно новые условия, характеризующиеся экстремальными физическими параметрами. Ясно, что в этих условиях материя может проявить совершенно неизвестные в условиях макромира свойства и отношения, связи и взаимодействия, как это было и в другой экстремальной области — в микромире. Есть все основания считать, вопреки мнению некоторых физиков, что уже сейчас один из основных рубежей интенсивных физических исследований проходит через область современного астрофизического познания, где следует ожидать не только сравнительно локальных обобщений (чего следует ожидать в областях био- или геофизических явлений), но и более глубокого, коренного пересмотра физических законов и представлений.

Следует сказать, что до сих пор астрофизика и космология были преимущественно пассивными «потребителями» достижений локальной физики; астрономия раньше только брала готовый физический материал и на его основе объясняла обнаруженные ею явления. Всегда ли это будет так или в будущем возможна и такая ситуация, когда обнаруженные астрономией явления окажутся принципиально новыми и теоретический базис земной физики будет неспособен дать их адекватное описание? Это вовсе не узкоспециальный вопрос, а вопрос, имеющий важное методологическое значение. Его можно сформулировать и так: можно ли открыть всю физику на основе только изучения земных явлений и процессов, т. е. ограничив сферу исследования только макро- и микромирами? Этот принципиальный вопрос далеко выходит за пределы физики и приобретает существенно философский характер.

Сама по себе такая проблема не совсем новая; по существу она сознавалась еще в начале XX в. Сейчас, однако, она предала во весь свой рост. Дело в том, что современная астрофизика выявила глубокую качественную специфику небесных явлений и процессов, которая обусловлена громадными пространственно-временными масштабами и масс-энергетическими харак-

теристиками астрономических явлений (широчайший диапазон изменений плотности и температуры, «астрономически большая» шкала времени, позволяющая реализацию непредвиденных возможностей, и т. д.).

Сформулированная выше проблема в современной астрофизической литературе ставится в более узкой, но конкретной форме и уже стала предметом методологического спора между «романтиками» и «классиками»: достаточны ли современные физические теории для объяснения уже открытых астрофизических фактов (например, высокоэнергетических процессов в недрах галактических ядер и квазаров)? В частности, речь идет о правомерности или неправомерности обобщения, если не радикального пересмотра, основ общей теории относительности, являющейся теоретической платформой современных астрофизических и космологических исследований.

Не входя в «технические детали» этой методологической дискуссии, отметим один принципиально новый момент: физики все более и более приходят к выводу, что локальное поведение материи неотделимо от ее космологических свойств и отношений⁶. Отсюда далеко идущая идея о внутренней физической связи микро- и мегамиров. Идеи взаимосвязи микро- и мегамиров, физики элементарных частиц и космологии во всех своих вариантах так или иначе исходят из соответствующих интерпретаций так называемого принципа Маха. Этот термин, введенный впервые Эйнштейном, употребляется в несколько различных значениях. В общем плане речь идет об обусловленности локальных свойств материи интегральными. Именно под этим углом зрения ряд физиков выражает убеждение, что, пока не будут найдены ответы на «совершенно открытые вопросы космологии», вряд ли мы поймем более глубокую сущность явлений, происходящих на микроуровнях структуры материи.

Ф. Хойл идет еще дальше: по его мнению, вся наша физика, возможно, обусловлена интегральными свойствами «нашего пузыря» — расширяющейся Метагалактики; в других «пузырях» с другими размерами и другой амплитудой колебания (сейчас он сторонник осциллирующей модели), вероятно, материя проявляет совершенно неизвестные нам физические, химические, биологические и т. д. свойства. Так новейшая астрофизика и космология естественным образом приводят к идее, которая уже давно известна в материалистической философии как принцип многокачественности материи.

Следует также сказать, что Хойл и его сотрудники ставят перед собой грандиозную познавательную задачу — теоретический синтез современного физического знания на базе космоло-

⁶ W. H. McCrea. *Cosmical Physics*. — «Advancement of Science», December 1966; J. V. Narlikar. *The Interaction of laboratory Physics and Astronomy*. — «American Scientist», 1970, v. 58, may — June.

гических принципов. Ф. Хойлом и Дж. Нарликар уже создана новая теория тяготения — так называемая конформно-инвариантная теория гравитации, которая считается более общей, чем эйнштейновская⁷, а недавно сформулирована и новая квантовая электродинамика, в рамках которой получены все основные результаты обычной квантовой электродинамики, в частности радиационные поправки, как и равно результаты теории слабых взаимодействий лептонов Фейнмана — Гелл-Мана⁸.

В свете новейшего развития физики идеи Хойла и его школы уже не кажутся столь «еретичными», как это представлялось до недавнего времени. Мы имеем в виду работы Принстонской исследовательской группы — одного из признанных центров современной физической мысли. В концептуальной рамке разрабатываемой Дж. Уилером и его школой так называемой квантовой геометродинамики получены выводы, которые в своей космологической части существенно перекликаются с основополагающими идеями группы Хойла. Применяя квантовую геометродинамику ко Вселенной как целому, авторы получили интересный теоретический результат: типичное квантовое состояние Вселенной одновременно содержит множество расширяющихся и сжимающихся компонент. В связи с этим Уилер выдвинул предположение, что фундаментальные свойства элементарных частиц и соответственно числовые значения известных физических констант могут изменяться от одной такой компоненты к другой⁹. Эта гипотеза в свою очередь согласуется с так называемой детерминистической интерпретацией квантовой механики (ранее выдвинутой Эверетом и Уилером), постулирующей «расщепление» наблюдателей и соответственно существование множества невзаимодействующих миров¹⁰.

Подытоживая эти исследования, авторы опубликованного недавно обзора современных попыток квантования общей теории относительности пишут: «Совершенно очевидно, что ответы на эти вопросы, которые может дать квантовая геометродинамика,

⁷ *F. Hoyle and J. V. Narlikar. A New Theory of Gravitation.*—«Proceedings of Royal Society», 1964, v. 282, A, N 1389; *F. Hoyle and J. V. Narlikar. A Conformal Theory of Gravitation.*—«Monthly Notices of Royal Astronomical Society», 1966, v. 294 A, N 1437; В рамках этой теории уже построены все фридмановские модели (см. *F. Hoyle and J. V. Narlikar. Cosmological models. I. The Friedmann models.*—«Monthly Note of Royal Astronomical Society», 1972, v. 155, N 3, pp. 305—321), а также создана новая модель, совместимая с прежней концепцией непрерывного порождения вещества (не в пустом пространстве, как в ранней теории, а в центрах галактик и квазаров). См. *F. Hoyle and J. V. Narlikar. Cosmological modes II. A New models.*—«Monthly Notices of Royal Astronomical Society», p. 323—335.

⁸ *F. Hoyle and J. V. Narlikar. Electrodynamics of Direct Interparticle Action.*—«Annals of Physics». N. Y., 1969, vol. 54, N 2; 1971, vol. 62, N 1.

⁹ *Misner C. W., Torne K. S., Wheeler J. A. Gravitation.* San Francisco, 1973 p. 1215—1217.

¹⁰ *Roland E. Allen. Remarks on the Everett — Wheeler Interpretation of Quantum Mechanics.*—«American Journal of Physics», 1971, vol. 39, p. 842—843.

имеют важные следствия, выходящие за пределы ОТО и даже физики в целом»¹¹.

Определенный интерес с точки зрения перспектив интеграции физики и астрономии представляет и скалярно-тензорная теория тяготения Бранса — Дикке. Она строится путем добавления к уравнениям Эйнштейна скалярного поля, генерируемого распределением материи во Вселенной. Это гипотетическое поле распространяется через всю Вселенную и, проникая сквозь стены лабораторий, проявляется в гравитационном эксперименте, регулируя силу взаимодействия. И хотя допускаемый эффект чрезвычайно мал, с методологических позиций в этой теории весьма значима попытка сближения физической лаборатории с практически бесконечным космосом. Учитывая ранее игнорировавшееся воздействие Вселенной, земная физика становится все в большей мере космической, внося тем самым новый вклад в развитие представлений о материальном единстве мира.

Не останавливаясь на философской оценке этих далеко идущих теоретических построений, нацеленных на выявление космологических оснований внутреннего единства микро-, макро- и мегамиров, заметим, что в современной физике наметились контуры и другого, противоположного подхода. Его, в отличие от космологического (глобального) подхода, можно было бы назвать *локальным* в том смысле, что в данном случае связь микро- и мегамиров устанавливается, исходя из принципиальных основ физики элементарных частиц. Речь идет о новых попытках создания единой теории поля: современная физико-теоретическая мысль на новом витке диалектического отрицания вернулась к этой «устаревшей» идее. Теперь, однако, постановка проблемы принципиально изменилась, точнее она «перевернута»: если раньше единая теория строилась на базе геометризации гравитационной и электродинамики с надеждой на последующую дедукцию основных свойств микроструктур материи из макроскопических уравнений, то сейчас к ее созданию подходят с другой стороны, а именно: считается, что адекватная теория элементарных частиц в то же время должна быть по сути дела единой полевой теорией материи. Коль скоро это так, космология сливается с теорией элементарных частиц.

Гейзенберг указывает на существование двух «опор моста, соединяющего физику элементарных частиц с космологией и эйнштейновской теорией тяготения». Одна из них — теорема Голдстоуна, которая, грубо говоря, устанавливает существование дальнедействующих космических сил, неустранимо влияющих на локальные микропроцессы. Другая — работы Вайнберга, Тирринга и других, в которых установлено, что в природе могут существовать только векторные поля, соответствующие по своей

¹¹ Д. Брилл, Р. Гоуди. Квантование общей теории относительности. — Квантовая гравитация и топология. М., 1973, с. 73.

структуре электромагнитным и гравитационным силам. «В итоге круг замыкается: сначала мы можем сказать, что асимметрия основного состояния порождает частицы с нулевой массой покоя (в виде тяготения и электромагнетизма), а затем приходим к выводу, что далекодействующие поля в свою очередь приводят к асимметричным решениям»¹². Вполне понятно, что пути от теории элементарных частиц к космологии и от космологии к теории элементарных частиц не альтернативны, а взаимодополнительны. При этом любые радикальные сдвиги в физической теории могут получить достаточное оправдание лишь в случае исчерпания попыток истолкования того или иного явления без коренной ломки наличного материала физики.

Переходя к философской оценке указанных направлений научного поиска, отметим методологическую плодотворность идеи взаимосвязи микро- и мегамиров. Как известно, не всякое отношение есть реальная связь. Но за каждым отношением может лежать еще не раскрытая связь: то, что на данном уровне представляется как отношение, на другом, более глубоком уровне знания может проявиться как связь. Лет сорок назад связь микро- и мегамиров интуитивно угадывалась за полуэмпирическими отношениями отдельных микрофизических и космологических констант (за «мистикой чисел» Эддингтона и Дирака). Теперь же связь бесконечно малого и бесконечно большого, угадывавшаяся ранее через соответствующие формально-математические отношения, приобретает реальные очертания, будучи обоснована содержательно-физическими доводами. А единство формального и содержательного элементов в познании, как известно, представляет собой важнейшую методологическую установку материалистической диалектики. В. И. Ленин еще в начале века в аналогичности дифференциальных уравнений, относящихся к различным областям явлений, увидел проявление единства материи¹³.

Идею единства микро-, макро- и мегамиров следует рассматривать в более общем плане, а именно: в контексте современной тенденции физического знания к концептуальному и методологическому синтезу. Выше мы отметили два взаимосвязанных и перекрещивающихся пути экспансии физики в область астрономии; теперь можно уточнить сказанное. Применение физических теорий для объяснения обнаруженных во Вселенной новых явлений — только одна сторона «теоретической экспансии» физики. Ее другая, более глубокая и внутренняя, сторона — имманентная тенденция к единству физической картины мира. Ее ведущей движущей силой выступает идея единства физических законов и уровней физического описания природы. В этой

¹² W. Heisenberg. Kosmologie, Elementarteilchen, Symmetry.— «Naturwissenschaftliche Rundschau». Stuttgart, 1968, Bd. 55, S. 90.

¹³ См. В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 18, с. 306.

связи следует особо подчеркнуть, что физическая наука, полнее выявляя материальное единство мира, будет приобретать все большее общенаучное значение, постепенно изменяя сами основы стиля мышления надвигающегося этапа развития познания. Конечно, сама физика при этом будет, как отмечалось, обобщаться, прежде всего путем «освоения» принципа развития. Под воздействием новейших достижений научного познания сформулированный еще М. В. Ломоносовым тезис: «Твердо помнить должно, что видимые телесные на земле вещи и весь мир не в таком состоянии были сначала от создания, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены»¹⁴ — экстраполируется на всю Вселенную.

При этом сама астрономия, которая когда-то сводилась к небесной механике, превращается все в большей мере в эволюционную физику. Пронизывающая астрономию идея развития оказывает на физику исключительно плодотворное методологическое воздействие. В обзорной работе Я. Оорта «Галактика и Вселенная» констатируется важная черта Вселенной — «стремление к неустойчивости»¹⁵. Эволюционные идеи настолько глубоко вошли в саму структуру астрофизики, что в ней вырабатывается своего рода эволюционная методология. Основной принцип этой методологии состоит в том, что по настоящему состоянию системы судят о ее прошлом и, в свою очередь, из этого прошлого состояния выводят ныне наблюдаемые свойства. При таком подходе вырисовывается главный вопрос: «Какую информацию о ранних стадиях Вселенной можно получить на основе изучения ее свойств, наблюдаемых в настоящее время, а также как эту информацию (о ранних стадиях) можно использовать для интерпретации наблюдаемых свойств»¹⁶.

Как известно, согласно современным представлениям, наблюдаемая Вселенная возникла в результате «большого взрыва». Средняя плотность вещества во Вселенной в современную эпоху близка, вероятно, к критическому значению, равному 10^{-29} г/см³. Примерно 3% этого вещества находится в галактиках, остальное вещество, по-видимому, образует межгалактический газ с температурой между 10^5 и 10^6 К. Я. Оорт отмечает, что «наблюдения в нашей Галактике показывают, что в нее все еще поступает этот межгалактический газ»¹⁷.

Исключительно важную роль в обосновании космического эволюционизма играют факты, которые Я. Оорт удачно называет истинными (а не предполагаемыми) эволюционными эффектами. В качестве одного из таких важнейших эффектов он разбирает открытие М. Райла с сотрудниками. В 1968 г. М. Райл обнару-

¹⁴ М. В. Ломоносов. Полное собрание сочинений, т. V. М., 1954, с. 574.

¹⁵ Я. Оорт. Галактика и Вселенная. — «Успехи физических наук», 1972, т. 106, вып. 4, с. 681.

¹⁶ Там же, с. 684.

¹⁷ Там же, с. 685.

жил, что радиоисточников значительно больше, чем можно было бы ожидать на основе подсчета ярких радиоисточников. Из этого открытия следовало, что, по-видимому, когда возраст Вселенной составлял $\frac{1}{3}$ от ее нынешнего возраста, концентрация радиоисточников была примерно в 100 раз больше, чем теперь. Этот фактор примерно в 2 раза больше геометрического фактора, связанного с уменьшением масштаба Вселенной в то время, «и поэтому отражает истинный эволюционный эффект»¹⁸.

Принципы сохранения, на которых основана физика, должны будут все более органично сливаться в рамках общей теории эволюции с космогоническими принципами, из которых исходит современная астрономия. Для реализации этого слияния, как можно полагать, окажется существенным применение исторического подхода к самим объективным физическим законам, допущение их изменчивости во времени. По поводу важности этой проблемы в фейнмановском курсе физики мы читаем: «В настоящее время физика не изучает вопросы истории. Мы не задаем вопрос: «Вот законы физики, как они возникли?» Мы не считаем в настоящее время, что законы физики со временем как-то изменяются, что они прежде были иными, нежели ныне. Конечно, это *не исключено*, и если выяснится, что это и *впрямь так*, то исторические вопросы физики переплетутся с остальной историей Вселенной, и тогда физик будет обсуждать те же проблемы, что и астрономы, и геологи, и биологи»¹⁹.

Экспериментальное доказательство эволюции Вселенной — крупная веха на пути ассимиляции физикой идеи развития. А это в свою очередь имеет методологическое значение для ускорения процесса синтеза наук. Дело в том, что и поныне одной из причин недостаточной связи наук о неживой и живой природе служит то обстоятельство, что в физике преобладают идеи сохранения при отвлечении от идеи развития, а в биологии эволюционные идеи пока еще слабо интерпретируются на основе представлений физических. Способность физики объяснить механизм происхождения и эволюции космических объектов может послужить как бы методологическим оселком для будущих экстраполяций обобщенного физического знания на область жизненных явлений. Только проникнув в диалектику космических процессов физика сможет выполнить синтезирующую роль и в понимании процессов жизни. В свете этих методологических установок целесообразно сопоставить некоторые стороны процессов космической и биологической эволюции.

В «Философии зоологии» Ж. Б. Ламарк в качестве закона познания выдвинул тезис, что наиболее крупные открытия делаются при изучении наиболее мелких объектов.

¹⁸ Я. Оорт. Галактика и Вселенная. — «Успехи физических наук», 1972, т. 106, вып. 4, с. 681.

¹⁹ Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике, т. I. М., 1965, с. 69.

В нашу эпоху этот методический принцип утрачивает абсолютное значение. И познание сверхгигантских космических объектов способно порождать ключевые идеи для понимания не только структуры элементарных частиц, но и саморазвития молекул нуклеотидов и протеинов. Имеющаяся налицо тенденция формирования эволюционной физики уже на нынешнем уровне дает возможность в методологическом плане сопоставить астрогенез (эволюция космических объектов) и биогенез (эволюция живых систем) и ставить под сомнение идею уникальности биологической эволюции.

У биологической эволюции, как известно, имеются две главные черты:

1. Наследственная передача свойств.
2. Закрепление свойств естественным отбором.

При всем своем своеобразии эти черты не абсолютно уникальны. При предельных переходах они могут быть выведены из всеобщих особенностей эволюции материи.

Отдаленные прообразы этих свойств, вообще говоря, можно обнаружить в космосе. Интересна, например, попытка В. А. Амбарцумяна объяснить процессы космической эволюции исходя из представления о ядрах галактик как фрагментах взрыва, послужившего началом нашей Вселенной (ядра — своего рода «генетические» структуры и «генетические» программы для эволюции галактик). Нельзя исключить, что даже столь отдаленные ассоциации в области законов эволюции неживого и живого могут оказаться плодотворными.

Космическая физика со своей эволюционистской установкой, возможно, послужит важной базой теоретической биофизики, охватывающей количественными приемами сущность жизненных явлений и их генезис. Одним из методологических условий решения этой задачи послужит расширение концептуальных оснований физики, полное преодоление разрыва в объяснении небесного и земного, живого и неживого. Это в свою очередь приведет к преодолению определенной методологической ограниченности современной физики, по поводу которой Р. Дикке замечает: «Громадные успехи, которых достигли физики за последние два столетия, в значительной мере обусловлены направленностью усилий к одной или немногим узким целям, заостренным вниманием к какому-то одному аспекту физического мира, причем этот аспект мысленно отдалялся от всего остального физического мира. Так привычка и опыт навязали физикам ограниченный кругозор»²⁰.

Иными словами, интеграция физико-математических дисциплин, равно как и всеобщий синтез наук о природе, опирается на методологический опыт слияния астрономии и физики. При этом очень различные по своим свойствам фрагменты реальности

²⁰ Р. Дикке. Гравитация и Вселенная. М., 1972, с. 13.

через предельные переходы могут быть ассимилированы единой физической наукой, фиксирующей единство многообразного. В свою очередь конкретизируемый специальными науками философский принцип материального единства мира служит методологической основой для дальнейшего распространения физического знания на космос. В частности, исходя из принципа единства мира, можно предполагать, что различные космические цивилизации описывают природу более или менее сходным образом. «Пожалуй, главным фактором, надежно и безусловно установленным современной астрофизикой, является единство всех основных законов природы в масштабах всей наблюдаемой части Вселенной и в течение всего охватываемого наблюдениями времени ее эволюции. Поэтому мы вправе полагать, что известные нам физические законы известны и суперцивилизациям и используются ими»²¹.

Концепция монизма, помогающая все полнее понять структуру и эволюцию Вселенной, в методологическом плане обосновывает многообразие и в то же время универсальность космологических моделей. Многообразие моделей имеет в качестве основания не только многообразие объектов, но и многообразие путей и способов познания одного и того же объекта. Эти модели часто вынуждены претендовать не на истинность (в данном случае — чрезмерно сильное методологическое требование для многих из них), а лишь на *конкурентоспособность*. Среди параметров, определяющих конкурентоспособность модели, решающая роль принадлежит двум — отсутствие противоречий наблюдаемым фактам и максимальная полнота объяснения наличных данных. В то же время немаловажно и соответствие модели установившемуся на данном этапе науки стилю мышления. Так, в современных условиях были бы просто неконкурентоспособны модели космических явлений, игнорирующие идею развития.

Многообразие теоретических моделей Вселенной может рассматриваться как гносеологическая форма фиксации постигаемого с разных сторон, разными методами материального единства мира. В развитии концепции монизма все большую значимость будет приобретать обнаружение внутреннего единства физического знания, относящегося к явлениям различных классов. Причем физика не врывается, подобно агрессору, на «чужие бастионы», а, развиваясь и обобщаясь, служит основой синтеза знания на уровне содержательной общности внутренних механизмов явлений и процессов природы. С другой стороны, ключи от многих, казалось бы, чисто земных проблем естествознания будут найдены при изучении космоса. Тем самым важные пути к синтезу наук открываются в ходе прогрессирующей интеграции физики и астрономии.

²¹ Н. С. Кардашев. Астрофизический аспект проблемы поиска сигналов внеземных цивилизаций. — «Внеземные цивилизации. Проблемы межзвездной связи». М., 1969, с. 43.

II. ПУТИ ПОЗНАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

В. С. Степин

ВЗАИМОСВЯЗЬ НАБЛЮДЕНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТА И ТЕОРИИ В ПОЗНАНИИ ВСЕЛЕННОЙ

Среди методологических проблем современного естествознания важнейшее место занимает проблема взаимосвязи теории и эксперимента. С особой остротой она возникает в исследовательских ситуациях современного научного поиска. Например, в физике сильных взаимодействий в настоящее время одну и ту же сумму эмпирических фактов объясняют и предсказывают различные и в определенном смысле альтернативные друг другу модели. Можно выделить восемь современных разновидностей моделей множественного рождения частиц, сгруппированных в три класса — периферических, статистических и структурных моделей, — которые опираются на одни и те же экспериментальные факты и приводят к одним и тем же эмпирическим предсказаниям¹.

В более широких масштабах эта же ситуация воспроизводится по отношению к глобальным исследовательским направлениям физики элементарных частиц. Альтернативные подходы — например, программа «бутстрапа» Д. Чью и программа построения теории элементарных частиц на основе «квазиатомарных представлений» (поиск фундаментальных частиц типа кварков либо партонов, из которых можно было бы «построить» остальные частицы) — опираются на одни и те же эксперименты, предсказывая одну и ту же сумму наблюдаемых данных.

Получается, что эксперимент не позволяет на современном этапе установить, какие из имеющихся теоретических построений перспективны и от каких следует отказаться. Приходится апеллировать к экспериментам будущего. В этой связи сразу же возникают вопросы эмпирической подтверждаемости теоретических моделей, обоснования гипотезы и ее превращения в теорию,

¹ Г. Б. Жданов. Множественная генерация частиц. М., 1974, с. 154—160.

т. е. вопросы, относящиеся уже не столько к области собственно физического исследования, сколько к сфере теории познания и методологии науки.

С аналогичным положением сталкивается исследователь в современной астрономии. Неоднозначность теоретической интерпретации данных наблюдения, наличие альтернативных теоретических подходов к объяснению одних и тех же фактов, характеризует не только локальные теоретические модели, но и касается фундаментальных исследовательских программ современной астрономии². Так, например, традиционный подход к построению теории космогонических процессов и подход, развиваемый школой В. А. Амбарцумяна (неклассическая, или бюраканская, концепция), интерпретируют эмпирические данные исходя из противоположных теоретических предпосылок. Традиционное направление считает основным фактором современной эволюции космических объектов конденсацию и сжатие вещества, бюраканское же направление — взрывные процессы, связанные с распадом гипотетических сверхплотных тел. В соответствии с указанными принципами производятся объяснение и предсказание данных наблюдения.

Существование конкурирующих исследовательских программ особенно остро ставит не только проблему эмпирической подтверждаемости теорий, но проблему их перестройки под влиянием эмпирических данных. Возникает вопрос, при каких условиях новые факты с неизбежностью ведут к перестройке теорий? Целесообразно ли подвергать сомнению сложившиеся теоретические представления там, где, казалось бы, еще можно опереться на них при объяснении новых явлений?

Нетрудно видеть, что все вопросы подобного типа имеют ярко выраженную гносеологическую и методологическую окраску. По существу они являются теоретико-познавательными проблемами, касающимися генезиса научной теории и ее взаимосвязи с наблюдениями и экспериментами.

В философской и естественнонаучной литературе уже разобраны многие стороны отмеченной проблематики. Показано, что взаимодействие теории и эксперимента представляет собой исторический процесс, в котором результаты каждого нового этапа эмпирического и теоретического исследования природы превращаются в средства дальнейшего научного поиска. Раскрыты многие специфические особенности взаимосвязи эмпири-

² На эту сторону дела обращалось внимание в работах В. А. Амбарцумяна и В. В. Казютинского, посвященных методологическим вопросам астрономии (см., например: В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Диалектика — методология и логика развития современного естествознания. — В кн.: Проблемы методологии современного естествознания. М., 1973; см. также: В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Методологические проблемы астрофизики. — «Вопросы философии», 1973, № 3).

ческих и теоретических методов на современном этапе развития физико-математического естествознания.

Все эти результаты создают необходимую базу для дальнейшего анализа, направленного на изучение «тонкой структуры» взаимодействия экспериментов, наблюдений и теории в процессе построения нового знания.

Мы остановимся на некоторых характеристиках этого процесса применительно к специфике исследований в астрономии. Для этой цели разберем вначале, как взаимодействуют теоретические и эмпирические средства науки в процессе астрономического наблюдения, а затем при построении новой теории.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ КАК КВАЗИЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Наблюдения и эксперимент занимают особое место в познании природы. В них исследователь оперирует непосредственно природными объектами, либо искусственно вызывая определенные их взаимодействия, либо наблюдая такие взаимодействия в естественных условиях. В обоих случаях «ответы» на поставленные познанием вопросы дает сама природа, что обеспечивает особое доверие эксперименту и наблюдению, делая их фундаментом естественных наук.

Взаимодействие объектов, исследуемых в наблюдении и эксперименте, подчиняется законам природы и может быть рассмотрено как часть объективных природных процессов. Но вместе с тем эти процессы даны познающему субъекту в особой форме. Они выделены из природы благодаря его активности и зафиксированы в качестве предмета исследования. Такая фиксация всегда осуществляется через практику и в форме практики.

Наиболее отчетливо это проявляется в отношении эксперимента, который является разновидностью практической деятельности. Но и систематические наблюдения, в которых исследователь изучает объект в естественных условиях, представляют собой особую форму практического освоения мира.

Указанную специфику наблюдений можно выявить, проследивая структурное сходство между ними и экспериментальной деятельностью.

Используя в качестве универсальной характеристики структуры любой деятельности Марксов анализ элементарного акта труда³, можно выделить в наблюдении и эксперименте две стороны: «субъективную» и «вещественную», или «предметную». Первая включает исследователя с его целями и задачами, вторая — совокупность взаимодействующих объектов, часть которых выступает в роли средств и орудий деятельности, а другая —

³ См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 23, с. 188—195.

в роли объектов наблюдения, которые взаимодействуют со средствами и изменяют свое состояние⁴.

Средствами и орудиями деятельности в эксперименте являются приборы, которые обеспечивают «включение» объекта в определенные взаимодействия, где он изменяет исходное («приготовленное») состояние на конечное состояние, фиксируемое как результат эксперимента. Именно благодаря приборам исследователь может варьировать условия взаимодействия изучаемого объекта и изучать его поведение в различных условиях.

В развитых формах экспериментального исследования (например, в экспериментах атомной физики) многократное воспроизведение объекта в исходном состоянии и контроль за условиями, при которых оно изменяется, обеспечивает экспериментальная установка, которая включает целый комплекс приборных устройств (приготавливающую, рабочую и регистрирующую подсистемы). Все эти устройства создаются «искусственно», в процессе практики. Это, например, генераторы, излучающие пучки частиц с заданными параметрами (энергия, импульс, поляризация); мишени, бомбардируемые частицами; особые регистрирующие устройства (счетчики Гейгера, искровые камеры и т. д.), позволяющие фиксировать в форме, пригодной для наблюдения, конечное состояние частиц после их взаимодействия с мишенями.

Но можно указать и на такие типы физических экспериментов, где в функции приборных устройств выступают «естественные» объекты природы. Так, например, в опыте Майкельсона использовалось движение Земли вокруг Солнца с целью обеспечить достаточно большую скорость перемещения источника света относительно гипотетического эфира. Земля в этом случае использовалась в функции своеобразного приборного устройства (рабочей подсистемы), которая, согласно первоначальному замыслу эксперимента, должна приводить во взаимодействие связанный с ней источник света с эфиром.

Нет надобности доказывать, что в качестве природного тела Земля обладает бесконечным числом свойств. Но в экспериментах Майкельсона у нее был функционально выделен только один признак — перемещаться в пространстве, а остальные исключались из рассмотрения. Понятно, что это свойство Земли не имеет никаких особых «привилегий» по отношению к ее другим признакам. Поэтому его функциональная выделенность может

⁴ Такое функциональное расчленение объектов, образующих предметную сторону эксперимента и наблюдения, соответствует разделению «вещественной» (предметной) стороны труда на: 1) предмет труда (фрагмент объективного мира, преобразуемый деятельностью человека); 2) средства и, прежде всего, орудия труда (комплекс объектов, которые служат проводником человеческого воздействия на предмет труда и взаимодействие которых с предметом трансформирует его в продукт); 3) продукт труда (объект, полученный в результате преобразования предмета труда).

быть расценена как «искусственно» вызванный результат. Фиксация познанием и практикой свойства Земли перемещаться в пространстве и последующее использование этого свойства в эксперименте Майкельсона во многом напоминают создание прибора, предварительно выверяемого по заданным параметрам, а затем используемого в роли рабочей подсистемы экспериментальной установки. В обоих случаях реальные объекты функционируют в опыте как предметы, помеченные по ограниченному набору признаков, что как раз характерно для их применения в роли орудий и средств экспериментальной деятельности.

Важно подчеркнуть, что когда говорят об условиях, в которых воспроизводится изучаемое явление (изменение состояний наблюдаемого объекта), то само определение этих условий предполагает, что некоторые фрагменты природы должны быть зафиксированы познанием и практикой по ряду признаков и использованы в функции квазиприборных устройств.

С этих позиций можно подойти к оценке тех видов научного наблюдения, в которых наблюдатель вообще не вмешивается в протекание природных процессов, а исследует их в подходящих естественных условиях. Коль скоро такие условия должны быть зафиксированы и должен быть определен объект наблюдения, то тем самым предполагается использование естественных фрагментов природы в роли приборов. Такое наделение объектов природы функциями приборов мы будем в дальнейшем называть созданием приборной ситуации.

Рассматривая в этом аспекте астрономические наблюдения, можно обнаружить в них характерные черты практической деятельности, преобразующей мир. В свою очередь, такой подход позволяет выделить в исследованиях астрономии особый класс наблюдений, которые играют в познании природы ту же роль, что и эксперимент.

Обычно астрономические наблюдения противопоставляют эксперименту на том основании, что наблюдатель изучает здесь природу не вмешиваясь в протекание ее процессов. Не отрицая этого очевидного факта, тем не менее, можно показать, что подавляющее большинство наблюдений астрономии связано с построением приборной ситуации и представляет собой специфический вариант квазиэкспериментального исследования природы.

В этом нетрудно убедиться обращаясь к конкретным примерам. Рассмотрим один из типичных случаев эмпирического исследования в современной астрономии — наблюдение за поляризацией света звезд в облаках межзвездной пыли, проводившееся с целью изучения магнитного поля Галактики.

Задача состояла в том, чтобы выяснить, каковы величина и направление напряженности магнитного поля Галактики. При определении этих величин в процессе наблюдения использовалось то свойство частиц межзвездной пыли, что они ориентиро-

ваши магнитными силовыми линиями Галактики. В свою очередь об этой ориентации можно было судить изучая эффекты поляризации света, проходящего через облако пыли. Тем самым параметры поляризованного света, регистрируемые приборами на Земле, позволяли получить сведения об особенностях магнитного поля Галактики.

Нетрудно видеть, что сам процесс наблюдения предполагал здесь предварительное конструирование приборной ситуации из естественных объектов природы. Звезда, излучающая свет, функционировала как готовящая подсистема, частицы пыли, ориентированные в магнитном поле Галактики, играли роль рабочей подсистемы, и лишь регистрирующая часть была представлена приборами, искусственно созданными в практике. В результате объекты: «звезда как источник излучения», «облако межзвездной пыли», «регистрирующие устройства на Земле» — образовывали своего рода гигантскую экспериментальную установку, «работа» которой позволяла изучить характеристики магнитного поля Галактики.

В зависимости от типа исследовательских задач в астрономии конструируются различные типы приборных ситуаций. Они соответствуют различным методам наблюдения и во многом определяют специфику каждого такого метода. Для некоторых методов приборная ситуация выражена настолько отчетливо, что аналогия между соответствующим классом астрономических наблюдений и экспериментальной деятельностью прослеживается с очевидностью. Так, например, при определении угловых размеров удаленных космических объектов — источников излучения — широко используется метод покрытия наблюдаемого объекта Луной. Дифракция излучения на краях Луны позволяет с большой точностью определить координаты соответствующего источника. Таким путем были установлены радиокоординаты квазаров, исследован характер рентгеновского излучения Крабовидной туманности (был получен ответ на вопрос, является ли источником излучения вся туманность либо внутри нее находится точечный рентгеновский источник); этот метод широко применяется при определении размеров некоторых астрономических объектов. Во всех наблюдениях такого типа Луна используется в качестве передвижного экрана и служит рабочей подсистемой в приборной ситуации соответствующих астрофизических опытов.

Довольно отчетливо обнаруживается приборная ситуация и в наблюдениях, связанных с определением расстояния до небесных объектов. Например, в задачах по определению расстояния до ближайших звезд методом параллакса в функции прибора используется Земля; при установлении расстояний до удаленных галактик методом цефеид этот класс переменных звезд также функционирует в качестве средств наблюдения и т. д.

Правда, можно указать и на такие виды систематических

наблюдений в астрономии, которые, на первый взгляд, весьма далеки от аналогии с экспериментом. В частности, при анализе простейших форм астрономического наблюдения, свойственных ранним этапам развития астрономии, нелегко установить, как конструировалась в них приборная ситуация. Тем не менее здесь все происходит аналогично уже рассмотренным случаям. Так, уже простое визуальное наблюдение за перемещением планеты на небесном своде предполагало, что наблюдатель должен предварительно выделить линию горизонта и метки на небесном своде (например, неподвижные звезды), на фоне которых наблюдается движение планеты. В основе этих операций по существу лежит представление о небесном своде как своеобразной градуированной шкале, на которой фиксируется движение планеты как светящейся точки (неподвижные же звезды на небесном своде играют здесь функцию средств наблюдения). Причем по мере проникновения в астрономическую науку математических методов градуировка небесного свода становится все более точной и удобной для проведения измерений. Уже в IV столетии в египетской и вавилонской астрономии возникает Зодиак, состоящий из 12 участков по 30 градусов, как стандартная шкала для описания движения Солнца и планет⁵. Использование созвездий Зодиака в функции шкалы делает их средствами наблюдения, своеобразным приборным устройством, позволяющим точно фиксировать изменение положения Солнца и планет.

Таким образом, не только в эксперименте, но и в процессе научного наблюдения природа дана наблюдателю не в форме созерцания, а в форме практики. Исследователь всегда выделяет в природе (или создает искусственно из ее материалов) некоторый набор объектов, фиксируя каждый из них по строго определенным признакам, и использует их в качестве средств эксперимента и наблюдения (приборных подсистем).

Отношение последних к изучаемому в наблюдении объекту образует предметную структуру систематического наблюдения и экспериментальной деятельности. Эта структура характеризуется переходом от исходного состояния наблюдаемого объекта к конечному состоянию после взаимодействия объекта со средствами наблюдения (приборными подсистемами).

Жесткая фиксация структуры наблюдений позволяет выделить из бесконечного многообразия природных взаимодействий именно те, которые интересуют исследователя.

Выделение строго определенной структуры эксперимента и наблюдения происходит благодаря творческой активности познающего субъекта. Но диалектика познания такова, что как раз усиление, а не ослабление указанного «субъективного момента» обеспечивает максимальную адекватность отображения в познании свойств, связей и отношений исследуемых объектов природы.

⁵ О. Нейгебауер. Точные науки в древности. М., 1968, с. 111.

Систематические наблюдения, выполняющие в астрономии функцию эксперимента, следует отличать от случайных наблюдений. Такое различие чаще всего предполагается интуитивно ясным, но тем не менее его следует провести по возможности более строгими средствами. Для этой цели необходимо предварительно уточнить понятие предмета научного исследования применительно к ситуациям наблюдения.

Выше мы говорили о предмете исследования в двух смыслах: во-первых, как о фрагментах природы, их связях и отношениях, выявляемых структурой эксперимента и наблюдения, и, во-вторых, как о непосредственно наблюдаемом объекте, который является только одним из элементов предметной стороны наблюдения.

Предмет исследования в первом значении очерчивает вся система взаимодействующих в опыте объектов, выделенных из материального мира человеческой деятельностью и зафиксированных по некоторым, строго определенным признакам. Чтобы отличить такие объекты (приборные установки и испытуемый объект в начальном и конечном состоянии) от предмета исследования, будем называть их объектами оперирования. Так, при наблюдении за поляризацией света звезд в облаках межзвездной пыли предметом исследования было магнитное поле Галактики, тогда как звезда, излучающая свет, межзвездная пыль и приборы-регистраторы на Земле служили объектами оперирования. Точно так же, при определении, допустим, расстояний до Галактик методом цефеид предметом исследования является расстояние от Земли до наблюдаемой Галактики, а цефеиды и приборы, регистрирующие их излучение, выступают как объекты оперирования.

Конечная цель естественнонаучного исследования состоит в том, чтобы найти законы (существенные связи объектов), которые управляют природными процессами, и на этой основе предсказать будущие возможные состояния этих процессов. Поэтому если исходить из глобальных целей познания, то предметом исследования нужно считать существенные связи и отношения природных объектов.

Но на разных уровнях познания такие связи изучаются по-разному. На теоретическом уровне они отображаются «в чистом виде» через систему соответствующих абстракций. На эмпирическом они изучаются по их проявлению в непосредственно наблюдаемых эффектах. Поэтому глобальная цель познания конкретизируется применительно к каждому из его уровней. В экспериментальном исследовании она выступает в форме специфических задач, которые сводятся к тому, чтобы установить, как некоторое начальное состояние испытуемого фрагмента

природы при фиксированных условиях порождает его конечное состояние. По отношению к такой локальной познавательной задаче вводится особый предмет изучения. Им является объект, изменение состояний которого прослеживается в опыте. В отличие от предмета познания в глобальном смысле его можно было бы называть предметом эмпирического знания. Между ним и предметом познания, единым как для эмпирического, так и для теоретического уровней, имеется глубокая внутренняя связь. Когда в эксперименте и наблюдении исследователь регистрирует конечное состояние O_2 испытуемого объекта, то при наличии фиксированной приборной ситуации и начального O_1 состояния объекта это эквивалентно нахождению последнего недостающего звена, которое позволяет охарактеризовать структуру экспериментальной деятельности. Определив эту структуру, исследователь тем самым неявно выделяет среди многочисленных связей и отношений природных объектов связи (закономерности), которые управляют изменением состояний объекта эмпирического знания. Переход объекта из состояния O_1 в состояние O_2 не произволен, а определен законами природы. Поэтому, многократно зарегистрировав в эксперименте и наблюдении изменение состояний объекта, исследователь неявно фиксирует самой структурой деятельности и соответствующий закон природы.

Объекты эмпирического знания выступают здесь в качестве своеобразного индикатора предмета исследования, общего как для эмпирического, так и для теоретического уровней.

Фиксация предмета исследования в рамках экспериментальной или квазиэкспериментальной деятельности является тем признаком, по которому можно отличить эксперимент и систематические наблюдения от случайных наблюдений. Последние суть наблюдения в условиях, когда приборная ситуация и изучаемый в опыте объект еще не выявлены. Регистрируется лишь конечный результат взаимодействия, который выступает в форме эффекта, доступного наблюдению. Однако неизвестно, какие именно объекты участвуют во взаимодействии и что вызывает наблюдаемый эффект. Структура ситуации наблюдения здесь не определена, а поэтому неизвестен и предмет исследования. Вот почему от случайных наблюдений сразу невозможен переход к более высоким уровням познания, минуя стадию систематических наблюдений. Случайное наблюдение способно обнаружить необычные явления, которые соответствуют новым характеристикам уже открытых объектов либо свойствам новых, еще не известных объектов. В этом смысле оно может служить началом научного открытия. Но для этого оно должно перерасти в систематические наблюдения, осуществляемые в рамках эксперимента или квазиэкспериментального исследования природы. Такой переход предполагает построение приборной ситуации и четкую фиксацию объекта, изменение состояний которого изучается в опыте. Так,

например, когда К. Янский в попытках по изучению грозových помех на междконтинентальные радиотелефонные передачи случайно натолкнулся на устойчивый радишум, не связываемый ни с какими земными источниками, то это случайное наблюдение дало импульс серии систематических наблюдений, конечным итогом которых было открытие радиоизлучения области Млечного пути. Характерным моментом в осуществлении этих наблюдений было конструирование приборной ситуации.

Главная задача здесь состояла в том, чтобы определить источник устойчивого радишума. После установления его внеземного происхождения решающим моментом явилось доказательство, что таким источником не являются Солнце, Луна и планеты. Наблюдения, позволившие сделать этот вывод, были основаны на применении двух типов приборной ситуации. Во-первых, использовалось вращение Земли, толща которой применялась в наблюдении в функции экрана, перекрывающего в определенное время суток Солнце, Луну и планеты (наблюдения показали, что в моменты такого перекрытия радишум не исчезает). Во-вторых, в наблюдении исследовалось поведение источника радишума при перемещении Солнца, Луны и планет на небесном своде относительно линии горизонта и неподвижных звезд. Последние в этой ситуации были использованы в качестве реперных точек (средств наблюдения), по отношению к которым фиксировалось возможное перемещение источника радишума. Вся эта серия опытов позволила в конечном итоге идентифицировать положение источника с наблюдаемыми в каждый момент времени суток и года положениями на небосводе Млечного пути.

Характерно, что в последнем шаге исследований К. Янского уже была четко обозначена предметная структура наблюдения, в рамках которой изучаемый эффект (радишум) был представлен как радиоизлучение Млечного пути. Было выделено начальное состояние объема эмпирического знания — положение источника радишума на небесном своде в момент T_1 , конечное состояние — положение источника в момент T_2 и приборная ситуация (в качестве средств исследования фиксировались: небесный свод с выделенным на нем расположением звезд, линия горизонта, Земля, вращение которой обеспечивало изменение положений радиоисточника по отношению к наблюдателю, и, наконец, приборы — регистраторы радиоизлучения). Наблюдения с жестко фиксированной структурой названного типа позволили раскрыть природу случайно обнаруженного эффекта радиоизлучения Млечного пути.

Таким образом, путь от случайной регистрации нового явления к выяснению основных условий его возникновения и его природы проходит через серию наблюдений, которые отчетливо предстают в качестве квазиэкспериментальной деятельности. Наблюдения такого типа являются основным и наиболее важным компонентом эмпирического базиса астрономии. Только

благодаря им исследователь от первого и нерасчлененного представления о наблюдаемом явлении приходит к четкой фиксации изучаемого объекта и выделяет его основные характеристики. В свою очередь это создает необходимые предпосылки для перехода к теоретическому познанию объектов.

ЦЕЛЕНАПРАВЛЯЮЩАЯ РОЛЬ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМАТИЧЕСКИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Экспериментальное исследование природы всегда представляет собой целенаправленную деятельность. Само проведение эксперимента (или осуществление наблюдений, выполняющих функцию эксперимента) предполагает постановку задачи и выработку плана предстоящего опыта. Такой план указывает, какие объекты оперирования (приборные подсистемы и изучаемый объект) должны быть применены в предстоящем эксперименте или наблюдении и какие операции должен осуществить с ними исследователь. Выбор отмеченных объектов и операций с ними требует предположений о том, каков будет характер их взаимодействий в опыте. Это означает, что перед постановкой эксперимента или осуществлением наблюдений, выполняющих функцию эксперимента, исследователь должен заранее иметь в своем распоряжении некоторые, пусть даже самые общие и предварительные, представления об изучаемых взаимодействиях природы. Откуда же он черпает такие представления?

При решении этой проблемы целесообразно различать две ситуации: 1) когда наблюдения и эксперименты осуществляются «под сложившуюся теорию», для проверки теоретических расчетов и предсказаний и 2) когда они предшествуют построению теории, цель которой — объяснение новой предметной области. Соответственно этому представления об изучаемой реальности, предваряющие эксперимент, также различаются по своему характеру.

В случае, когда осуществляется эмпирическая проверка сложившейся теории, в слое теоретических знаний заранее имеются развитые идеальные модели и выражения для законов того типа взаимодействий, которые должны быть обнаружены в эксперименте и наблюдении. Деятельность наблюдателя строится в соответствии с этими моделями и законами. Чтобы выяснить их функции в эксперименте и наблюдении, рассмотрим более детально их специфические характеристики.

Для этой цели вначале укажем на образцы теоретических моделей. В астрономии в качестве таковых можно было бы взять, допустим, модели строения и эволюции звезд. Довольно типичными примерами могут служить также предложенная Я. Оортом в 1927 г. модель вращения Галактики, или разработанная Дэвисом модель взаимодействия магнитного поля Галак-

тики, межзвездной пыли и поляризуемого ею света звезд (которая подготовила опыты по измерению напряженности магнитного поля Галактики путем наблюдения за поляризацией света звезд).

Модели такого типа, несмотря на ограниченную степень общности, также принадлежат к теоретическому уровню исследования. Они характеризуют изучаемую в теории предметную область в терминах, смысл которых соответствует абстрактным объектам теоретического языка. Например, вращение звезд вокруг центра Галактики в модели Я. Оорта было рассмотрено как движение материальных точек в поле центральных сил. Взаимодействие магнитного поля Галактики, света звезд и межзвездной пыли характеризовалось в модели Дэвиса в терминах магнитных силовых линий, идеальных намагничивающихся частиц и векторов электрической и магнитной напряженности электромагнитной волны, поглощаемой и рассеиваемой частицами. Абстрактные объекты указанного типа являются элементами, из которых строятся теоретические модели. В рамках модели они находятся между собой в строго фиксированных отношениях. Такие отношения могут быть выражены в языке математики, и тогда в теории появляются математические формулировки законов той области взаимодействий, схематизацией которых является теоретическая модель. Так, например, конкретизируя основные уравнения электродинамики Максвелла — Лоренца применительно к модели Дэвиса, можно получить зависимость между величиной поляризации света и величиной магнитного поля Галактики. Эта зависимость будет выражать законы взаимодействия света и ориентированных магнитным полем частиц межзвездного вещества.

Аналогичным образом, представив вращение звезд вокруг центра Галактики как движение материальных точек в поле центральных сил, можно применить математические выражения для законов Кеплера в качестве характеристики закономерностей, которым подчиняется движение звезд в Галактике.

Применение уравнений, связанных с теоретической моделью, для расчетов и предсказаний наблюдаемых эффектов основано на том, что теоретическая модель может быть отображена на реальные взаимодействия предметов опыта. Абстрактные объекты теоретической модели должны быть принципиально сопоставимы с признаками реальных объектов экспериментальной или квазиэкспериментальной ситуации. Можно, например, представить взаимосвязь векторов $\vec{H}$ и $\vec{E}$ электромагнитной волны как теоретический образ реально наблюдаемого света звезд, а набор идеальных намагничивающихся частиц, ориентируемых магнитными силовыми линиями, как идеализированное изображение межзвездной пыли в магнитном поле Галактики. Благодаря принципиальной возможности такого перехода от объектов теоретической модели к свойствам и отношениям предметов

опыта сама теоретическая модель предстаёт в качестве идеализированной схемы реальных взаимодействий, исследуемых в наблюдении. В свою очередь это придает уравнениям, относящимся к модели, статус теоретических законов, которые могут быть применены для объяснения и описания определенной группы наблюдаемых явлений.

Учитывая эти особенности теоретических моделей, можно понять, почему, имея их в своем распоряжении, исследователь заранее ориентирован в выборе объектов, которые должны образовать предметную структуру соответствующих опытов. Теоретическая модель вводит обобщенное системное изображение взаимодействий, которые должны быть зафиксированы в наблюдении. Видение существенных сторон таких взаимодействий, зафиксированное теоретической моделью, целенаправляет выбор объектов оперирования, которые могут быть использованы в качестве средств или объектов наблюдений в том или ином опыте.

Последнее, конечно, не означает, что теоретическая модель сразу дает конкретную схему и план эксперимента. Между ней и реальным экспериментом лежат промежуточные слои знания и, в частности, эмпирические схемы реального опыта (изображение в чертежах реальных приборных устройств и геометрии опыта, в соответствии с которыми производятся наблюдения). Переход от теоретической модели к эмпирическим схемам и плану опыта — это особая область научного исследования, требующая от естествоиспытателя незаурядных творческих усилий. Такой переход осуществляется путем конкретизации теоретической модели применительно к наличным средствам и методам наблюдения. Он требует постановки и решения определенных исследовательских задач.

Теоретическая модель и законы позволяют сформулировать исходную задачу эмпирического исследования таким образом, чтобы очертить область средств, которые могли бы обеспечить ее решение. Выбор таких средств приводит к новой конкретизации поставленной задачи, что позволяет произвести дальнейшее уточнение деталей предметной структуры будущего опыта. Так происходит до тех пор, пока не сформируется конкретный план предстоящих наблюдений.

Основные моменты описанной деятельности можно проследить обращаясь к любой ситуации эмпирического поиска, осуществляемого под контролем теории. В качестве характерного примера можно сослаться на наблюдения Я. Оорта, позволившие определить расстояние от Солнца до центра Галактики исходя из представлений о кеплеровском вращении Галактики. Теоретическая модель вращения Галактики, согласно которой законы Кеплера применялись к описанию движения звезд, позволила сформулировать исходную задачу в теоретическом языке так, что вместе с ее постановкой намечались пути ее решения

(из законов Кеплера следовало, что расстояние до центра Галактики могло быть определено через скорость движения Солнца относительно центра Галактики). Затем задача была конкретизирована применительно к сложившимся методам и средствам наблюдения. К этому времени в астрономии уже сформировались методы определения скорости движения Солнца на основе наблюдений за лучевыми скоростями звезд (скорость в проекции на луч зрения) и за их собственными движениями (перемещение звезды на небесной сфере за год). На этой основе был разработан план наблюдений, обеспечивших измерение расстояний до центра Галактики. Такие наблюдения должны были как можно точнее зафиксировать скорости и собственные движения звезд. Причем при разработке этого плана каждый раз осуществлялась его корректировка теоретической моделью (учитывалось, что звезды сами принимают участие во вращении вокруг центра Галактики, в связи с чем изучались лучевые скорости и собственные движения таких звезд, расстояния до которых были известны; путем комбинирования этих скоростей и собственных движений определялась скорость вращения Солнца).

Таким образом под контролем теории формировалась конкретная схема будущих наблюдений, в которых звезды и Солнце использовались в функции своеобразных приборов, позволяющих измерить расстояние до центра Галактики. Чрезвычайно важным моментом в осуществлении наблюдений, проводившихся в соответствии с указанной схемой, было обращение к уже накопленным ранее знаниям о характеристиках звезд. Наблюдения Я. Оорта относились к звездам, собственные движения которых и расстояния до которых были уже определены в предшествующих опытах.

В этих опытах звезды были предметом исследования, но затем — в ситуациях нового опыта — они превратились в средство исследования.

Такой перенос объектов из одной ситуации наблюдения в другую — характерная особенность познания. Подобно тому, как в практике конечный результат труда превращается в предмет и средства для новых актов практической деятельности, так и в экспериментах и наблюдениях объекты, зафиксированные по некоторому набору признаков в одном опыте, затем переносятся в другой опыт, где они применяются в новой функции (например, в функции прибора). Такая трансляция объекта может происходить в форме непосредственного переноса объекта из одного опыта в другой, но чаще она опосредствуется накопленными знаниями, в которых фиксируются признаки объекта. В соответствии с характеристиками, которые фиксируют эти знания, объект может быть либо обнаружен в самой природе, либо искусственно изготовлен из ее материалов (что характерно, например, для приборов, применяемых в физическом эксперименте).

Предметная структура экспериментов и наблюдений создается за счет описанных процедур трансляции объектов оперирования. Причем если объект воссоздается на основе имеющихся знаний, то предварительно проверяется наличие у него именно таких признаков, которые необходимы для его применения в новой экспериментальной ситуации. В физике такая проверка осуществляется как испытание перед экспериментом различных подсистем приборной установки. В астрономии она включена в сам акт распознавания объекта по некоторым жестко фиксируемым свойствам перед его использованием в новых наблюдениях. Такие «подготовительные» наблюдения как бы обрамляют основной опыт и гарантируют, что объекты и средства наблюдения переносятся в новую ситуацию именно по тем признакам, которые намечены схемой и планом наблюдения. В случае, когда наблюдения целенаправлены теорией, вся эта деятельность по обнаружению соответствующих объектов и их использованию в новой ситуации наблюдения регулируется теоретической моделью и соответствующими ей законами. Предшествующее развитие познания и практики «заготавливает» средства для осуществления новых наблюдений.

Теория же, поскольку она вводит идеализированную схему изучаемых в данном опыте взаимодействий, ставит задачи наблюдению и ориентирует наблюдателя в выборе соответствующих средств.

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА И ЕЕ РОЛЬ В АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Обратимся теперь к ситуациям эмпирического познания объекта на той стадии, когда оно предшествует построению теории.

Для астрономии это наиболее типичный путь исследований. Более того, ее наблюдения часто открывают новые объекты и их свойства независимо от теории даже тогда, когда она уже построена (например, теория нейтронных звезд была создана до обнаружения в наблюдении пульсаров, отождествляемых в настоящее время с нейтронными звездами, но открытие пульсаров было обязано наблюдениям, которые осуществлялись независимо от предсказаний теории нейтронных звезд).

В этой связи возникает проблема тех предварительных представлений об исследуемой реальности, которые должны целенаправленно направлять эксперименты и наблюдения. Чтобы выяснить природу таких представлений, обратимся вначале к анализу конкретных ситуаций описанного пути эмпирических исследований. Такой путь довольно широко распространен в естествознании, и его образцы можно найти не только в астрономии.

Чтобы лучше разобраться в его особенностях, мы вначале рассмотрим, как строятся физические эксперименты при отсутствии теории исследуемых в них взаимодействий, а затем попы-

таемся сравнить этот процесс с аналогичными ситуациями наблюдений в астрономии.

Начнем с конкретного примера. В истории физики одним из характерных случаев экспериментального обнаружения и изучения нового типа объектов до построения соответствующей им теории было исследование природы катодных лучей. После того, как эти лучи случайно были обнаружены в опытах с электрическими разрядами в газовых трубках, выяснилось, что существующие теоретические знания ничего не говорят о природе нового физического агента. Тогда начался довольно продолжительный период изучения катодных лучей преимущественно экспериментальными средствами. Было установлено, что катодный пучок способен вращать радиометр (эффект механического действия катодных лучей), что поставленный на их пути мальтийский крестик дает на флюоресцирующем стекле четкую тень (прямолинейность распространения катодных лучей), что приближение к ним магнита приводит к смещению вызываемого ими флюоресцирующего пятна (эффект взаимодействия катодных лучей с магнитным полем). Все эти свойства катодных лучей были выявлены в экспериментах Крукса, который заключил, что катодные лучи являются потоком заряженных корпускул.

Обычно считается, что гипотеза о корпускулярной природе катодных лучей была выдвинута Круксом после проведения экспериментов как их обобщение. Но это не так, поскольку в общем виде эта гипотеза предшествовала опытам Крукса. Они были целенаправлены особой системой исторически сложившихся представлений о физической реальности, согласно которым процессы природы трактовались как взаимодействие «лучистой материи» (колебаний эфира) и частиц, несущих электрический заряд (способных в свою очередь образовывать тела как заряженные, так и электрически нейтральные).

Указанная система представлений не являлась теорией в собственном смысле слова, поскольку она не содержала конкретных теоретических моделей и законов, объясняющих и предсказывающих результаты экспериментов. Это была физическая картина мира, принятая в естествознании в конце XIX—начале XX в.

Из этой картины следовало, что физический агент, природу которого надлежало изучить, мог быть либо потоком корпускул (электрически заряженных или нейтральных), либо «лучистой материей». Крукс с самого начала придерживался корпускулярной гипотезы и свои опыты ставил с целью ее обоснования. Характерно, что в этот же период другими исследователями (Ленард, Герц) проводилась экспериментальная проверка и альтернативного предположения — о волновой природе катодных лучей (опыты дали отрицательный ответ, показав, что катодные лучи не являются электромагнитными волнами).

Важно, что в обоих случаях первичная гипотеза, в соответ-

ствии с которой выдвигалась основная задача экспериментального исследования, была генерирована физической картиной мира. В дальнейшем по мере сопоставления гипотезы с возможностями эксперимента общая задача исследований конкретизировалась и расчленялась на ряд локальных задач: выяснялось, какие эффекты могут подтвердить корпускулярную (соответственно волновую) природу катодных лучей, намечалось, какими средствами можно регистрировать указанные эффекты, и т. д. Отсюда и возникал замысел каждого из экспериментов, поставленных Круксом, Ленардом, Герцем и другими исследователями. Картина физической реальности определяла здесь стратегию экспериментальной деятельности, формулируя ее задачи и указывая пути их решения.

Рассмотрим теперь, как обстоит дело с ситуацией астрономических опытов.

Если обнаружение нового объекта или новых сторон уже известных объектов начинается со случайного наблюдения, то затем следует серия квазиэкспериментальных процедур, аналогичных экспериментальному изучению объекта в физике.

Существенная разница между обнаружением новых свойств объекта в этих двух типах исследований состоит лишь в том, что астроном-наблюдатель не имеет возможности менять условия взаимодействия объекта так, как это делает физик. Однако и в наблюдениях астрономии можно, подбирая соответствующие методы, выделить в сложном переплетении природных взаимодействий отдельные взаимодействия, в которых проявляются те или иные специфические характеристики наблюдаемого объекта.

Использование различных методов наблюдения в астрономии при изучении одного и того же объекта может быть уподоблено серии экспериментов над объектом, поскольку в каждом таком случае исследователь создает новую приборную ситуацию. Так, например, систематическое изучение квазаров, начавшееся после того, как они были обнаружены в наблюдениях за радиоисточниками, осуществлялось путем применения различных методов наблюдения. Методы определения цвета объекта, основанные на измерении его блеска в ультрафиолетовой, голубой и видимой областях длин волн, позволили установить избыточность ультрафиолетового излучения у квазаров; метод покрытия Луной позволил выяснить строение радиоисточников, связываемых с квазарами (например, для отождествляемого с квазаром радиоисточника 3C 273, который был первым объектом рассматриваемого астрономического опыта, было установлено, что он состоит из двух компонент, меньшая из которых совпадала с видимой голубой «звездой»); методы изучения оптических спектров позволили установить связанные с квазарами выбросы, определить скорость удаления квазаров по отношению к земному наблюдателю и т. д.

Нетрудно обнаружить, что каждое из наблюдений, осуществляемое перечисленными методами, вводило особую приборную ситуацию, и в каждом из них изучаемый объект был представлен в качестве предмета наблюдения новыми свойствами. Все это позволяет оценить наблюдение подобного типа как серию опытов, посредством которых исследователь вычленяет все новые признаки объекта, аналогично тому, как это делает в своих исследованиях физик-экспериментатор.

Структурное подобие эмпирических исследований астрономии и физики, осуществляемых до построения теории изучаемого объекта, простирается достаточно далеко.

В частности, в обоих случаях важная роль в обнаружении исследуемых характеристик объекта отводится интерпретации результатов эксперимента и наблюдения. Например, обнаруженный в опытах Крукса эффект отклонения катодных лучей под действием магнитного поля был расценен как доказательство их корпускулярной природы. Этот вывод представлял собой типичный образец интерпретации, которая осуществлялась с привлечением уже накопленных теоретических знаний о свойствах излучения и вещества, взаимодействующего с магнитным полем. Аналогичным образом поступает астроном. Обнаружив в наблюдении тот или иной новый эффект, он интерпретирует этот эффект, используя уже накопленные теоретические знания, и таким путем вскрывает ранее неизвестные характеристики объекта. И. С. Шкловский в качестве одного из наиболее характерных образцов интерпретации в астрономии указывал на анализ данных наблюдений об орбитальном движении, цвете и видимой звездной величине спутника Сириуса, что позволило сделать вывод об огромной плотности вещества этой звезды⁶.

Процедура интерпретации результатов эксперимента и наблюдения часто включает несколько уровней, каждый из которых предполагает привлечение определенных теоретических знаний (например, прежде чем сделать вывод о плотности спутника Сириуса, требовалось определить его массу, опираясь на третий закон Кеплера, вычислить по светимости и свету, а значит температуре, радиус звезды — каждая из этих операций представляла собой особую промежуточную интерпретацию на пути к конечному выводу). Но интерпретация еще не дает теории эмпирически исследуемого объекта. Она выступает как средство формирования естественнонаучного факта, который возникает на базе определенной «рациональной обработки» данных наблюдения. В этом формировании участвуют кроме самих данных наблюдения уже сложившиеся в науке теоретические знания, которые ранее получили свое эмпирическое обоснование.

Применение этих знаний в экспериментальном исследовании

⁶ И. С. Шкловский. О взаимосвязи астрономии с физикой и технологией. — «Вопросы философии», 1969, № 5, с. 56.

позволяет выделить отдельные характеристики изучаемого объекта. Но объяснение таких характеристик — дело будущей теории. Понятно, что само по себе установление факта корпускулярной природы крутковых лучей не являлось еще теорией электрона, равно как установление большой плотности вещества спутника Сириуса не давало еще теории белых карликов.

Необходимость различения интерпретации наблюдений и теории изучаемого объекта неоднократно подчеркивалась в работах В. А. Амбарцумяна⁷. Оно имеет большое методологическое значение, поскольку показывает, что между данными наблюдения и теорией лежит особый слой познавательных операций, который обеспечивает твердый фундамент будущим теоретическим построениям.

В плане анализа структуры эмпирического познания это различие также приводит к важным следствиям. Оно показывает, что не существует чисто эмпирического исследования, не «отягощенного» теоретическими знаниями. Привлечение теоретических знаний при интерпретации наблюдаемых явлений напоминает ситуацию с наблюдениями, целенаправленными сложившейся теорией. Но все-таки это различные познавательные ситуации. Главное различие состоит в том, что исследователь с самого начала ставит опыт не имея детальной теоретической разработки тех взаимодействий, которые ему предстоит изучить. В лучшем случае он может выдвинуть лишь гипотезу о некоторых аспектах таких взаимодействий, гипотезу, которую предстоит проверить в наблюдениях.

Все рассмотренные выше аспекты структурного сходства между эмпирическими исследованиями физики и астрономии позволяют предположить, что целенаправленная регуляция астрономических наблюдений должна осуществляться по тем же принципам, что и регуляция экспериментального поиска в физике.

Анализ конкретного материала истории науки подтверждает это предположение. Он показывает, что систематические астрономические наблюдения, осуществляемые до или независимо от построения теории объекта, изучаемого в опыте, целенаправлены системой самых общих представлений о строении и эволюции Вселенной, которые по аналогии с физической картиной мира иногда условно называют «астрономической картиной мира». Приведем конкретные примеры этой регуляции картиной мира наблюдений на этапе эмпирического познания новых объектов. Но, прежде чем приступить к разбору таких примеров, уточним некоторые характеристики астрономической картины мира как особой формы научного знания.

⁷ В. А. Амбарцумян. Философские вопросы науки о Вселенной. Ереван, 1973; В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Методологические проблемы астрофизики. — «Вопросы философии», 1973, № 3, с. 94.

Прежде всего отметим, что она выделяет из «структурно-массштабной лестницы» ту часть мира, которая является предметом изучения астрономии. Если воспользоваться терминологией А. Л. Зельманова, то ее можно было бы назвать картиной «материального мира как совокупности космических объектов»⁸.

В картине астрономической реальности вводятся определенная типология космических объектов и некоторые общие представления об их структуре, взаимодействиях и эволюции.

Отмеченные представления формируются в процессе исторического развития познания и практики и являются особым обобщением и синтезом эмпирических и теоретических знаний, накопленных на каждом конкретном этапе эволюции астрономии. Такие обобщенные представления задают способ видения изучаемых в астрономии процессов. Подобно тому, как в физике менялись на протяжении ее истории общие схемы видения физической реальности (механическую картину мира сменила электромагнитная, а затем начался процесс формирования квантово-релятивистской картины мира⁹), так и в астрономии в ходе ее исторического развития менялись картины изучаемых в ней процессов материального мира. От общих представлений о Вселенной античной науки астрономия двигалась к ньютоновской картине взаимодействия космических объектов, а затем к современным концепциям нестационарной и, наконец, «взрывающейся Вселенной»¹⁰.

Именно такого рода картины исследуемой в астрономии части природы имеют в виду, когда говорят о концепциях общего характера, которые не являются теорией в строгом смысле слова, но играют важную роль в исследовании, определяя способ видения мира. Картина астрономической реальности представляет собой фрагмент глобальной естественнонаучной картины мира. Последняя же складывается на основе обобщения достижений самых различных отраслей естествознания и синтезирует частные картины мира, которые формируются в этих отраслях на различных этапах развития науки.

Выделение естественнонаучной картины мира как особого компонента научного знания стало почти традиционным. В марксистских исследованиях было проведено различие между общей и частной картинами мира, установлено, что в формировании

⁸ А. Л. Зельманов. Гносеологические аспекты космологии.— В кн.: Материалы к симпозиуму по философским вопросам современной астрономии, посвященному 500-летию со дня рождения Н. Коперника. М., 1972, вып. 2, с. 23.

⁹ См.: М. Э. Омельяновский. Современная физика и диалектический материализм.— В кн.: Диалектика в науках о неживой природе. М., 1964, с. 41—43.

¹⁰ О последней см.: В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Диалектика — методология и логика развития современного естествознания.— В кн.: Проблемы методологии современного естествознания. М., 1973; см. также: В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Методологические проблемы астрофизики.— «Вопросы философии», 1973, № 3.

спитетической картины мира решающую роль играют «частные картины мира».

В этом отношении особое место в развитии научного знания занимала физическая картина мира. Физическая картина мира в определенном смысле носит более общий характер, чем астрономическая картина мира. В естественнонаучной картине природы все астрономические процессы рассматриваются как особая разновидность физических процессов, и в этом выражена устойчивая связь между физикой и астрономией, которая установилась уже достаточно давно в истории культуры.

Анализ взаимосвязи между физической и астрономической картинами мира в рамках общей естественнонаучной картины мира требует особого исследования. Для наших целей важно пока лишь зафиксировать такую взаимосвязь.

Картины природы, создаваемые в каждой из отраслей естествознания, играют двоякую функцию. С одной стороны, они являются результатом, обобщением уже накопленных знаний, их синтезом, а с другой — выступают как необходимое условие для выработки новых знаний. Последнее выражается в том, что картины реальности, создаваемые в той или иной отрасли науки, играют роль исследовательских программ, которые определяют круг задач, средства и методы научного поиска. Учитывая эти функции «частных картин природы», их можно было бы вслед за И. Лакатосом назвать «исследовательскими программами» или вслед за Т. Куном «парадигмами»¹¹. Однако, прибегая к такой терминологии, мы сталкиваемся с рядом трудностей, которые вызваны многозначностью применения понятий «парадигма» и «исследовательская программа» в работах Куна и Лакатоса. В одних контекстах эти понятия обозначают конкретную теоретическую модель и соответствующие ей законы, а в других — систему идей, которая носит более общий характер по отношению к конкретным теоретическим моделям и выходит за рамки последних (причем из примеров, приводимых Куном и Лакатосом, видно, что в последнем случае они часто имеют в виду ту или иную модификацию естественнонаучной картины мира). Для нашей же цели чрезвычайно важно различать эти две взаимосвязанные, но вместе с тем специфические компоненты научных знаний.

В силу этого последний из них мы будем именовать «картиной мира», а также «картиной исследуемой реальности», не меняя традиционную для марксистской литературы терминологию¹².

Задавая особый способ видения взаимодействий природы, картина исследуемой реальности определяет программу действий как теоретика, так и наблюдателя.

¹¹ См.: *I. Lakatos. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes.* — In: *Criticism and the Growth of Knowledge.* Cambridge, 1970; *T. Kuhn. Structure of Scientific Revolutions.* Chicago — London, 1962.

¹² В последующих разделах статьи различие между картиной мира и собственно теоретическими моделями и законами будет рассмотрено специально.

Рассмотрим, как регулирует она процесс наблюдения в астрономии.

Если случайное наблюдение открывает новый тип объектов или новые стороны взаимодействий, которые не могут быть сразу объяснены в рамках имеющихся теоретических представлений, то картина астрономической реальности активно целенаправляет все последующие систематические наблюдения, в которых постепенно раскрываются характеристики объекта. Так, например, после обнаружения первого квазара — радиоисточника 3С 48 сразу же возник вопрос, к какому типу космических объектов он относится. В картине астрономической реальности, сложившейся ко времени открытия квазаров, наиболее «подходящими» типами объектов для этой цели могли быть либо звезды, либо очень удаленные галактики. Обе гипотезы, генерированные картиной астрономической реальности, целенаправленно проверялись в наблюдениях. Именно в процессе такой проверки были обнаружены первые специфические и необычные свойства квазаров. Дальнейшее исследование этих объектов эмпирическими средствами также проходило при активной корректировке со стороны картины астрономической реальности. В частности можно установить ее целенаправляющую роль в одном из ключевых моментов такого исследования, а именно — открытии большого красного смещения в спектрах квазаров.

Если не принимать во внимание отмеченной функции астрономической картины мира, то крайне трудно найти рациональные основания догадке Шмидта, который отождествил эмиссионные линии в спектре квазаров с обычной бальмеровской серией водорода, допустив красное смещение, равное 0,158. Внешне эта догадка выглядит сугубо случайной, поскольку к этому времени считалось, что квазары являются звездами нашей Галактики, а звезды Галактики не должны были иметь такое смещение. Поэтому, чтобы возникла сама идея подобного отождествления линий, нужно было уже заранее выдвинуть экстравагантную гипотезу. Однако эта гипотеза уже перестает быть экстравагантной, если принять во внимание, что общие представления о структуре и эволюции Вселенной, сложившиеся к этому периоду в астрономии, включали представления о грандиозных взрывах в галактиках, сопровождающихся выбросами вещества с большими скоростями, и о расширении Вселенной.

Любое из этих представлений могло генерировать исходную гипотезу о возможности большого красного смещения в спектре квазаров.

С этих позиций за случайными элементами в рассматриваемом открытии уже прослеживается его внутренняя логика. Здесь мы сталкиваемся с важной стороной регулятивной функции картины астрономической реальности по отношению к процессу наблюдения. Она не только помогает сформулировать первичные задачи и гипотезы, которые целенаправляют наблюдения, но и

помогает найти правильную интерпретацию полученных в наблюдении результатов.

Регулируя процесс наблюдения и интерпретацию, картина астрономической реальности в то же время испытывает на себе их активное обратное воздействие. Под влиянием новых фактов, полученных из наблюдения, в картинах мира могут происходить довольно радикальные сдвиги. Яркие примеры тому дает новейшая история астрономических открытий. В настоящее время складывается ситуация, когда возрастающее количество новых эмпирических данных о взрывных процессах во Вселенной все труднее укладывается в рамки классических представлений, в которых эволюция космических объектов преимущественно связывается с процессами конденсации разреженного диффузного вещества.

Вместе с тем эти же данные наблюдения стимулировали разработку нового направления исследований, которое представлено идеями бюраканской концепции. В рамках нового подхода нестационарные объекты рассматриваются как закономерные фазы космической эволюции, а космические процессы представлены в виде иерархии процессов взрыва дезинтеграции и распада.

Система этих представлений сформировалась в астрономии в результате синтеза общих идей об эволюции неорганической природы и конкретных фактов, полученных в астрономических наблюдениях за последние четверть века.

Система представлений, вводимых бюраканской концепцией, пока не является теорией в собственном смысле слова и не дает количественных законов, позволяющих рассчитать наблюдаемые эффекты. Более того, она стоит в стороне от астрофизических моделей, которые стремятся объяснить внутреннее строение звезд исходя из известных сегодня физических принципов. В этом смысле бюраканская концепция выступает не как система конкретных теоретических моделей, а как общая качественная картина тех аспектов физических взаимодействий, которые изучаются в астрономии. На наш взгляд, ее следует квалифицировать в качестве новой астрономической картины мира, которая является особой исследовательской программой, альтернативной традиционному подходу.

Крайне показательно, что, складываясь как обобщение данных наблюдений, она в свою очередь начинает активно целенаправлять новые наблюдения, задавая общую стратегию эмпирических исследований в астрономии: там, где раньше астроном-наблюдатель искал процессы конденсации материи, теперь он стремится обнаружить выбросы и разлет вещества. Примечательно, что эта программа систематических наблюдений уже привела к открытию таких необычных явлений, как нестационарность звездных ассоциаций и нестационарность групп и скоплений галактик. Среди достижений последних лет можно указать

на открытии большого числа галактик с аномальным избытком излучения в ультрафиолетовой части спектра (галактики Маркаряна). Недавние наблюдения обнаружили выброс огромных масс вещества у отдельных галактик данного типа (например, выброс в галактике Маркарян 6, который появился в 1970 г. буквально на глазах наблюдателей)¹³.

Итак, на основании рассмотренных примеров можно решить, что же собственно целенаправляет эксперимент и наблюдение в условиях, когда еще не сложилась новая научная теория. Экспериментальные исследования и наблюдения на этом этапе регулируются самыми общими представлениями о структуре изучаемых взаимодействий. Такие представления образуют особый компонент научного знания — естественнонаучную картину мира.

До появления конкретной теории эта картина непосредственно целенаправляет эксперименты и систематические наблюдения, но после создания теоретических моделей и законов открытого в наблюдениях объекта отношение между ней и опытом меняется. Теперь она воздействует на эксперименты и наблюдения косвенно, через слой теоретических моделей.

В этой связи возникает проблема отношения между картиной мира и собственно теоретическими моделями.

КАРТИНА МИРА И НАУЧНАЯ ТЕОРИЯ

Теоретические модели никогда не стоят особняком от картины мира. Они всегда в определенном смысле выступают как конкретное выражение вводимых в «частных картинах мира» представлений об изучаемой реальности. Такая связь между теоретической моделью и картиной мира делает их подчас трудно различимыми между собой компонентами научного знания. Особенно нелегко бывает провести такое различие, когда речь идет о теориях большой степени общности.

Различие между теоретическими моделями и картиной мира можно провести по следующим основным признакам. Во-первых, одни и те же процессы природы характеризуются в терминах собственно теоретических моделей иначе, чем в терминах картины мира. Например, в теории Максвелла ее фундаментальная модель характеризует электромагнитные явления в терминах векторов электрического поля в точке, магнитного поля в точке, плотности тока в точке и их корреляций во времени. Но в электромагнитной картине мира, которая господствовала в физике в конце XIX—начале XX в., электромагнитные явления описывались в иной системе терминов. Предполагалось, что все процессы

¹³ В. А. Амбарцумян. Нестационарные объекты во Вселенной и их значение для исследования происхождения и эволюции небесных тел.— В кн. Проблемы современной космогонии. М., 1972, с. 14.

природы суть результат распространения возмущений в мировой среде — эфире, через которую осуществляется взаимодействие тел. Отсюда электромагнитные процессы рассматривались как колебания эфира и описывались в терминах распространения полей (электрических и магнитных).

Аналогичным образом можно показать, что, например, модель, лежащая в фундаменте космологической теории Фридмана, характеризует нестационарность Вселенной в терминах, более специальных, чем соответствующая картина астрономической реальности.

Язык картины мира иной, чем язык, вводимый собственно теоретическими моделями. Он менее специфицирован и часто включает понятия, более или менее близкие к понятиям обывательского языка. Отсюда иная (меньшая) точность и глубина характеристики изучаемых процессов в картине мира (по сравнению с теоретическими моделями).

Далее, и это во-вторых, картина мира отличается от теоретических моделей по характеру обобщения и широте охвата изучаемых явлений.

Картина мира охватывает более широкий класс явлений, чем модели, лежащие в основании конкретных теорий (хотя и за счет меньшей точности и конкретности объяснения явлений). Об этом говорит тот факт, что на одну и ту же картину мира могут отображаться различные теории. Так, например, в физике с электромагнитной картиной мира была связана не только электродинамика Максвелла, но и механика Герца, а с квантовомеханической картиной физической реальности — не только квантовая механика, но и квантовая электродинамика. В астрономии можно обнаружить похожую (хотя и не тождественную) ситуацию. Например, космологические теории позволяют построить ряд моделей Вселенной. Но из этих моделей нельзя получить в качестве частного случая, допустим, теории строения и эволюции звезд. Круг конкретных явлений, которые описывает каждая из упомянутых систем теоретического знания, имеет не только общие, но и различные элементы. Но обе эти системы знания отображаются на одну и ту же картину астрономической реальности (что, кстати, ставит проблему связи между космологическими моделями и моделями строения и эволюции звезд).

Выяснив различие между картиной мира и теоретическими моделями, рассмотрим теперь, в чем состоит их взаимосвязь.

Выше уже отмечалось, что любая теоретическая модель дает обобщенную схему взаимодействий, исследуемых в определенных типах экспериментально-измерительных процедур (или ситуаций наблюдения, выполняющих функцию эксперимента). Теоретическая модель предстает в качестве идеализированной схемы предметной стороны опытов, когда она проецируется на объясняемый ею эмпирический материал. Но она призвана не только объяснять уже осуществленные эксперименты, но и предсказывать

будущие. Для этого теоретическая модель должна предстать как объективированное изображение реальности — независимо от уже осуществленных экспериментов и наблюдений. Только тогда указанные модели могут быть экстраполированы на будущие эксперименты и наблюдения.

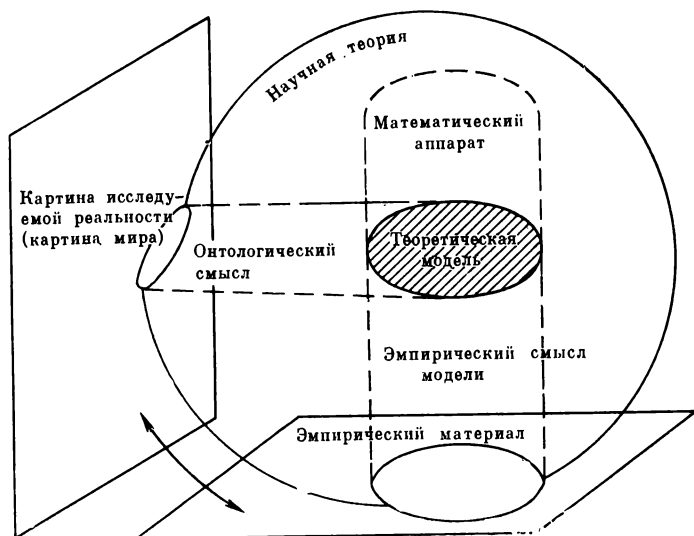
Объективация теоретических моделей достигается благодаря их отображению на картину мира. Важность такой процедуры можно проиллюстрировать на следующем примере. Когда в механике Г. Герца механическое движение характеризуется как изменение во времени конфигураций материальных точек, а сила и энергия описываются в терминах таких конфигураций, то, на первый взгляд, это весьма искусственный образ механических процессов. Но Герц разъясняет, что согласно электромагнитной картине мира природа устроена таким образом, что все тела взаимодействуют через эфир, а поэтому силы передаются благодаря изменению во времени пространственных отношений между частицами эфира. После принятия этой картины мира фундаментальная схема механики Герца воспринимается уже как выражение самого существа механического движения. Теперь она может быть применена для объяснения любых механических явлений, в том числе и тех, которые могут быть зафиксированы будущими экспериментами и наблюдениями.

Если теоретическая модель не объективируется в ранее сложившейся картине мира, но при этом подтверждается эмпирическими фактами, то тогда в соответствии с новой моделью и данными опыта может произойти перестройка картины реальности (в этой перестройке активное участие принимает и философия). И только после утверждения новой картины мира теоретическая модель утверждается в качестве образа реальной действительности.

Ярким примером трудностей, которые могут возникнуть при объективации новых теоретических моделей, могут служить дискуссии вокруг проблемы расширяющейся Вселенной. Они были вызваны появлением теоретической модели Фридмана, из которой следовали выводы о нестационарности Вселенной. Именно в этих дискуссиях и утверждалась в науке новая картина астрономической реальности. Переход от картины стационарной к картине нестационарной Вселенной как раз и придал космологическим моделям расширяющейся Вселенной статус вполне допустимых представлений о реальном мире.

Естественнонаучная картина мира и связанные с ней «частные картины мира» всегда содержат абстрактное изображение структурных характеристик тех процессов природы, которые осваивают познание и практика на определенном этапе своего развития, и эти характеристики они переносят на природу в целом. Поэтому при сопоставлении теоретической модели с картиной мира объективированное видение действительности как бы переходит в теоретическую модель и конкретизируется в ней.

Отношение картины мира к теоретическим моделям и эмпирии можно изобразить следующим образом (см. рисунок). Связи между перечисленными компонентами научного знания определяют структуру научной теории. То, что обычно принято называть теорией, выступает как сложное отношение между применяемыми в ней математическими средствами, теоретической моделью, картиной мира и эмпирическим материалом, который



должен быть описан и объяснен в теоретическом языке. Развитая теория включает: 1) уравнения (математические выражения законов); 2) теоретическую модель, для объектов которой справедливы уравнения; 3) отображения объектов, составляющих модель, на эмпирический материал; 4) их отображение на картину мира. Соответственно этому теория формулируется с помощью различных языковых выражений. В частности наличие двух проекций теоретической модели (на эмпирический материал и на картину мира) приводит к появлению в составе теории двух разновидностей высказываний, интерпретирующих математический аппарат. С одной стороны — это предположения, обеспечивающие связь собственно теоретических терминов с терминами, в которых формулируется картина мира, принятая на том или ином этапе развития науки. С другой стороны — это правила соответствия, обеспечивающие связь теоретических терминов с эмпирией. Оба типа предложений входят в состав теории.

Например, вектора $\vec{E}$, $\vec{H}$, $\vec{D}$, $\vec{B}$, $\vec{I}$ в уравнениях Максвелла могут быть определены как состояние электрического и магнитного полей. Такие определения соответствуют операциям отображения теоретических конструкторов «вектор магнитной напря-

женности в точке», «вектор электрической напряженности в точке» и т. д. на объекты картины мира «электрическое поле», «магнитное поле». Но вектора $\vec{E}$, $\vec{H}$, $\vec{D}$, $\vec{B}$, $\vec{I}$ имеют и другую характеристику. Они могут быть определены в терминах идеализированных экспериментов, репрезентирующих основные черты реальных опытов электродинамики. Например, «вектор электрической напряженности в точке» ($\vec{E}$) может получить следующее определение: « $\vec{E}$ суть выражение механической силы, с которой заряженное тело — источник электрических сил — действует на заряженное пробное тело», « $\vec{E}$ — представляет собой отношение величины механической силы, действующей на пробное тело, к заряду этого тела». Такие определения соответствуют операциям отображения объектов теоретической модели на объекты реальных экспериментальных ситуаций (это операциональные определения теоретических терминов).

Таким образом, в развитом теоретическом знании картина мира и собственно теоретическая модель выступают как две взаимосвязанные компоненты, так что объекты картины мира и объекты собственно теоретических моделей можно определить друг через друга. Часто эти компоненты теоретических знаний не различаются, и тогда говорят о теоретических представлениях вообще, интуитивно понимая под этим то картину мира, то собственно теоретические модели.

ПРОБЛЕМА ГЕНЕЗИСА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ И АСТРОНОМИЯ

Опираясь на установленное соотношение между теорией, картиной мира и опытом, перейдем к рассмотрению специфических особенностей построения теории. Такой анализ позволит ответить на вопрос о происхождении теоретических представлений, которые целенаправляют наблюдение.

Известно, что развитие научных знаний определяется, с одной стороны, социокультурными факторами (потребностями общества, развитием техники и состоянием культуры и т. д.), а с другой — имманентными для науки причинами (степенью предшествующего развития теоретического знания; наличием соответствующего эмпирического материала и т. п.). Анализируя взаимодействие теории и эксперимента в их генезисе, мы сделаем акцент на второй стороне, воздействие же социокультурных факторов на процесс развития научных знаний мы будем лишь отмечать (анализ такого воздействия составляет специальную задачу и требует особого исследования).

Начнем с рассмотрения тех стадий развития науки, которые связаны с экспериментальным исследованием природы до появления теории. Поскольку на этом этапе решающую роль в организации наблюдений играет картина изучаемой реальности, возникает вопрос о ее происхождении. Такая картина может

быть заимствована естественным путем в готовой форме из предшествующего развития науки и использована в процессе проведения экспериментов в том случае, если они не втягивают в орбиту научного исследования принципиально новый тип взаимодействий, структура которых не учтена картиной мира. Но существует и другой вариант, когда сложившаяся в науке картина реальности не учитывает новый тип взаимодействий, обнаруженных в опыте. Тогда, прежде чем перейти к их систематическому изучению, исследователь может построить новую картину изучаемой реальности. Такая картина создается в гипотетическом варианте на стыке между физикой и философией. Причем в ее формировании активную роль принимают различные социокультурные факторы (ценности, стиль мышления эпохи, сформировавшийся на базе практики социального общения и деятельности, и т. д.).

Выдающиеся ученые нашего столетия не раз отмечали воздействие социокультурных факторов на процесс теоретического поиска. Об этом писали Бор, Эйнштейн, Вернадский, Шредингер и другие. Показателен, например, проведенный Шредингером анализ взаимосвязи картины мира, вводимой в квантово-релятивистской физике, с культурной средой современной технической цивилизации (современным стремлением к простоте и целесообразности предметных форм, «пристрастием к освобождению от традиций» как выражением динамизма социальной жизни, методикой массового управления, ориентированной на поиск инварианта в наборе возможных решений, и т. д.)¹⁴.

Воздействие социальных факторов коррелирует возникающую в естествознании картину мира с культурной средой порождающей ее эпохи. Впоследствии по мере того, как на базе указанной картины будут формироваться эмпирические и теоретические знания, это позволит «вписывать» последние в духовный климат породившей их эпохи.

Обычно зародышевые формы новой картины мира содержат крайне общие и приблизительные представления о предмете исследования и вначале не претендуют на статус обобщенной картины тех процессов, которые изучает наука. Они могут и не эксплицироваться исследователем, но тем не менее именно они определяют новое видение процессов природы, выявляемых экспериментальной деятельностью. И только тогда, когда под влиянием результатов опыта произойдет уточнение и конкретизация новой картины изучаемой реальности, она начинает все более явно противопоставляться ранее сложившейся в науке «частной картине мира». Картина изучаемой реальности является необходимой предпосылкой для построения теоретических моделей.

Исторически существовали два способа построения этих моделей. Один, который использовался на самых ранних ста-

¹⁴ См.: Э. Шредингер. Новые пути в физике. Статьи и речи. М., 1971, с. 39—42.

двух развития науки, состоял в том, что абстрактные объекты и система их отношений, образующие модель, возникали как результат непосредственной схематизации и идеализации опыта. Но в развитом естествознании преобладает иной способ построения теоретических знаний. Теоретическая модель вначале строится как «гипотетическая схема» изучаемой реальности, которая затем накладывается «сверху» на опытные факты и проверяется ими. Такое построение осуществляется за счет использования абстрактных объектов, исторически сложившихся в науке и применяемых в качестве строительного материала при создании новой модели. Этот перенос осуществляется с помощью соответствующих понятий, которые фиксируют характеристики абстрактного объекта и операции его построения¹⁵.

Теоретические модели астрономии являются достаточно убедительным примером в этом отношении. Все абстрактные объекты, которые фигурируют в этих моделях, заимствуются из физики, а также из предшествующих теоретических моделей самой астрономии. Так, например, теоретическая модель звезд, предложенная Эддингтоном в 1924 г., использовала представления об идеальном газе с учетом того, что высокая степень ионизации атомов внутри звезды позволяет трактовать их как частицы, взаимодействующие только по принципу упругого соударения, даже при очень высоких плотностях вещества звезды. Все эти теоретические объекты и их корреляции (ионизированные атомы, представленные как частицы газа) сложились вначале в теориях физики и оттуда были перенесены в астрономию.

Построение теоретических моделей путем переноса абстрактных объектов из одних областей знания в другие и объединения их в новые модели характерно для развития науки. Таким путем познание формирует гипотезы, которые должны затем проверяться опытом. Но, фиксируя это, важно помнить, что сам выбор исходных абстрактных объектов и их соединение не являются произвольными, а во многом детерминированы принятой исследователем картиной мира. Картина мира играет целенаправляющую роль в теоретическом поиске, поскольку вводит изображение системной организации изучаемых взаимодействий природы применительно к определенному способу их познания. Такой образ природных процессов создается благодаря развитию картины мира под влиянием эмпирических фактов. Такая картина, поскольку она проходит длительную проверку фактами, может быть рассмотрена как их обобщение.

Процесс построения теоретических моделей астрономии регулируется картиной астрономической реальности, но не только ею одной. В их построении участвует и сложившаяся на определен-

¹⁵ В. С. Степин, Л. М. Томильчик. Практическая природа познания и методологические проблемы современной физики. Минск, 1970, с. 54—57.

пом этапе развития науки физическая картина мира. Показательно, например, что, приступая к построению отмеченной выше модели строения звезд, Эддингтон прямо апеллирует к сложившейся в это время электромагнитной картине мира. В этой картине в качестве основных элементов природы, из которых, как считалось, состоит любой ее объект, принимались электромагнитные волны, положительно заряженные ядра атомов и электроны. Только эти объекты, как предполагал Эддингтон, и существуют внутри звезды¹⁶. Соответственно этому физическая картина мира подсказывала, к каким областям теоретической физики должен обращаться исследователь при построении новой теории. Тем самым она обозначала типы абстрактных объектов, которые могли быть использованы при построении моделей звезд (это были теоретические объекты электродинамики и теории атома). Но затем происходила новая корректировка процесса теоретического поиска, на этот раз картиной астрономической реальности, в которой звезды рассматривались как особые газообразные раскаленные тела большой массы. Такая картина ориентировала на применение в теории строения звезд физических представлений, сложившихся в теории газов. Так возникало соединение абстрактных объектов электродинамики и теории атома с теоретической моделью механики газов. Именно на этих путях, под контролем уже известных эмпирических данных, конструировалась Эддингтоном модель строения звезд.

Из сказанного видно, что естественнонаучная картина мира, принятая исследователем, задает своеобразную программу построения теоретических моделей. В этом конкретно выражается роль картин мира как исследовательских программ, целенаправляющих не только эмпирический, но и теоретический поиск.

Теоретические знания могут создаваться двумя способами. Исследователь может вначале построить теоретическую модель, а затем, применяя соответствующие математические средства, получить математический аппарат теории. Но в современной науке существует и обратный путь, когда вначале строится математический формализм, а затем он получает свою интерпретацию. Этот способ, основанный на применении математической гипотезы, предполагает выбор некоторых исходных уравнений в уже сложившихся теориях и их преобразование с тем, чтобы получить уравнение для новой области объектов.

Важно подчеркнуть, что вместе с исходными уравнениями исследователь заимствует и перестраивает абстрактные объекты тех теоретических моделей, с которыми были связаны исходные уравнения. Таким путем вводится гипотетическая модель, которая используется как первичная гипотетическая интерпретация нового математического аппарата.

¹⁶ См.: О. Струве, В. Зебергс. Астрономия XX века. М., 1968, с. 267—268.

В обоих способах исследования теоретическая модель вводится вначале как гипотетическая конструкция, «сверху» по отношению к опыту. Поэтому после ее построения производится особая система операций по обоснованию модели опытом. Модель подвергается проверке всеми имеющимися фактами о новой предметной области. Кроме того подвергаются проверке наблюдения предсказания, сделанные на основе теоретической модели. В этом процессе первичные гипотетические конструкции, как правило, подвергаются перестройке. Часть фактов может согласовываться с теоретической моделью, а часть противоречить ей. Тогда происходит видоизменение модели под влиянием новых фактов. В астрономии история смены различных моделей строения и эволюции звезд может служить иллюстрацией этой особенности исследования.

Перестроенные модели вновь сопоставляются с исходной картиной мира, и здесь могут возникнуть следующие ситуации:

1) теоретическая модель легко «проецируется» на картину мира, не затрагивая ее основ;

2) теоретическая модель не согласуется с прежней картиной мира. Это наиболее интересный вариант, связанный с перестройкой картины мира. Рассогласование между ней и теоретическими моделями, предварительно адаптированными к эмпирии и хорошо проверенными фактами, чаще всего выражается в появлении парадоксов теоретического знания. В физике типичным примером таких парадоксов могут служить парадоксы электродинамики Максвелла — Лоренца, связанные с допущением существования эфира в абсолютном пространстве-времени. В астрономии в качестве примера можно указать на парадоксы, которые возникли в классической космологии (гравитационный, фотометрический и термодинамический парадоксы).

Парадоксы являются своеобразным сигналом о необходимости радикальных сдвигов в картине мира. Но такие сдвиги не всегда могут быть осуществлены сразу после обнаружения парадоксов. Например, для устранения последних в космологии понадобился длительный период развития физических идей и техники астрономических наблюдений. Названные парадоксы были сняты только с появлением релятивистской космологии.

Процедура перестройки картины мира предполагает синтез накопленного теоретического и эмпирического материала, направляемый философскими идеями и общим фоном культуры определенной исторической эпохи. Трансформация картины мира в свою очередь может привести к видоизменению отображаемых на нее теоретических моделей (но без потери их эмпирического смысла). Так, например, после перестройки Эйнштейном электромагнитной картины мира с учетом идей специальной теории относительности (элиминация таких абстрактных объектов, как «эфир», «абсолютное пространство» и «абсолютное время», и введение в картину мира релятивистских представ-

лский о пространстве-времени) электродинамика Максвелла — Лоренца была видоизменена в электродинамику Эйнштейна — Лоренца, а классическая механика и термодинамика — в релятивистскую механику и релятивистскую термодинамику. Таким образом, построение теории на стадии высокоразвитой науки протекает как процесс адаптации друг к другу теоретических схем (с соответствующим им математическим аппаратом), картины мира и эмпирического материала. В этом процессе решающая роль принадлежит процедурам эмпирического обоснования теоретических моделей, благодаря которым знания об эмпирически выявленных особенностях исследуемых процессов переносятся из теоретической модели в картину мира.

ПРОБЛЕМА ГЕНЕЗИСА ТЕОРИИ И ДВА НАПРАВЛЕНИЯ В АСТРОФИЗИКЕ

Анализ проблемы генезиса теории и ее взаимодействия с опытом позволяет в новом свете рассмотреть ряд дискуссионных проблем в современной астрономической науке.

С этой точки зрения еще раз можно обратиться к дискуссии между сторонниками неклассической (бюраканской) концепции и их оппонентами. Приверженцы классического направления в астрофизике обычно отмечают, что бюраканская концепция, постулировав наличие гипотетических сверхплотных тел дозвездного вещества, взрывы которых приводят к его превращению в «обычное» вещество, не дала конкретных механизмов звездообразования, что само допущение существования таких тел — неправомерная гипотеза, введенная для объяснения немногих новых фактов, поскольку основная масса эмпирических данных, на которые стремится опереться бюраканская концепция, может найти свое объяснение в рамках традиционных представлений. К этому следует добавить возражения, согласно которым допущение взрывных процессов, вызванных превращениями гипотетического дозвездного вещества, предполагает действие неизвестных пока физических закономерностей. Последнее же расценивается как неправомерно сильное допущение, поскольку за счет введения дополнительных предположений в принципе можно объяснить наблюдаемые явления, не расширяя круг известных физических законов. Не разбирая детально вышеприведенную аргументацию¹⁷, мы хотели бы обратить внимание на ее исходные гносеологические предпосылки. По-видимому, в ее основе лежит оценка бюраканского направления как теоретической модели (весьма общего и пока гипотетического характера), призванной объяснить и предсказать эмпирические факты. Во вся-

¹⁷ Обстоятельный разбор такого рода аргументов и убедительные контраргументы можно найти в работе: В. В. Казютинский. Современное состояние космогонической теории.— В кн.: Проблемы современной космогонии. М., 1972.

ком случае, только тогда многие из приведенных аргументов (например, требование указать на конкретные механизмы звездообразования, вывести наблюдаемые явления из конкретных физических законов) выглядят достаточно правомерными. Но дело в том, что бюраканская концепция не является просто очередной теоретической моделью, конкурирующей с другими моделями звездообразования и процессов выделения энергии в ядрах галактик и т. д.

Мы уже указывали выше, что ее следует рассматривать как новую картину астрономической реальности. Причем познавательную ситуацию здесь характеризует выдвижение такой картины в условиях, когда нет явно выраженных парадоксов в прежней системе теоретического знания, хотя последняя и сталкивается с большими трудностями.

На этом этапе познавательного движения отсутствуют конкретные теоретические модели, связанные с новой картиной мира, и она взаимодействует в основном с материалом наблюдений, развиваясь под его влиянием. Этот этап готовит базу для построения будущих теорий, но от него нельзя сразу требовать, чтобы он дал развитые теоретические объяснения открываемых фактов. Единственное, что может дать картина мира на современной стадии познания, — это сформулировать единую точку зрения на огромную массу эмпирически фиксируемых явлений, целенаправлять наблюдения и эксперименты и таким путем способствовать новым эмпирическим открытиям.

Всем этим требованиям бюраканская концепция полностью отвечает. Как исследовательская программа, она успешно конкурирует с другими существующими программами, обеспечивая эвристические наблюдения. А то обстоятельство, что на одном и том же этапе познания соперничает несколько глобальных стратегий исследовательской деятельности, является не аномалией, а скорее нормой науки¹⁸.

Таким образом, при решении методологических проблем науки чрезвычайно важно различать основные стадии научного исследования, связанные с взаимодействием картины мира, теоретических моделей и законов, а также эмпирического материала. Смещение этих стадий (вызванное в свою очередь нечеткими представлениями о структуре знания) может привести к неверной методологической оценке новых направлений в науке, к которым уже на ранних стадиях эволюции предъявляются требования, уместные только по отношению к более развитым формам теоретического знания.

Рассматривая бюраканскую концепцию в качестве новой «астрономической картины мира», следует иметь в виду, что последняя должна быть скоррелирована с физической картиной

¹⁸ См.: *I. Lakatos. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes...*; *T. Kuhn. Structure of Scientific revolutions*, p. 179—180.

мира и представлена в качестве фрагмента общей естественно-научной картины мира.

Критические замечания в адрес неклассического подхода вызваны прежде всего трудностями осуществления указанной корреляции. Допущение сверхплотных тел, выделяющих при взрывах гигантские количества энергии, пока не может быть объяснено ни одним из известных физике механизмов образования энергии.

В этой связи возможны два предположения: 1) что будущее развитие физики позволит объяснить гигантские взрывы в звездах и галактиках без внесения радикальных изменений в сложившуюся физическую картину мира, 2) что такое объяснение потребует «новой физики» (будет связано с радикальной ломкой понятий и представлений, характеризующих современную физическую картину мира).

Первая ситуация может быть охарактеризована как развитие астрономических представлений на базе уже сложившейся физической картины мира, ее основных идей и принципов. Вторая — как революция в физике, вызываемая революцией в астрономии: появление и развитие новой «астрономической картины мира» порождает ломку физической картины мира.

В истории науки можно найти примеры обоих типов исследовательских ситуаций.

Характерным примером первой из них может служить развитие астрономии XVII—XVIII вв. под воздействием механической картины мира, которая обеспечила успешное применение в астрономии методов классической механики. Образцом второй является коперниковская революция в астрономии и ее влияние на становление механики.

Очевидно, что при оценке методологических последствий нетрадиционных концепций в современной астрономии важно определить, какой тип ситуации порождает эти концепции. Вполне вероятно, что в ряду необычных явлений, открытых современной астрономией, существуют такие, которые в будущем найдут свое объяснение без коренного изменения фундамента современной физики. Но если рассматривать глубинные тенденции взаимодействия современной астрономической и физической картины мира, то решающее значение приобретает следующее обстоятельство. По мере развития представлений о нестационарной, а затем о «взрывающейся» Вселенной постепенно кристаллизовался и приобретал все более ясные очертания подход к Метагалактике как к саморазвивающемуся объекту. Уже релятивистская космология сделала первый шаг в этом направлении, поскольку ввела идею возникновения и дальнейшей эволюции Метагалактики.

Правда, в картине нестационарной Вселенной идея эволюции не была доведена до логического завершения, так как здесь не нашли выражения некоторые существенные особенности само-

развивающегося объекта. Специфика таких объектов заключается в том, что процесс их развития всегда протекает как «наращивание» уровней организации с изменением свойств и функций элементов, ранее входивших в систему. Схематично этот процесс можно представить следующим образом: первоначальный уровень взаимодействия, образующий систему в исходном состоянии, «мутирует» и порождает новые типы взаимодействия — новый уровень организации, который воздействует на первичный уровень и трансформирует его (меняет его законы). Следующая мутация формирует новый уровень взаимодействия, который приводит к новой перестройке всей системы как целого. Таким образом, каждый вновь возникающий уровень, выступая как порождение предшествующих, начинает управлять ими по принципу обратной связи и трансформирует их. При этом в процессе функционирования системы на высших стадиях ее эволюции всегда воспроизводятся в сжатом виде некоторые черты ее исторического развития, характеризующие становление главных уровней системы.

Отмеченная особенность саморазвивающихся систем уже давно была зафиксирована в биологии (онтогенез повторяет филогенез) и в исследовании социальных объектов (примером может служить анализ законов капиталистического производства, произведенный К. Марксом)¹⁹.

Если с этих позиций обратиться к картине «взрывающейся» Вселенной, выдвигаемой нетрадиционным направлением в современной астрономии, то нетрудно увидеть в ней новый шаг в разработке эволюционного подхода ко Вселенной. Новая картина астрономической реальности по существу вводит представление о повторяемости на высших стадиях космической эволюции некоторых особенностей тех процессов, которые характеризовали стадию зарождения Метагалактики. Она связывает взрывные процессы во Вселенной с превращениями сверхплотного состояния вещества в «обычные» его формы и рассматривает эти процессы по аналогии с переходом от «начальной сингулярности» к становлению Метагалактики. С позиций теории эволюции такое представление о взрывных процессах во Вселенной является не только допустимым, но и «крайне желательным», поскольку здесь неявно предполагается, что «онтогенез» космических объектов повторяет «филогенез» — историю Метагалактики.

По-видимому, дальнейший прогресс астрономии будет связан с новым углублением представлений об эволюции Метагалак-

¹⁹ Согласно идеям К. Маркса раскрытие сущности развивающегося объекта предполагает выявление логики его исторического развития. Но для этого не обязательно проследивать реальную историю, а достаточно изучить объект на высших стадиях развития.

тики в плане отмеченных выше особенностей процесса саморазвития. И если принять во внимание эту тенденцию в развитии современной астрономии, то в новом свете предстает проблема согласования современной картины «астрономической реальности» с принятыми в физике фундаментальными представлениями и концепциями.

Физика до сих пор вообще не рассматривала свои объекты как саморазвивающиеся системы и никогда не опиралась в своих исследованиях на идеи эволюции. Вместе с тем в ней все настоятельнее ощущается потребность в новых подходах к изучению элементарных частиц. Широко дискутируются вопросы о возможном использовании в физике будущего некоторых схем и представлений, вырабатываемых в современной биологии. По существу такие гипотезы исходят из молчаливого допущения, что «новая физика» будет создана и достигнет успехов тогда, когда применит к элементарным частицам подход, характерный для анализа саморазвивающихся систем.

Для нашего рассмотрения проблемы чрезвычайно важно зафиксировать, что современная астрономия генерирует по отношению к физике именно этот подход. Картины нестационарной и «взрывающейся» Вселенной делают вполне естественным и, в определенном смысле, даже необходимым вывод о том, что элементарные частицы являются продуктом развития и возникли на ранних стадиях космической эволюции. Показательно в этом отношении, что предпринятые в современной космологии попытки теоретического анализа процессов становления Метагалактики породили представление о возникновении различных сортов элементарных частиц в различные моменты времени после «первовзрыва»²⁰.

Очевидно, что подобного типа идеи могут радикальным образом изменить современную физическую картину мира, поскольку они по существу требуют рассмотрения элементарных частиц как объектов, подверженных эволюции.

С этих позиций вполне правомерно рассматривать современные взаимоотношения между физикой и астрономией как такой тип исследовательской ситуации, при котором революция в астрономии требует радикальных изменений в физической картине мира и является преддверием построения «новой физики».

²⁰ См., например: *Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1967*; а также: *Я. Б. Зельдович. Рождение элементарных частиц.* — В кн.: Будущее науки, вып. 5, 1972.

МЕТОД МОДЕЛЕЙ В АСТРОФИЗИКЕ, ЕГО ЭВРИСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Почти во всех естественных науках метод моделей используется с древних времен, а в математике — с момента ее зарождения. Изучая свойства вещества в масштабах микромира (элементарные частицы) и макромира (небесные тела), физика и астрономия вынуждены были для их описания и интерпретации первыми из естественных наук прибегнуть к математическим моделям. По мере развития новых методов вычислительной математики, которые произвели революцию в методах всех наук, область проблем, поддающихся в той или иной форме математическому моделированию, постоянно расширяется. Успешные примеры применения математического моделирования в медицине, технике, биологии наглядно показывают практическое значение этого метода. Понятия «модель», «моделирование» в настоящее время с успехом используются в социологических, экономических, психологических и лингвистических исследованиях. Отошли времена, когда понятие математическая модель считалось синонимом абстрактного теоретизирования.

Мы рассмотрим некоторые аспекты моделирования в астрономии, в основном астрофизике. Для астрофизика проблема моделирования весьма своеобразна, так как в отличие от большинства своих коллег-естествоиспытателей он не имеет возможности непосредственно изучать объект исследования — небесные тела и вынужден довольствоваться косвенными методами. Постановка прямого эксперимента в астрофизике пока невозможна. Приводимый обычно пример — изучение свечения газа в лаборатории в условиях, имитирующих, например, космическое пространство или хвост кометы, — не является «чистым» экспериментом, так как исследователь имитирует не условия в космосе или в хвосте кометы, а свои представления (весьма гипотетичные) об этих условиях. К тому же подчас даже эти предполагаемые физические условия (температуру, давление) создать в течение сколько-нибудь длительного времени в лаборатории современная техника не в состоянии. Для большинства других задач астрофизики осуществление даже такой «имитации» не представляется возможным.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Основной задачей астрофизики является изучение физики звезд и звездных систем (двойных и кратных звезд, звездных скоплений, галактик), состояния звездного и межзвездного вещества,

процессов, происходящих в атмосферах звезд и звездных недрах, источников звездной энергии, происхождения и эволюции звезд.

По существу, единственная возможность изучать физику звезд — это анализ приходящего от них электромагнитного излучения. Все, что на протяжении тысячелетий астрономы узнали о Вселенной и о месте, которое Земля занимает в ней, основано на «рассказе» луча света — прежде всего оптического излучения, затем радиоизлучения небесных тел и, с начала космической эры, их ультрафиолетового, рентгеновского и инфракрасного излучения.

Изучение спектров звезд позволило на основе законов физики определить химический состав звездных атмосфер. В них обнаружены почти все элементы таблицы Менделеева. Важной особенностью химического состава атмосфер Солнца и звезд является преобладание в них двух легчайших элементов — водорода (около 70%) и гелия (около 30%). Все остальные элементы встречаются почти в том же соотношении, что и в земной коре. Как известно, это открытие в свое время сыграло важную роль в разрушении мифа о принципиальном различии «земного» и «небесного» миров.

Характер спектров звезд позволяет судить о температуре и плотности излучающей среды по степени ионизации атомов в ней, о наличии электрических и магнитных полей. Одно и то же вещество дает различный тип спектра в зависимости от физических условий, в которых оно находится, что, конечно, весьма усложняет задачу определения химического состава звездных атмосфер. Но, с другой стороны, это свойство вещества дает астрофизику возможность узнать многое о природе небесных тел. По спектрам определяются скорости вращения звезд, скорости их приближения или удаления от нас, движения газов в атмосферах Солнца и звезд. Исследование звездных спектров позволило построить модели звездных атмосфер не только для обычных звезд, но и для звезд «пекулярных» — с аномальным химическим составом, с магнитными полями, с протяженными атмосферами и истечением вещества с поверхности. Эти объекты в настоящее время все больше привлекают внимание исследователей. При построении моделей звездных атмосфер и проверке их соответствия реальным звездам астроном сталкивается с рядом трудностей, связанных с тем, что линии некоторых элементов в спектрах плохо или совсем не наблюдаются. Для горячих звезд основное излучение лежит в ультрафиолетовом участке спектра, а для холодных красных звезд — в инфракрасном. Наземные наблюдения, ограниченные атмосферой, не позволяют исследовать эти участки с необходимой точностью. Соответственно и модели атмосфер таких звезд страдают рядом неточностей. Большие надежды в этом отношении возлагаются на внеатмосферные исследования, на орбитальные обсерватории типа установки «Орион» на космическом корабле «Союз-13».

Своеобразным подтверждением «правильности» модели солнечной атмосферы, построенной астрофизиками, было открытие гелия на Солнце раньше, чем он был обнаружен на Земле. В 1868 г. в спектре протуберанцев Солнца была обнаружена серия линий, которые нельзя было отождествлять со спектром какого-либо из известных тогда на Земле веществ. Вещество это, после тщетных попыток раскрыть его «личность», было названо солнечным газом — гелием. Об этом веществе можно было лишь сказать, что, очевидно, это очень легкий газ, так как по наблюдениям ученых он поднимался на большую высоту в атмосфере Солнца. В течение 25 лет считалось, что это — особый элемент, встречающийся только в небесных телах. И только в 1893 г. гелий был обнаружен в земных условиях и действительно оказался легким газом, вторым после водорода.

Наблюдение и изучение звезд и работа в лаборатории идут рука об руку, взаимно помогая и дополняя друг друга.

Астрономия дает исследователю возможность изучать вещество в совсем необычных для Земли условиях, при температурах и давлениях, которые значительно превосходят получаемые в наших лабораториях. В таких условиях наружу выступают особые, новые свойства вещества, часто незнакомые земной лаборатории. Часто эти свойства кажутся настолько поразительными и противоестественными, что физики к результатам исследования астрофизиков относятся недоверчиво до тех пор, пока поставленный в лаборатории опыт не подтвердит их. Бывает и наоборот: физическая теория получает полное признание лишь после того, как ее подтвердят астрономические наблюдения.

История науки знает много подобных примеров. Так, долгое время физики искали на Земле таинственные элементы небулий и короний, обнаруженные астрофизиками: первый — в газовых туманностях, а второй — в солнечной короне. В спектре разреженных масс газа, образующих туманности, наряду с линиями известных химических элементов, имеются характерные зеленые линии. Такие линии не были получены в лаборатории и не принадлежали ни одному из известных элементов. Поэтому вещество, испускающее их, и было названо небулием — от латинского слова «небула» — туманность. Все попытки обнаружить небулий на Земле оказались тщетными. Наконец, в 1927 г. было установлено, что небулий — это кислород, каждый атом которого потерял два электрона, т. е. дважды ионизированный кислород. Часть же линий небулия принадлежит однажды ионизированному азоту и кислороду. Но дважды ионизированный кислород встречается и в земных лабораториях. Почему же не удавалось получить в спектрах кислорода на Земле зеленые линии небулия? Оказывается, условия на Земле для этого неподходящие. Чтобы в спектре появились линии небулия, кислород должен находиться в очень разреженном состоянии, при котором столкновения отдельных атомов происходят чрезвычайно редко. Плот-

ность такого газа должна быть примерно в триллион раз меньше плотности окружающего нас воздуха. Физики называют такие спектральные линии «запрещенными». То обстоятельство, что в мировом пространстве в газовых туманностях в спектре кислорода могут беспрепятственно появляться зеленые линии небулия, позволяет оценить плотность межзвездной среды.

Аналогичным образом была разрешена и загадка корония. Коронием было названо вещество, дававшее о себе знать в виде ряда цветных линий спектра солнечной короны. Такие линии не обнаруживались ни в одном спектре на Земле. Семьдесят два года ученые пытались найти это вещество, и только в 1941 г. удалось это сделать. Линии корония оказались запрещенными линиями железа, ионизированного десятикратно и четырнадцатикратно, т. е. железа, атомы которого потеряли по 10 и 14 электронов, а также линиями многократно ионизированных никеля, кальция и других элементов.

С разгадкой «секрета» корония не осталось в спектрах небесных тел ни одной незнакомой линии. Изучение линий небулия и корония помогло ученым узнать много нового о поведении атомов в различных условиях, а также о природе небесных тел и межзвездной среды. Одновременно это подтвердило правильность принятой модели атмосферы Солнца и сходных с ним звезд.

К сожалению, такие доказательства справедливости физических основ моделирования в астрофизике редки.

Приведенные выше примеры относятся к случаю проверки «звездной» модели земным экспериментом. Приведем обратный пример. Разрабатывая теорию так называемого вырожденного газа, физики пришли к, казалось бы, парадоксальному выводу, что тело, состоящее из вырожденного газа, должно обладать тем меньшим объемом, чем больше его масса. Поскольку речь идет о чрезвычайно больших давлениях и плотностях, искать такие тела следует в космическом пространстве. Если существуют звезды, состоящие из вырожденного вещества, то они должны выделяться среди обычных звезд своей огромной плотностью в сочетании с маленькими размерами. Оказалось, что такие звезды существуют — это белые карлики, одни из наиболее интересных представителей звездного мира. Астрономы называют белыми карликами горячие звезды малых размеров и чрезвычайно большой плотности. Звезды эти во многих отношениях отличаются от обычных звезд и образуют в звездном мире особый класс. Наиболее известным белым карликом является спутник Сириуса. На долю этой звезды не раз уже выпадала роль пробного камня новых астрономических и физических методов и теорий. По размерам это скорее планета, чем звезда, но масса ее почти в точности равняется массе Солнца. Следовательно, плотность ее в сотни тысяч раз больше плотности Солнца. Иными словами, кубический сантиметр вещества спутника Сириуса весит целую

топшу. Во времена открытия белых карликов это казалось чудовищным и невероятным. Спутник Спринуса представлялся каким-то уродливым и необъяснимым исключением среди звезд. Развитие атомной физики показало впоследствии, что явление это совсем не такое уж необъяснимое, а открытие других белых карликов лишило его исключительности. Большие плотности этих звезд, вызывавшие столько недоумений, явились реальным подтверждением физической теории вырожденного газа.

Еще более плотными объектами являются нейтронные звезды, существование которых было предсказано физиками в начале тридцатых годов, а открыты они были лишь несколько лет тому назад при изучении источников рентгеновского излучения с борта искусственных спутников и космических ракет.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕОРИИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД

Наблюдениям доступны лишь внешние слои звезд — звездные атмосферы. Выяснить, как распределены температура, плотность, давление от поверхности звезды к центру, какие физические процессы происходят в звездных недрах, можно лишь путем математического моделирования, исходя из данных о наружных слоях и пользуясь законами физики и механики. Условия в недрах звезд, конечно, значительно отличаются от условий в земных лабораториях, но элементарные частицы — те же, и к ним можно применять знания, полученные в лаборатории, экстраполируя их на «звездные» условия. Здесь, как и при любой экстраполяции, необходимо соблюдать осторожность, учитывая возможность непредвиденных скачкообразных изменений тех или иных параметров в переходной области. Необходимо также иметь в виду, что никаких наблюдений, позволяющих проверить справедливость модели внутреннего строения звезд, пока нет. Критерием истины в этом случае могут служить лишь данные наблюдений о внешних характеристиках звезд и статистические закономерности, как, например, зависимость масса-светимость, масса-радиус, диаграмма светимость-цвет для звезд Галактики и для отдельных звездных скоплений. В основе построения моделей звезд лежит представление о равновесной газовой звезде. Из наблюдений известно, что большинство звезд с течением времени не сжимается и не расширяется, т. е. действующие в каждой точке звезды силы уравновешены. Эти силы — сила тяжести (вес вышележащих слоев), стремящаяся сжать звезду, и сила давления газа, стремящаяся его расширить.

Конечно, на самом деле все обстоит не так просто. Звезда, находясь в равновесии, излучает с поверхности громадное количество энергии. Это значит, что из ее центральных частей наружу движется поток энергии. Излучение тоже обладает способностью

оказывать давление. Этот поток энергии, движущийся наружу, также играет некоторую роль в поддержании равновесия. Путь светового луча из звездных недр наружу очень извилист и сложен. Если бы звезда была прозрачна, то энергия, освобождающаяся в центральной части, мгновенно вышла бы наружу, так как свет движется со скоростью 300 тыс. км/сек. Но звезда не прозрачна, и световой луч, освободившийся в ее недрах благодаря источникам энергии, на своем пути наружу сталкивается с атомными ядрами и электронами, которые отклоняют его от своего пути. Луч долго «бродит» внутри звезды прежде чем ему удастся добраться до поверхности и быть ею испущенным. Иногда такое «путешествие» длится миллионы лет. Температура вдоль радиуса звезды должна распределяться таким образом, чтобы в каждый момент времени в любом слое количество тепла, получаемое от нижележащего слоя, и количество тепла, отдаваемое им вышележащему, были бы одинаковы. Тепловая энергия не должна скапливаться в отдельных областях звезды, так как это повысило бы температуру такого слоя и привело бы к нарушению равновесия. Сколько энергии освобождается в центральных частях звезды, столько же излучается поверхностью; количество остается неизменным, хотя качественно характер излучения (длина волны) меняется. Отсюда следует, что, зная светимость звезды, легко рассчитать, с какой скоростью в ее недрах освобождается энергия. Если звезда устойчива, скорость излучения энергии с поверхности должна равняться скорости, с которой эта энергия выделяется в глубине. Температура в недрах звезды, таким образом, не просто должна повышаться от поверхности вглубь, но она должна повышаться непрерывно и устойчиво и характеризоваться плавной кривой без скачков и зигзагов.

Если нам известны масса и радиус звезды, достаточно ли этого, чтобы определить распределение температуры в ее недрах?

Оказывается, мало знать только полную массу звезды, необходимо еще и указать, как эта масса распределена вдоль радиуса, т. е. как меняется плотность от точки к точке. В самом деле, при одной и той же массе мы можем иметь и совсем однородный шар, плотность которого одинакова во всех точках, и, наоборот, шар, у которого очень плотная центральная часть и совсем разреженные внешние слои. Как обстоит в этом отношении дело у звезд? Изменение плотности в звезде можно изучить на основании исследования некоторых типов двойных звезд, так называемых затменных звезд. Кроме того, вопрос этот можно приближенно решить и теоретически, изучая равновесные газовые шары с различными соотношениями между давлением и плотностью. Таким способом было найдено, что плотность возрастает с глубиной и что центральная плотность может превосходить среднюю примерно в 10—60 раз. Зная хотя бы приблизительно распределение массы внутри звезды, можно вычис-

лечь вес вышележащих слоев для каждой точки, а следовательно, и давление в этой точке. Температура, давление и плотность газа связаны уравнением состояния. Зная две из трех величин, входящих в это уравнение, мы всегда можем определить и третью и найти таким образом значения температуры в каждой точке звезды, что чрезвычайно важно. В самом деле, если мы знаем температуру в недрах звезды, пусть даже приближенно, это уже дает нам возможность представить себе ту обстановку, которая господствует в ее центральных частях.

Температуры в центрах звезд, определенные таким способом, колеблются для звезд разной светимости от 10 до 30 млн. градусов. Не следует думать, что понятие температуры для десятка миллионов градусов уже теряет смысл. В действительности это далеко не так. Температура характеризует скорость беспорядочного движения частиц вещества, и чем выше температура, тем быстрее движутся частицы. При обычной комнатной температуре частички воздуха движутся со средней скоростью порядка 450 м/сек; при температуре порядка $20\,000\,000^\circ$ скорость частиц будет около 100 км/сек. Это не такая уж большая скорость. Земля движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/сек, а скорость обращения Солнца вокруг центра Галактики составляет даже 250 км/сек. Тем более скорость в 100 км/сек мала по сравнению со скоростями, с которыми имеют дело физики в лабораториях; достаточно вспомнить, что при радиоактивном распаде альфа-частицы вылетают из ядра со скоростью 100 000 км/сек, а бета-частицы еще в два раза быстрее, так что скорость движения частиц в недрах звезд с точки зрения земного физика — очень заурядное явление. При высокой температуре в недрах звезд атомы практически полностью ионизированы. Это обстоятельство значительно облегчает задачу астрофизика, исследующего внутреннее строение звезд. Во-первых, при почти полной ионизации вещества в объеме, в котором в обычном твердом теле уместилось бы лишь несколько нейтральных атомов, в недрах звезд находятся десятки атомных осколков и отдельных электронов. При этом расстояние между частицами будет достаточно большим по сравнению с размерами частиц и звездное вещество ведет себя как идеальный газ, хотя плотность его выше плотности самого плотного тела на Земле. Поэтому с полным основанием можно утверждать, что уравнением состояния вещества большинства звезд является уравнение состояния идеального газа. Интересно отметить, что использование уравнения состояния идеального газа в земных условиях, как правило, является моделированием процесса, часто весьма упрощенным. Для звездных недр — это максимально возможное приближение к реальности.

Во-вторых, при полной ионизации вещества значительно упрощается вопрос о химическом составе звездных недр. Спектральный анализ позволяет определить состав только звездных

атмосфер. О составе внутренних частей звезд ничего не известно. Между тем принятый химический состав в значительной степени определяет значение температуры в центре рассчитываемой модели звезды, и он влияет также на степень прозрачности звездного вещества, так что это очень важный параметр.

В обычных условиях существенно знать, из каких химических элементов состоит газовая смесь, так как средний молекулярный вес смеси (определяемый как полная масса, разделенная на число частиц) сильно меняется в зависимости от того, какие элементы входят в эту смесь. Но если вещество ионизировано, то число частиц увеличивается, в то время как масса остается неизменной и все химические элементы имеют средний молекулярный вес, примерно равный двум. Исключение составляют только водород (для которого средний молекулярный вес равен $1/2$) и гелий ($2/3$). Поэтому для определения среднего молекулярного веса звездных недр достаточно знать только содержание водорода и гелия — всего двух элементов таблицы Менделеева.

На практике оценка среднего химического состава внутренних частей Солнца и других звезд производится следующим образом. Выбирают некоторую, близкую к составу звездных атмосфер смесь из водорода, гелия и тяжелых элементов. Пользуясь физическими законами и зная массу звезды из наблюдений, вычисляют ее светимость. Если вычисленная светимость не совпадает со светимостью, даваемой наблюдениями, то несколько изменяют химический состав и решают задачу снова. И так до тех пор, пока вычисленная светимость не совпадает с наблюдаемой. Каждое такое решение методом проб представляет собой чрезвычайно трудоемкую задачу. Решая ее, в частности, для Солнца, определили, что центральные части Солнца состоят примерно на 70% из водорода и на 25% из гелия. На долю тяжелых элементов остается меньше 5%.

Вычисленный, исходя из теоретических предпосылок, химический состав Солнца хорошо согласуется с данными спектрального анализа о составе солнечной атмосферы. Такое совпадение данных наблюдения и теории говорит о том, что в общем мы правильно представляем себе строение Солнца и сходных с ним звезд.

Изложенные выше принципы построения звездных моделей исходят из общих законов и данных наблюдений о внешних характеристиках звезд. С точки зрения математики они довольно сложны, и расчеты серий таких моделей могут проводиться только с использованием быстродействующих ЭВМ.

Пока не были открыты термоядерные реакции как источник звездной энергии, такие модели звезд оставались довольно формальными. Они не могли физически объяснить реальную звезду и позволяли только выявлять отдельные закономерности звездного мира. Следует отметить, впрочем, что именно расчет последовательности таких звездных моделей привел вплотную к откры-

тно ядерного источника энергии. Из расчетов вытекает, что температура в недрах звезд главной последовательности почти одинакова и колеблется от 10 миллионов градусов для красных звезд-карликов до примерно 30 млн. для горячих голубых звезд-гигантов. В то же время наблюдаемая светимость этих звезд, т. е. полное количество энергии, излучаемое их поверхностями в секунду, различается гораздо более значительно — в десятки тысяч раз. Это означает, что выделение энергии звезд должно очень сильно зависеть от температуры, изменяясь по степенному закону с показателем степени примерно 4—15. Ни один из известных источников энергии не удовлетворял этим требованиям астрофизики, только реакции преобразования ядер водорода в гелий имеют такую температурную зависимость.

Введение в теорию физического закона генерации энергии в звездных недрах позволило не только построить модели реальных звезд, но и перейти к физически обоснованным расчетам изменения звездных моделей во времени, к эволюции звезд. В самом источнике энергии заложено направление звездной эволюции. Раз в звезде непрерывно происходит преобразование ядер водорода в гелий, то со временем меняется химический состав ее недр, а следовательно, и прозрачность и температура вещества, что в свою очередь приводит к изменениям строения и внешних характеристик звезды.

Последовательные изменения звездной модели можно проследить на протяжении огромных промежутков времени для звезд различных масс (при наличии очень мощной ЭВМ, естественно); такие расчеты успешно проводятся в ряде стран, в том числе и в Советском Союзе. При этом учитываются новейшие данные о ядерных реакциях, потеря энергии на образование пар нейтрино-антинейтрино, возможность перемешивания звездного вещества на отдельных этапах эволюции, различные механизмы переноса энергии. В процессе эволюции модели усложняются, особенно на поздних стадиях эволюции, когда изменения протекают во все более убыстряющемся темпе. Здесь уже необходим тщательный анализ устойчивости рассматриваемых моделей, как с физической, так и математической точки зрения. Статическая модель не может правильно описывать очень быстрые процессы, требующие учета динамических эффектов. Формально такую модель можно рассчитать, но физического смысла она иметь не будет. Это обстоятельство, связанное с проблемой границ применимости модели, нельзя забывать.

С помощью последовательностей звездных моделей современная теория звездной эволюции позволила объяснить ряд важных закономерностей звездного мира, развитие двойных звезд, положение звезд различных типов на наблюдаемой диаграмме Герцшпрунга — Рассела, являющейся своеобразным аналогом диаграммы состояния звездного вещества, эволюцию звездных скоплений, строение звезд на поздних стадиях эволюции, предшест-

вующих стадии новой и сверхновой и многое другое. Непрерывно модели улучшаются и уточняются путем сравнения (пусть косвенного) с наблюдениями. За последние годы сделано много интересных попыток учета влияния вращения и магнитного поля на строение звезд, совершенствуется теория конвекции в звездах — один из самых уязвимых участков теории эволюции звезд, особенно на поздних стадиях. Предпринимаются попытки создать модели сравнительно недавно открытых объектов: пульсаров, нейтронных звезд и «черных дыр», — которые, по существующим представлениям, являются самыми последними «остатками» проэволюционировавших звезд. Конечно, нельзя утверждать, что теория эволюции звезд полностью завершена, что здесь все уже ясно. Как уже указывалось, трудностей еще много, особенно при описании поздних стадий эволюции звезд. Но смоделированная общая схема эволюции от однородной звезды главной последовательности до красного сверхгиганта и — в зависимости от начальной массы звезды — до предсверхновой или белого карлика. представляется достаточно убедительной, логичной, объясняющей наблюдаемые закономерности и не содержащей необоснованных предположений. Без математического моделирования достичь таких успехов никогда бы не удалось.

Важно подчеркнуть, что современная теория звездной эволюции начинается с модели очень молодой, но уже сформировавшейся звезды — химически однородной звезды главной последовательности. Такие звезды наблюдаются в действительности — это самые многочисленные представители звездного мира, и это означает, что исходная модель теории, ее фундамент реальны. Вопрос о том, каким образом «пришла» эта звезда на главную последовательность, — это уже вопрос не столько к теории звездной эволюции, сколько к теории происхождения звезд. С моделированием в этой области все обстоит значительно сложнее, потому что не только не выяснен процесс образования звезд, но и неизвестно начальное состояние вещества, из которого они образовались. Нет исходной точки, начальной модели, которая могла бы быть проверена наблюдениями и позволила бы с определенной уверенностью развивать математическое моделирование. В настоящее время рассматриваются две гипотезы происхождения звезд: 1) путем конденсации из разреженной газопылевой туманности и 2) путем разлета сверхплотного тела. Каждая из этих прямо противоположных гипотез, чтобы стать достоверной, должна прийти путем разумного физического процесса к наблюдаемым однородным звездам главной последовательности, т. е. к отправному пункту теории звездной эволюции, и «состыковаться» с ней. Естественно, что без математического моделирования здесь не обойтись — одними общими соображениями проблему решить невозможно.

Математически ни одна из этих гипотез пока полностью не разработана. Ряд попыток создать последовательность моделей

конденсирующихся протозвезд предпринимается учеными различных стран. Главными трудностями являются отсутствие «начальной точки» и ряд физических проблем, касающихся взаимодействия частиц с излучением, а также учета динамических эффектов в туманности. В гипотезе разлета, вероятно, процесс превращения осколков в звезды с энергетической точки зрения представит наибольшие трудности. Детальная разработка теории происхождения звезд еще впереди, и каждый новый результат наблюдений, проливающий свет на природу вещества протозвезд, является поистине неоценимым для исследователя в этой сложнейшей области современной астрофизики.

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В КОСМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Искусственные спутники и космические ракеты открыли новый этап в астрофизике, позволили выйти за пределы земной атмосферы, создав тем самым возможность проводить наблюдения небесных тел в ультрафиолетовом, инфракрасном и рентгеновском участках спектра, непосредственно исследовать околоземное пространство, Луну и ближайшие планеты (рентгеновский телескоп на Луноходе, радио- и инфракрасная аппаратура на межпланетных станциях, астрономический телескоп «Орион» на «Союзе 13», спускаемый зонд на Венеру, летающие солнечные и геофизические обсерватории, прямое исследование лунного грунта и физических свойств лунной поверхности). Очень сложная подготовка всех этих экспериментов велась на Земле методом моделирования — созданием начальных, часто сознательно упрощенных моделей, их проверкой, переходом к более совершенным моделям после первых полетов.

Возьмём, к примеру, такой важный эксперимент, как фотографирование обратной стороны Луны. На стартовавшей 4 октября 1959 г. автоматической станции «Луна-3» 6 октября были получены первые в истории науки снимки обратной стороны Луны, к тому же это были первые успешные фотографии, сделанные в космическом пространстве и переданные на Землю. Этому предшествовала огромная исследовательская работа в земных лабораториях по моделированию всего процесса съемки и обработки фотоматериалов в условиях космического пространства. Незвестных в такой задаче было слишком много, так что условия пришлось ставить самые жесткие. Была создана специальная фотоаппаратура — два объектива с фокусным расстоянием 200 и 500 мм для получения диаметра изображения Луны 10 и 25 мм соответственно; специальная термостойкая 35 мм пленка, которая была предварительно испытана облучением пучков электронов с энергией в миллионы электронвольт (надо было иметь уверенность, что действие космического излучения не вызовет значительного почернения). Было разработано специальное малогабаритное устройство для проявления и фиксирования в

одном растворе. К раствору также предъявлялись особые требования -- он должен был быть достаточно вязким, не менять свойств при хранении на борту станции в течение 15 суток, быть достаточно температуроустойчивым. Проявленное изображение передавалось на наземные приемные станции по команде с Земли с помощью телевизионной системы. Такой фототелевизионный способ получения и передачи изображений из космического пространства оказался очень эффективным и впоследствии неоднократно применялся (в несколько усовершенствованном варианте) на советских и американских автоматических станциях.

Много трудностей вызвало определение режима фотографирования: время экспозиции, условия освещенности, стабилизация во время фотографирования (в 1959 г. это была очень сложная задача). С одной стороны, выгоднее было получить снимки лунной поверхности при освещенности под малым углом, когда тени отчетливо выделяют неровности лунного ландшафта. С другой стороны, при первом эксперименте риск был слишком велик, — без того многие звенья эксперимента базировались на экстраполяции, на математическом моделировании ожидаемых условий. Решено было первые снимки делать при максимальной освещенности, т. е. сознательно пойти на некоторую жертву качеством снимков. После того, как эксперимент на «Луне-3» был успешно осуществлен, последующее фотографирование обратной стороны Луны на автоматической станции типа «Зонд» проводилось с учетом всех внесенных «природой» поправок. Эксперимент был значительно усовершенствован, а в некотором отношении и упрощен. В частности уже на снимках, полученных на автоматической станции «Зонд-3» (июль 1965 г.), наибольшее число объектов обратной стороны Луны снято при освещенности под малыми углами. Более того, каждый участок был сфотографирован несколько раз под различными углами за счет значительного перекрытия кадров. Эти снимки по качеству не уступают лучшим фотографиям видимой стороны Луны, полученным с наземных обсерваторий.

Можно было бы привести еще много аналогичных случаев последовательного усовершенствования моделей космических экспериментов и приведения их в соответствие с действительностью на примере луноходов, межпланетных станций «Марс» и «Венера» и др. Этот процесс совершенствования продолжается и, скорее всего, еще достаточно длительное время будет продолжаться в области изучения планет Солнечной системы и межпланетного пространства. В астрономии, вероятно, только в отношении поверхности Луны можно в настоящее время утверждать, что модель достаточно адекватна действительности, так как она является результатом прямого эксперимента, ставшего возможным благодаря развитию космической техники. Сказать то же самое о внутреннем строении Луны еще нельзя — здесь все еще слишком много неопределенностей, хотя лазерная локация

Луны и — особенно — исследование движения лунных спутников позволили узнать много нового о поле тяготения Луны и ее фигуре.

* * * * *

В заключение надо отметить, что прогресс, достигнутый за сравнительно короткий срок, с 4 октября 1957 г., после запуска первого искусственного спутника Земли, в изучении ближайших к нам небесных тел, и самой Земли, и околоземного пространства чрезвычайно значителен.

Исследование космического пространства с помощью искусственных небесных тел открыло в астрономии принципиально новые пути, позволило обнаружить новые объекты, проверить ряд теоретических предпосылок и поставить проблемы моделирования астрофизических явлений на экспериментальную основу. Основные успехи в этой области следует ожидать в развитии внеатмосферной астрономии.

А. Турсунов

**ПРОБЛЕМЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ
В КОСМОЛОГИИ
(гносеологические аспекты)**

Хотя космология — старейшая область знания, научный статус она приобрела сравнительно недавно.

Возникновение научной космологии, как и всего естествознания, относится к началу Нового времени, громогласно заявившего о себе коперниканским переворотом. С появлением теории тяготения Ньютона, а позднее — формированием классической термодинамики и статистической физики стали возможными попытки научного анализа геометрической структуры пространства и характера эволюции Вселенной как физического целого.

Однако систематическое развитие космологии как самостоятельной отрасли физического знания началось лишь после создания общей теории относительности и ее приложения Эйнштейном к корректно сформулированной космологической проблеме как физической задаче. И лишь теперь, наконец, завершается полувековой процесс превращения космологии в более или менее зрелую физическую науку со своим специфическим предметом и методом исследования. Но имевший место ранее разрыв между уровнем развития теории и возможностью ее опытной проверки, несмотря на достижения наблюдательной космологии за последние годы, еще не преодолен в полной мере.

Существенным фактором, определяющим научный облик космологии, по-прежнему остается обилие соперничающих теорий, исходящих из самых различных, нередко совершенно противоположных посылок. Единственное, чего удалось достичь к настоящему времени, — отсеять ряд спекулятивных теоретических построений, явно не выдержавших эмпирического испытания, и тем самым свести множество существующих концептуальных систем к подмножеству наиболее правдоподобных моделей (в данном случае — общерелятивистских).

Последние полвека были годами не только расширения эмпирической базы космологии, но и укрепления ее принципиальных основ, в особенности методологических принципов исследования. Становление же методологической аксиоматики космологии было процессом далеко не прямолинейным; оно сопровождалось острой борьбой разных школ и философских мировоззрений. Не входя в детали этой многолетней коллизии, начавшейся еще в тридцатые годы и продолжавшейся вплоть до середины шестидесятых годов, ограничимся несколькими замечаниями общего характера.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ: ОЦЕНКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ

Хотя в понимании основных познавательных задач космологии и установилась более или менее единая точка зрения относительно способа их решения, т. е. в конечном счете — метода моделирования Вселенной, мнения ведущих специалистов радикально разошлись. К концу сороковых годов четко обозначились два противоположных подхода, которые не совсем точно называют «эмпирическим» (или «астрофизическим») и «рационалистическим» (или «дедуктивным»). Соответственно этим подходам основные космологические теории, выдвинутые за последние пятьдесят лет, можно разделить на две альтернативные группы. Первую и наиболее значительную группу составляют теории, основанные на общей теории относительности Эйнштейна и ее модификациях или обобщениях, — теории типа скалярно-тензорных (Бранса — Дикке, Хойла — Нарликара), биметрических (Розена — Колера — Пугачева) и тетрадных (Меллера, Пеллегрини и Плебаньского, а также Тредера). Заметим, что по мнению специалистов ни одну из этих теорий нельзя рассматривать как нечто принципиально новое. Они отличаются от общей теории относительности Эйнштейна, а также одна от другой только различным пониманием предложенных самим Эйнштейном фундаментальных принципов¹.

Во вторую группу входят в основном теория «кинематической относительности» (Kinematic Relativity) Милна — Уитроу —

¹ Г. Тредер. Теория гравитации и принцип эквивалентности. М., 1973, с. 11.

Уокера и нелокальный вариант теории «устойчивого состояния» (Steady-State) Бонди — Голда — Шамы.

В интересующем нас плане важно выявить методологические основания данной классификации. Подойдя к ней под этим углом зрения, мы видим, что рассматриваемые подходы явно исходят из определенных гносеологических установок. Это особенно бросается в глаза в случае «дедуктивного» подхода. В формировании методологических установок этой школы космологов существенную роль сыграли многие идейные течения 30—40-х годов — начиная от радикального конвенционализма неопозитивистов Венского кружка и кончая формалистическим направлением в обосновании математики.

Методологическая альтернатива, выдвинутая сторонниками «дедуктивного» подхода, состояла в следующем: космология как наука вообще не может быть построена в концептуальных рамках локальной физики, ибо последняя — продукт взаимодействия субъекта и объекта в пределах крайне малой пространственной области (в космических масштабах) и практически в одно мгновение истории космоса, а на основе такого чрезвычайно ограниченного локального опыта нельзя правильно судить о глобальных свойствах Вселенной. Но это еще не значит, что целостные свойства Вселенной не познаваемы вовсе. Предлагается «перевернуть» традиционную методику: непосредственно апеллировать к какому-либо существенному наблюдаемому (мы бы уточнили: постулируемому) свойству самой Вселенной (ее расширению, пространственной или пространственно-временной однородности) и принять его в качестве фундаментального и единственного принципа построения космологической теории. Здесь в гипертрофированной форме подчеркнуты гносеологические особенности космологии. Действительно, масштаб перехода от локальной физики к космологии невообразимо огромен, и возможность данного познавательного скачка сама по себе далеко не очевидна. Перед космологом, приступающим к построению модели Вселенной как целого, неизбежно возникнут такие, далеко не тривиальные, вопросы гносеологического плана: Применимы ли законы лабораторной физики, справедливые в данном месте в настоящее время, всюду во Вселенной? Будут ли они теми же самыми не просто на космологических расстояниях и в отдаленном прошлом, но во Вселенной, которая была тогда физически совершенно иной? Можно, конечно в качестве рабочей гипотезы допустить, что эти законы универсальны, но тогда встает другой вопрос: сформулированы ли эти законы столь точно, чтобы применять их без заметных ошибок к очень большим пространственно-временным масштабам? ²

В зависимости от соответствующего методологического подхода на эти вопросы можно дать три возможных ответа: 1) ло-

² См.: Д. Шама. Современная космология. М., 1973, с. 137.

кальные физические законы в космологии не применимы; 2) они применимы и могут быть прямо экстраполированы на Вселенную как целое; 3) космологическое применение этих законов возможно только после предварительного обобщения (введения параметров, не имеющих локального эффекта, но играющих существенную роль в космических масштабах).

Космологи-релятивисты с самого начала придерживались третьего и (позднее) второго подходов. Так, А. Эйнштейн, впервые применяя свои уравнения к решению космологической проблемы, счел необходимым обобщить их, введя так называемый космологический член (от которого, однако, он отказался после работ Фридмана). Отношение современных исследователей к космологическому члену не одинаково: одни (Дж. Уилер, Е. М. Лифшиц, Р. Руффини и другие), вслед за Эйнштейном, отбрасывают его; другие (В. А. Фок, Г. Мак-Витти, А. Л. Зельманов, Я. Б. Зельдович и другие), напротив, оставляют, правда, по разным (теоретическим и эмпирическим) соображениям. Третьи исследователи идут еще дальше: они считают необходимым обобщить уравнения гравитации, вводя скалярные поля различной физической природы (у С. Бранса и Р. Дикке вводится одно дополнительное поле, а у Ф. Хойла и Дж. Нарлика — сразу несколько), или дополнить аксиоматику космологии новыми гипотезами (типа переменности константы гравитационного взаимодействия, разных интерпретаций принципа Маха и т. д.).

Что же касается оппонентов общерелятивистской космологии, то они, как уже сказано, с самого начала придерживались первого подхода, нашедшего свое методологическое оправдание на почве неопозитивистской «философии науки». В самом деле, далеко идущее допущение о космологической неэкстраполируемости локального физического знания, как и отставание описательного характера науки, в том числе и космологии, по существу основывалось на той узкоэмпирической трактовке природы теоретического знания, которой придерживался неопозитивизм тридцатых и сороковых годов.

Эти подходы сами по себе требуют особого гносеологического анализа. Остановимся лишь на оценке их конкретно-научной реализации в программе английской школы космологов.

Сейчас с полной уверенностью можно констатировать, что теории Милна — Уитроу — Уокера и Бонди — Голда — Шамы не выдержали испытания временем. При этом следует подчеркнуть, что в решении их судеб решающее слово сказали не одни только астрономические наблюдения. С самого начала указанные концепции не внушали доверия в первую очередь по чисто теоретическим соображениям.

В интересующем нас плане методологическая слабость теорий «кинематической относительности» и «устойчивого состояния» состояла прежде всего в том, что они сознательно шли на

резкий разрыв с локальной физикой, априори отрицая всякую возможность ее применимости в космологии. Однако попытка конструирования «особого» космологического знания, независимого от сложившейся системы знания физического, по существу не удалась. И этот «гносеологический урок» можно рассматривать как косвенное указание на правильность методологической установки теорий, основанных на экстраполяции фундаментальных физических теорий на область космологических исследований.

Поэтому, анализируя методологическое основание и логическую структуру научно-космологического моделирования, мы считаем пущим в первую очередь подчеркнуть *преимственный* характер научного метода космологии; показать, что современное космологическое моделирование есть не что иное, как прямое продолжение обычной методики теоретического исследования, а космологическая теория точно так же, как и любая феноменологическая теория локальной физики, по своей логической организации является системой гипотетико-дедуктивного типа; следовательно, научная космология, при всем глубоком своеобразии ее объекта познания, в методологическом плане не столь радикально отличается от других отраслей современного естествознания, как это может показаться на первый взгляд.

КОСМОЛОГИЯ КАК ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ: ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопрос об объекте познания и месте космологии в системе наук, а значит, и ее взаимоотношения с философией остается предметом дискуссии. Это связано не столько с чрезвычайной специфичностью объекта исследования научной космологии, сколько с историко-генетическими корнями последней, с тем фактом, что она на протяжении многих столетий являлась главной и неотъемлемой частью традиционных онтологических учений, а ее основные идеи и фундаментальные принципы выросли на почве философских размышлений о структуре мироздания и месте человека в нем.

Мы не останавливаемся здесь на критической оценке существующих точек зрения³, а изложим свои соображения, опираю-

³ См.: Г. И. Наан. О современном состоянии космологической науки.— В кн.: Вопросы космогонии. т. 6. М., 1958; *он же*. Общие вопросы космологии.— В кн.: Труды 6-го совещания по вопросам космогонии. М., 1959; В. И. Свидерский. Пространство и время. М., 1958; *он же*. Некоторые вопросы диалектики изменения и развития. М., 1965; С. Т. Мелюхин. Материя в ее единстве, бесконечности и развитии. М., 1966; Л. Ригер. Введение в космологию. М., 1959; А. С. Кармин. К вопросу о предмете космологии.— В кн.: Некоторые вопросы методологии научного исследования. Л., 1968; В. В. Казютинский. Понятие «Вселенная».— В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969; Э. М. Чудинов. Общая теория относительности и пространственно-временная структура Вселенной.— «Вопросы философии», 1967, № 3.

цнися на анализ оснований общерелятивистской методики построения теоретических моделей Вселенной.

Современную космологию обычно рассматривают как науку, которая в отличие от других «частных» отраслей естествознания, изучающих ограниченные классы микро- и макрообъектов, исследует Вселенную как целое. При этом молчаливо предполагается, что Вселенная объемлет *все* вещи, а значит, пользуясь ироническим замечанием английского историка и методолога науки Дж. Норта, теории, которые не обращают внимания ни на капусту, ни тем более на королей, нельзя считать истинно космологическими! ⁴

Ясно, что вышеприведенное определение космологии — слишком общее и неоднозначное и может служить (уже служило!) источником серьезных коллизий. Поэтому мы вносим в него два существенных уточнения.

Первое. В физической космологии Вселенная понимается не как раз и навсегда данная целокупность, не как некая завершенная в себе онтологическая тотальность; она органически включается в контекст прогрессирующей научно-познавательной деятельности человечества. Это значит, что космология оперирует привязанным к временному ряду конкретно-научным понятием Вселенной, объем и содержание которого определяются концептуальными рамками данной системы знания — эмпирического и теоретического. Однако для правильного установления места космологии в системе современных наук о природе сказанного недостаточно; от определения *объекта познания* следует переходить к выявлению конкретного *предмета исследования* космологической науки. Отсюда вытекает необходимость второго уточнения.

Научная космология, объявляя Вселенную объектом своего познания, тем не менее не собирается также превратиться в разновидность старой натурфилософии — интегратора всего знания о космосе, ибо она не ставит себе задачу воспроизводить *всю* Вселенную во всем ее качественном многообразии и внутреннем единстве. Хорошо известно, что решение такой глобальной познавательной задачи не под силу не только космологии, но и всей науке в целом на любой исторически ограниченной ступени ее развития. Вселенная, понимаемая как синоним Природы в самом широком смысле слова, не может быть охвачена никакой системой воззрений, какой бы всеобъемлющей она ни представлялась в данный момент, а может быть воспроизведена в мышлении лишь в пределе, при бесконечном восхождении человеческого познания. Именно это обстоятельство имел в виду Ф. Энгельс, когда писал: «Ясно, что мир представляет собой единую систему, т. е. связанное целое, но познание этой системы

⁴ J. D. North. Measure of the Universe. London — Oxford, 1965, p. 275.

предполагает познание *всей* природы и истории, чего люди *никогда* не достигают»⁵.

Космология же, отвлекаясь от тех аспектов Вселенной, которые по своему характеру относятся к компетенции других, «частных» астрономических наук (звездной астрономии, планетной и звездной космогонии, астробиологии и т. д.), исследует лишь ее один аспект — *целостный*, причем опять-таки с одной стороны — *физико-геометрической*.

Коротко современную космологию можно определить как физическую науку о пространственной структуре и эволюции Вселенной как целого. Здесь мы опираемся на соответствующие замечания Эйнштейна о космологической проблеме, которую он отождествил с «изучением структуры пространственно-временного континуума в целом»⁶. Однако необходимо иметь в виду обобщенный характер данного определения. По сути дела, предмет исследования космологии включает в себя несколько относительно самостоятельных, но тесно взаимосвязанных аспектов: *астрофизический, космогонический, термодинамический* и др.

Таким образом, научная космология вовсе не унаследовала те проблемы, которые ставила перед собой так называемая рациональная космология вольфианского толка, претендовавшая на разработку не только проблематики пространства, времени и бесконечности, но и вопросов, касающихся свободы человека и происхождения зла. Поэтому встречающиеся иногда расширительные определения космологической науки, например: «вида рациональной попытки иметь дело с конечными проблемами природы» (Encyclopaedia Britannica, 1946, v. 6) не соответствуют действительному положению вещей.

Попробуем теперь более конкретно сформулировать познавательную задачу космологии.

История астрономии — история непрерывного расширения пределов охваченной наблюдениями области Вселенной. Античность имела дело с совокупностью наблюдаемых невооруженным глазом небесных тел — по существу с Солнечной системой. Телескоп дал возможность выйти далеко за эти пределы и охватить всю Галактику. Сейчас же, говоря об астрономической Вселенной, уже имеют в виду гигантскую расширяющуюся систему скоплений галактик, заключенных в пространственном объеме

⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, с. 20, с. 630.

⁶ См.: А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. IV. М., 1967, с. 196; а также т. II. М., 1966, с. 407. Другие определения предмета и исследовательских задач физической космологии см. в работах: Л. Ригер. Введение в космологию. М., 1959, с. 13; А. А. Паннекук. История астрономии. М., 1966, с. 554; Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1968, гл. 20; А. Л. Зельманов. Гносеологические аспекты космологии. — В кн.: Теория познания и современная физика, вып. 4. М., 1972, с. 144; В. Л. Гинзбург. Современная астрофизика — там же, с. 173; Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теория поля. М., 1973, с. 453.

с радиусом порядка нескольких миллиардов световых лет. Отсюда, исходя из опыта прошлого, мы можем сказать, что астрономическая Вселенная далеко не исчерпывается наблюдаемыми космическими объектами.

Иными словами, мы интуитивно чувствуем, что сейчас, как и в предыдущие исторические эпохи, совокупность регистрируемых современными радио- и оптическими телескопами объектов еще не все, что существует в действительности, но есть лишь только часть какого-то более грандиозного материального образования, которую удалось выделить на данной ступени научной практики.

Познавательная задача научной космологии в ее современном понимании как раз заключается в теоретическом воспроизведении пространственно-временной структуры этого объекта, который предположительно рассматривается в качестве наиболее всеобъемлющего физического целого. В этом смысле космолог, приступая к моделированию Вселенной, исходит не из понятия *астрономической (наблюдаемой) Вселенной*, а из другого понятия, являющегося обобщением длительной истории астрономических наблюдений и выражением определенного философского убеждения в целостности, неисчерпаемости и познаваемости материального мира.

Таковым является представление о *Вселенной как целом*, т. е. объективно сущем, всеобъемлющем целом, к которому «астрономическая (наблюдаемая) Вселенная» относится как одна из возможных частей.

К. Маркс, говоря о своеобразии теоретического мышления, обращал внимание на то, что исходным в таком исследовании должно быть некоторое целостное представление об исследуемом объекте. Интуитивное понятие «Вселенная как целое» и есть такое исходное «целое», которое как целеполагающее первоначально направляет ход космологического исследования. Однако это целое дано нам не иначе, как через сетку определенной системы теоретического знания, и в этом смысле задача космологического моделирования состоит в наполнении понятия «Вселенная как целое» конкретным научным содержанием.

Насколько правомерен такой подход к космологической проблеме? Почему бы космологии не ограничиться анализом наблюдаемых свойств доступной непосредственному познанию части Вселенной? Почему все-таки она стремится распространять свои суждения за пределы видимой Вселенной?

Во-первых, пока нет оснований думать, что видимая область Вселенной составляет какое-то автономное и целостное материальное образование, скажем, подобное Галактике; она находится в непосредственном и опосредствованном взаимодействии с другими частями и существенно зависит от воздействия «соседей» и совокупного влияния компонентов целого, т. е. находится в поле общемировой связи вещей и событий. Следова-

тельно, если мы хотим понять общие закономерности эволюции наблюдаемой Вселенной, то волей-неволей должны исходить из интуитивного представления о некотором целом и строить свои теории в расчете на «объяснение необъяснимого», на воспроизведении в мышлении именно целостного образа Вселенной, доступной нам лишь частично.

Во-вторых, теоретическое освоение любой эмпирически выделенной области — это попытка выхода за ее пределы не только в интенсивном плане, т. е. в смысле углубления во внутреннюю структуру «данности», но и в экстенсивном — попытка раскрытия ее внешних структурных связей, предсказания еще не обнаруженных вещей, еще не фиксированных свойств и отношений, т. е. фактически претензия на целостный охват предмета исследования. Теория строится в расчете на раскрытие сущности, сущность же, как это известно со времен Гегеля, раскрывается только на уровне целого. Другое дело — вопрос о том, сущность какого порядка выявлена в пределах системы понятий данной теории. Так что и с чисто гносеологической точки зрения нет ничего необычного в претензиях теоретической космологии моделировать именно Вселенную как целое.

К этим двум аргументам хотелось бы добавить третий, на этот раз историко-познавательный, довод, заимствованный нами у одного из первых советских космологов М. П. Бронштейна⁷. Стремление познавать внешний мир проявляется у человека не только в том, что он пытается расширить свой кругозор, т. е. видеть, слышать и осязать как можно больше вещей; ему хочется также узнать, по крайней мере в общих чертах, о свойствах совокупности *всех* вещей, включая и те, которых он никогда не сможет увидеть. Возможность такого скачка совсем не очевидна а priori, тем не менее желание совершить этот скачок настолько велико, что, если человек не может прийти к определенным взглядам на свойства Вселенной посредством логических умозаключений, он обычно делает эти свойства объектом умозрительной догадки или веры. Действительно, древние греки рассуждали о свойствах мира как целого еще тогда, когда их пространственный кругозор был столь ограничен, что путешествие из Эллады в Египет было продолжительным и трудным, а Гибралтарский пролив казался чем-то фантастически далеким и легендарным. Уже тогда Гесиод размышлял о начале мира, о том, как земля и небо появились из первобытного хаоса и как на снежных высотах Олимпа сменялись поколения богов. Другие народы, находясь на такой же ступени развития, также создавали сходные космогонические картины, и историк человеческой культуры может отметить то упорство, с которым египтяне, индийцы, китайцы, ацтеки, гавайцы и другие племена, никогда не

⁷ М. П. Бронштейн. К вопросу о возможной теории мира как целого. — В кн.: Основные проблемы космической физики. Харьков — Киев, 1934, с. 186—187

слышавшие друг о друге и поднимавшиеся по первым ступеням цивилизации, независимо и не в одно и то же время, *одинаково совершали один и тот же скачок* от ограниченного мира человеческого опыта к умообразной картине Вселенной как целого. Но если первобытные народы с их чрезвычайно ограниченными познаниями об окружающих их вещах имели для этого достаточно большую смелость, то не находится ли современное человечество после нескольких столетий невероятно быстрого развития научных знаний об окружающей природе в гораздо лучшем положении для совершения подобного же скачка?

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ
КОСМОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ:
АНАЛИЗ ПРИНЦИПА ЭКСТРАПОЛИРУЕМОСТИ

Космологическое моделирование мы можем определить как процесс концептуального воссоздания *целостного* образа Вселенной на базе эмпирической информации о доступной непосредственному познанию ее части, с одной стороны, и локально-физического знания — с другой. Последнее эмпирически обосновано лабораторными экспериментами и маломасштабными астрономическими наблюдениями (практически в пределах Солнечной системы), а потому, применяя его в качестве концептуальной базы космологического моделирования, мы тем самым осуществляем процедуру экстраполирования, методологическая суть которого как раз состоит в переносе знания об одной предметной области в другую, более широкую. Такой подход в свою очередь базируется на определенном гносеологическом убеждении, которому можно придать статус исходного регулятивного принципа космологического познания вообще. Его можно называть *принципом экстраполябельности* (или экстраполируемости)⁸ и сформулировать следующим образом: Вселенная, хотя и уникальный и весьма специфичный объект научного исследования, тем не менее ее целостный аспект вполне постижим на языке того физического знания, которое, будучи фактически синтезом нашего земного опыта, обосновано локальной физико-астрономической эмпирией. В частности, структурные законы, раскрываемые микрофизикой (не говоря уже о некоторых законах макрофизики, для которых мы пока не знаем реальных границ приложимости), в принципе могут быть без особого риска приняты за основу при изучении крупномасштабных процессов, так как всякое макро- и мега явление, в конечном счете, — совокупность

⁸ Термин «экстраполябельность» в космологии введен А. Л. Зельмановым (см., например: А. Л. Зельманов. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной. — В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969.) В дальнейшем изложении мы будем пользоваться термином «экстраполируемость».

микроявлений. Следовательно, существует принципиальная возможность более или менее адекватного воспроизведения в системе наличного физического знания структуры и эволюции любого космического феномена вплоть до всей Вселенной в целом.

Приступая к философскому осмыслению принципа экстраполируемости, прежде всего следует констатировать, что последний в свою очередь опирается на другое, более широкое допущение *мировоззренческого* характера, касающееся положения Земли в космосе и связанного с ним эпистемологического статуса земного наблюдателя. Его можно рассматривать как обобщение известной натурфилософской идеи Кузанского — Бруно об отсутствии фиксированного центра или привилегированного положения во Вселенной и сформулировать следующим образом: физическая система отсчета, связанная с Землей, рядовым космическим телом, — ничем не выделена среди других аналогичных систем; следовательно, — раз она типична и равноправна — законы физики в той форме, в какой они установлены *здесь и теперь*, применимы *всюду и всегда*.

Это важное мировоззренческое положение — крупное завоевание философской мысли нового времени, отстоявшей в творческом союзе с зарождавшимся естествознанием идею единства мира. Очевидна его большая эвристическая роль в становлении классической физики и ее последующем экстенсивном развитии. Сначала небесная механика, затем классическая астрофизика и далее релятивистская космология выросли на почве именно этого фундаментального постулата, и, судя по достигнутым уже познавательным успехам, есть все основания и дальше руководствоваться им в качестве методологического ориентира.

Заметим, что рассматриваемое положение вовсе не исключает неисчерпаемости природы и многообразия ее законов, как равно и не утверждает абсолютную экстраполируемость последних и не провозглашает своеобразный локально-физический редукционизм. Речь идет только о принципиальной возможности открытия всеобщих законов на Земле на базе познавательного опыта, ограниченного во времени и обусловленного геоцентрическим положением субъекта, и последующего их использования в качестве основы концептуального освоения новых областей космоса. В связи с этим уместно сослаться на одно важное гносеологическое замечание Ф. Энгельса в «Диалектике природы»: «Для земной механики, физики и химии нам приходится более или менее, а для органической науки всецело, ограничиваться нашей маленькой Землей. И тем не менее это не наносит существенного ущерба практически бесконечному многообразию явлений и познанию природы, точно так же как не вредит истории аналогичное, но еще большее ограничение ее сравнительно коротким периодом времени и небольшой частью Земли»⁹.

⁹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 552.

В поисках же гносеологического основания принципа экстраполируемости мы должны будем задуматься над особенностями научного знания. Исходя из самой гносеологической природы теоретического мышления, мы можем утверждать, что любым его продуктам присуща имманентная экстраполируемость. В самом деле, эти продукты не являются просто стенографически протокольной записью определенного круга экспериментальных (наблюдательных) данных, но несут в себе объективно-детерминированные элементы творческого воображения субъекта, т. е. определенное надэмпирическое содержание, а значит, по своей «информационной емкости» превосходят исходную чувственную данность.

Вот почему любое теоретическое знание, в особенности высшая форма его логической организации — теория, предстает в образе двуликого Януса: одной стороной оно обращено в прошлое, ибо является обобщающим итогом предшествующего этапа познания, другой же оно обращено в будущее, поскольку может служить (и служит фактически) отправным пунктом для следующего этапа познавательного процесса (именно в силу своей имманентной экстраполируемости).

Осмысливая методологическую функцию старого знания при экспансии мышления на новые области, следует особо сказать, что ходячее мнение о «необоснованности» процедуры экстраполирования — само необоснованно, ибо по существу базируется на логическом круге: при любой попытке априорного отрицания экстраполируемости данного знания имеет место известная из традиционной логики ситуация *petitio principii* (т. е. уже в самой посылке подобного утверждения фигурирует допущение, эквивалентное отрицанию возможности принципиальной экстраполируемости исходного знания). На каждой ступени своей познавательной деятельности субъект не может просто отвергнуть имеющееся в его распоряжении знание, не установив реальных границ его экстенсивного развития. Для этого же не существует иного пути, кроме сознательной экстраполяции исходного знания.

«Почему же мы можем распространять наши законы на области, подробно не изученные? Почему мы так уверены, что какое-то новое явление подчиняется закону сохранения энергии, если проверяли закон только на известных явлениях?.. Может быть, не нужно говорить, что закон выполняется в тех областях, куда мы еще не заглядывали? Но если вы никогда не скажете, что закон выполняется там, куда вы еще не заглядывали, вы ничего не узнаете... *А ведь единственная польза от науки в том, что она позволяет заглядывать вперед, строить догадки*». Конечно, когда мы касаемся предметных областей, еще не вошедших в сферу нашего непосредственного познания, тем более таких, которые резко отличны по своим пространственно-временным или масс-энергетическим характеристикам,

чувство неуверенности не покидает нас. «Но мы обязательно должны говорить о тех областях, которых мы никогда не видели; иначе от науки не будет проку»¹⁰.

Другими словами, говорить о незаконности постановки поисковой проблемы в рамках данной теории в момент, когда еще не создана более общая и адекватная система теоретического знания,— неправомерно, ибо это равносильно требованию *приостановить* научное познание. Правомерно ли, например, исходя из того, что общая теория относительности приводит пока к необъяснимому феномену — сингулярности, или основываясь на том факте, что она допускает множество теоретически равноправных моделей и тем самым не дает однозначного решения космологической проблемы, делать вывод о принципиальной неприменимости этой системы физического знания в космологии? Такое далеко идущее в гносеологическом плане заключение представляется необоснованным. В самом деле, пока не создана более общая и адекватная теоретическая система, чем релятивистская теория гравитации, способная избежать сингулярного решения или же объяснить его физическую суть, можно исходить из фактического расширения астрономической Вселенной и ограничиться анализом средних участков кривой эволюции космологического субстрата. На фоне современных космологических исследований это заключение приобретает программный характер. Так, недавние работы Ч. Мизнера показали, что современная физическая структура Вселенной в значительной степени независима от начальных условий ее эволюции. В частности, как оказалось, первоначальная высокая анизотропия Вселенной, если таковая имела место, может «сгладиться» в ходе ее расширения, и она становится однородной и изотропной независимо от своего «нефридмановского» происхождения¹¹. «Если такое утверждение, — мы цитируем Д. Шама, — справедливо, то было бы возможно однозначно «предсказать» многие из наблюдаемых черт Вселенной как следствия общей теории относительности и других законов физики, которые можно применить к данному случаю. Изучение так называемой «программы Мизнера» находится пока в зачаточном состоянии, однако оно будет иметь, по всей видимости, все возрастающее значение в теоретической космологии будущего»¹².

Что касается проблемы предыстории нынешнего нестационарного состояния, то ее можно оставить для последующих эта-

¹⁰ Р. Фейнман. Характер физических законов. М., 1968, с. 77.

¹¹ Принципиальную возможность развития однородной и изотропной Вселенной из глобально-неоднородного и анизотропного сингулярного состояния с бесконечными градиентами плотности и скорости вещества недавно продемонстрировали также В. А. Рубан и А. Д. Чернин (см.: В. А. Рубан, А. Д. Чернин. Изотропизация неоднородных космологических моделей с центральной симметрией. — «Труды 6-й Всесоюзной ежегодной зимней школы по космофизике», ч. I. Апатиты, 1969, с. 15—25).

¹² Д. Шама. Современная космология, с. 249.

пов познания, ибо в конце концов, как об этом свидетельствует история развития научного знания, любая концептуальная система непременно оставляет открытым хотя бы один фундаментальный вопрос. Историки физики убеждены, что если бы Ньютон в свое время ограничился бесплодной дискуссией о «механизме» и «причине» гравитационного взаимодействия, ему вряд ли удалось бы завершить логический каркас здания классической механики.

Другое дело, что методологическая функция всякой теоретической системы, какой бы высокой степенью общности она ни обладала, в конечном счете ограничена и последняя на том или ином этапе познания неизбежно натолкнется на «разграничительные линии», за пределами которых она далее неэкстраполируема. Сами эти линии, однако, нельзя очертить «изнутри», находясь в пределах логико-гносеологических средств данной экстенсивно развивающейся теоретической системы; они устанавливаются «извне»: предварительно — путем логико-критического анализа ее исходных принципов и идеализаций, окончательно — либо в результате обнаружения принципиально новых эмпирических фактов, либо же после создания более общей теории, логическими средствами которой и устанавливается отношение субординации между старой и новой системами знания.

Наконец, следует заметить, что стремление к экстраполированию известного (старого) на неизвестное (новое) не есть нечто субъективное, извне навязываемое реальному познавательному процессу; оно, как выражение объективно-необходимого, имманентно внутреннему движению познающего мышления и органически связано с особенностями человеческого понимания нового. В самом деле, что значит научно понимать данное явление? Очевидно, это равнозначно выявлению структурных свойств и отношений объекта и его рядоположению с другими, ранее установленными и уже постигнутыми явлениями. Таков естественный ход понятийного освоения мышлением предметной действительности. Говоря словами В. Гейзенберга, ««понимание» означает открытие неких структур, лежащих в основе богатого разнообразия явлений, причем структур таких, которые соответствуют фундаментальным структурам, присущим *нашему концептуальному багажу*, и которые, таким образом, позволяют формировать новые концепции»¹³.

¹³ В. Гейзенберг. Что такое «понимание» в теоретической физике? — «Природа», 1971, № 4, с. 77 (курсив мой. — А. Т.)

Космологическое моделирование покоится на «трех китах» — базисном *физическом знании* (в основном оно складывается из двух составляющих — теории тяготения, предположительно описывающей макроскопическое поведение Вселенной, и законов физики элементарных частиц, описывающих ее микроскопическое поведение), *астрономической информации* (в основном данные из области внегалактической астрономии) и *постулате единообразия* (обычно именуемом «космологическим принципом»), выступающем связующим звеном двух первых и соответственно образующем логическую основу концептуального воспроизведения Вселенной в целом¹⁴. Из сказанного очевидна особая и важная роль постулата единообразия в структуре космологического моделирования. Поэтому, продолжая философский анализ оснований современной космологии, мы в первую очередь рассмотрим этот фундаментальный постулат с точки зрения его отношения к реальной космологической ситуации.

В современной космологической литературе относительно научного статуса постулата единообразия встречаются крайне противоречивые суждения, за которыми, как нам представляется, скрываются далеко не тривиальные проблемы гносеологического плана.

Подытоживая соответствующие высказывания А. Эйнштейна, А. А. Фридмана, Ж. Лемэтра, А. Эддингтона, Р. Толмэна, Э. Милна, а также современных авторов — В. А. Амбарцумяна, Г. Бонди, Г. Дингла, У. Давидсона, А. Л. Зельманова, Г. Робертсона, Дж. Уокера, У. Мак-Кри, Ф. Хойла, существующие интерпретации постулата единообразия можно свести к трем основным.

Согласно наиболее распространенной интерпретации, постулат единообразия имеет статус обычной верифицируемой научной гипотезы, ибо касается характера пространственного распределения реально наблюдаемых космических систем (в данном случае галактик), а потому формулируется под углом зрения прямого эмпирического обоснования. В этом плане постулат единообразия, будучи жестко связан с уровнем астрономической практики, призван служить одной из предпосылок космо-

¹⁴ Мы различаем понятия «единообразие» (uniformity) и «однородность» (homogeneity) применительно к Вселенной как целому. Несомненно, эти понятия между собой тесно связаны, но все же первое из них по своему объему несколько шире второго: оно включает, помимо представления об однородном распределении материи во Вселенной, представление о пространственно-временной инвариантности экспериментальной ситуации, допущение о том, что свойства далеких (не наблюдаемых) галактик могут быть описаны на основе данных, относящихся к близким (наблюдаемым) галактикам, и др. (см., например: P. W. Hodge. The Physics and astronomy of galaxies, and cosmology. N. Y., 1966, p. 154).

логической науки в той мере, в какой он находит эмпирическую поддержку; и если однажды окажется, что в охваченной наблюдениями области неба такое гипотетическое допущение не оправдывается (т. е. не подтверждается доступными данными внегалактической астрономии), оно тут же будет отброшено.

Согласно второй точке зрения, постулат единообразия — произвольное допущение чисто расчетно-математического характера и не имеет ничего общего с реальной (наблюдаемой) Вселенной, являющейся в действительности чрезвычайно неоднородной; как таковое оно извне накладывается на исходные уравнения теории с тем, чтобы получить ожидаемые решения, а потому имеет скорее прагматическое, нежели концептуальное, значение.

Наконец, согласно третьей интерпретации, постулат единообразия — вовсе не просто удобное математическое допущение, облегчающее постановку и решение космологической проблемы, а нечто более фундаментальное — в нем заложен глубокий онтологический смысл; а именно: однородность — существенное объективное свойство Вселенной, и любая космологическая теория, претендующая на адекватное описание последней, должна принять его в качестве важнейшего и единственного исходного принципа.

В нашу задачу не входит философско-критическая оценка каждой из этих интерпретаций в отдельности. Создавшаяся проблемная ситуация интересует нас постольку, поскольку она касается принципов построения космологической модели вообще. В релятивистской космологии постулат единообразия применяется в форме условия однородности и изотропности трехмерного пространственного сечения конструируемой модели; последнее в сочетании с постулатом Вейля¹⁵ (утверждение о том, что мировые линии галактик в «размазанной» Вселенной представляют в своей совокупности пучок геодезических, расходящихся из общего центра — событий в далеком прошлом) дает возможность ввести единую глобальную метрику и теоретически исследовать геометрическую структуру Вселенной как всеобъемлющего физического целого.

Какой же реальный смысл вкладывается в условие однородности и изотропности?

В первоначальной эйнштейновской формулировке оно гласило: «Все части Вселенной равноценны»¹⁶, — т. е. Вселенная одинакова всюду — во всех точках и по всем направлениям. Не вдаваясь пока в физико-астрономический смысл данного определения, ограничимся геометрическим представлением однородной и изотропной Вселенной, пользуясь наглядной схемой Ф. Хойла.

¹⁵ Новейшие математические исследования аксиоматического основания теоретической космологии (в данном случае изотропной метрики Робертсона — Уокера) показали, что введение постулата Вейля не обязательно.

¹⁶ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II. М., 1966, с. 349.

Представим галактики в виде (фундаментальных) частиц, соединенных между собой стержнями. В результате этой идеализирующей процедуры получается решетка, аналогичная кристаллической решетке, изучаемой физикой твердого тела. Условие однородности и изотропности требует, чтобы форма этой решетки оставалась неизменной с течением времени. Однако при этом сколь угодно может меняться ее масштаб, т. е. могут изменяться длины стержней, связывающих друг с другом гипотетические частицы. Далее, в принципе мы можем связать наблюдателя с любой из них, где он будет чувствовать себя в центре сферической симметрии или изотропии, т. е. для него все пространственные направления окажутся одинаковыми.

При столь идеализированной ситуации задача описания Вселенной как физического целого существенно упрощается: мы можем в принципе определить ее состояние в любое мгновение космического времени, задавая всего лишь текущее значение масштаба воображаемой решетки.

Конкретное же содержание космологического условия однородности и изотропности в смысле Фридмана — Леметра можно свести к следующему гипотетическому допущению: в любой заданный момент космического времени (единого для всей Вселенной) плотность и гидродинамическое давление вещества (и излучения) имеют одни и те же средние значения в любой мыслимой пространственной области (т. е. не зависят от пространственных координат), причем обе эти физические характеристики могут изменяться во времени, но только в одинаковой мере во всех частях Вселенной.

Приступая к теоретическому моделированию Вселенной как целого, космолог не ограничивается указанным допущением. Производится мысленное расширение пределов и реконструкция материального объекта, данного на уровне наблюдения («астрономической Вселенной»), в удобную для теоретического исследования форму, т. е. создается идеализированный объект — познавательный прообраз «Вселенной как целого». Для этого производится воображаемое равномерное «размазывание» материального содержания всех галактик по всему пространству. Полученный в результате этой процедуры однородный субстрат с постоянными в каждое данное мгновение времени свойствами и есть исходный объект теоретического анализа космолога. Здесь, однако, нам придется остановиться и дать гносеологическую оценку этой познавательной процедуре.

Сейчас в методологии научного знания хорошо осознаны гносеологическая правомерность и эвристическое значение идеализаций (упрощений) как необходимого элемента познавательного процесса. Действительно, когда мы приступаем к исследованию сложноорганизованных систем, очевидно, первое, с чего начинается познание, состоит в том, чтобы находить пути ослабления их внешних и внутренних связей, т. е. пути их упрощения,—

это и есть способ теоретического овладения объектом. В этом плане применение в процессе теоретико-космологического моделирования такого упрощающего предположения, как условие однородности и изотропности пространственной структуры исследуемой модели, — вполне нормальная научно-познавательная процедура, и нет необходимости доказывать это. Другое дело, что это допущение является явной идеализацией, значительно огрубляющей реальную ситуацию; ведь именно неоднородность составляет «одну из наиболее поразительных свойств (наблюдаемой) Вселенной»¹⁷.

Однако с теоретико-познавательной точки зрения очевидно, что эта идеализация, как и любая другая научная абстракция, относительна и имеет исторически преходящий характер; по мере накопления научной информации об исследуемом объекте и экспансии мышления в его более глубокие уровни сущности степень первоначальной идеализации должна понижаться — историческая линия движения мышления по объекту как раз и есть асимптотическая кривая, тянущаяся от более сильных (грубых) к менее сильным идеализациям. В рассматриваемой перспективе переход от изотропных эволюционирующих общерелятивистских моделей к моделям типа Бианки (однородных, но анизотропных) и далее — к теории неоднородной и анизотропной Вселенной — закономерные этапы развития космологического знания.

На уровне эмпирической констатации процесс космологической реконструкции Вселенной предстает как некая произвольная теоретизация, лишенная объективного содержания. В самом деле, теоретическое моделирование фридмановского типа основано на «абсолютизации» свойств однородности и изотропности, которые, казалось бы, могут выражать собой всего лишь один из «аспектов» реальной, куда более сложной Вселенной. Однако в философском плане следует учесть два важных момента.

Во-первых, суть научной абстракции в том и состоит, что при ее создании отвлекаются от всех других свойств (качеств, признаков) в пользу одного, принимаемого за существенное. Более того, могут вводиться и такие признаки (свойства), которые вовсе не содержатся у объекта исследования. В этом смысле сущность научной абстракции — именно в «абсолютизированном», «одностороннем» подходе к изучению конкретного, и своеобразный парадокс мышления заключается в том, что именно с помощью такого теоретического «произвола» и возможно адекватное воспроизведение в знании реальной структуры объекта. Важно, однако, заметить, что отмеченная «односторонность» не есть возведение в степень всеобщего какого-то эмпирически фиксированного аспекта объекта. Недопустимо

¹⁷ J. H. Oort. Distribution of Galaxies and the Density in the Universe.— La Structure et l'Evolution de l'Univers. Bruxelles, 1958. p. 163.

отожествление абстрактного с каким-то объективно-паличным свойством или отношением, выделенным на уровне живого созерцания. Будь это так, восхождение познания от чувственной данности к абстрактному не только ничего не прибавило бы к уже известному знанию, но и привело бы к поверхностному пониманию структуры объекта. Между тем прямое гносеологическое назначение абстракции состоит в том, чтобы выйти за пределы первоначальной эмпирической данности и воссоздать в мышлении конкретное как единство многообразного.

Во-вторых, упрощения и идеализация отнюдь не являются сугубо субъективными процедурами, навешанными и оправданными одним лишь удобством вычисления; они по своей сути содержат *объективный* аспект. Это видно не только из того очевидного факта, что каждая область предметной действительности требует своего специфического познавательного подхода и соответственно своих собственных идеализаций, в принципе неприменимых в других сферах познания, но и в особенности из того, что они, несмотря на предельно упрощенную структуру, способны воспроизвести сущность своего естественного прообраза и дать нам объективно-истинное значение. Действительно, хотя в природе нет никаких реальных аналогов «идеального газа», «абсолютно твердого тела» или «идеально упругого тела», которыми оперирует теоретическая физика, тем не менее эти абстрактные объекты, несмотря на свою предельно упрощенную структуру, позволяют воспроизвести достаточно адекватную картину реальных явлений.

Логико-гносеологическая процедура, лежащая в основе этих идеализаций,— не исключительная привилегия абстрактного научно-теоретического мышления. Она в одинаковой мере присуща и куда более конкретному инженерному мышлению. «Инженерам хорошо известно, что их схемы, используемые в расчетах, как правило, основаны на очень далеко идущих упрощениях. Инженеры знают и ясно представляют себе, на что они идут и что их схемы не учитывают множества деталей, которые они считают второстепенными»¹⁸. При этом существенно подчеркнуть, что, производя те или иные упрощения, отвлекаясь от тех или иных (второстепенных) свойств, они не всегда могут знать, так сказать, меру несущественности последних. Однако, как правило, это обстоятельство отнюдь не мешает им получить результаты требуемой степени точности. «Иногда можно правильно прогнозировать явления и процессы без ясного представления о скрытых от нас существенных или несущественных свойствах, обстоятельствах и механизмах явлений»¹⁹. Сказанное,— однако, только эмпирическая фиксация более глубокой

¹⁸ Л. И. Седов. Изобретение физических моделей.— В кн.: Мысли об ученых и науке прошлого и настоящего. М., 1973, с. 63.

¹⁹ Там же.

проблемы. Речь идет о гносеологическом статусе приближенных методов науки вообще.

В свете сказанного очевидно познавательное назначение «сплошного и однородного космологического субстрата», которым в ходе теоретического исследования заменяется дискретная и неоднородная реальная Вселенная.

ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЙ СТАТУС
КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ:
ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ И НОРМАТИВНЫЕ ФУНКЦИИ

Заключительная стадия космологического исследования — общая эмпирическая интерпретация построенной модели в целом, т. е. раскрытие содержания последней под углом зрения отношения к объективной реальности.

Прежде чем продолжить наш анализ, необходимо уточнить само понятие модели в космологии. В философской литературе под моделью обычно понимается *«такая мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте»*²⁰.

Следуя этому определению, которое нам представляется несколько узким (ибо оно проводит слишком резкую грань между моделью и теорией, что заметно сужает его сферу приложения), следовало бы назвать моделью «космологический субстрат» — ту «размазанную» Вселенную, которая служит исходным объектом теоретического анализа. В реальной практике космологических исследований, однако, моделью принято называть не начальный, а конечный продукт теоретического исследования. Это не значит, что в космологии понятия модели и теории просто отождествляются. Как правило, космологические теории не предлагают однозначного решения, а допускают целый спектр проектов-решений (это относится не к одной только общерелятивистской космологии), имеющих статус не закона, а прогноза (в смысле предсказуемой возможности).

Рассматривая эти решения в качестве возможных моделей Вселенной, мы должны обратить внимание на следующих два момента: во-первых, каждая из них претендует на описание только средних отрезков кривой эволюции космологического субстрата, тогда как «начало» и «конец» последней рассматриваются как своеобразные аналогии кибернетических «черных ящиков»; во-вторых, они могут выступать отправными пунктами следующего этапа космологического исследования, преследующего цель открыть эти «ящики» и смоделировать их «содержимое».

²⁰ В. А. Штофф. Моделирование и философия. М.— Л., 1966, с. 19.

На основе сказанного мы можем уточнить соотношение теории и модели. Теория может рассматриваться как модель (хотя и отличается от нее по степени и уровням абстракции, а также по своей логической структуре) в том смысле, что она сама может служить исходной базой для дальнейшего движения мышления, выступая посредником между познающим субъектом и еще не освоенной предметной действительностью.

С теоретико-познавательной точки зрения космологическая модель включает в себе диалектическую коллизию: она *ограниченна* как определенная, исторически обусловленная форма человеческой мысли, как конкретный гносеологический образ, преломленный через призму данных условий познания; но вместе с тем на каждой ступени развивающегося научного мышления она же может рассматриваться как *всеобъемлющая*, предположительно охватывающая весь свой материальный прообраз, всю астрономическую реальность.

Законна ли такая экстраполяция? Если подходить к ней исторически и оценить космологическую модель не как копию «рабочих чертежей», по которым «строилась» наша Вселенная, но как одну из ступеней в бесконечном процессе познания мира, то несомненно да. В обоснование этого сделаем три замечания.

Во-первых, как уже указывалось, ни одна теоретическая система в пределах собственных логико-эпистемологических средств не в состоянии очертить реальные контуры своей предметной области; ее экстенсивные пределы устанавливаются вне ее концептуальных рамок — при эмпирической интерпретации теории или же после создания более общей системы теоретического знания, включающей в себя последнюю в качестве предельного случая. Здесь уместно привести известную диалектическую мысль Гегеля о том, что «если нечто определено как предел, мы тем самым уже вышли за этот предел. Ибо некоторая определенность, граница, определена как предел лишь в противоположность к его иному вообще как к его *неограниченному*; иное некоторого предела как раз и есть *выход* за этот предел»²¹. Поэтому любая попытка априорного ограничения предметной области данной космологической теории, скажем, пределами Метагалактики, не имела бы под собой ни содержательно-теоретических, ни тем более логических оснований.

Во-вторых, строго говоря, сам термин «Метагалактика», выдвинутый в свое время для обозначения гипотетической сверхсистемы, образуемой галактиками и их скоплениями, имеет отчасти условный характер; известные астрономические данные не дают пока ответа на вопрос, составляет ли совокупность наблюдаемых космических объектов какое-либо автономное и целостное материальное образование, которое предположительно можно было бы рассматривать в качестве структурного элемен-

²¹ Г. В. Ф. Гегель. Наука логики, т. I. М., 1970, с. 197.

та «Большой Вселенной»²². Единственное, что известно, — это то, что охваченная наблюдениями область Вселенной расширяется и этот эмпирический факт находит свое наиболее естественное теоретическое понимание в рамках фридмановской теории. Отсюда термины «астрономическая Вселенная» и «Метагалактика» не без основания отождествляют, а такие понятия, как «расширяющаяся Вселенная» и «возраст Вселенной», включенные в содержательный контекст теории Фридмана — Лемэтра, получают вполне конкретный научный смысл. Иногда предпочитают заменить в указанных высказываниях термин «Вселенная» термином «Метагалактика», но эта простая замена слов, хотя и несколько снижает остроту возникающих гносеологических проблем (например, «начала времени»), отнюдь их автоматически не устраняет.

В-третьих, все космологические модели фридмановского типа (и пространственно-конечные, и бесконечные) вполне отвечают обычному требованию полноты как в чисто математическом, так и физическом смысле²³, а значит, есть основания рассматривать их в качестве возможных теоретических образов геометрической (в данном случае — метрической) структуры Вселенной как физического целого.

Другое дело — оценка истинности космологической теории Фридмана — Лемэтра. Ясно, что она, хотя и подтверждается всеми доступными эмпирико-астрономическими данными, представляет собой по существу всего лишь относительную истину, ограниченную достигнутым уровнем понимания целостных свойств Вселенной. У нас нет веских оснований думать, что глобальные физико-геометрические свойства Вселенной исчерпываются наблюдаемой и теоретически осмысленной изменчивостью ее пространственной структуры (не говоря уже о нерешенной фундаментальной проблеме *предыстории* нынешнего расширения), ибо уже диалектика подсказывает, что последняя должна быть дополнена моментом *устойчивости*. Это не натурфилософский рецепт. К этому выводу приводит, в частности, глубокое осмысление физических принципов сохранения в связи с понятием симметрии, рассматриваемой как специфическое единство изменения и сохранения²⁴.

Среди требований, предъявляемых к космологической теории, которая претендует на адекватность воспроизводимой ею картины, прежде всего отметим следующее. Поскольку целостный аспект Вселенной дан нам не иначе, как через понятийную систему определенной космологической теории, а каждая такая

²² См., например: Т. А. Агекян. Звезды, галактики, Метагалактика. М., 1970, с. 175.

²³ См.: Э. М. Чудинов. Общая теория относительности и пространственно-временная структура Вселенной. — «Вопросы философии», 1967, № 3.

²⁴ См.: Н. Ф. Овчинников. Категория структуры в науках о природе. — В кн.: Структура и формы материи. М., 1967, с. 32.

теория «по-своему» воссоздает контуры этого «целого», постольку в космологии установление предметной истинности системы знания приобретает специфическую окраску. Эмпирическая интерпретация космологической теории частично не только в силу того, что она, как и любая физическая теория, содержит в себе дескриптивные термины, не сводимые к предикатам наблюдения, но еще и потому, что не все ее содержательные утверждения могут быть непосредственно переведены на язык эмпирии. (Речь идет о практической непроверяемости некоторых космологических ретросказаний или предсказаний, вроде вывода об остановке и последующей замене нынешнего расширения пространственной структуры Вселенной процессом сжатия, о чем могло бы свидетельствовать «фиолетовое смещение». Однако такое гипотетическое наблюдение стало бы возможным в очень отдаленное время, значительно превышающее современные оценки длительности существования космических цивилизаций.) Поэтому к космологической теории можно предъявить, по крайней мере, два требования.

Во-первых, она должна дать логически последовательное, математически безупречное и физически убедительное объяснение известным явлениям, в первую очередь фундаментальному космологическому факту «красного смещения». В частности, она должна органически включить в свою концептуальную структуру эмпирический закон Робертсона — Хаббла, с одной стороны, и предсказать новые верифицируемые структурные свойства и отношения наблюдаемой Вселенной — с другой.

Во-вторых, она должна удовлетворить принципу соответствия, сохранив основные моменты своих экстраполяционных выводов при переходе к новой, более общей и адекватной космологической теории, продемонстрировав тем самым достоверность и объективную истинность полученных ею основных результатов²⁵.

Анализируя степень эффективности этих критериев, мы легко обнаруживаем очевидную слабость каждого из них в отдельности. Из-за недостаточной определенности эмпирических данных и многозначности их теоретической интерпретации (именно от этого «зла» больше всего и страдает физическая космология) соперничающие концептуальные системы в пределах доступной наблюдательной информации зачастую оказываются равноценными. Поэтому критерий практики сам по себе еще недостаточен для установления степени адекватности испытываемой космологической теории. Так обстоит дело с первым критерием. Второй же критерий скорее обращен в будущее, нежели на актуальную познавательную ситуацию; он действует постфактум, а потому сам по себе он не может служить критерием выбора среди конкурирующих теорий.

²⁵ Последний критерий был введен А. Л. Зельмановым (см. его статью «Космология». — В кн.: Развитие астрономии в СССР. М., 1967, с. 321).

В этой связи при сравнительной оценке степени адекватности теорий-соперниц важное и специфическое значение приобретают опосредствованные критерии, основанные на оценке эвристических возможностей. Их регулятивная функция наиболее ярко проявляется именно в космологии, отличающейся не просто практически неограниченным числом соперничающих концептуальных систем; здесь, как правило, конкуренция имеет место не только среди разных теорий, покоящихся на разных принципиальных основаниях, но и внутри одной и той же теоретической системы, в концептуальных рамках которой можно получить множество правдоподобных моделей.

Выдвигаемая альтернативная модель в первую очередь должна быть конкурентоспособной. В условиях же эквивалентности соперничающих моделей относительно определенной эмпирической ситуации конкурентоспособность определяется главным образом тем, насколько простым является предлагаемое этой моделью объяснение известных наблюдательных данных.

Следующий этап опосредствованной проверки модели начинается тогда, когда осуществляются новые наблюдения и ставится задача их концептуального охвата. Здесь уже вступает в силу критерий динамической простоты, определяющий, так сказать, степень естественности данного познавательного шага. Выдвигаемое в этом контексте регулятивно-методологическое требование формулируется так: правдоподобная теория (модель) должна дать объяснение новым фактам, не прибегая к новым гипотезам (допущениям), выдвигаемым *ad hoc*.

В реальной практике научного познания вообще и космологического исследования в особенности, однако, эти метатеоретические критерии истины, сформулированные в современной литературе по методологии науки²⁶, не находят прямого применения. Имеет место скорее «естественный отбор» теорий, в процессе которого интуитивные догадки и психологические мотивы причудливо переплетаются с эмпирическими соображениями. В результате всей этой стихийной борьбы за «выживание» нередко складывается ситуация, которая выглядит так: «Теория-победительница не обязательно будет «правильной», но она по крайней мере выжила»²⁷.

На уровне же методологического анализа необходимо задуматься над подоплекой самого процесса «естественного отбора» научных теорий. Как оказывается, в число факторов, позволивших данной теории «выжить» в конкурентной борьбе, как раз и входят эмпирические критерии, которые в свою очередь вклю-

²⁶ G. Schlesinger. *Method in the physical science*. London, 1963, p. 35—37; E. A. Мамчур. Внеэмпирические критерии в обосновании истинности теоретического знания.— В кн.: Практика и познание. М., 1973.

²⁷ Ф. Хойл. Галактики, ядра и квазары. М., 1968, с. 81.

чески в контексте интеллектуального климата эпохи (в более общем плане можно говорить о социокультурном контексте).

Обсуждение особой роли внешнеэмпирических критериев оценки концептуальных структур по логике вещей оборачивается осмыслением места опыта в их обосновании. В философской литературе последнего времени²⁸ уже указывалось на смещение детерминирующей роли опыта в структуре научного знания. Это обстоятельство в наиболее выразительной форме проявляется именно в космологии, где теоретические исследования достигли высокой степени абстрактности и значительно оторвались от наблюдения. Здесь, однако, мы обнаруживаем нечто противоположное тому, что мы видим, например, в такой отрасли научного знания, как физика элементарных частиц. Последняя, как правило, не испытывает недостатка в фактах, тогда как в космологии скудность наблюдательных данных ощущалась всегда, к тому же по-прежнему остается ненадежной доступная эмпирическая информация. Расширение доступного наблюдениям диапазона спектра (за счет освоения радиодиапазона, а также ультрафиолетовой, инфракрасной, рентгеновской и других областей спектра), открытия реликтового излучения, квазизвездных объектов и др. значительно укрепили эмпирическую базу космологии, и она, благодаря этому, становится зрелой опытной наукой. Тем не менее в целом современная космология «похожа на некую небесную механику, где астрономическая единица и гравитационная постоянная заданы лишь с 50%-ной точностью. Однако если бы нам захотелось иметь точные значения всех параметров, которые необходимы для того, чтобы сформулировать какую-либо космологическую модель, все же космология была бы далека от своего удовлетворительного состояния»²⁹.

Между тем такая познавательная ситуация порождает весьма характерное явление: ограниченность фактических данных и недостаточная точность имеющейся астрономической информации компенсируются смелостью теоретических обобщений и легкостью отказа от них в пользу других, столь же малообоснованных гипотез.

Примечателен тот факт, что на всем протяжении полувекового развития релятивистской космологии фундаментальные теоретические утверждения и выводы последней проявили удивительную жизнеспособность, пережив десятки других конкурирующих идей и концепций. Это объясняется в первую очередь и главным образом обоснованностью ее концептуальных основ. Последнее обстоятельство было убедительно продемонстрировано еще в классических работах Фридмана. Применяя общую теорию относительности для новой постановки и решения кос-

²⁸ См.: П. В. Копнин. Дialeктика, логика, наука. М., 1973, с. 83.

²⁹ М. фон Рейнгард. Современные проблемы космологии.— «Успехи физических наук», 1971, т. 105, вып. 1, с. 131.

математической проблемы, как чисто физической задачи, Эйнштейн явно ориентировался на астрономические данные своего времени и, стремясь получить диктуемые ими квазистатистические решения, совершил даже малообоснованное обобщение своей теории. Фридман же, руководствуясь одними лишь «формальными» соображениями о симметрии и, возможно, математической красотой эйнштейновских уравнений, построил нестационарные модели Вселенной и бросил тем самым дерзкий вызов традиционным космологическим представлениям. Этот революционный шаг, осуществленный за несколько лет до эпохальных астрономических открытий Хаббла, исходил из интуитивной веры математика-профессионала в логическую безупречность теории; сейчас он предстает как демонстрация прогностических возможностей эйнштейновского творения, явно не уместившегося в рамки известной тогда эмпирической информации.

История развития космологии последних сорока лет знает случаи еще более драматической конфронтации теории и наблюдения. Достаточно упомянуть противоречия, имевшие место между оценками «возраста» Вселенной и возрастами ее структурных компонентов (галактик, скоплений звезд, Солнечной системы, Земли и т. д.). Как выяснилось, в конечном счете «виноватой» оказалась неточность эмпирических данных³⁰, тогда как теория успешно продолжала развиваться, выявляя свои еще не реализованные потенции. Яркое тому подтверждение — предсказание теорией «горячей Вселенной» существования реликтового излучения, обнаруженного вскоре астрофизическими наблюдениями.

Все это говорит о ведущей эвристической функции теории в космологии, что, впрочем, свойственно любым другим высоко развитым отраслям физического знания. Однако активная роль космологических теорий проявляется не только в их относительно независимом от эмпирии развитии и прогностической силе, но и в их нормативной функции, которая, в отличие от аналогичной роли теорий в других опытных науках, носит более жесткий характер. Дело в том, что релятивистские модели не только определяют наиболее вероятное поле разворачивания эмпирического поиска, но и накладывают на него определенные ограничения, устанавливая пространственно-временной предел информационного охвата объекта познания. Речь идет о так называемых визуальных горизонтах, устанавливающих максимально возможные границы астрономических наблюдений в общереля-

³⁰ Согласно новейшим измерениям, постоянная Хаббла равна 55 ± 7 км/сек Мпс, чему соответствует хаббловское время («возраст Вселенной»), равное $17,7 \pm 2$ млрд. лет. Эти уточненные данные снимают ранее обнаруженное и сильно настораживающее расхождение между численным значением хаббловского времени и возрастaми старейших звезд шаровых скоплений. (Подробнее об этом см. *A. Sandage. Distances to Galaxies: the Hubble Constant, the Friedmann Time, and the Edge of the World.* — «Quarterly Journal of Royal Astronomical society», 1972, v. 13, N 2, p. 282—296).

тивистской Вселенной типа Робертсона — Уокера, т. е. однородной и изотропной.

Теоретически более или менее исследованы два типа космологических горизонтов. Горизонтом событий для данного фундаментального наблюдателя (т. е. наблюдателя, находящегося на данной фундаментальной частице, каковой в астрономическом смысле служат скопления галактик) называется такая гиперповерхность в пространстве-времени, которая делит все события на два непустых класса: события, которые наблюдались, наблюдаются или будут наблюдаемы, и события, которые вообще лежат за пределами астрономического наблюдения. *Горизонтом частиц* для любого наблюдателя в данное мгновение космического времени t_0 называется поверхность в мгновенном 3-мерном пространстве $t=t_0$, которая делит все фундаментальные частицы на два непустых класса: те, которые уже наблюдались во времени t_0 , и те, которые еще не наблюдались³¹. Существуют и более сложные и соответственно более жесткие формы теоретико-космологических ограничений (горизонтов): ЕР-горизонт, ЕРТ-горизонт и т. д.³² Вот почему космолог вынужден прибегать к помощи *внетеоретических* утверждений с тем, чтобы преодолеть этот барьер, устанавливаемый исходной теорией. Так происходит как бы вторичное обращение к постулату единообразия, утверждающему тождественность (одинаковость) физико-астрономической ситуации в пределах и за пределами космологических горизонтов. В этом смысле условия однородности и изотропности предстают перед нами не просто в качестве упрощающего допущения, оправданного удобствами соответствующей вычислительной процедуры, а как некоторая объективная характеристика общих свойств мира самого по себе. Однако в ближайшем рассмотрении это оказывается не совсем так.

В космологии постулат единообразия выступает в роли именно методологического принципа. Он выполняет двуединую функцию, определяя одновременно и условие и способ познания Вселенной как физического целого. При этом и связь данного основоположения с опытом оказывается сложной. Вырастая сначала на базе синтеза ограниченных данных наблюдения и определенных философских идей в качестве вспомогательного (но существенного) средства исследования, обогащаясь далее в ходе содержательного взаимодействия с экстраполируемой теорией, постулат единообразия в итоге вновь апеллирует к наблюдению, но уже в качестве активного эвристического начала, указывающего, с одной стороны, на новые пути эмпирического поиска и, с другой стороны, уточняющего имеющиеся наблюдательные данные.

³¹ См.: W. Rindler. Visual Horizons in the World Models.— «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 1956, v. 116, p. 662—677.

³² См. об этом: R. G. Swinburne. Cosmological Horizons.— «Philosophy of science», 1966, v. 33, p. 210—214.

Постулат единообразия в той форме, в какой он используется в космологии в качестве условия однородности и изотропности, исторически был сформулирован на основе подсчета числа оптически наблюдаемых галактик на различных расстояниях и по различным направлениям, выполненного Э. Хабблом в 1930 г. Причем первоначально учитывались только крупномасштабные свойства, относящиеся, например, к общей структурной форме галактик. Но сформулированный таким образом общий постулат далее был включен в контекст своеобразной «обратной связи»; с его помощью стали уточнять исходные наблюдательные данные. В сферу эмпирического анализа были вовлечены и свойства, зависящие от структур меньшего масштаба, таких, как звезды (в частности, и те свойства, которые зависят от эволюции звезд). Это в свою очередь привело к расширению первоначальных пространственно-временных шкал, в пределах которых производилось первоначальное эмпирическое обоснование данного постулата, более чем в десять раз! (Это объясняется тем, что учет астрофизических свойств звезд, даже очень близких, влечет за собой рассмотрение таких событий, которые имели место в пространственно-временных точках, гораздо более удаленных, чем явления, фиксируемые в наиболее слабых галактиках, наблюдаемых в самые мощные телескопы.)

Так включение астрофизики звездной эволюции в космологию, навеянное постулатом единообразия, привело к далеко идущему расширению первоначального круга наблюдательных данных³³.

Следует также заметить, что наличие исходных, но эмпирически контролируемых постулатов в структуре теоретической космологии не является какой-то исключительной прерогативой, придающей космологии особый научный статус. Хорошо известно, что и в общую аксиоматику локальной физики неявно входит ряд постулативных положений, которые играют не менее фундаментальную и определяющую роль. (Достаточно напомнить постулат однородности времени, который является краеугольным камнем физического исследования.) Разница разве только в том, что в космологии ее руководящие постулаты формулируются явно и активно вовлекаются во все звенья познавательного процесса. Это, конечно, не значит, что по своему гносеологическому статусу космология ничем не отличается от локальной физики. В действительности в сфере космологического исследования мы сталкиваемся и с рядом специфических философских проблем, которые связаны не только с особенностями объекта познания (уникальность, всеобъемлемость и т. д.), но и эпистемологическим положением субъекта познания, который является частью исследуемого им объекта. Однако эти принципиальные вопросы выходят за пределы данной статьи.

³³ Подробнее об этом см.: *Ф. Хойл. Проверка космологии наблюдениями.* — В кн.: *Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная.* М., 1962, с. 372—376.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД В АСТРОНОМИИ

ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ: СТИЛИ МЫШЛЕНИЯ

Астрономию довольно часто рассматривают как обширную и весьма благодатную область приложений физики — ее фундаментальных идей, теорий и методов. Последнее отнюдь не умаляет принципиальной значимости астрономии, как не умаляет самостоятельной ценности химии и биологии интенсивное применение в них идей и методов физики. Возможность интенсивных приложений тех или иных методов, особенно фундаментальных, в некоторых областях исследований говорит прежде всего о громадных потенциальных «резервах» в развитии этих исследований. Кроме того, именно в приложениях проверяется сила и действенность самих методов исследования, и через приложения они совершенствуются и обобщаются. Соответственно такому общему взгляду на взаимоотношение физики и астрономии представляет несомненный интерес рассмотреть методологические основания и возможности применений статистических и теоретико-вероятностных идей и методов в астрономии. Это сделать тем более необходимо, что использование идей и методов теории вероятностей в физике и разработка на такой базе статистических теорий представляют одну из важнейших особенностей современного стиля физического мышления.

Современная физика есть прежде всего физика микропроцессов, закономерности которых наиболее полно выражены квантовой теорией. Квантовая же теория является принципиально статистической, т. е. существенным образом включает в свои основы понятие вероятности. Н. Винер, связывая радикальное становление вероятности в науке с именем Гиббса (мы добавили бы здесь и имя Больцмана) и подчеркивая ее решающее значение в развитии современной физики, писал, что «именно Гиббсу, а не Альберту Эйнштейну, Вернеру Гейзенбергу или Макс Планку мы должны приписать первую великую революцию в физике XX века»¹. Весьма выразительно и мнение В. Паули — выдающегося физика-теоретика середины нашего века. «Я уверен, — писал он в письме к М. Борну, — что статистический характер ψ -функции (а таким образом, и законов природы)... будет определять стиль законов в течение по крайней мере нескольких столетий. Возможно, что позднее, например в связи с процессами жизни, будет найдено нечто совершенно новое, но мечтать о возвращении к прошлому, к классическому

¹ Н. Винер. Кибернетика и общество. М., 1958, с. 26.

стилю Ньютона — Максвелла... — это кажется мне безнадежным, неправильным, признаком плохого вкуса»².

Уже созданные физические теории (как относительно замкнутые системы понятий) характеризуют скорее итог исследований. Интенсивно развивающиеся области физического знания носят полуэмпирический и полутеоретический характер, широко опираются на методы моделирования, но и в этом случае вероятностные представления весьма существенны. Для современной постановки исследовательских задач «понять явление все чаще означает уметь построить достаточно точную, в общем случае вероятностную модель его изменения в зависимости от изменения окружающей обстановки...»³

Мы прибегли к столь значительному цитированию, чтобы отметить, что физическое «общественное мнение» чрезвычайно высоко оценивает вероятностно-статистические представления и методы в развитии собственно физического знания. В то же время астрономию привычно рассматривают в качестве классического примера чисто «динамической» науки, несовместимой со статистическими представлениями и исключающей вероятностные суждения, во всяком случае относительно движения небесных тел. В основе такого взгляда на предмет астрономии лежит тот факт, что именно в астрономии наука впервые встретила с чрезвычайно долгосрочными (в масштабе «исторической шкалы времени») и точными предсказаниями весьма многих небесных явлений. Издавна восхищаются точностью астрономических предсказаний, а успехи механики XVIII в. в определении и расчете движений планет и комет способствовали утверждению в науке подобной «динамической» точки зрения на цели и задачи научных исследований. Аналогичным образом современные представления о строении и эволюции Вселенной, основывающиеся на общей теории относительности, также исключают в своей внутренней структуре статистический элемент: статистические и вероятностные представления по отношению к внутренней структуре космологической теории выступают как нечто внешнее и второстепенное.

Налицо явное и глубокое противоречие: язык современной физики как физики микропроцессов в самих своих основах содержит теоретико-вероятностный элемент, а в то же время основные, исходные теоретические представления, на которых базируется современная астрономия, исключают теоретико-вероятностные соображения. Противоречие это касается, так сказать, самих основ современного астрономического и физического мышления. Анализ природы этого противоречия имеет существенное значение для понимания особенностей современного

² Цит. по кн.: М. Борн. Физика в жизни моего поколения. М., 1963, с. 266.

³ В. С. Барашенков. Философия и современное естествознание. — В кн.: Некоторые философские проблемы физики, вып. I. М., 1970, с. 4.

естественнонаучного мышления, и в частности — тенденций его развития, однако непосредственный и целостный анализ этого вопроса сразу неосуществим: он возможен на основе ряда предварительных разработок. Именно в этом плане мы и сделаем попытку рассмотреть методологические основания «приложений» статистических методов в астрономии в их соотносительной оценке с положением дел в «собственно» физике.

РЕГИСТРАЦИЯ И ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Статистический метод обычно определяют как метод исследования массовых явлений, т. е. явлений, представленных множеством отдельных элементов. При этом естественно, что массовых явлений существует великое разнообразие и соответственно неодинаковы сами способы их исследования. Однако с методологической точки зрения важны не просто различия, обусловленные природой объектов, но прежде всего различия, зависящие от глубины проникновения в сущность исследуемых объектов, что определяет уровень абстрагирования. Другими словами, и статистические методы могут отличаться глубиной проникновения в сущность материальных процессов. В первом приближении статистический метод можно определить как метод регистрации и упорядочения данных о массовых явлениях, а также установления (функциональных) зависимостей между отдельными рядами наблюдений над исследуемыми объектами. Такая характеристика метода соответствует определению задач исследования на уровне описания, когда информация об объектах исследования получается на основе чисто функционального анализа их поведения или внешних воздействий.

Исходя из сказанного, следует сразу же отметить, что астрономия с самого своего возникновения основывается на статистическом подходе. Наблюдения над небесными телами, и прежде всего — над звездами, по своей природе носят массовый характер. Более того, определение наличия планет по их перемещению на небе основывается уже на сравнении и анализе простейших статистических данных о положениях звезд. Простая регистрация звезд по их относительно положению привела к составлению звездных каталогов (первые звездные каталоги Ши-Шена — IV в. до н. э. и Гиппарха — II в. до н. э.). Однако важны не только формы и способы регистраций относительно положения звезд на небесной сфере. Развитие современной астрономии, особенно — астрофизики, привело к огромному разнообразию фактических данных о звездах. Стало возможным исследовать физическое состояние звезд и характеризовать его численными значениями ряда основных параметров — масса звезды, ее радиус, светимость и температура поверхностных слоев (которая определяет цвет звезды и характер ее спектра). Ис-

следования зависимости между характеристиками физических состояний звезд привели к фундаментальным достижениям астрофизики XX в. Среди этих характеристик в первую очередь следует назвать построение диаграммы Герцшпрунга — Расселла, или диаграммы спектр-светимость.

Принципиальное значение этой диаграммы состоит не просто в том, что она позволила привести в некоторую целостную систему наши данные о свойствах и физических состояниях звезд — она легла в основу разработки современных представлений о строении и эволюции звезд. На диаграмме звезды располагаются не равномерно, а хорошо выраженными группами или последовательностями. Наличие этих групп послужило исходным основанием для выделения различных этапов в развитии звезд и установления путей этой эволюции. Нередко даже заявляют — пожалуй, не без оснований, — что в настоящее время мы больше знаем об эволюции звезд, чем об образовании и развитии нашей планетной системы.

Массовую природу имеют и другие объекты исследования астрономии, среди которых в наше время особое внимание уделяется исследованиям галактик. Представления о существовании гигантских звездных образований, подобных нашей Галактике, получили прямые доказательства лишь в начале 20-х годов нашего века (хотя еще В. Гершель более чем за столетие до этого правильно интерпретировал некоторые «туманности», как, говоря современным языком, «внешние галактики»). К середине XX в. уже было известно много миллионов галактик. Специфических астрофизических характеристик галактик еще известно мало, а полученные данные касаются прежде всего анализа морфологических свойств и классификации галактик. Однако здесь также идет стремительное накопление фактов и разрабатываются методы их систематизации.

Уже простейшая систематизация экспериментальных данных о массовых явлениях может привести к фундаментальным результатам, как в случае с диаграммой спектр-светимость. Подобное упорядочение материала опирается на раскрытие некоторых физических закономерностей, действие которых проявляется в установлении простейших функциональных зависимостей в картине наблюдательных данных.

С развитием астрофизики все большее значение приобретают статистические методы и в обработке наблюдений над отдельными небесными телами, прежде всего — при анализе излучений небесных тел (а это основной вид информации об астрономических объектах). Возрастание точности измерений, переход к наблюдениям очень слабых звезд, анализ излучения из различных участков наблюдаемых объектов привели к тому, что значимой стала регистрация значений энергии порядка нескольких квантов. Практически последнее выражается в том, что вместо прежних фотометров в ряде случаев стали применяться

счетовки фотонов. В этих условиях надежность результатов повышается вследствие статистической обработки данных наблюдений.

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД

Наиболее развитыми статистическими методами исследования в настоящее время являются те, которые основываются на теории вероятностей и ее приложениях. При этом вероятностный язык может играть второстепенную или подсобную роль в решении поставленной исследователем задачи, но может также служить основой для анализа и теоретического выражения соответствующих закономерностей. Последнее наиболее значимо: именно в этом случае в науке были выработаны представления о новом классе закономерностей — статистических закономерностях. Основой для выражения (формулировки) статистических закономерностей являются представления о вероятностных распределениях. Когда свойства (характеристики, параметры) материальных систем и взаимозависимости между ними (в том числе временные) выражаются посредством вероятностных распределений, мы и имеем дело со статистическими закономерностями. С точки зрения методологии, принципиальное значение вероятностных распределений состоит в том, что они являются структурными характеристиками соответствующих систем исследования.

Идея вероятности вошла в физику при разработке классической статистической физики. В статистической физике исследуются макроскопические тела с учетом того, что они состоят из весьма большого числа частиц. Другими словами, здесь исследуются макротела как определенные материальные системы. Основная задача этих исследований — установление взаимозависимостей между макро- и микрохарактеристиками этих тел, определение взаимосвязей между параметрами системы в целом и параметрами ее элементов, анализ свойств и поведения этих систем с учетом их внутренней дифференциации и интеграции. «Задача статистической механики, — отмечает Г. Уленбек, — всегда заключается в отыскании соответствия между микроскопическим, или атомным, миром и миром макроскопическим»⁴. Такое соответствие и раскрывается на базе приложений теории вероятностей.

В астрономии подобный статистический подход к анализу объектов исследования стал складываться при переходе от исследований нашей планетной системы к исследованиям звездных систем и уже в простейших случаях — при исследовании механических движений⁵. До развития астрофизики основная

⁴ Г. Уленбек. Фундаментальные проблемы статистической механики. — «Успехи физических наук», 1971, т. 103, с. 275.

⁵ См.: В. А. Костицын. Статистический метод в астрономии. — В кн.: Статистический метод в научном исследовании. М., 1925.

задача в исследовании Солнечной системы заключалась в определении механического движения тел, в нее входящих. В ходе решения этих задач была разработана небесная механика как механика тел Солнечной системы. Научный идеал Лапласа, как его обычно трактуют в литературе, и сложился в результате абсолютизации идей и методов небесной механики. Однако при переходе к исследованиям звездных систем основная задача и методы исследования стали существенно меняться. И дело здесь не просто в математических трудностях, связанных с тем, что задача многих тел (больше трех) предстала перед исследователями как неразрешимая. Изменения в постановке задач носят принципиальный характер. Даже если бы мы строго определили индивидуальные траектории звезд, это еще не дало бы нам целостного знания о звездных системах, и прежде всего — о нашей Галактике. Такой переход по меньшей мере нуждался бы в некотором процессе усреднения, что практически делает ненужной (или бессмысленной?) задачу определения индивидуальных траекторий всех звезд исследуемых систем. Здесь нужны были новые подходы и методы.

Звездная астрономия и развивалась, по существу, на путях приложений статистических идей и методов исследования. В настоящее время в ней широко применяются представления и методы статистической механики и математической статистики. Исходной, а до недавнего времени — и основной задачей звездной астрономии являлось изучение закономерностей распределения и движения звезд в пространстве. Уже первые статистические подсчеты распределения звезд, которые начали проводиться в прошлом столетии, показали наличие реального сгущения звезд к плоскости Млечного пути. Особое развитие такие статистические методы получили в нашем веке, и сейчас уже в общих чертах определена плотность распределения звезд в нашей Галактике, т. е. ее макроструктура.

Для анализа структуры Галактики важнейшее значение имеют и исследования пространственного распределения туманностей, а также звездных ассоциаций, которые являются молодыми образованиями. Они позволили впервые выявить спиральность структуры той составляющей нашей Галактики, которая образует Млечный путь.

Использование статистических методов в исследованиях закономерностей движения звезд привело к открытию вращения Галактики. Эти исследования стали возможными на основе разработки методов анализа собственных движений звезд.

Вообще следует отметить, что применение статистических методов к исследованиям звездных систем, и прежде всего — Галактики, основывается на разработке весьма тонких и точных методов анализа ряда характеристик отдельных звезд, связанных с определением их положения и движения в пространстве. Здесь к статистическим распределениям приходят на базе непо-

средственной обработки массового опытного материала. При этом в подобных случаях нет необходимости или целесообразности «перебирать» все элементы рассматриваемых систем — либо в силу чрезвычайно большого их числа, либо в силу того, что при наличии некоторого числа «перебранных» элементов учет новых элементов не внесет существенных изменений в общие результаты в рамках предъявляемых к ним требований. Методологически наличие таких способов получения распределений весьма важно. Для этих случаев разработан специальный выборочный метод исследования общих свойств статистических систем на основе изучения лишь части соответствующих элементов, взятых на выборку. Он должен удовлетворять специальным условиям репрезентативности, чтобы от данных выборки перейти к характеристике систем в целом.

Подобные методы обработки массового материала широко применяются в физике, например, для проверки правильности работы физических приборов. Однако они обычно характерны для первого проникновения вероятностных методов в какую-либо область исследований. В физике в наиболее существенных случаях использования вероятностных методов исходные распределения задаются иначе, гипотетически. Вероятностная гипотеза в статистических теориях обычно вводится на основании соображений симметрии, допущений о равновероятности определенных исходов исследуемых процессов, соображений о практической независимости отдельных событий и т. д. Проверяется вероятностная гипотеза на основании совпадения полученных из теории основных выводов о макросвойствах физических систем с опытными данными. В физике уже в учении о газах предположение о существовании вероятностных распределений было введено как гипотеза, на основе допущений о «молекулярном беспорядке». В квантовой теории вероятностные распределения получаются путем задания волновых функций, которые в общем случае в теории вводятся более специальным образом, а не просто путем прямой обработки массового материала, хотя такая проверка не исключается.

Несмотря на вышеупомянутое различие в способах задания распределений, статистические методы в астрономии, как и в физике, служат для раскрытия структуры соответствующих объектов исследования. Мы рассмотрели такой подход прежде всего на примере исследований Галактики. Однако статистические соображения важны при исследованиях и звездных систем меньшего масштаба, в частности, статистические соображения имеют существенное значение при рассмотрении природы кратных звезд. Звезды в Галактике распределены крайне неравномерно, они весьма часто встречаются в виде «кратных» систем — двойных, тройных и более сложных. По имеющимся оценкам свыше четверти звезд составляют двойные, а порядка десяти процентов от них — кратные системы. Можно предположить, что возникно-

вление подобных кратных звезд является результатом их механического взаимодействия (захвата). Однако применение методов статистической механики показывает, что при статистическом равновесии должно было бы наблюдаться неизмеримо меньше двойных и кратных звезд, чем фактически наблюдается. «Это огромное расхождение можно объяснить только тем,— пишет В. А. Амбарцумян,— что в Галактике происходит или недавно происходило возникновение новых двойных и кратных звезд не в результате механических процессов, а в результате глубоких физических процессов космогонического характера, причем число вновь возникающих таким образом пар во много миллионов раз больше, чем число пар, возникающих в результате захвата»⁶. На этих путях и были разработаны представления о звездных ассоциациях.

Мы видим, что в звездной астрономии статистические методы стали интенсивно использоваться уже при рассмотрении простых механических характеристик звезд в составе Галактики. В физику статистические методы также вошли при исследовании внутренней механики газов. В дальнейшем в физике статистические методы все более и более стали овладевать «собственно физическими» характеристиками, что привело к разработке новых статистик (Бозе — Эйнштейна, Ферми — Дирака), а затем — и к квантовой теории. Памята, что аналогия — не доказательство, вместе с тем можно предположить, что развитие астрофизики приведет к существенно новым статистическим взглядам и в астрономии. В настоящее время в астрономии широко применяются методы классической механики. Но стоит вопрос и о разработке статистической механики звездных систем.

Когда в сферу исследований астрономии вошли принципиально новые объекты — галактики и их системы, к ним стали также широко применяться методы, зарекомендовавшие себя в звездной астрономии, в том числе и соответствующие статистические методы.

Последние используются при изучении относительного пространственного распределения галактик. Вместе с тем следует отметить, что здесь статистические методы играют подчиненную роль. Мир галактик, рассматриваемый как целостная система, исследуется космологией, в теоретическом отношении базирующейся на общей теории относительности (теории тяготения Эйнштейна). Статистический элемент здесь практически отсутствует, соответствующие закономерности носят жестко детерминированный характер. В мире галактик происходят наиболее грандиозные из всех известных физические процессы, и прежде всего — разбегание галактик как следствие Большого Взрыва. Статистические явления здесь выглядят как некоторые

⁶ В. А. Амбарцумян. Проблемы эволюции Вселенной. Ереван, 1968, с. 19.

флуктуации, накладывающиеся на процесс разбегания галактик. Вместе с тем следует отметить, что в настоящее время на статистические идеи обращают все большее и большее внимание в связи с попытками охарактеризовать физическое состояние той гигантской сверхплотной «капли», взрыв которой и привел к наблюдаемому сейчас разлету системы галактик. Предполагается, что в этих условиях действовали законы квантовой теории тяготения — науки, еще не созданной, — но, как известно, квантовые идеи принципиальным образом включают в себя вероятность. Кроме того, в современных космологических исследованиях важнейшее значение уделяют поискам характеристик самых ранних стадий наблюдаемого развития Вселенной и при этом предполагают наличие определенного вероятностного распределения в значениях этих характеристик. Отсюда уже следует, что многие характерные черты современной стадии развития Вселенной «определены» таким исходным, чрезвычайно ранним состоянием ее эволюции. Сказанное означает, что в современных космологических исследованиях все большее значение приобретает анализ критических состояний эволюции Вселенной и одновременно с этим начинают играть принципиальную роль статистические методы.

ПРОБЛЕМА СЛУЧАЙНОСТИ

Хорошо известно, что представления о случайности крайне существенны при обосновании статистических закономерностей в науке. Специфику статистических закономерностей и теорий, их принципиальное отличие от закономерностей и теорий, основывающихся на принципе жесткой детерминации, видят прежде всего в том, что первые включили случайность в свою внутреннюю структуру, в то время как согласно вторым представления о случайности несовместимы с самой идеей закона природы. Случайность придает внутреннюю гибкость теоретическим системам, делая их более эффективными в постижении материальной действительности.

Методологический анализ случайности в связи с анализом природы статистических методов позволяет выявить ряд ее особенностей. Статистические методы имеют дело не вообще со случайностью, а с определенным ее классом, по-видимому — наиболее интересным. М. Смолуховский говорил об «упорядоченной» случайности¹, т. е. случайности, которая в массе ведет к раскрытию устойчивого порядка (закономерности).

Далее, случайность в статистических теориях является по существу структурной характеристикой. Она выражает определенный тип связи, являющийся господствующим в системах ти-

¹ М. Смолуховский. О понятии случайности и о происхождении законов вероятностей в физике. — «Успехи физических наук», 1927, т. 7, вып. 5.

па газов, рядов независимых испытаний и т. п. В этих системах отсутствуют прямые постоянные связи (зависимости) между элементами, поведение одного не зависит от другого, зависимости между элементами носят глубоко опосредствованный характер, что и придает необходимую целостность всей системе.

Наконец, случайность следует отличать от единственности, или уникальности, соответствующих явлений или процессов. Одинокое наблюдение или регистрация некоторого отдельного факта, какими бы парадоксальными они ни выглядели вначале, могут оказаться принципиальными для раскрытия существа некоторого процесса.

Категория случайности является соотносительной с категорией необходимости. Оценить то или иное конкретное явление как необходимое или случайное можно лишь имея достаточно надежные знания о соответствующем процессе. Любые материальные объекты, системы и процессы характеризуются одновременно и необходимостью, и случайностью. Необходимость выражает абстрактно-общее в объекте исследования, основу его устойчивости, его скелет; случайность нацеливает на теоретическое воспроизведение объекта в его «плоти и крови».

Указанная природа случайности, ее методологическая функция особенно наглядно раскрывается на материале астрономических исследований. Здесь единичные факты, результаты регистрации единственного объекта или процесса довольно часто служат для фундаментальных выводов, т. е. выражают саму сущность вещей. Например, в последние годы получила разработку идея о космогонической активности ядер галактик⁸. Решающее значение для развития этих представлений имел пример радиогалактики Дева А, которая наглядно показывает наличие струи, выброшенной из ядра. Далее, подробное изучение неправильной галактики М 82 позволило установить, что ядра галактик в периоды активности способны выбрасывать громадные массы газовой материи.

Применение развитых статистических методов неразрывно связано с учетом случайности. Последняя, повторим, характеризует определенный тип связей, когда отсутствуют прямые зависимости между рассматриваемыми элементами (событиями) (например, падения крупных метеоритов на Землю, вспышки на Солнце, вспышки новых и сверхновых звезд и т. д.). Ясно, что прямые связи между элементами в этих рядах событий отсутствуют. Зависимости между ними носят глубоко опосредствованный характер. Статистическая обработка таких событий направлена на раскрытие этих зависимостей, но ее, конечно, недостаточно: здесь нужно раскрытие физической природы соответствующих явлений.

⁸ В. А. Амбарцумян. Проблемы эволюции Вселенной, стр. 128—235.

На представлениях о случайности основывались многие гипотезы в истории астрономии, в частности широко известная гипотеза Джинса о происхождении Солнечной системы. Согласно этой гипотезе, планетная система образовалась из вещества, выброшенного из Солнца под действием приливных сил, возникших в результате близкого прохождения около него другой звезды. Возникновение планетной системы здесь рассматривается как результат случайного сближения звезд. Вероятность такого сближения двух звезд поддается расчету, она оказывается ничтожно малой. Планетная система должна быть чуть ли не единственной в Галактике. Такие выводы противоречили данным наблюдений (например, о распределении скоростей осевого вращения звезд), которые хотя и косвенно, но достаточно определенно свидетельствуют о значительной распространенности планетных систем в нашей Галактике. Кроме того, эта гипотеза оказалась не в состоянии объяснить и многие особенности Солнечной системы. По этим причинам она была оставлена.

Признание случайного характера взаимоотношений между элементами является необходимой предпосылкой применения теоретико-вероятностных методов к исследованиям соответствующих систем.

Итак, и в повседневной жизни, и в науке случайность является не только неустранимым, но и существенным элементом. Любой материальный процесс включает в себя аспект случайности. Но, как говорят, случай идет навстречу тому, кто ищет его не вслепую. Статистические методы, основанные на приложениях теории вероятностей, и представляют собой лучшие способы овладения случайностью, по крайней мере — на нынешнем уровне развития науки.

На эмпирическом уровне, при обработке данных наблюдений в астрономии эти методы стали господствующими. И дело здесь не просто в том, что большинство объектов исследования носит массовый характер. К этим же методам приводят и требования повышения точности наблюдений и измерений и увеличение разнообразия информации об исследуемых объектах.

На теоретическом уровне положение дел обстоит сложнее. В основе теоретических представлений здесь лежат приложения фундаментальных физических теорий. Конечно, приложения эти не сводятся к некоторым дедуктивным процедурам: они опираются на выдвижение «собственно астрономических» идей и представлений и, следовательно, имеют самостоятельную ценность. Вместе с тем структура теоретических систем и отсюда способ мышления определяются структурой применяемых фундаментальных теорий. При объяснении существа физических процессов, протекающих в недрах небесных тел, широко применяются идеи и методы квантовой теории как теории микропроцессов. Квантовая же теория является статистической, т. е. принципиальным образом включает в себя понятие вероятно-

сти. Соответственно этому при анализе физических процессов, протекающих в небесных телах и их системах, возрастает роль статистических воззрений. Этому же содействует и развитие астрофизики.

Статистический элемент стал существенным и при рассмотрении чисто механических задач. Он доминирует в механике звездных систем и все больше учитывается при исследованиях систем галактик. Вместе с тем, наиболее грандиозные процессы, анализ которых опирается на приложения общей теории относительности и связан с «самым большим взрывом», объясняются сейчас на чисто динамической основе, как противоположной статистическим воззрениям. Но и здесь все пристальнее обращается внимание на вероятностно-статистические методы. За это говорят постановки вопросов о квантовой теории тяготения и начальных условиях «расширения Вселенной».

В современной астрономии происходит колоссальное расширение и углубление сферы исследования, происходит естественное смещение центра тяжести основных интересов. И в этом развитии астрономии все более властное значение приобретают идеи и методы, основывающиеся на теоретико-вероятностных концепциях. Именно они оказываются наиболее адекватными предмету современной астрономии.

III. ЗНАНИЕ И РЕАЛЬНОСТЬ В АСТРОНОМИИ

Б. Н. Пановкин

ОБЪЕКТИВНОСТЬ ЗНАНИЯ И ПРОБЛЕМА ОБМЕНА СМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ОБЪЕКТИВНОСТИ ЗНАНИЯ В ЗАДАЧЕ ПОИСКА СИГНАЛОВ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Бурное развитие астрономии и космических исследований в настоящее время необычайно расширяет горизонты наших знаний о природе и вовлекает в проблематику научного изучения все более сложные явления и объекты окружающего мира. Решение возникающих в естествознании новых проблем связано и с анализом ряда философских вопросов, а в наиболее сложных и трудных проблемных ситуациях — с глубоким осмыслением всего опыта познавательной деятельности человечества.

В астрономии необходимость философского, методологического анализа чувствуется наиболее остро в проблеме эволюции объектов Вселенной, космологической проблеме и некоторых других. Такие задачи являются сейчас предметом большого внимания и творчески решаются советскими астрономами и философами¹. Очень часто возникает необходимость обсуждения проблемы универсальности наших знаний и в связи с этим правомерности применения тех или иных конкретных моделей сложных астрономических явлений². Весьма актуальной представляется, например, проблема экстраполяции наших земных знаний на всю наблюдаемую (и не наблюдаемую!) Вселенную³.

¹ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Проблемы методологии естественно-научного поиска.— «Вопросы философии», 1971, № 2; они же. Методологические проблемы астрофизики.— «Вопросы философии», 1973, № 3.

² В. Л. Гинзбург. Новые физические законы и астрономия.— «Вопросы философии», 1972, № 11.

³ А. Л. Зельманов. Космология.— В кн.: Развитие астрономии в СССР. М., 1967; он же. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной.— В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969.

Не менее интересные и глубокие вопросы методологического и мировоззренческого характера ставит сложная и многогранная проблема внеземных цивилизаций. В последние годы часто обсуждается так называемый радиоастрономический аспект проблемы внеземных цивилизаций — возможность обнаружения сигналов космических цивилизаций радиоастрономическими методами⁴.

Ставится следующая задача: как с помощью существующей или осуществимой в ближайшем будущем техники радиоастрономического приема получить сигналы от «столь же» или «более» технически развитой космической цивилизации и как, в принципе, понять, «расшифровать» эти сигналы, если они будут приняты?

Внимание радиоастрономов, которые сформулировали эту задачу, было, естественно, обращено на обсуждение технических вопросов: каковы должны быть энергетические мощности передач для связи на огромные космические расстояния, как избежать влияния межзвездной среды и т. п. Подсчеты показали, что если некоторая внеземная цивилизация обладает таким же энергетическим и техническим потенциалом, как наша, то она способна посылать радиосигналы, которые при таком же уровне приемной техники могут быть приняты на расстоянии около тысячи световых лет. Это уже довольно большая зона, в которую попадает значительное число звезд и, следовательно, еще большее число планет. Если же предположить, что существуют внеземные цивилизации с еще более развитой энергетикой, то их сигналы могли бы быть обнаружены на Земле с гораздо больших расстояний.

В результате была разработана схема организации радиоастрономического эксперимента для поисков радиосигналов внеземных цивилизаций. Более того, был предпринят ряд попыток обнаружения радиосигналов искусственного происхождения в космосе с помощью крупных радиотелескопов. Но все они дали отрицательный результат.

В 1971 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории состоялся советско-американский симпозиум по этой проблеме, на котором подробно обсуждались различные стороны постановки радиоастрономической задачи поиска сигналов внеземных цивилизаций. Подробное изложение современного состояния разработки этой задачи можно найти в книге И. С. Шкловского⁵. К сожалению, гораздо меньше обсуждалась (в том числе и на Бюраканском симпозиуме) общая методологическая проблема, от решения которой во многом зависит и обоснованность радиоастрономической задачи поиска сигналов внеземных цивилиза-

⁴ И. С. Шкловский. Проблема внеземных цивилизаций и ее философские аспекты. — «Вопросы философии», 1973, № 2.

⁵ И. С. Шкловский. Вселенная, жизнь, разум. М., 1973.

ций. Эта проблема заключается в следующем: что следует принимать под термином «внеземная цивилизация», на обнаружение каких «цивилизаций» следует рассчитывать и осуществима ли надежда на обнаружение таких цивилизаций, с которыми в принципе возможно установление общего канала радиосвязи?

Для ответа необходим анализ теоретических высказываний в рамках всей проблемы «внеземных цивилизаций». Мы, однако, попробуем поступить несколько иначе и обсудим более узкий вопрос: возможно ли, в принципе, достичь ситуации взаимопонимания, обмена смысловой информацией между различными внеземными цивилизациями пользуясь только средствами радиосвязи, т. е. имея возможность передавать и принимать некоторые сигналы-«знаки»?

Тогда, по необходимости, мы будем использовать неуточненное, во многом интуитивное, понятие «внеземная цивилизация». Но, с одной стороны, мы сможем проанализировать критически высказывания, которые делаются именно на таком уровне представления проблемы, и, с другой стороны, установим, где отказывает такое интуитивное представление «здорового научного смысла», — где оно перестает работать и где, поэтому, необходимо внести соответствующие коррективы в постановку проблемы космических цивилизаций. Разумеется, анализ такого вопроса с неизбежностью выходит далеко за рамки чисто радиоастрофизических, естественнонаучных проблем и требует привлечения аппарата философского знания.

Пока еще не было выдвинуто сколько-нибудь целостного методологического обоснования поставленной выше проблемы. Ряд авторов, рассматривая отдельные моменты вопроса, как правило, решают их с позиций, далеких от философского анализа. Одним кажется, что для всех цивилизаций должны быть понятны изображения-«картинки» внешнего мира, и авторы посвящают все внимание обсуждению технической задачи передачи изображений по каналу межзвездной связи. Другим представляется самоочевидной всеобщая универсальность математических понятий для всех «разумных» существ и т. д.⁶ Суммируя высказывания сторонников принципиальной возможности связи по радио с другими цивилизациями и реконструируя положения, лежащие в основе их рассуждений, можно показать, что они опираются примерно на следующую аргументацию.

Считается, что свойства материального мира, представленные в естественнонаучном знании, так же, «в том же виде», «объективно» существуют в материальном мире взятом «самом по себе», безотносительно к субъекту познания. Объективные

⁶ Наиболее полно эти соображения представлены, например, в статье Л. М. Гиндилиса «Поиски внеземных цивилизаций» (в кн.: Населенный космос. М., 1972), а также в брошюре того же автора «Космические цивилизации» (М., 1973).

вещи и явления представляют уже заданные «наперед» природой «предметы» внешнего мира с отдельными, конкретными свойствами до и вне любого познавательного процесса. И единичное, и особенное, и общее выступают перед субъектом как «внешние» свойства — объект и детерминируют результат «правильного» познавательного процесса как единственная его «объективная» сущность.

Далее, поскольку мир в своих закономерностях един, то любая цивилизация «ограничена» им, должна отражать в своих представлениях и знаниях эту однозначно артикулированную действительность строго определенным, «изоморфным» ей образом.

Поэтому и продукт познавательного процесса в виде правильного научного знания может рассматриваться как отчуждаемый от субъекта познания «объективный предмет» и непосредственно сопоставляться с самой действительностью, одинаково представленной в познании всех космических цивилизаций. Передаваемые по радио другими цивилизациями сообщения содержат некоторые апробированные, базисные, «общеизвестные» научные истины (например, из области астрономии, физики, математики), принципиально могут быть сопоставлены с соответствующими понятиями земной науки, а значит, выделены, «переведены», т. е. расшифрованы, на основе только данной материальной структуры сигнала-сообщения, поскольку в конечном итоге и по содержанию и по форме эти знания обязаны быть моделями, изоморфными и самому «единому образцу» — природному объекту, и друг другу. И. С. Шкловский выражает это положение следующими словами: «Логически неизбежен вывод, что язык самой природы должен быть понятен и универсален для всех разумных существ Вселенной, как бы сильно они ни отличались друг от друга. Законы природы объективны и поэтому одинаковы для всех разумных существ»⁷.

На сходных соображениях строятся и аргументация в пользу универсальности «изображений» внешних предметов любыми «разумными» существами во Вселенной. В этом случае постулируется однозначность чувственно-рецепторного восприятия заданных самой природой жестких внешних структур действительности любыми высокоорганизованными существами во Вселенной: «Однако, пожалуй, самым эффективным методом установления контакта между инопланетными цивилизациями является передача изображения. При этом предполагается, что все разумные существа, населяющие разнообразные планеты, должны быть зрячими. Такое предположение выглядит весьма правдоподобно. Ведь у нас на Земле зрением обладает огромное количество видов живых существ, от низших до самых высших.

⁷ И. С. Шкловский. Вселенная, жизнь, разум, с. 234.

Зрением является мощнейшим способом получения живыми существами информации от внешнего мира...»⁸

Таким образом, предположение о существовании определенным однозначным образом «выделенного» внешнего объекта, диктующего свою жесткую «форму» для построения изображения любым субъектом, считается само собой разумеющимся. Единственным условием должно быть лишь наличие «глаз» как пассивного «физического» инструмента для «разглядывания» «единых» объектов реальности.

Рассматриваемая схема рассуждений включает представление о процессе познания как чисто «внешнем» процессе, не вносящем в знание ничего нового по сравнению с тем, что уже актуально присутствует в объекте. В связи с этим процесс углубления знания мыслится как сближение информационного содержания модели — предмета знания, строящегося по автономным законам избавленной от всех видов «субъективного» науки, и заданного «образца» — природного объекта реальности, данного независимо и непосредственно в научном эксперименте и наблюдении. В качестве дополнительного аргумента в пользу таких представлений приводится и утверждение, что иное мнение противоречит тезису о познаваемости мира (!)⁹.

Изложенная аргументация заслуживает внимательного анализа хотя бы потому, что она является весьма распространенной. Как уже отмечалось, без такого анализа невозможен и правильный подход к оценке исторически сложившегося в рамках астрономической науки самого предмета проблемы. Предмет этот — «космическая цивилизация» является сегодня чисто гипотетическим конструктом, и корректная экспликация его требует глубокого учета наших знаний во многих отраслях и естественных и социальных наук. Нельзя не отнестись весьма критически к утверждениям, что понятие «космическая цивилизация» является настолько очевидным и ясным предметом изучения, что его можно считать чуть ли не сформированным в рамках естественных наук предметом эмпирического поиска, однозначно предполагающего методiku самого исследования.

С другой стороны, глубокое обсуждение проблемы возможности установления смыслового контакта между различными субъектами познания¹⁰, не связанными единой практической

⁸ И. С. Шкловский. Вселенная, жизнь, разум, с. 267.

⁹ И. С. Шкловский. Проблема внеземных цивилизаций и ее философские аспекты. — «Вопросы философии», 1973, № 2, с. 90.

¹⁰ Термин «субъект познания» можно использовать в трех значениях: а) субъект познания как все человеческое общество; б) как отдельные социальные и профессиональные группы и коллективы; в) как отдельная человеческая личность, индивидуум (И. А. Майзель. Наука, автоматизация, общество. Л., 1972). В дальнейшем изложении из контекста и пояснений будет ясно, о каком значении этого термина идет речь в каждом определенном случае.

деятельностью, представляет определенный философский интерес, поскольку позволяет на основе конкретно сформулированной проблемы по-новому осветить некоторые стороны диалектики познавательного процесса.

Теория познания опирается на естественный тезис существования единого субъекта познания — человечества, объединенного практической, целесообразной деятельностью. Поэтому многие положения теории сформулированы так, что этот тезис присутствует в конкретном анализе механизма познавательного процесса в неявном виде. В частности, в ряде случаев не играет существенной роли различение объекта реальности (как фрагмента действительности, с которым вступил во взаимодействие субъект познания) и объекта познания, поскольку при рассмотрении познавательного процесса «изнутри», в рамках человеческого познания, для человека, — они совпадают. Когда же рассматриваются процессы познания «других» цивилизаций, — мы уже не имеем права считать совпадающими объекты реальности и познания для «них» и для «нас» без дополнительного обсуждения необходимых условий для этого. Поэтому при анализе проблемы связи с другими цивилизациями нужна особая точность при использовании и экстраполяции положений «земной» теории познания.

Нам необходимо рассмотреть прежде всего следующие вопросы: 1) действительно ли справедливо утверждение об «однозначном устройстве» действительного мира как совокупности «вещей» — природных объектов, данных любому субъекту познания в «одном и том же виде», присущем этим объектам «самим по себе»? 2) правильно ли трактовать тезисы об объективности существования действительности и познаваемости окружающего нас мира в том смысле, что человеческое знание об этом мире дает единственно возможную картину мира, причем это видение мира и является видением мира «самого по себе»?

Если это не так, то требуется обсудить, что же представляет собой научное знание как отражение объективно существующего мира в познавательном процессе, в чем специфика предметов естественнонаучного знания и какова их связь с реально существующими объектами, каковы связи, отношения, взаимодействия научного познания с другими формами социальной деятельности? Анализ этих вопросов должен подвести к рассмотрению условий, при которых могут «совпасть», «пересечься» системы научных знаний, видение мира различных космических цивилизаций.

Учитывая специфику постановки вопроса о межзвездной радиосвязи между космическими цивилизациями, следует иметь в виду, что в самых «благоприятных» условиях возможен лишь обмен «сигналами» — материальной структурой знаковых сообщений. Поэтому представляется необходимым обсуждение гносеологической природы знака, анализа процесса «понимания»,

вскрытия содержания, смысла, значения знаковых структур в условиях в первую очередь коммуникационной системы человеческого общества.

Иными словами, необходимо провести хотя бы схематический анализ природы познавательного процесса в плане движения от объекта реальности к понятийным структурам в знаковой форме.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Что мы можем сказать о свойствах объектов материального мира, взятых «самих по себе»? По-видимому, мы должны говорить о всеобщих свойствах материального мира, об атрибутах материи. Это вводит нас в круг проблематики, развиваемой марксистской философией по проблемам соотношения единичного, особенного и общего.

Известно, что материя существует в движении, изменении, взаимодействии, развитии. Всеобщая взаимосвязь и взаимообусловленность процессов материального мира качественно неисчерпаемы. Каждая «часть» материального мира — объект может только в теории, мышлении осознаваться как изолированная «вещь» с определенными конкретными и конечными свойствами, которая (вещь) как отдельное взаимодействует с другими «вещами». Конкретные свойства объектов могут быть выделены, проявлены лишь в конкретно-выделенном взаимодействии. Вопрос о том, каков объект вне определенного взаимодействия, лишен смысла. Познавательный процесс представляет собой частный вид взаимодействия (а если мы говорим о конкретном субъекте, то это конкретное, «индивидуализированное» взаимодействие) материального мира и его «части» — субъекта познания. В своей целенаправленной деятельности субъект вступает в определенные отношения с внешним миром, более того, активно изменяет его, «перерабатывает» и выделяет в мире, в материи те связи, те конкретные отношения из бесконечного континуума реальных взаимодействий, которые им «освоены»¹¹.

Реальный объект «сам по себе» не является «суммой» конкретных свойств, актуально наличествующих в нем всегда, безотносительно к определенному взаимодействию. Ни единичные, конкретные, ни общие свойства не «артикулированы» однозначно в самом объекте, а выделяются, артикулируются, «указыва-

¹¹ Во избежание недоразумений подчеркнем, что в этой части статьи речь идет о «материальном» контексте познавательной деятельности, о всех материальных структурах, порождаемых человеческой деятельностью (в частности, о материальных структурах знаков, структурах физиологического субстрата мыслительной деятельности, т. е. обо всем «материальном теле» цивилизации, являющемся «частью» всеобщего материального взаимодействия).

ются» в познавательном процессе — вырываются из единой всеобщей связи, рассматриваются в теории как отдельные, и уже затем в диалектическом синтезе, в осознаваемом мыслительном процессе мы приходим к мысли об их единстве. Но это схема способа чувственного и логического отражения действительности, и нет оснований переносить этот способ, его расчлененные этапы на свойства самого объекта. Любой объект, как «часть» материального мира, так же «неисчерпаем», как и весь материальный мир. Само определение объекта в силу указанных выше особенностей его определения, «фиксирования», диалектически противоречиво (он «не выделяем» как «часть» из всеобщего взаимодействия, а «выделяется» в конкретном взаимодействии).

В принципе эти наиболее общие представления и задают общее направление решения конкретной проблематики внеземных цивилизаций. Мы попробуем показать, что многие ошибочные утверждения сводятся к смешению философского определения материи с естественнонаучными представлениями, знаниями о конкретных свойствах «данного нам» мира.

Как реализуется конкретно познавательный процесс в плане отражения объективной реальности?

Прежде всего следует подчеркнуть активный характер отражения даже на уровне «простых» живых организмов, отражающих объективные характеристики среды самой своей конкретной жизнедеятельностью. Можно продемонстрировать опосредствованный, относительный характер таких свойств, как объективность и адекватность отражения. Здоровый «организм» правильно реагирует на внешние воздействия определенного характера. В соответствии со своей организацией, выработавшейся в процессе эволюции вида, он адекватно реагирует на конкретные сигналы, связанные с жизненно важными для него изменениями среды. Но можно ли утверждать, что другой организм, иначе устроенный, но также приспособленный, как представитель иного вида, к определенной, другой «экологической нише», к другим условиям среды, отражает реальность «более» или, наоборот, «менее» адекватно? По-видимому, такой вопрос нельзя ставить безотносительно к самому организму. Оба «живых существа» «равно» объективно и адекватно отражают определенные, но разные черты внешнего мира, в связи с определенным устройством самих организмов и, соответственно, с выделением определенного взаимодействия организма со средой. Отражение в деятельности «объективно» (иначе организмы погибли бы — их действия не соответствовали бы *реальному* процессу взаимодействия со средой) и «адекватно» (организмы «здоровы» и, например, уклоняются именно от тех воздействий, которые действительно могут стать опасными для именно так устроенных организмов). О прогрессе, совершенствовании организации можно говорить, с точки зрения современной биологии и кибернетики, только применительно к системам

единого гомологического ряда, связанным непрерывной историей развития.

Строго говоря, приведенный выше пример с живыми организмами сформулирован некорректно, в плане традиционного противопоставления «объективной» среды и «самого» организма. Живой организм как продукт *самоорганизации* — это по существу единство организма с соответствующим образом выделенной средой. «Объективность» среды нельзя отделить от «объективности» существования самой самоорганизующейся системы. Точнее, нельзя расширять понятие объективности за пределы понимания ее как объективности по признаку существования — к «объективности» как «набору» некоторых конечных свойств среды «самой по себе».

Биологическое устройство рецепторов живого организма, развившегося в процессе самоорганизации, определяет конкретный характер сигнала-изображения внешнего окружения, функционирующего в информационной системе организма. Разные биологические организмы будут создавать разные «картинки» внешней среды, в виде определенным образом выбранной системы сигналов, конструирующих изображение, из неисчерпаемой совокупности «всевозможных» внешних воздействий. Системная организация этой совокупности сигналов определяется «устройством» самого организма, но не просто в «физическом» плане (как, скажем, оптический прибор «сам по себе»). Организм создает «синтетический сигнальный образ», неразрывно связанный с активной реакцией организма, вдобавок опережающей реакцией. Построение образа связано со всей предысторией вида и филогенетической «памятью» организма. «Изображения», получаемые разными организмами, представителями разных видов не могут быть «переведены» друг в друга на основе только знания «физического» устройства рецепторов (как, например, могут быть сопоставлены в астрономии оптическое и радиоизображение некоторого космического объекта) и свойств среды. Необходимо знание целеполагания самоорганизующейся системы¹². То, что восприятие существует при условии активного формирования самого «поля восприятия», т. е. при активном конституировании тех элементов внешних воздействий, из которых создается «картинка», а сам акт восприятия является целостной интегральной реакцией живого организма, включающего и целеполагание, — это важнейшие биологические факторы, проявляющиеся в более сложной форме и на всех дальнейших этапах эволюции. В свете даже этих фактов вышеприведенное мнение, что любое «зрячее» существо «увидит» примерно то же, что и другие существа «с глазами», представляется весьма сомнительным.

Высшей формой отражения является сознательная деятель-

¹² G. Pask. Progress of Cybernetics, vol. 1. London, 1969, p. 40.

ность человека как социального существа. В плане механизма отражения здесь появляется качественное отличие от «квазисигнального», реактивного отражения «неразумных» организмов. Для сознания человека характерна способность к отражению отражения. Процесс этот происходит в виде активного оперирования идеальными образами сознания. Идеальные образы сознания по самой «фактуре» не могут быть тождественны отражаемому ими объектам материального мира. Механизм высшего отражения, по-видимому, требует и коммуникационного хранения «внешней» информации в виде наличия «овеществленной» структуры «знаков».

Важно подчеркнуть, что механизм высшего отражения неразрывно связан с конкретной эволюцией материальной основы, на которой он вырастает, поэтому он «отягощен» предыдущим биогенезом. В то же время специфика идеального не сводится к свойствам физиологического материального субстрата, не может быть описана только им. Идеальный образ — это продукт интегральной деятельности, не только биологической, физиологической, но в первую очередь социальной. Сознательный познавательный процесс является итогом, обобщением социально обусловленной практической деятельности субъекта, а не абстрактным «инструментом», данным для «разглядывания» природы «самой по себе». Практическая деятельность является фундаментом, базисом, определяющим по существу и организующим по форме познавательный процесс.

Только в материально-орудийной деятельности человек непосредственно соприкасается с материальным миром. Вещи внешнего мира поэтому непосредственно даны субъекту во взаимодействии материальных процессов, которые вызваны субъектом в его деятельности. Именно поэтому данный человеку мир — это мир измененный, преобразованный, осваиваемый им, — мир «очеловеченный». Вне практической освоенности, вне взаимодействия с природой через практическую деятельность вопрос о действительности, как подчеркивал К. Маркс, «есть чисто *схоластический* вопрос»¹³. Единственным способом «видения действительности» является ее видение «через призму практики». В этом плане активная деятельность является тем единственным способом познания мира, который дан субъекту, и поэтому естественным «ограничением», аналогичным ограничениям, связанным с невозможностью выхода за «свою» самоорганизованную среду у живых организмов.

Это положение не следует смешивать с вопросом о том, может ли субъект в своем познании выходить за «пределы» освоенной действительности, делать выводы о еще не вступивших в сферу познания областях. Это уже другая проблема, тесно связанная с проблемой экстраполяции и «экстраполируемости»

¹³ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 3, с. 2.

знания в рамках принятой картины мира, на основе уже практически и теоретически освоенного, обобщенного. В частности в рамках специальных естественнонаучных картин мира эта проблема решается в связи с требованиями логико-методологического порядка, вытекающими из нормативов научного знания (универсальность, непротиворечивость, «непрерывность» и т. п.).

Сторонники рассматриваемой концепции в проблеме связи с внеземными цивилизациями часто ссылаются на положение об однородности физических законов во Вселенной для любого субъекта познания. Но однородность или универсальность мы можем понимать лишь в том смысле, что *человеческий* субъект познания, оказавшись в «другом» участке Вселенной, скорее всего обнаружит там, с помощью своих «человеческих» средств познания, действие примерно таких же физических закономерностей, какие он обнаружил и изучил на Земле.

Познание человечества безгранично, так как практическая деятельность вовлекает в сферу познания все большее количество связей и отношений материального мира, который диалектически неисчерпаем. Но это — связи и отношения, определяемые и выделяемые всем непрерывным конкретно-историческим ходом развития общества, в том числе его конкретными социальными целями. В этом смысле В. И. Ленин отмечал, что «и мир явлений и мир в себе суть моменты познания природы человеком, ступени, *изменения* или углубления (познания)»¹⁴. Это ленинское положение имеет чрезвычайно важное значение для рассматриваемого вопроса, поскольку в нем подчеркивается «совпадение» объекта реальности и объекта познания в рамках познавательных возможностей субъекта и невозможность артикуляции «свойств» объекта «самого по себе».

Особенно ярко направленный ценностно-целесообразный выбор свойств познаваемого объекта проявляется в нашу эпоху, в период научно-технической революции. Постановка конкретных общечеловеческих целей (освоение космоса, сохранение окружающей среды и др.) ведет к интеграции научного знания, переформированию самой содержательной структуры научных дисциплин, которые раньше были несколько «отчуждены» от предмета практического действия. Современные тенденции в развитии науки отчетливо показывают неизбежность превращения ее в элемент целесообразной деятельности человечества. Это путь к наиболее глубокой связи науки с производством и к более всестороннему и конкретному изучению объектов научного знания как целеположенного объекта человеческой деятельности. Только таким образом и можно синтезировать в знании диалектический «природный» объект, рассматривая его стороны в связи с их практическим выделением.

В связи с конкретным историческим характером познава-

¹⁴ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, с. 138.

тельной деятельности следует говорить и о «степени объективности» научных сведений об окружающем нас мире. Из представления о некой абсолютной объективности научных данных в проблеме внеземных цивилизаций часто делается вывод о тождественности научных истин, получаемых разными цивилизациями на достаточно высоком уровне их развития. В действительности диалектика понятия «объективность» требует каждый раз конкретного соотнесения содержания наших знаний с соответствующим историческим этапом познавательной деятельности и соответствующей системой социальной деятельности определенного субъекта познания и деятельности.

Другой вопрос, что развитие человечества и, по-видимому, любой цивилизации, протекает как непрерывный, исторически преемственный процесс. В этом плане «практика» последующих этапов неразрывно связана с уже достигнутыми и прошлыми результатами. Поэтому мы имеем право говорить о процессе уточнения и изменения знания в рамках исторически единого процесса, в приближении знания к новым уровням производительного процесса. Практическая деятельность и познавательная деятельность становятся шире и глубже по отношению к предыдущим этапам и, в то же время, вырастают из предыдущего, являются *развитием* предыдущего. Поэтому в рамках единого процесса мы и можем обосновывать мысль о все большей объективности знания. Но это не приближение к метафизической «объективности» безотносительно к процессу познания.

Так же, как на уровне живых организмов бессмысленна постановка вопроса о «лучших» и «худших» организациях разных систем, так и на уровне «цивилизаций» нет смысла в утверждениях о других «разумных» системах как о находящихся на «таком же» или «более высоком» уровне развития. Любой вариант направленной целесообразной деятельности может быть сравним по «уровню развития» только с «самим собой» в плане его развития и эволюции.

В процессе своей деятельности субъект познания членит мир внешних взаимодействий, дробя его на «вещи», «свойства», «отношения», исходя, во-первых, из рецепторно-сигнального членения мира, которое формируется в процессе биогенеза. Эти чувственные образы мира играют большую роль и в развитой познавательной деятельности, формируя, в частности, «наглядный образ», играющий важную роль в научном познании. Они образуют как бы нижний этаж иерархии, на основе которого создаются более сложные познавательные образы мира. Сконструированные чувственным восприятием объекты внешнего мира продолжают как бы «уточнять свои контуры» в процессе практической деятельности. Это членение мира следует рассматривать как непрерывный исторический процесс, который идет в рамках организации субъекта в широком смысле слова,— как «биологического устройства» и социально-деятельной системы.

Результатом познания и является субъективный образ действительности.

Разумеется, подобное отделение «чувственного членения» и членения действительности в процессе деятельности можно совершать только в плане логического анализа. По существу же это стороны непрерывно идущего «слитного» процесса. Так, акт чувственного восприятия, перцепция на уровне человеческого организма, зависит от «предварительной» социально-ценностной ориентировки, которая является основой селекции и классификации свойств внешнего объекта и, в частности, определяет во многом систему выбора сетки «тождество — различие» при сопоставлении наблюдаемых феноменов действительности.

Вопрос о совпадении картин мира у разных субъектов познавательной деятельности не может быть решен на основании тезиса об «однородности комплекса физико-астрономических закономерностей» в наблюдаемой части Вселенной. Познавательные картины мира могут совпасть лишь при «совпадении» путей целенаправленной деятельности. А эта деятельность не определяется одними лишь «внешними» свойствами объектов. Значит, мы не можем говорить об общности объекта познания у произвольно взятых цивилизаций с их собственными индивидуальными путями развития.

«Если рассматривать отношение субъекта к объекту в логике,— писал В. И. Ленин,— то надо взять во внимание и общие посылки бытия *конкретного субъекта (= жизнь человека)* в объективной обстановке»¹⁵. Встает альтернатива,— либо мы признаем, что конкретная, исторически развивающаяся практика каждой космической цивилизации имеет свои специфические черты, либо мы должны указать на какой-то механизм, закон, «запрет», согласно которому иные цивилизации должны повторять конкретно-«человеческий» путь со всеми подробностями биологического и социального плана. На наш взгляд, такое допущение не обосновано; на самом деле надежда на «случайное» совпадение процессов био- и социогенеза нереальна.

Тем не менее содержание познания любой цивилизации в контексте ее практической и познавательной деятельности объективно и может быть *относительно этой деятельности* объективным и «для нас». Оно *относительно* объективно как «правильное», адекватное отражение «той» цивилизацией системы «ее» взаимодействия с объективной реальностью. Но это знание не может быть вырвано из контекста пракческо-познавательной деятельности (или быть познанной «другими» субъектами познания без знания этого контекста) и рассматриваться как «знание само по себе». Любые попытки «выявить» путем теоретических рассуждений, что именно в знаниях других цивилизаций окажется «правильным», адекватным «для всех» ци-

¹⁵ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, с. 184.

визаций, не может, по-видимому, привести ни к чему, кроме весьма общих утверждений типа, что любой разумный субъект познания должен, скажем, противопоставлять себя, свое сознание объективной реальности и т. п. Такие выводы, к сожалению, ничего не дают для проблемы установления «канала связи» между внеземными цивилизациями. Поэтому постановка вопроса о том, каковы должны быть «инварианты» различных мыслимых вариантов познавательной деятельности, будет всегда оставаться слишком абстрактной и даже схоластической, пока мы не узнаем на практике эти другие варианты.

Весьма важно для обсуждаемой проблемы и положение о том, что практическая деятельность относительна — как взаимодействие «конечного» (исторически определенной деятельности субъекта) и «бесконечного» (материального мира).

Отсюда следует «конечный, преходящий, относительный, условный характер человеческого познания...»¹⁶ Только в рамках определенной системы деятельности конкретного субъекта данные познания обретают объективность.

Объект реальности, вычлененный в процессе деятельности (он же объект познания в рамках этого конкретного субъекта деятельности), — это выделенная «часть» действительности. «Сам по себе» этот выделенный объект безусловно существует как «часть» взаимосвязей материального мира. Мы осознаем процесс нашей деятельности «изнутри», не зная эталона для отделения материального контекста нашей деятельности от «незатронутой» деятельностью действительности. Эта «внешняя» часть может рассматриваться лишь в плане абстракции, как объективная реальность, но не более конкретно. Слово «часть» нами ставится в кавычки, чтобы подчеркнуть, что фрагмент освоенной действительности (как и другие объекты — «вещи») не может быть «отделяемым кусочком» материального мира.

Даже в абстракции, «сам по себе», материальный контекст является только предпосылкой, условием для практической деятельности. Практическую деятельность нельзя сводить к манипуляциям с «противостоящими» субъекту «внешними» объектами, жестко определенные свойства которых и определяют все закономерности развертывания практики¹⁷.

ОТНОШЕНИЕ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ К ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ.

ОБЩАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ КАРТИНЫ МИРА

Научное знание находится в очень сложных, опосредствованных связях с действительностью. Известно, что нельзя воспринимать науку как результат непосредственного общения, генерализации

¹⁶ Там же, с. 189.

¹⁷ Б. А. Воронович. Философский анализ структуры практики. М., 1972.

непосредственного экспериментирования с объектами реальности¹⁸.

Объектом реальности мы называем фрагмент материального мира, вступивший в отношения с субъектом в его деятельности. В «онтологической» трактовке такой объект должен пониматься более «широко», чем любая форма его синтеза в конечном знании,— поэтому такой объект есть «вся» объективная реальность. В заданном процессе познания, при рассмотрении «изнутри» его, понятие объекта конкретизируется как та сторона объективной реальности, которая стоит «за» уже вычлененным в форме «вещи» конкретным объектом познания. Следовательно, объект реальности в гносеологическом аспекте — это «являющаяся» субъекту сторона («срез» объективной реальности), отражаемая в познавательном процессе и включенная в сетку понятий сознания, членившего разные стороны действительности как конкретные «разные», «отделенные» вещи. Объект реальности здесь — «проецируемый» на объективную реальность объект познания.

Познавательный процесс формирует объекты познания, члены соответствующим образом действительность. Объекты познания выступают как «расчлененные» в общей познавательной картине стороны объективной реальности, вступившие во взаимодействие с субъектом (и в общем случае рассматриваемые как «отделенные» от субъекта). Эти объекты в процессе их исследования преобразуются в объекты все более точного знания.

Кроме того, мы будем употреблять термин предмет научного знания, имея в виду те «вещи» в системе научного знания, которые включены в сетку специальных логико-математических структур и понятий. Предметы знания — это по сути абстрактные объекты, идеальные по способу существования¹⁹.

Предмет знания должен быть так обработан и препарирован, чтобы он входил в имеющуюся систему других предметов знания, с которыми наука обращается как с некоторыми «вещами», вступающими во взаимоотношения друг с другом по особым логическим законам мышления. Этот «вещный» характер предметов знания тесно связан с наглядными образами, присутствующими на всех уровнях научной абстракции. Как уже отмечалось, конкретный «вид» наглядного образа определяется очень глубинными процессами, как биологическими, так и социальными. Наглядность проявляется в двух важных аспектах. Во-первых, она определяет в некотором смысле водораздел между непосредственно наблюдаемым и «ненаблюдаемым». Непосредственно наблюдаемое связано с определенным рецеп-

¹⁸ В. С. Степин, Л. М. Томильчик. Практическая природа познания и методологические проблемы современной физики. Минск, 1970.

¹⁹ Д. П. Горский. Вопросы абстракции и образование понятий. М., 1961; В. А. Смирнов. Модели языка и модели мира. Уровни знания и этапы процесса познания.— В кн.: Проблемы логики научного познания. М., 1965.

торным устройством (биогенез) плюс «обнаруживаемое» в ходе предыдущей практики. В этом плане непосредственно наблюдаемое может быть сведено к чувственно представимым объектам. Ненаблюдаемое занимает особое положение, так как оно не сводимо непосредственно к таким образам, а является уже теоретическим конструктом науки. С другой стороны, человеческое мышление, как уже отмечено, обладает таким свойством, что и с абстрактными объектами оно может оперировать только как с «вещами», хотя и вещами идеальными, вступающими в своеобразные взаимоотношения одна с другой. И на верхних этажах, уровнях абстракции субъект оперирует с «вещно-наглядными» образами, хотя по содержанию они отражают непосредственно не наблюдаемые и чувственно не воспринимаемые объекты. Свойство наглядности, определяемое конкретным устройством субъекта, играет принципиальную роль в содержательном построении научного знания²⁰.

Иначе формируется предмет эмпирического научного знания. Он образуется на основе уже имеющихся теоретических схем и в виде определенным способом сконструированного эксперимента «накладывается» на наблюдаемые явления с последующей «селективной» интерпретацией, т. е. выделением тех сторон результата, который соответствует системе сформированных теоретических объектов. Несмотря на то, что эксперимент в широком смысле является частью практического взаимодействия с природой и в нем используется инструментарий научной практики,— он является специфически организованной частью этой практики, преломленной через всю систему научного знания.

Содержательная структура науки находится в сложных отношениях, с одной стороны, с эмпирическими объектами (потому что она не только препарирует заранее эмпирический уровень, но и является обобщением экспериментальной деятельности); с другой стороны, она связана с практической деятельностью субъекта вообще, через картину мира, которая дает науке материал для формирования предмета научного знания и, в свою очередь, испытывает обратное воздействие (под влиянием внутренних процессов в системе научного знания изменяется система фундаментальных понятий, а это неизбежно приводит к изменениям в картине мира)²¹. Особенно важна связь содержательной структуры науки с теоретической, «предваряющей» разработкой и «накладыванием» на результат сетки выработанных представлений для такой науки, как астрономия, где эмпирические объекты представлены в наблюдении. Здесь повышает «уровень зависимости» предметов исследования не только от структуры предметов знания в общей картине мира, но и от

²⁰ В. П. Бранский. Философское значение проблемы наглядности в современной физике. Л., 1962.

²¹ В. С. Степин. Проблемы структуры и генезиса научной теории.— В кн.: Философия, методология, наука. М., 1972, с. 179—184.

исторически изменяющихся предметов других естественнонаучных дисциплин (в первую очередь физики). Наиболее «высоким» уровнем конкретно-научного знания является слой математических моделей, особенно аксиоматических, в которых наиболее четко отражается схема самой познавательной деятельности субъекта познания.

Изложенную схему связи научных представлений с действительностью удобно излагать в терминах целостных познавательных картин мира²². Частично мы уже использовали это понятие. Следует, по-видимому, различать специальные естественнонаучные картины мира и то, что можно назвать «общей картиной мира». По нашему мнению, одним из принципиальных моментов различия между специальными и общей картинами мира является то, что последняя должна включать и представление самого субъекта о сущности его познавательной деятельности (рефлексию над познавательным процессом). Тогда общая картина мира предстанет как отраженный в общественном сознании «интегральный» образ деятельности, включающий и отражение нормативов социальных отношений, культуры, мировоззрения на данном этапе исторического развития. В то же время эта картина является и обобщением данных, поступающих из специальных научных картин (естественнонаучное знание), и должна быть, в идеале, «сгармонизирована» и с ними. В общую картину мира, возможно, следует включить и то, что некоторыми авторами иногда именуется (в разных контекстах) «философской картиной мира». Специальные научные картины мира построены на концептуальных системах отдельных научных дисциплин, содержащих системную «модель мира», построенную из «предметов» этого специального научного знания (например, «физический мир», «астрономическая Вселенная»).

Как уже отмечалось, специальная картина мира формирует свои представления и базисные концепты на основе общей картины и может оказывать на общую картину обратное воздействие. Уровень специальных картин можно рассматривать и как «часть» общей картины, но не в плане прямого включения, а (в силу прямой и обратной связи) скорее как специализированный «орган», со своими внутренними автономными закономерностями. В процессе познания «общая» картина в конечном итоге «управляет» уровнем специальных картин. Объект познания представлен в общей картине глубже и полнее за счет всесторонности его охвата и полного учета субъект-объектного отношения. В специальных картинах объект представлен в препарированном, одностороннем виде, но зато это более «подробное» представление отдельных его «свойств».

²² П. С. Дышлевый. Естественнонаучная картина мира как форма синтеза знания.— В кн.: Синтез современного научного знания. М., 1973, с. 94—115.

Из сказанного явствует, что если мы будем игнорировать фундаментальную связь «общая картина→специальная картина мира», гиперболизировать автономию научного знания, то придем либо к наивному реализму, либо к разновидностям взглядов позитивистского толка. Естественно, что при отрицании ведущей познавательной роли общей картины мира должна отбрасываться и вся изложенная выше схема связи науки с объектами действительности, которая заменяется либо утверждением о бессмысленности и «ненаучности» вопроса об отношении науки к действительности (позитивизм), либо такой схемой познавательного процесса, которая игнорирует его практическую природу. Многие ошибочные высказывания относительно установления контактов с внеземными цивилизациями прямо обусловлены такими заблуждениями.

Если же мы будем игнорировать «обратную связь» — «специальная картина→общая картина мира» или же отрицать специфику уровня специальных естественнонаучных картин, то это может привести к неправильным выводам о нормативном влиянии общей познавательной картины *непосредственно* на предметы специального научного знания, т. е. к системам спекулятивно-натурфилософского плана, — попыткам «вывода» конкретных естественнонаучных данных из «общефилософских» или просто «здравых» соображений.

Общая и специальные картины мира, изменяющиеся во времени, предстают как «опережающее отражение практики в сознании»²³. В каждой из таких картин мира «проигрываются» варианты «прогнозов» практической деятельности. В специальных естественнонаучных картинах мира это прогнозирование предметных отношений будущей практики, а в общей картине мира — опережающее отражение системы социальных отношений, культуры, мировоззрения и самой познавательной деятельности.

Итак, научное знание о природных объектах является идеализированным, обобщенным образом этих объектов, выделенных практикой и пропущенных через всю систему познавательных процедур. В широком смысле это изофункциональная идеальная модель объектов познания, сформированная способом, который является обобщением способа деятельности субъекта в познавательном процессе.

Поэтому крайне ошибочным является взгляд, в соответствии с которым наглядные образы, абстракты, схемы научного знания можно непосредственно отождествлять с реальными объектами действительности. К сожалению, именно такой взгляд лежит в основе некоторых представлений о связи с внеземными цивилизациями.

²³ В. С. Степин. Научное познание как «опережающее отражение» практики.— В кн.: Практика и познание. М., 1973, с. 206.

Кроме содержательного аспекта научного знания существует и его «овеществленная» форма. В содержательном аспекте предполагается функционирование научного знания в его «носителях», обладающих сознанием и оперирующих идеальными образами, содержание которых они могут передавать друг другу. Но существует и «сам материал» знаковых систем, лишь осознаваемое субъектом значение которых вводит их в систему информационного знания. При рассмотрении проблемы радиосвязи с внеземными цивилизациями можно утверждать, что в распоряжении исследователя будет только такой «материал» знаков-сигналов.

Однако при рассмотрении материала, структуры знака самих по себе мы оказываемся перед той же проблемой, как при рассмотрении «чистого» материального контекста деятельности. Непосредственной связи между самим материалом, вещественной структурой знаков и их содержанием нет. Материал «работает» постольку, поскольку субъект познания видит за материалом и структурой знаковой системы ее «значение» — то содержание, которое, будучи пропущено через всю систему, все этапы познавательной деятельности, позволяет установить связь «конечных продуктов» знания — в виде материализованных структур знаков — с действительностью²⁴.

Материал знака, рассматриваемый как материальная «вещь», как материальный объект сам по себе, вне системы социальных и культурных отношений общества, не несет информационного смысла, в нем нельзя отыскать «специальных» материальных характеристик, которые свидетельствовали хотя бы об «искусственности» его происхождения. Определить, является ли пришедшее к нам электромагнитное излучение «сигналом», невозможно без дополнительных и (по необходимости) крайне антропоморфистских предположений.

Таким образом, «сигнал», — такая же «чувственно-сверхчувственная» вещь, по выражению К. Маркса, как и «товар»²⁵, и информационные свойства сигнала не могут быть указаны на основе чисто физических характеристик, так же как комплексы «физически» измеримых параметров не могут выявить «стоимостного значения» самого «материального тела» продукта труда²⁶.

Наконец, и в формально-логическом плане изолированная знаковая система (т. е. такой объект, о котором мы уже знаем,

²⁴ И. С. Нарский. Проблема значения «значения» в теории познания. — В кн. Проблема знака и значения. М., 1969; с. 5; Е. К. Войшвилло. Некоторые вопросы теории значения с точки зрения логики и гносеологии. — Там же, с. 132.

²⁵ См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 23, с. 82.

²⁶ И. В. Бычко. Познание и свобода. М., 1969, с. 40.

что это *знаки*, по этим наше знание ограничивается) не может «сама» продемонстрировать своего значения без обращения к содержательной интерпретации ее, выходу в более широкую систему.

В конечном итоге необходимо выходить за рамки любых знаковых систем и обращаться к содержательному истолкованию всей деятельности субъекта, производящего знаковые системы, чтобы установить соотношение «знак — объект» (если, конечно, отказаться от тривиального предположения о тождестве «исследующего» и «производящего» субъектов).

В рамках радиоастрономического аспекта межзвездной связи проблема взаимопонимания зачастую вообще не анализируется, а сводится к задаче дешифровки. Это фактически продолжение концепции существования «знаний вообще», перенесенной на уровень «универсальности» структур знаковой системы, и недооценка условий, необходимых для установления смыслового, информационного контакта как между индивидами человеческого общества, так и отдельными социальными коллективами, разделенными в силу временных или пространственных причин (древние цивилизации и культуры, контакт с изолированными сообществами людей). Известны трудности такого взаимопонимания, возникающие даже при наличии глубокой биологической, исторической и трудовой общности, при наличии непосредственного материального взаимодействия, при наличии знания или реальной возможности получить знание о контексте практической деятельности изучаемого коллектива. Задача же дешифровки — это скорее чисто техническая задача на уровне уже имеющегося глубокого знания о структуре, организации и содержании изучаемого материала.

По существу, раскрывая информационное содержание знаковых систем, субъект (в данном случае это индивидуальный субъект) должен пробежать все этапы связи «действительность — знак» в познавательном процессе. Даже в самом схематичном изложении это «мысленное пробегание» должно включать такие моменты, как знание обозначения — соответствия знака и референта — мысленного образа-понятия, «вещи», которую обозначает знак; знание значения знака, определяемого всей конкретной знаковой системой, к которой принадлежит знак. Это значение определяется совокупностью всех отношений, существующих в знаковой системе. Поэтому, в частности, невозможно говорить об изолированном значении знака без огнесения его к системе, тем более сравнивать отдельные знаки разных знаковых систем без знания этих систем. Для понимания смысла знаков недостаточно знания «словаря» значений и их логических связей в системе. Смысл в его актуальном, практическом значении определяется многократным использованием знака в различных контекстах, отражающих различные практические ситуации.

Наконец, поскольку значение, смысл осознаются или выражаются в идеальной форме, они неизбежно должны быть пропущены через индивидуальное сознание корреспондентов в коммуникационной цепи. Необходимо соответствие обозначаемых референтов в «интерсубъективном» плане, как инвариантов общественного сознания и образа в индивидуальном сознании, т. е. соответствие объекта, выделенного общественным опытом, с индивидуальным опытом чувственно-понятийного отражения. Это соответствие получается за счет предварительного социально-коммуникативного взаимодействия практически деятельных индивидов в едином контексте общественной деятельности. Для отдельной личности это вопрос социального образования и включения в цепь социальных отношений.

В итоге акт понимания знака глубоко диалектичен и несет приметы и черты «всего» познавательного процесса и в историко-генетическом плане и в структурно-организационном. Он не может быть «отделен» от специфики деятельности субъекта — общества. Конечно, в условиях единого субъекта познания, развитого общества, с установившимися коммуникационными каналами, пробегание всех моментов познавательного процесса в акте понимания осуществляется в сокращенном, «снятом» виде. Ряд моментов уже заложен в генетическом опыте. В некоторых ситуациях, например хорошо известных, привычных контекстах, процесс упрощается до почти рефлекторного акта и т. п. Но это не сводит проблему взаимопонимания (даже в случае единого субъекта) к простому «обмену» «очевидными» знаками-понятиями и иконическими знаками (как это полагают некоторые исследователи проблемы внеземных цивилизаций).

Аргументация в пользу принципиальной возможности смысловой связи между различными цивилизациями по радио недостаточно учитывает положение о том, что наши научные представления, понятия и теории, наше видение мира и его закономерностей — все это субъективные образы объективной действительности. Неполно трактуется сторонниками этой концепции субъект-объектное отношение в познании. Вопрос о совпадении систем научных знаний, познавательных картин различных субъектов познания — это не созерцательная логическая проблема сравнения знаковых продуктов этих цивилизаций, а вопрос о совпадении путей исторического развития. Сам акт вскрытия смысла последовательности знаков невозможен на основе одной лишь материальной структуры знакового сообщения, даже если она каким-то образом предварительно выделена.

ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ
ВОЗМОЖНОСТИ ОБМЕНА СМЫСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ
МЕЖДУ РАЗУМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ
ВО ВСЕЛЕННОЙ

На наш взгляд, попытка доказательства тезиса о возможности обмена смысловой информацией между разумными цивилизациями во Вселенной посредством радиосвязи жестко связана с концепцией, которая, в частности, приписывает конкретным состояниям и формам материи атрибутивный характер, отождествляет «объективность», как объективную истинность знания в *системе* определенной познавательной деятельности, с объективностью существования материальных объектов в плане основного вопроса философии. Это до сих пор встречающееся смешение понятий связано с отождествлением философского понятия материи и естественнонаучных представлений о ее строении и приводит в конечном итоге к тому, что «инварианты» научного знания выносятся за пределы субъективного образа действительности, за пределы социальной практики и приписываются «в том же виде» «действительности вообще». Тогда любая конкретная, «инвариантная» черта естественнонаучной картины мира «должна стать» всеобщей необходимой чертой «мира вообще», «для всей» материи и, если рассуждать последовательно, быть обязательным внешним эталоном для других разумных обществ во Вселенной.

Отказ же от концепций такого рода, по-видимому, приводит к выводу, что смысловой обмен «возможен» лишь с «крайне» антропоморфными цивилизациями, если нас не связывает с ними контекст единой деятельности. Тогда возникает вопрос о правдоподобности мнения о существовании таких цивилизаций.

Внеземная цивилизация как предмет изучения в рамках задачи радиоастрономической связи определяется в основном самой постановкой задачи, т. е. заранее предполагаемой возможностью установления такой связи (исторически сложившееся впечатление, что эта задача вытекает из научных представлений о «природе» внеземных цивилизаций, следует считать иллюзорным). Формулировка задачи сводится к условно-логической посылке: *если бы* были внеземные цивилизации, с которыми можно связаться с помощью радиосредств, то для осуществления такой межзвездной связи нужно было бы делать то-то и то-то. Логически условная постановка теоретических задач не противопоказана научному знанию. В рамках теоретического исследования она может дать весьма интересные результаты, хотя ее «реальные» предпосылки фактически и не реализуемы. Можно поэтому вполне согласиться с тем, что следует начать с предположения: где-то существуют такие же общества, как мы, использующие те же законы физики, и оценить возможности связи с ними. Однако такое понимание задачи было фактически

подменено иным тезисом: такие цивилизации *должны* существовать и реально существуют с большой вероятностью, согласно данным *естественных наук*. Этими цивилизациям приписаны «инварианты» социальной деятельности, культуры, конкретные феномены историко-социального плана, просто перенесенные из истории человеческого общества, и делались малообоснованные прогнозы о приметах таких цивилизаций на основе некоторых экстраполяционных рассуждений о «будущем» человечества (сверхэнергетика, замена общества «искусственным разумом»). На основе таких соображений и разрабатывались рекомендации для постановки экспериментов по поиску сигналов внеземных цивилизаций, со всеми скрупулезными подсчетами, а также выдвигалось утверждение об огромном влиянии на жизнь человеческого общества тех научных и социальных рекомендаций, которые будут получены от цивилизаций, уже «намного опередивших» нас в развитии.

Какова же модель рассуждений, которая позволяет по мнению ее авторов дать хотя бы оценку «вероятности» наличия антропоморфных цивилизаций во Вселенной? Каким образом формируется предмет научного знания «внеземная цивилизация», включаемая в конкретную специальную, а именно физическую картину мира?

По-видимому, само предположение о наличии у «другой» цивилизации технических средств *радиосвязи* в аналогичном нашему пониманию виде является достаточно сильным антропоморфным предположением, указывающим на резкую «сингулярность» такого объекта. Ведь техника представляет собой систему взаимосвязанных элементов, в конкретности своей определяемой опять-таки всей историей материальной и познавательной деятельности. Так, если мы говорим о *радио*, мы предполагаем вполне конкретную научную картину мира с соответствующей «метрикой» членения объектов (представления о колебательном, волновом процессе, электромагнитное излучение и т. д.). Мы предполагаем также *определенный* вариант «материальной реализации» в виде исторически развивающейся последовательности форм техники. Короче говоря, мы опять должны прийти к выводу либо о полном совпадении таких цивилизаций, либо должны привлекать концепцию с утверждением атрибутивности конкретных свойств для материи как объективной реальности, что может «заставить» цивилизации идти всегда по жестко детерминированным путям развития в своем научном и техническом прогрессе.

Когда мы говорим об общих свойствах материального мира, то понятия «жизнь» и «разум» должны быть эксплицированы на уровне философских категорий с точки зрения *всеобщего*, атрибутивно закономерного. Это и будет объективное обобщение всего нашего познавательного опыта (в том числе и естественнонаучного), включаемое в мировоззрение. На этом уровне

ассуждений мы можем утверждать, что материя в своем движении, развитии закономерно, неизбежно порождает высокоорганизованные формы, обладающие сознанием, способностью отражению материи. Закономерная способность материи порождать высшие формы является атрибутивным свойством ее. Но закономерность в общепhilosophическом смысле нельзя сводить к закономерностям конкретных физико-химических процессов, тем более что подобная подмена ведет к дальнейшим неверным, а наш взгляд, выводам. Например, считают, что либо конкретное возникновение самоорганизации должно описываться обязательной цепочкой детерминированных физических процессов только ею, либо самоорганизация это «чисто» случайный вероятностно-комбинаторный процесс. Самоорганизующаяся система рассматривается как «физический объект», и предполагается, что ее возникновение и развитие может быть исчерпывающе определено наличием «необходимых» стартовых условий, реды и «вероятностной» цепи физических процессов, приводящих с той или иной «вероятностью» к конкретному конечному результату. Таким образом, в подобных схемах развитие высокоорганизованных живых форм рассматривается как сводимое к закономерностям нижнего уровня физического субстрата — чем нельзя согласиться.

Аналогично рассматривается и вопрос о возникновении и развитии цивилизаций. Следует отметить, что под «цивилизацией» здесь понимают «материальное тело цивилизации», вложенное в специальную картину мира, причем эта физическая модель тождествляется с действительным миром. Поэтому предполагается, что деятельность такой «цивилизации» ограничена схемой закономерностей картины мира. Поскольку возникают трудности с количественной оценкой «вероятностей» возникновения конкретных явлений общественной и технологической деятельности (взятых, напомним, непосредственно из истории развития человеческого общества), то в «трудных местах» постулируется их «необходимость» (т. е. вероятность, равная 1).

Например, считается, что технология неизбежно должна в конечном счете развиваться сходными путями для всех «разумных» обществ и уж, во всяком случае, и история знания и актуальное знание «сверхвысокоразвитых» цивилизаций «включает» наше как знание «космических младенцев» (т. е. «вышестоящие» цивилизации могут передать в межзвездных сообщениях «понятное и нам» и «понять» нас). В итоге мы получаем схему рассуждений, основанную на так называемой «формуле Дрейка». В этой формуле подсчитывается число «цивилизаций» в окружающих нас районах Вселенной на основе предположений о числе планетных объектов (это число по современным предположениям даже в нашей Галактике может быть весьма большим, до 10^{11}), помноженном на «вероятность» «подходящих для возникновения жизни условий» (доля планет, которые мо-

гут попасть в зону соответствующего физического комплекса условий), «вероятность возникновения жизни при подходящих условиях», «вероятность возникновения разума из живого» и т. д.²⁷ Поскольку для задачи поиска внеземных цивилизаций радиоастрономическими методами важно не только число «передающих» цивилизаций, но и их *энерговооруженность* (что дало бы возможность принимать сигналы на Земле от очень далеких объектов, но с большим энергетическим потенциалом), то, «добавляя» к подсчетам по формуле Дрейка соображения о наличии во Вселенной сверхмощных по энергетике цивилизаций, передающих сигналы, можно увеличить число планетных объектов, попадающих в зону земного наблюдения. При трудностях определения отдельных сомножителей формулы им просто приписывается значение близкое 1. Это дает возможность «оптимистам» (так называют себя сторонники концепции возможности установления связи с внеземными цивилизациями) несложным путем всегда получать из формулы Дрейка «значительное число передающих» цивилизаций даже в пределах нашей Галактики.

Конечно, произвольность и неопределенность «оценок» сомножителей формулы Дрейка бросается в глаза, поэтому был высказан ряд критических (хотя и не вполне последовательных) замечаний об условности, «субъективности» предполагаемых оценок²⁸. Однако недостатки схемы не столько в «субъективности» оценок²⁹ отдельных сомножителей из-за неточности нашего знания, а в самих принципах ее построения. Примечательно, что схема рассуждений по «формуле Дрейка» часто воспринимается как достаточно обоснованная, а субъективные вероятности замечаются лишь на уровне рассмотрения отдельных сомножителей формулы (такова была реакция большинства специалистов на Бюраканской конференции). В действительности, учитывая замечания, сделанные выше, вся схема рассуждений, положенная в основу «формулы Дрейка», является гипотезой с недостаточным обоснованием. Более того, по нашему мнению,

²⁷ Подробнее о формуле Дрейка см.: И. С. Шкловский. Проблема внеземных цивилизаций и ее философские аспекты.—«Вопросы философии», 1973, № 2.

²⁸ И. С. Шкловский. Вселенная, жизнь, разум, с. 257.

²⁹ Интерпретация термина «субъективная вероятность» у И. С. Шкловского не вполне точна. Как это следует из выступлений К. Сагана на Бюраканской конференции и особенно из работы Т. Файна (*K. Sagan. T. Fine. Nature of probability statements in discussions of the prevalence of extraterrestrial intelligent life.—Communication with extraterrestrial intelligences. London, 1973, p. 7, 357*), американские представители имели в виду понятие «субъективная вероятность» в духе работ Р. Карнапа, Л. Севиджа. В марксистской литературе соответствующим понятием будет «правдоподобность суждений», под которым понимается степень уверенности в предположении, основанная на объективных подтверждениях. Так что требуется дополнительный анализ для выяснения применимости понятия в данном случае, а также критическое рассмотрение концепции Т. Файна.

такая схема рассуждений представляет неправильный, неадекватный «перенос» в структуру физического знания таких концептов, как сложные самоорганизующиеся объекты, вплоть до «цивилизаций». Но сложные самоорганизующиеся, тем более социальные объекты не могут быть сущностно описаны как только комплекс физико-химических явлений. Действительно, такие объекты с их эволюцией, историей, развитием не «вкладываются» в физическую картину мира. Полное и точное описание таких объектов возможно, по-видимому, в будущем не в рамках «классической» структуры физического знания (т. е. на пути детализации исследования чисто физического субстрата высших форм движения), а при интеграции, сближении специальных естественнонаучных картин и общей картины мира, отмеченной выше тенденции современной науки в период научно-технической революции. Эта тенденция, вероятно, и приведет, в частности, к «социализации» единого объекта научного исследования в плане создания предсказанной К. Марксом единой науки, включающей и социально познающего субъекта.

Пока же при выработке правильного представления о «космической цивилизации» мы должны в полной мере использовать, обобщать «земные» данные по цивилизации как феномена социальных связей и отношений. Поэтому представляются весьма плодотворными исследования в этом направлении, где соответствующее обобщение понятия «космическая цивилизация» проводится на основе адекватных методов изучения социальных явлений³⁰.

Заметим, наконец, еще раз, что «внеземные цивилизации» не являются объектом, включенным в систему практической деятельности субъекта — человеческого общества, и могут быть поэтому в системе знания лишь теоретическим, гипотетическим концептом, а не предметом «эмпирического» изучения.

И. С. Алексеев

ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ В АСТРОНОМИИ

Любая наука — в том числе и астрономия — в процессе своего развития и функционирования имеет дело как с эмпирическими, так и с теоретическими знаниями о существовании отдельных фрагментов изучаемой ею действительности. При обсуждении

³⁰ Э. С. Маркарян. О генезисе человеческой деятельности и культуры. Ереван, 1973.

проблемы существования в космологии нам уже приходилось высказывать утверждение, что такого рода знания могут быть сформулированы двумя способами¹.

Первый способ состоит в простой эмпирической констатации существования того или иного объекта, попавшего в «поле зрения». Такая констатация часто даже не требует предварительной постановки специфического вопроса о существовании. Так бывает, например, при начале формирования эмпирической объектной области той или иной науки, когда ученые работают подобно натуралистам, попавшим в незнакомую местность. Их задача сводится в этом случае к тому, чтобы внимательно смотреть и регистрировать увиденное.

Подобная ситуация имеет место и при использовании новых средств наблюдения, существенно расширяющих сферу «непосредственно наблюдаемого» благодаря повышенной разрешающей способности или чувствительности инструментов; так случилось, например, когда Галилей впервые направил на ночное небо зрительную трубу. Именно этот способ характерен и для современной астрономии, где «стремительное расширение охваченной наблюдениями области Вселенной приводит к открытию все более неожиданных, «экзотических» объектов, качественно отличных от тех, с которыми астрономы были знакомы раньше»². Это стало возможно в первую очередь вследствие революционных изменений в методах изучения Вселенной³.

Второй способ состоит в выдвижении *предположения* о существовании некоторого фрагмента действительности на основе использования тех или иных теоретических соображений, что выглядит как «набрасывание» на Вселенную в ходе ее изучения «сети» понятий, теорий, концепций. Формы такого «набрасывания» могут быть самыми разными, но все их объединяет «упреждение» человеческой мыслью достигнутого уровня эмпирических наблюдательно-экспериментальных знаний, выдвижение некоторых гипотез, необходимых как для объяснения накопленных эмпирических фактов, так и для предсказания новых, еще не полученных результатов экспериментов и наблюдений.

Несколько огрубляя и утрируя ситуацию, можно сказать, что при первом способе «существовать» означает «быть воспринимаемым», а при втором «существовать» — это «быть мыслимым». Заметим сразу, что только что сформулированные положения никоим образом не представляют собой критериев (т. е. достаточных условий) объективного существования, а имеют

¹ И. С. Алексеев. Проблема существования в релятивистской космологии. — В кн.: Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии. Киев, 1965, с. 186.

² В. В. Казютинский. Революция в астрономии. М., 1968, с. 3.

³ И. С. Шкловский. Размышления об астрономии, ее взаимосвязи с физикой и технологией и влиянии на современную культуру. — «Вопросы философии», 1969, № 5, стр. 54.

смысл лишь признаков (необходимых условий) существования фрагментов действительности «для нас». В этой связи полезно будет вспомнить слова Энгельса: «...Если мы не способны заниматься вещами, то они для нас не существуют»⁴.

Применительно к астрономии второй из указанных способов реализуется как в выдвижении гипотез космологического характера (например, гипотеза анизотропной неоднородной Вселенной, выдвинутая и обосновываемая А. Л. Зельмановым⁵), так и в предположениях, носящих более частный характер (например, в дискуссиях о направленности космогонических процессов — от разреженного к плотному или от плотного к разреженному или в гипотезах о механизмах излучения квазаров и т. п.).

Главной целью настоящей статьи будет *методологический* анализ проблемы. Он будет проведен с позиций концепции деятельности, интенсивно развиваемой в последнее время рядом авторов⁶. Как нам представляется, эта концепция позволяет более последовательно вскрыть активную роль субъекта в процессе познания, нежели концепция «субъект — объект — условия познания», развиваемая П. С. Дышлевым⁷ и другими философами, и, тем более, нежели концепция «вещи — свойства — отношения»⁸.

Главным отличием концепции деятельности от концепции «субъект — объект — условия познания» является то, что во второй концепции, как нам кажется, недостаточно учитывается сформированность как субъекта, так и условий познания в деятельности, в то время как первая связывает не только определенность характеристик способностей субъекта и условий познания, но и определенность существования объекта с конкретными характеристиками деятельности, задаваемыми ее средствами⁹.

В общем виде проблема существования формулируется следующим образом: на каком основании выдвигаются те или иные гипотезы о существовании фрагментов действительности? Специфика деятельностного подхода к решению этой проблемы заключается в общем ответе на поставленный вопрос, предопределяющем направления дальнейшей конкретизации этого ответа. Исходным основанием для выдвижения указанных гипотез являются так называемые разрывы в деятельности, проявляющие-

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 556.

⁵ А. Л. Зельманов. Метагалактика и Вселенная. — В кн.: Наука и человечество, 1962. М., 1963, с. 389.

⁶ См., например: В. С. Степин, Л. М. Томильчик. Практическая природа познания и методологические проблемы современной физики. Минск, 1970.

⁷ П. С. Дышлевый. Понятие «физической реальности» в современной физике. — В кн.: Гносеологические аспекты измерений. Киев, 1968, с. 49—52.

⁸ А. И. Уемов. Вещи, свойства и отношения. М., 1963; Л. Г. Антипенко. Проблема физической реальности. М., 1973.

⁹ И. С. Алексеев. Проблема реальности в физике. — В кн.: Современная физика и проблемы марксистско-ленинской теории познания. М., 1972, с. 68.

ся в невозможности достижения желаемых результатов при помощи старых привычных средств — как вещных (приборов), так и понятийных (теорий). Для ликвидации таких разрывов и выдвигаются гипотезы о существовании новых фрагментов действительности, которые, в случае их успеха, пополняют арсенал теоретических средств и обеспечивают получение результатов, которые не могли быть получены без их помощи. Эти средства обеспечивают также возможность объяснения эмпирических фактов, недостижимую старыми средствами, а также открывают пути для предсказания новых фактов, направляя тем самым экспериментальные исследования.

Типичным примером подобных ситуаций разрыва в познавательной деятельности являются ситуации, на которые обратил внимание В. А. Амбарцумян¹⁰. Осуществляя эксперименты, направленные определенными теоретическими средствами, мы как бы задаем природе вполне определенные вопросы, самая определенность которых есть не что иное, как желание «втиснуть» возможные ответы в рамки определенных теоретических положений, связанных с представлениями о существовании вполне определенных фрагментов действительности. Однако, как отмечает В. А. Амбарцумян, при осуществлении экспериментов очень часто возникает гораздо больше новых вопросов, поставленных как бы самой природой, нежели получается ответов на заданные нами вопросы. С точки зрения концепции деятельности эти новые вопросы имеют общий характер: во-первых, в каком пункте старые средства «не срабатывают», не обеспечивая ожидаемого типа ответа, а во-вторых, при помощи каких новых средств (в частности, при помощи каких предположений о существовании новых объектов) неожиданность ответа может быть ликвидирована и заменена известной «предусмотренностью».

Если в отношении первого аспекта общих вопросов — в выявлении пунктов недостаточности старых средств — еще можно надеяться получить определенные ответы, применяя методологические средства к анализу ситуаций разрыва некоторым общим для всех ситуаций способом, то в отношении второго аспекта — поисков предположений о существовании новых объектов, — по-видимому, нет никаких оснований ожидать нахождения общих эвристических методов ликвидации ситуаций разрыва, которые бы позволили перейти к новым теоретическим средствам. По крайней мере, на современном уровне развития методологии науки такие общие методы отсутствуют, и ликви-

¹⁰ В. А. Амбарцумян. Современное естествознание и философия. — В кн.: Философия и современное естествознание. Материалы к XIV Международному Венскому конгрессу, представленные философами Советского Союза. Секция VII — Философия природы, вып. I. М., 1968, с. 12--13.

дация ситуации разрыва каждый раз осуществляется с помощью *искусства* оперирования понятиями, путем творческого мышления, а не путем применения стандартных научных методов.

Но независимо от способа преодоления ситуации разрыва в познавательной деятельности можно утверждать, что предположения о существовании фрагментов действительности, ранее не известных, которые позволяют объяснять уже известные эмпирические факты и предсказывать новые, имеют не абсолютный характер, а относятся к конкретной познавательной ситуации. Поэтому в новых ситуациях разрыва эти представления о реальности могут оказаться такими же неадекватными, какими были те представления, которым они пришли на смену. Такая конкретизация известного положения марксистской философии об относительности и конкретности истины показывает, таким образом, что существование или несуществование тех или иных фрагментов действительности является относительным к определенному уровню развития деятельности — как материально-практической, так и идеально-теоретической¹¹.

Методологический анализ процесса получения знаний о существовании позволяет вскрыть конкретные механизмы построения научной картины реальности. Естественно поставить вопрос, имеет ли в этом отношении астрономия свою собственную специфику или процесс получения знаний о существовании протекает в ней так же, как и в других науках, например в физике.

АСТРОНОМИЯ КАК НАУКА

Долгий исторический путь развития астрономии, древнейшей точной науки о природе, наложил неизгладимый отпечаток на ее современное состояние, в значительной мере обусловив то поистине уникальное положение, которое она занимает среди других наук.

Зародившись как наблюдательная наука, основной целью которой было точное определение *видимых положений* небесных тел, она сохраняла верность этой задаче вплоть до середины XIX в. Даже сейчас, когда современная физика все больше превращает астрономию в одну из своих ветвей — астрофизику, в связи с чем задачи и возможности астрономии неизмеримо расширились, ее наблюдательный характер сохранился. До сих пор почти весь эмпирический материал для астрономии (если не считать опытов со спутниками и космическими ракетами) продолжает поставлять не эксперимент, а наблюдение.

¹¹ И. С. Алексеев. Принцип детерминизма и физическая картина реальности. — В кн.: Философия и естествознание. М., 1974, с. 189.

Последнее обстоятельство обусловлено природой объектов, на изучение которых претендует астрономия. Ни теперь, ни в обозримом будущем человечество не в состоянии ни повлиять на протекание астрономических явлений, ни воспроизвести их требуемое количество раз, что необходимо предполагает осуществление экспериментов в собственном смысле этого слова. Поэтому активность субъекта в плане материально-предметной деятельности по освоению объекта, обязательной для более глубокого проникновения в его природу, астрономия реализует лишь путем создания все более разнообразной и изощренной аппаратуры, расширяющей диапазон спектра, в котором возможно наблюдение небесных тел. Иными словами, субъект стремится как можно полнее приспособить свои наблюдательные возможности к проявлениям объекта, в то время как в эксперименте происходит обратное — активное приспособление объекта изучения к наблюдательным возможностям и задачам субъекта.

Несмотря на то, что эти особенности астрономии достаточно общеизвестны, имеет смысл остановиться на них подробнее, специально имея в виду последующее обсуждение специфики постановки и решения проблемы существования в этой науке.

Начнем с рассмотрения соотношения астрономии и астрофизики, которое имеет непосредственное отношение к вопросу о существовании самой астрономии как самостоятельной науки. Вопрос этот заключается в следующем. С одной стороны, если рассуждать логически, то по своему содержанию астрономия должна быть разделом физики, ибо пространственное распределение, движение, строение и развитие небесных тел описываются и объясняются с помощью тех же понятий, что и аналогичные характеристики тел земных, изучение которых является предметом физики. Но, несмотря на убедительность этих доводов, статус астрономии как самостоятельной науки (а не как одного из разделов физики) является историческим фактом.

Представляется, что объяснение суверенности астрономии в первую очередь следует искать в ее истории. Будучи древнейшей наукой о природе, она долгое время являлась наиболее существенным фактором развития науки. Естественно, что столь долгий путь суверенного развития не может закончиться сразу — традиция приписывать изучению небесных тел самостоятельность по сравнению с изучением тел земных продолжает жить и сейчас. Поэтому, хотя суверенность астрономии по отношению к физике, на наш взгляд, и не имеет сейчас убедительного логического обоснования, она все же находит себе историческое оправдание, обладающее своей собственной логикой¹².

¹² И. С. Алексеев. О специфике астрономии как науки.—Ученые записки Тартуского гос. университета. Методологические вопросы физики. II Тарту, 1975.

Наблюдательный характер астрономии относится к числу ее внутринаучных особенностей. Ограниченные возможности предметной деятельности с объектом, обусловленные специфическими масштабами космических тел, приводят к повышению удельного веса гипотетических теоретических конструкций в процессе объяснения фактов и эмпирических закономерностей. Эти конструкции строятся на базе физических представлений, полученных в земных условиях, что связано с весьма далекой экстраполяцией известных физических законов. Тем не менее, многие астрофизики считают, что, например, процессы, происходящие в звездах, не требуют для своего теоретического объяснения выхода за рамки апробированных концепций. Так, Я. Б. Зельдович пишет: «В настоящее время все физические законы, управляющие процессами в звездах, достаточно хорошо известны, и поэтому задача прямого расчета всей последовательности эволюционных изменений звезды хотя и трудна, но в принципе возможна и разрешима...»¹³

Такая стратегия исследований связана с определенной трактовкой принципа единства физической картины мира, который служит методологическим обоснованием возможности экстраполяции земных физических законов на мир космических масштабов. Она неоднократно приносила и приносит ощутимые достижения.

Наряду с этой стратегией, в современной астрономии имеет место другая, которая, также основываясь на принципе единства физической картины мира, явно допускает возможность того, что «каждому уровню материального мира соответствуют свои собственные структурные и эволюционные закономерности»¹⁴. Для объяснения некоторых наблюдаемых фактов сторонники этой стратегии выдвигают гипотезы о существовании объектов, не укладывающихся в современные физические представления (гипотеза о сверхплотном дозвездном веществе В. А. Амбарцумяна и др.). По своему характеру подобного рода гипотезы очень похожи на выдвигаемые в таких случаях физикой — достаточно вспомнить хотя бы гипотезу о существовании нейтрино, сформулированную В. Паули для объяснения особенностей энергетического спектра электронов, испускаемых при бета-распаде ядер. Однако проверка таких объяснительных гипотез в астрономии гораздо сложнее — опять-таки вследствие наблюдательного характера ее эмпирической базы. Гипотетические объекты, существование которых постулируется в физике, должны быть обнаружены в независимых экспериментах, отличных от тех, результаты которых послужили основанием для выдвиже-

¹³ Я. Б. Зельдович. Предисловие. — В кн.: Дж. Уилер, Б. Гаррисон, М. Вакано, К. Торн. Теория гравитации и гравитационный коллапс. М., 1967, с. 5.

¹⁴ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Проблемы методологии естествонаучного поиска. — «Вопросы философии», 1971, № 2, с. 51.

ния гипотезы о существовании. Для нейтринно таковыми были эксперименты Аллена. В астрономии же в лучшем случае можно говорить о возможности объяснения с помощью гипотетических объектов результатов независимых наблюдений, что гораздо сложнее.

Кроме того, дело осложняется тем, что один и тот же эмпирический материал, одни и те же результаты наблюдений зачастую допускают несколько теоретических объяснений, связанных с представлением о существовании разного рода фрагментов действительности, ответственных за наблюдаемые факты. Это имеет место даже в рамках какой-либо одной из упомянутых выше стратегий. Выбор между конкурирующими объяснениями рано или поздно осуществляется — право на действительное существование получает один из претендующих на него *вариантов* возможного бытия, *сконструированных мышлением*.

Итак, можно сказать, что уникальный статус астрономии среди других наук о природе обусловлен, с одной стороны, историческим ходом ее развития, а с другой — спецификой объекта изучения, определяющей ее наблюдательный характер. Это, однако, не приводит к серьезной специфике постановки и решения проблемы существования в астрономии по сравнению с физикой. Ниже на двух примерах из истории астрономии это будет показано более конкретно. Первый пример интересен тем, что смена знаний о способе существования целиком обуславливалась изменением теоретического истолкования одного и того же эмпирического материала. Во втором примере решающим стимулом изменения представлений о существовании были новые наблюдательные данные.

ПТОЛЕМЕЙ, КОПЕРНИК И ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ

Конфликт между системами Птолемея и Коперника¹⁵ по вопросу о структурном способе существования непосредственно окружающей нас области Вселенной с полным правом можно считать классическим в плане проблемы существования. Он является благодарным материалом для методологического анализа как потому, что конкурирующие концепции опирались на одни и те же факты, так и в связи с неожиданным аспектом, в котором спор между Птолемеем и Коперником предстал в свете общей теории относительности.

Освященная временем геоцентрическая система Птолемея в

¹⁵ В обсуждении этого конфликта ниже затрагивается исключительно логико-методологический аспект проблемы существования. Реальный исторический спор Птолемей — Коперник — это особая тема. См. в этой связи: В. Л. Гинзбург. Гелиоцентрическая система и общая теория относительности. — «Вопросы философии», 1973, № 6, с. 122—123.

своих предпосылках апеллировала к обычному житейскому опыту. Суточное вращение земного небосвода вместе с Солнцем, звездами и планетами представляло собой самый что ни на есть непосредственно наблюдаемый факт, естественным объяснением которого казалось представление о центральном положении неподвижной Земли во Вселенной. Затруднения, встретившиеся при объяснении запутанных видимых движений «блуждающих звезд» — планет, были преодолены путем усложнения геоцентрической системы введением эпициклов, деферентов, эксцентриков и эквантов, надлежащим подбором которых достигалось количественное совпадение результатов эмпирических наблюдений и вычислений, проделанных с помощью птолеме-евской теоретической модели.

Коперниканская революция, последствия которой вышли далеко за пределы астрономии, на первый взгляд, выглядела очень просто. Коперник только поменял местами Солнце и Землю, отказав последней в праве быть неподвижным центром мироздания. Обычно этот решающий шаг связывают со значительным упрощением системы мира по сравнению с птолеме-евской¹⁶. Однако это не так.

Большая простота системы Коперника имеет место только в отношении качественного объяснения движения планет, для чего Копернику были нужны всего семь кругов по сравнению с двенадцатью кругами Птолемея. Но, как показывает Т. Кун, обстоятельно исследовавший различные аспекты коперниканской революции, «очевидная экономичность коперниковской системы хотя и была веским аргументом, на которой сторонники новой астрономии редко упускали случай сослаться, в значительной степени является иллюзией... Система семи кругов, представленная в первой книге «О вращении небесных сфер» и во многих современных элементарных изложениях системы Коперника, удивительно экономична, но она не работает. Она не может предсказать положений планет с точностью, сравнимой с той, которую обеспечивала система Птолемея. Ее точность сравнима с точностью упрощенного двенадцатикругового варианта птолеме-евской системы — Коперник дал более экономное качественное описание планетных движений по сравнению с Птолеме-ем. Но, для того чтобы получить достаточно хорошее количественное описание изменения положений планет, Птолемею пришлось усложнить основную двенадцатикруговую систему малыми эпициклами, эксцентриками и эквантами. Чтобы получить сравнимые результаты с помощью своей основной семикруговой системы, Коперник также был вынужден использовать малые эпициклы и эксцентрики. Его полная система в лучшем случае была лишь немногим менее громоздкой, чем пто-

¹⁶ См., например: А. Д. Александров. Истина и заблуждение. — «Вопросы философии», 1967, № 4, с. 69.

лемеевская. Обе использовали свыше тридцати кругов, так что вряд ли можно было предпочесть одну из них другой, как более экономную. Обе эти системы не отличались и по точности. Когда Коперник закончил добавление кругов, его усложненная гелиоцентрическая система давала результаты с такой же точностью, как и птолемеевская, но не приводила к более точным результатам»¹⁷.

Мало того. Оказывается, что на самом деле уточненная система Коперника даже не была в буквальном смысле слова гелиоцентрической! Так, для одного из вариантов объяснения возрастания скорости прохождения Солнцем знаков Зодиака в течение зимы Коперник сделал круговую орбиту Земли эксцентрической, сместив ее центр от Солнца. Центр этого земного эксцентрика вращался по окружности, центр которой в свою очередь обращался вокруг Солнца. Последнее, очевидно, находилось вовсе не в центре земной орбиты¹⁸.

Система Коперника не была ни более простой, ни более точной, чем система Птолемея, и с прагматической точки зрения ей трудно было отдать предпочтение, особенно если учесть, что за спиной Птолемея стояла многовековая традиция. Тем не менее, победа в споре осталась за Коперником — именно его система приобрела статус системы, истинно отражающей действительность.

На каком же основании был сделан исторический выбор между этими системами? Т. Кун считает, что система Коперника обладала большей внутренней гармонией, т. е. эстетическими преимуществами, к числу которых он относит и ее большую качественную простоту¹⁹. Кроме этого, к преимуществам коперниковской системы относится более простое и естественное описание движения внутренних планет (особенно порядка их орбит)²⁰.

Очень важно также то, что в системе Птолемея деференты и эпициклы любой из планет можно было со значительной долей произвола сжимать или расширять — это не оказывало никакого влияния ни на размеры остальных планетных орбит, ни на положение этой планеты по отношению к звездам. Явления у Птолемея не зависели от порядка и размеров планетных орбит, для определения которых требовались дополнительные предположения.

В системе Коперника такой свободы не было — как порядок, так и относительные размеры орбит можно было определить не-

¹⁷ T. S. Kuhn. The Copernican Revolution. Cambridge, 1957, p. 168—169. Ср. также: О. Нейгебауэр. Точные науки в древности, с. 196—197.

¹⁸ А. Паннекук. История астрономии. М., 1966, с. 209—210; Н. Коперник. О вращении небесных сфер. М., 1964, с. 212—214.

¹⁹ T. S. Kuhn. The Copernican Revolution, p. 171, 180.

²⁰ Там же, с. 171—172.

посредственно из наблюдений, не прибегая ни к каким дополнительным предположениям. Любое изменение порядка и размеров одной из орбит влияло на всю систему²¹. Таким образом, система Коперника была гораздо более жесткой и внутренне согласованной, нежели птолемеяевская, в ней было меньше внутреннего произвола.

Важным обстоятельством, обусловившим последующее развитие астрономии в русле коперниковского направления, были новые проблемы, которые встали перед учеными того времени. Например, вращение Земли вокруг своей оси требовало объяснить, почему оно не приводит к тому, что брошенные вверх предметы не падают обратно западнее от того места, где они были брошены, — ведь Земля, поворачиваясь, должна была бы «уйти» из-под них. Ответ на этот вопрос, в конечном счете, привел к формулированию закона инерции²².

Наконец, система Коперника гораздо полнее соответствовала общему духу Ренессанса — социально-экономические факторы, своеобразно преломлявшиеся в сфере религиозно-философских споров, сыграли не последнюю роль в утверждении гелиоцентризма²³.

Все это вместе взятое и привело к тому, что, несмотря на одинаковое соответствие эмпирическим данным наблюдений и одинаковую сложность систем Птолемея и Коперника, взаимное расположение и движение небесных тел постепенно стало существовать «по Копернику», игнорируя очевидность непосредственно данного опыта.

Надо сказать, что при всей своей революционности система Коперника сохраняла такую особенность античной астрономии, как представление о круговых орбитах, по которым только и могли двигаться небесные тела. Именно это, восходящее к Аристотелю, представление о коренном различии совершенных естественных круговых движений небесных тел и насильственных, разнообразных по своим траекториям движений тел земных служило основанием для введения многочисленных эпициклов и деферентов, которые все были окружностями.

Известно, что первым посягнувшим на обязательность круговых орбит небесных тел был Кеплер. Только после введения им эллиптических орбит стало возможно утверждать, что гелиоцентрическая система действительно проще геоцентрической. В связи с этим любопытно заметить, что Галилей, несомненно знавший об эллиптических орбитах Кеплера, ни словом не обмолвился о них в своем «Диалоге», где он в самом начале защищает убеждение, что круг является совершенным не только с математической и эстетической точек зрения, но и с точки

²¹ Там же, с. 174

²² G. Schlesinger. *Methods in Physical Sciences*. London, 1963, p. 33—34.

²³ T. S. Kuhn. *The Copernican Revolution*, p. 122—132, 270—271.

зрения механики, ибо только к круговому движению относятся равномерности и постоянства²⁴. Это свидетельствует о наличии в науке определенных стандартов существования, отказ от которых в пользу других является далеко не простым, а для отдельных личностей иногда даже невозможным делом.

Стандарты эти функционируют внутри науки как регулятивные средства для построения картины реальности, поскольку они допускают существование только определенного сорта. По происхождению и своему существованию они связаны со всем культурно-историческим фоном эпохи, так что их нарушение имеет последствия, далеко выходящие за рамки науки. Так, например, ученые инквизиторы готовы были принять систему Коперника как математическое средство описания и предсказания, но с ее соответствием реальности они примириться не могли по сугубо социальным причинам. Кардинал Беллярmino, например, писал в этой связи: «Если сказать, что предположение о движении Земли и неподвижности Солнца позволяет представить все явления лучше, чем принятие эксцентров и эпициклов, то это будет сказано прекрасно и не влечет за собой никакой опасности. Для математика это вполне достаточно. Но желать утверждать, что Солнце действительно является центром мира и вращается только вокруг себя, не передвигаясь с востока на запад, что Земля стоит на третьем небе и с огромной быстротой вращается вокруг Солнца,— утверждать это очень опасно, не только потому, что это значит возбудить всех философов и теологов-схоластов, это значило бы нанести вред святой вере, представляя положения святого писания ложными»²⁵.

Долгое время после своей победы гелиоцентрическая система не без основания расценивалась как единственно возможное адекватное отображение реальности, не подлежащее никакому сомнению. Именно на ее основе Кеплер сформулировал свои три знаменитых закона, которые в свою очередь стали прологом к ньютоновскому закону всемирного тяготения и объединению земной и небесной механики в единую науку. Однако эйнштейновская общая теория относительности заставила вновь вернуться к рассмотрению коллизии «Коперник — Птолемей», которая оказалась тесно связанной с проблемой интерпретации математического аппарата этой теории, т. е., в конечном счете, с проблемой существования.

²⁴ Г. Галилей. Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой. — Избранные труды, т. 1. М., 1964, с. 117; см. также: Э. Пановский. Галилей: наука и искусство. — В кн.: У истоков классической науки. М., 1968, с. 25—26; И. Б. Погребынский. Об оценке научных открытий. — В кн.: Научное открытие и его восприятие. М., 1971, с. 63—64.

²⁵ См. Б. Г. Кузнецов. Галилео Галилей (Очерк жизни и научного творчества). — В кн.: Г. Галилей. Избранные труды, т. 2. М., 1964, с. 491.

В известной книге «Эволюция физики» А. Эйнштейн и Л. Инфельд ставят и решают вопрос о соотношении систем Коперника и Птолемея следующим образом. «Можем ли мы сформулировать физические законы таким образом, чтобы они были справедливыми для всех систем координат, не только для систем, движущихся прямолинейно и равномерно, но и для систем, движущихся совершенно произвольно по отношению друг к другу? Если это можно сделать, то ... тогда мы будем в состоянии применять законы природы в любой системе координат. Борьба между воззрениями Птолемея и Коперника, столь жесткая в ранние дни науки, стала бы совершенно бессмысленной. Любая система координат могла бы применяться с одинаковым основанием. Два предложения — «Солнце покоится, а Земля движется» и «Солнце движется, а Земля покоится» — означали бы просто два различных соглашения о двух различных системах координат... Это, в самом деле, оказывается возможным!...

Проблема формулирования физических законов для всякой системы координат была разрешена так называемой общей теорией относительности»²⁶.

Вывод о равноправии системы Коперника и Птолемея²⁷ перед лицом общего принципа относительности неоднократно вызывал категорические возражения. Так А. Д. Александров настаивал в одной из своих статей на том, что «в системе Птолемея законы природы проявляются по-другому, чем в системе Коперника, потому что в системе, связанной с Землей, сказывается ее вращение. И так как это заключение основано на несомненных фактах, то никакая теория не может его изменить и сделать борьбу между воззрением Птолемея и Коперника бессмысленной... Различие между системой Коперника и Птолемея не только относительное, но и абсолютное. Ведь, например, факт размывания берега реки (имеется в виду преимущественное размывание реками Северного полушария Земли своего правого берега.— И. А.) существует независимо от того, к какой системе координат относится движение Земли. В этом смысле этот факт абсолютный. Соответственно, само движение Земли абсолютно»²⁸.

Против равноправия систем Коперника и Птолемея выступил также В. А. Фок²⁹.

Отрицание равноправия геоцентрической и гелиоцентрической систем основано на восходящем к Е. Кречману утверждении, что общий принцип относительности (постулат общекова-

²⁶ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. IV. М., 1967, с. 492.

²⁷ Здесь и ниже не проводится, вообще говоря, важное различие между системами отсчета и системами координат, поскольку для обсуждаемой проблемы оно несущественно.

²⁸ А. Д. Александров. Истина и заблуждение.—«Вопросы философии», 1967, № 4, с. 70.

²⁹ В. А. Фок. Система Коперника и система Птолемея в свете общей теории относительности.—В кн.: Николай Коперник. М., 1947, с. 180—186.

риантности) не имеет физического содержания, трактуя только о математической форме законов природы³⁰. Иногда в связи с этим утверждается, что само название «общий принцип относительности» не имеет смысла³¹.

Остановимся на этих возражениях подробнее. Представляется, что А. Д. Александров, апеллирующий к «абсолютным фактам» типа размывания берегов рек для доказательства абсолютности вращения Земли, не прав потому, что он незаметно для себя присоединяет к неоспоримой «абсолютности» (независимости от выбора системы отсчета) этих фактов их интерпретацию в *системе Коперника*, которую также считает абсолютной. Но это как раз и неверно — факт размывания берега реки, продолжая существовать в системе Птолемея, получает там иную интерпретацию — в ней он обусловлен не вращением Земли, а гравитационным полем сложной структуры, эквивалентным по своим проявлениям в мире фактов кориолисовой силе инерции в системе Коперника. Поэтому апелляция к фактам ничего не доказывает, ибо суть проблемы лежит в их теоретической интерпретации, различной в различных системах.

Правда, признавая равноправными интерпретации наблюдаемых фактов в системах Коперника и Птолемея в рамках общей теории относительности, мы сталкиваемся с гораздо более сильной относительностью существования, чем в первоначальном варианте конфликта между этими системами, где относительными были только кинематические характеристики Земли и Солнца. Здесь же придется признать относительно реальными и те гравитационные поля сложной структуры, которые в системе Птолемея считаются вызывающими эффекты, объясняемые в системе Коперника вращением Земли без предположения о существовании таких полей.

Как будто предвидя возражения такого рода, Эйнштейн писал еще в 1918 г.: «Для изучения Солнечной системы никто не станет использовать координатную систему, покоящуюся относительно Земли, поскольку это непрактично. В *принципе* же такая система, согласно общей теории относительности, совершенно равноправна перед всеми другими. Тот факт, что неподвижные звезды будут двигаться с громадными скоростями, если в основу исследования положить такую систему координат, равно как и сложная структура существующего в этой системе гравитационного поля, имеющего, например, соответствующие центробежным силам компоненты, представляет собой возражения не против *допустимости*, а только против целесообразности такого выбора координат»³².

³⁰ См.: В. Паули. Теория относительности. М.—Л., 1947, с. 218; А. Д. Александров. Истина и заблуждение.—«Вопросы философии», 1967, № 4, с. 71.

³¹ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1955, с. 13—15.

³² А. Эйнштейн. Диалог по поводу возражений против теории относительности.— Собрание научных трудов, т. I М., 1965, с. 624.

Еще определеннее высказывается М. Борн: «С точки зрения Эйнштейна, Птолемей и Коперник в одинаковой мере правы. Чье мнение предпочесть — вопрос удобства. Для механики планетной системы, безусловно, удобнее представление Коперника. Но бессмысленно называть гравитационные поля, возникающие при выборе другой системы отсчета, «фиктивными» в противовес «реальным» полям, создаваемым окружающими массами»³³.

Возражая против принципиального равноправия любых систем отсчета в рамках общей теории относительности, В. А. Фок защищает идею о принципиально привилегированном характере так называемой гармонической системы координат, подчеркивая, что только при условии признания такой привилегированности можно доказать преимущество системы Коперника над системой Птолемея³⁴. Таким образом, решение спора между ними ставится в зависимость от признания или отрицания общего принципа относительности в эйнштейновском понимании, который не допускает никакой принципиальной привилегированности какой бы то ни было системы координат.

Безусловно Е. Кречман и В. А. Фок правы в том, что сам по себе общий принцип относительности требует только общеквариантности основных уравнений теории и поэтому не имеет, взятый в отдельности, никакого физического содержания. Но необходимо учесть, что теория носит системный характер — ее основные принципы тесно связаны друг с другом. В частности, благодаря связи с принципом эквивалентности, утверждающим локальную неразличимость и онтологическое равноправие гравитационных и инерционных сил, общий принцип относительности приобретает физическое содержание, которое обеспечивает не только математическое, но и физическое принципиальное равноправие всех систем координат³⁵, так что «нет никаких *физических* оснований для того, чтобы отказаться от прочих систем координат»³⁶.

Правда, надо учесть, что часто под «физическими основаниями» понимаются не только принципиальные (с точки зрения основ теории) соображения, но и соображения, связанные с решением каких-либо конкретных задач. Так гармонические координаты, предлагаемые В. А. Фоком, безусловно предпочтительны для задач островного типа, когда вещество сосредоточено в ограниченной области пространства. Но, как отмечает он сам, «гармонические координаты существуют не для любых распре-

³³ М. Борн. Эйнштейновская теория относительности. М., 1964, с. 414.

³⁴ В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения, с. 12, 446, 474; см. также сноску²⁹, с. 180—181.

³⁵ А. Эйнштейн. Принципиальное содержание общей теории относительности.—Собрание научных трудов, т. I, с. 614; В. Паули. Теория относительности, с. 218.

³⁶ Дж. Андерсон. Принцип относительности и роль координат в физике.—В кн.: Гравитация и относительность. М., 1965, с. 316.

делений масс»³⁷. Они, таким образом, не являются универсально привилегированными, как, например, инерциальные системы в специальной теории относительности. Можно согласиться с Н. В. Мицкевичем, который пишет, что «всякая конкретная задача выделяет некоторую привилегированную систему отсчета, хотя теория в своей общей форме категорически отрицает существование привилегированных систем»³⁸. Надо сказать, что ни Эйнштейн, ни Инфельд *никогда не отрицали* такого рода привилегированности системы Коперника по отношению к системе Птолемея³⁹.

В плане проблемы существования признание «относительной привилегированности» определенного рода систем координат при отказе от принципиальной выделенности какой-либо из них означает следующее. Несмотря на принципиальное равноправие способов существования в любых системах отсчета (в одних системах отсчета существуют одни характеристики реальности, в других — другие), для ряда конкретных задач проще выбирать определенный вид системы отсчета и тем самым определенную картину существования. Система Коперника является именно такой «относительно привилегированной» системой по сравнению с системой Птолемея, ибо подавляющая часть массы системы Солнца и планет (99,86%) сосредоточена в Солнце. Хотя с общей точки зрения вполне допустимо пользование и «относительно непривилегированной» системой Птолемея, в которой будут существовать иные характеристики реальности, нежели в коперниковской, конкретные аргументы в пользу системы Коперника на практике оказываются сильнее, чем общие соображения о ее принципиальном равноправии с птолемеевской.

НАЧАЛО И КОНЕЦ СУЩЕСТВОВАНИЯ РАДИОЗВЕЗД

Представления о природе источников космического радиоизлучения, в рамках которых была выдвинута и похоронена гипотеза о существовании радиозвезд, имеют недолгую, но бурную историю. Если конфликт между системами Коперника и Птолемея разворачивался на базе одного и того же наблюдательного материала, существенно не пополнявшегося с течением времени, то радиоастрономия и по сей день продол-

³⁷ В. А. Фок. Физические принципы теории тяготения Эйнштейна.— В кн.: Пространство и время в современной физике. Киев, 1968, с. 26.

³⁸ Н. В. Мицкевич. Гравитационное поле как вид материи.— В кн.: Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии. Киев, 1965, с. 227. См. также: В. Л. Гинзбург. Гелиоцентрическая система и общая теория относительности.— «Вопросы философии», 1973, № 9, с. 100.

³⁹ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. IV, М., 1967, с. 121, 324, 341, 343; Л. Инфельд. Мои воспоминания об Эйнштейне.— В кн.: Эйнштейн и современная физика. М., 1956, с. 237.

жает расширить область фактов, подлежащих теоретической интерпретации. Этот процесс постоянного пополнения эмпирического материала стимулирует быструю смену теоретических знаний о существовании, воплощающихся в гипотезах о природе источников космического радиоизлучения. На истории одной из этих гипотез — представления о существовании радиозвезд — явственно прослеживаются методологические механизмы полагания гипотетических объектов в качестве существующих и механизмы отказа этим объектам в праве на существование.

Первые радиоволны внеземного происхождения были открыты в 1931 г. американским радиоинженером Янским случайно — в процессе исследования высокочастотных атмосферных помех для радиовещания. Обнаруженные шумы он разбил на три группы, одна из которых была интерпретирована как вызванная местными грозами, другая — далекими грозами, а третья представляла собой постоянный свистящий шум неизвестного происхождения. Поскольку, по первым данным, направление третьей группы шумов постепенно изменялось в течение дня, делая почти полный оборот за 24 часа, Янский выдвинул гипотезу, что источник этих шумов каким-то образом связан с Солнцем, которое, таким образом, стало первым кандидатом в радиозвезды.

Однако последующие, более систематические наблюдения за период свыше года показали, что направление прихода радиозумов оставалось постоянным в пространстве. Поскольку из-за орбитального движения Земли положение Солнца среди звезд постепенно смещается к востоку, то оно не могло быть источником наблюдавшегося Янским космического радиоизлучения⁴⁰.

Ситуация, когда гипотеза о существовании, выдвинутая для объяснения одной группы наблюдений, не может объяснить другую группу наблюдений и поэтому отвергается, является типичной. Как указывал И. С. Шкловский, представления о природе космического излучения «неоднократно и коренным образом менялись. Смены одних представлений другими, как правило, имели своей причиной выяснение новых фактов, что является в свою очередь следствием бурного развития техники и методов радиоастрономии»⁴¹. Существенно, что развитие технических средств познания приводит к получению только эмпирических знаний о существовании — в данном случае о существовании радиоизлучения определенной длины волны, интенсивности и направленности, которое непосредственно регистрируется радиотелескопами. Что же касается теоретических знаний о существовании источников этого радиоизлучения, то они получают

⁴⁰ О. Струве, В. Зебергс. *Астрономия XX века*. М., 1968, с. 95.

⁴¹ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики. — «Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 418.

путем конструирования гипотез, выводы из которых не только обязаны совпадать с уже известными эмпирическими знаниями о существовании, но и предвосхищать еще не известные, направляя будущие наблюдения. Чем более обширная область эмпирического материала объясняется с помощью теоретической гипотезы о существовании, тем более правдоподобной последняя считается. На каком-то этапе она может перестать рассцениваться как гипотеза и стать знанием о реальности «самой по себе», утратив элемент предположительности.

Первой попыткой теоретического объяснения наблюдавшегося Янским радиоизлучения, которая не связывала его с Солнцем, было предположение Уиппла и Гринстейна, согласно которому радиошумы представляют собой тепловое излучение пылевой компоненты межзвездного вещества. Однако эту гипотезу пришлось отбросить, ибо, даже если температуру пылинок принять равной 30°K , что мало правдоподобно, ожидаемое значение интенсивности радиоизлучения оказывается в 10 000 раз меньше действительно наблюдавшегося⁴².

Сравнительно долгое время продержалась гипотеза Ребера, считавшая единственным источником радиоизлучения ионизированный межзвездный газ. Для сравнительно коротких волн она давала хорошее согласие с наблюдениями, но для волн длиной свыше 8 м наблюденная интенсивность снова значительно превышала ожидаемую теоретически. Чтобы согласовать гипотезу Ребера с данными наблюдений, приходилось наделять межзвездный газ совершенно неправдоподобной кинетической температурой⁴³ — порядка $150\,000^{\circ}$.

В этой обстановке в 1946 г. и появилась гипотеза о том, что источниками галактического радиоизлучения являются отдельные звезды. Ее авторы основывались на аналогии с обнаруженным к тому времени аномальным радиоизлучением Солнца в метровом диапазоне во время солнечных вспышек. Казалось естественным распространить способность к спорадическому интенсивному радиоизлучению на остальные звезды, что и было сделано⁴⁴. Возражения против этой гипотезы, выдвинутые Гринстейном, Хинеем и Киноном, показавшими, что, даже если звезды непрерывно радиоизлучают так же, как и Солнце в максимуме своей активности, ослабление их излучения с расстоянием вследствие дилуции (уменьшения плотности излучения в единице объема) должно привести к интенсивности в 10^9 раз меньше наблюдаемой, вскоре померкли перед лицом, казалось, неопровержимых двух аргументов в пользу существования радиозвезд.

⁴² И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.— «Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 419.

⁴³ Там же.

⁴⁴ И. С. Шкловский. О радиоизлучении Галактики.— «Астрономический журнал», 1948, т. 25, вып. 4, с. 242, 245.

Первый из них был наблюдательного характера. В том же 1946 г. Хей, Филлипс и Парсонс обнаружили хаотические флуктуации радиоизлучения, принимаемого в направлении созвездия Лебедя на волне около 5 м. Колебания интенсивности достигали 15% от среднего значения и были короткопериодическими. Поскольку авторы утверждали, что им удалось исключить все возможные земные и солнечные источники, то они сделали вывод, что, во-первых, интерпретация полученных ими результатов должна основываться на факте наличия источника радиоизлучения в направлении Лебедя, а во-вторых, что столь быстрые и интенсивные флуктуации могут быть обусловлены только небольшим числом дискретных источников размером порядка нескольких световых секунд⁴⁵.

Предложенная Хеем, Парсонсом и Филлипсом интерпретация была сразу же принята, и их работа стала расцениваться как открытие дискретных источников радиоизлучения⁴⁶, которые естественно было считать радиозвездами.

Второй аргумент был теоретического характера. В 1949 г. Унзольд показал, что межзвездный газ практически ничего не может внести в наблюдаемую интенсивность космического радиоизлучения. Оно, таким образом, стало считаться обусловленным исключительно дискретными источниками — радиозвездами. Работа Унзольда получила широкую известность.

Правда, впоследствии оказалось, что оба эти аргумента были ошибочными. Наблюдавшиеся Хеем, Парсонсом и Филлипсом флуктуации при более детальном исследовании пришлось отнести за счет возмущений в ионосфере Земли⁴⁷, а Унзольд, как выяснилось, попросту ошибся в расчетах⁴⁸. Тем не менее, тогда дело было сделано, и радиозвезды стали существовать как особый класс космических объектов, ответственных за нетепловую составляющую радиоизлучения, не могущую быть объясненной радиоизлучением межзвездного газа. Производились оценки их массы, размеров, числа и пространственного распределения в Галактике⁴⁹, строились предположения о возможном механизме их излучения⁵⁰.

Любопытно, что альтернативное объяснение механизма космического радиоизлучения, разработка которого в конце концов привела к отказу радиозвездам в праве на существование, пер-

⁴⁵ J. S. Hey, S. T. Parsons, I. W. Phillipps. Fluctuations in cosmic radiation at radio frequencies.— «Nature», 1946, v. 158, N 4007, p. 234.

⁴⁶ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.—«Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 419.

⁴⁷ И. С. Шкловский. Проблема космического радиоизлучения.—«Астрономический журнал», 1953, т. 30, вып. 1, с. 17.

⁴⁸ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.—«Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 420—421.

⁴⁹ И. С. Шкловский. Радиозвезды.—«ДАН СССР», 1951, т. 79, вып. 3, с. 423—426.

⁵⁰ И. С. Шкловский. О природе излучения радиозвезд.—«ДАН СССР», 1952, т. 85, вып. 3, с. 509—512.

воначально возникло в рамках радиозвездной гипотезы. В 1950 г. Альфвен и Герлофсон выдвинули предположение, что излучение радиозвезд представляет собой тормозное излучение электронной компоненты космических лучей в магнитном поле, окружающем звезду. Согласно их точке зрения, радиозвезды не должны испускать очень много света и должны быть расположены внутри облака межзвездного газа, служащего носителем магнитного поля. По их мнению, это объясняло трудности оптического обнаружения астрономических объектов, отождествляемых с радиозвездами⁵¹.

В том же году Киппенхойер, приняв механизм излучения, предложенный Альфвенем и Герлофсоном, отказался от предположения о связи магнитных полей со звездами, указав, что звезды могут рассматриваться в качестве источников радиоизлучения лишь при весьма искусственных предположениях. Поскольку пространственное распределение космического радиоизлучения обнаруживало сходство лишь с общей формой Галактики, а не с распределением ее видимых компонент, он заключил, что радиоизлучение вряд ли можно связывать со звездами или другими галактическими объектами. Магнитные поля, тормозящие электроны космических лучей, было разумнее, по мнению Киппенхойера, считать локализованными в межзвездном пространстве⁵².

В 1951 г. В. Л. Гинзбург, основываясь на этих гипотезах, произвел детальные расчеты магнитотормозного радиоизлучения электронов и сделал вывод, что «в настоящее время помимо обсуждаемого механизма общего галактического радиоизлучения не видно никаких других его источников. Другая возможность сводится по сути дела к отрицанию самого существования источников излучения в межзвездном пространстве и к сведению общего галактического радиоизлучения к радиоизлучению дискретных источников, связанных со звездами»⁵³.

Однако сторонники существования радиозвезд расценивали эту альтернативу по-другому. Поскольку считалось надежно установленным, что межзвездные магнитные поля обязательно связаны с облаками диффузной материи, то на больших расстояниях от галактической плоскости напряженность межзвездных магнитных полей должна была быть по крайней мере на два порядка меньшей, чем в этой плоскости, в которой в основном сосредоточены облака межзвездного газа. Отсюда следовало, что в области длинных волн интенсивность радиоизлучения в полосе Млечного пути должна быть в сотни раз больше, чем

⁵¹ *H. Alfven, N. Herlofson. Cosmic Radiation and Radio Stars.*— «Physical Review», 1950, v. 78, N 5, p. 616.

⁵² *K. O. Kippenheuer. Cosmic Rays as the Source of General Galactic Radio Emission.*— «Physical Review», 1950, v. 79, N 4, p. 738—739.

⁵³ *В. Л. Гинзбург. Космические лучи как источник галактического радиоизлучения.*— «ДАН СССР», 1951, т. 76, вып. 3, с. 379.

в высоких галактических широтах. Но это совершенно не соответствовало наблюдениям ⁵⁴.

Таким образом, оставалась только одна возможность — считать общее радиоизлучение Галактики суммарным эффектом излучения отдельных объектов, наиболее яркие из которых наблюдаются как радиозвезды ⁵⁵.

Решающую поддержку теории магнитотормозного механизма космического радиоизлучения доставили расчеты С. Б. Пикельнера, показавшего, что «каркасом» межзвездных магнитных полей может быть не только межзвездный газ, но и весьма разреженная среда между его облаками, сферически распределенная в Галактике. Это позволило снять возражение, приводившееся выше, и отказать радиозвездам в праве на существование: «совершенно несостоятельно представление о «радиозвездах» как о весьма многочисленной категории галактических объектов звездной природы. В этом смысле радиозвезд не существует» ⁵⁶.

Дискретные источники космического радиоизлучения, принадлежность которых к Галактике ранее не вызывала сомнений ⁵⁷, теперь стали трактоваться не как «радиозвезды», а как «радиогалактики» и «радиотуманности», большинство из которых расположено вне нашей Галактики, в Метагалактике ⁵⁸. Характер их радиоизлучения также хорошо объяснялся магнитотормозным механизмом ⁵⁹.

В результате всего этого на Парижском симпозиуме по радиоастрономии магнитотормозная теория нетеплового космического радиоизлучения оказалась общепризнанной, хотя на предыдущем, Манчестерском симпозиуме 1955 г. еще предпринимались попытки «спасения» радиозвездной гипотезы ⁶⁰.

Так радиозвезды окончили свое недолгое существование — а в Галактике их должно было быть, по самым скромным оценкам, около восьмисот миллиардов ⁶¹. Космическое радиоизлу-

⁵⁴ И. С. Шкловский. О природе излучения радиозвезд.— «ДАН СССР», 1952, т. 85, вып. 3, с. 509.

⁵⁵ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.— «Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 445.

⁵⁶ И. С. Шкловский. Проблема космического радиоизлучения.— «Астрономический журнал», 1953, т. 30, вып. 1, с. 15.

⁵⁷ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.— «Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 428.

⁵⁸ И. С. Шкловский. Проблема космического радиоизлучения.— «Астрономический журнал», 1953, т. 30, вып. 1, с. 15, 21; О. Струве, В. Зебергс. Астрономия XX века, с. 111—112.

⁵⁹ В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский. Космическое магнитотормозное (синхротронное) излучение.— «Успехи физических наук», 1965, т. 87, вып. 1, с. 67.

⁶⁰ Там же, с. 68.

⁶¹ И. С. Шкловский. О природе радиоизлучения Галактики.— «Астрономический журнал», 1952, т. 29, вып. 4, с. 448.

чение удалось объяснить, исходя из уже известных физических представлений, не прибегая к предположению о существовании новых экзотических космических объектов.

О СООТНОШЕНИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ О СУЩЕСТВОВАНИИ

Рассмотренные выше эпизоды из истории астрономии показывают, каким сложным бывает переплетение эмпирических и теоретических знаний о существовании при построении конкретных фрагментов картины астрономической реальности. Можно поставить вопрос, что является ведущим моментом в этом процессе — эмпирически добываемые знания о существовании или же полученные в теоретическом слое науки, поначалу гипотетические знания такого рода? Этот вопрос является одним из аспектов более общей проблемы соотношения эмпирического и теоретического в процессе познания.

Если главную роль играют эмпирические знания, то объясняющие их знания о существовании ненаблюдаемых фрагментов реальности должны так или иначе вытекать из эмпирии, индуктивно детерминироваться ею. Наиболее полное воплощение такое превратное понимание связи между знаниями о существовании первого и второго рода нашло в неопозитивистской концепции «редукционизма», критический анализ которой позволил вскрыть ее несостоятельность⁶².

Противоположное понимание соотношения эмпирического и теоретического часто связывают с именем А. Эйнштейна, неоднократно подчеркивавшего не только логическую независимость теории от опыта, но и убежденного в том, что «природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов», что «посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы»⁶³. Еще более радикально по этому поводу высказывался А. Эддингтон.

Рассмотренная выше коллизия между системами Коперника и Птолемея как будто свидетельствует в пользу Эйнштейна. С другой стороны, история начала и конца существования радиозвезд может доставить аргументы в пользу примата эмпирического материала.

Однако есть все основания полагать, что сама дихотомия «либо эмпирия, либо теория» неверна в плане требования логи-

⁶² См.: В. С. Швырев. Неопозитивизм и проблемы эмпирического обоснования науки. М., 1966.

⁶³ А. Эйнштейн. О методе теоретической физики.— Собрание научных трудов, т. IV, с. 184.

ческой первичности того или другого — как вообще, так и при решении проблемы существования. Крах неопозитивистской концепции редукционизма (равно как и эддингтоновской концепции «чистой теории») является методологическим следствием не одностороннего и неправильного *решения* проблемы, а результатом неправильной и узкой ее *постановки*. Выработка новых теоретических знаний о существовании тесно и нелинейно связана с объяснением и предсказанием новых эмпирических знаний подобного типа. Стало общепризнанным, что логика новых теоретических представлений «обязательно включает сопоставление и всесторонний анализ эмпирических данных, построение и разбор различных гипотетических вариантов объяснения эмпирических данных и сравнение их с опытом, а также между собой»⁶⁴.

При этом в ходе познания между эмпирическими и теоретическими знаниями о существовании возможны соотношения по крайней мере трех типов. Во-первых, поскольку теория строится для объяснения наличного эмпирического материала, последний детерминирует процесс ее построения целевым образом, благодаря требованию интерпретации «жизни» теоретических сущностей на эмпирический материал. Сами интерпретационные связи представляют собой второй тип соотношений «эмпирия — теория». Наконец, будучи построенной (хотя бы вчерне), теория получает способность предсказывать будущие эмпирические факты, логически детерминируя возможность их существования. Это — третий тип соотношений эмпирического и теоретического.

Но логически теория не может вытекать из фактов. Здесь Эйнштейн прав. Дедуктивная, равно как и индуктивная, детерминация в направлении «эмпирия — теория» отсутствует. Целевая детерминация теории эмпирией становится дедуктивной по отношению не к механизму ее построения, а к механизму апроприрования, проверки, требуя вывода из теории уже известных фактов.

В связи с этим вызывает возражение утверждение В. А. Амбарцумяна и В. В. Казютинского, считающих, что процесс развития теоретического уровня знания «сейчас, как и раньше, представляет собой процесс обобщения эмпирических данных»⁶⁵. Правда, это возражение может показаться чисто терминологическим, ибо названные авторы признают сложность переплетения «ходов» от эмпирии к теории и обратно и обращают внимание на то, что в термин «обобщение» ими вкладывается новое содержание⁶⁶. Но их слова о том, что «направляющим стержнем

⁶⁴ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Проблемы методологии естественнонаучного поиска. — «Вопросы философии», 1971, № 2, с. 51—52.

⁶⁵ Там же, с. 52—53.

⁶⁶ Там же, с. 51.

на всех этапах построения теории «должны быть выводы, вытекающие из обобщения фактических данных»⁶⁷, свидетельствуют, как представляется, о том, что, несмотря на оговорки, традиционный смысл этого термина продолжает довлеть над авторами. Из бесспорного факта целевой детерминации теории эмпирическими данными, на наш взгляд, не следует то, что теория является их обобщением. Возможность построения исключаящих друг друга теорий на одном и том же эмпирическом материале говорит против этого тезиса.

Г. Ю. Тредер

ЗНАЧЕНИЕ КОПЕРНИКАНСТВА ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ И АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

Коперник сформулировал некоторые научные принципы, которые своим содержанием и теоретико-познавательной методикой определили дальнейшее развитие естественных наук; они несли в себе зачатки всех дальнейших исследований строения Вселенной. Эти принципы содержатся, по существу, в первой книге главного труда Коперника «О вращении небесных сфер». История астрономии, как и ряда других областей общей физики, связана с принятием, разъяснением, расширением и углублением коперниканских принципов. Историческое развитие астрономии и космической физики определялось в философском отношении борьбой между идеями коперниканства, которые, по существу, являются материалистическими, и попытками отрицания или ограничения этих идей как самих по себе, так и в смысле их значения для дальнейшего развития науки; попытки такого рода носили и носят отчасти теологический, отчасти агностический характер.

В дальнейшем мы рассмотрим значимость и действенность коперниканских идей в физике и астрономии наших дней. Сообразно такой постановке нашей задачи мы будем интерпретировать и историческое развитие, исходя из достигнутого нами ныне знания классической механики и теории тяготения, теории относительности и космологии. С этой точки зрения основные принципы коперниканства — если их перечислять в порядке возрастающей общности, начиная с физико-математических

⁶⁷ В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Дialeктика в современной астрономии. — В кн.: Ленин и современное естествознание. М., 1969, с. 246.

принципов и кончая постулатами теории познания,— будут следующие:

I. Введение физической системы отсчета и построенный на ней анализ понятия движения в обычной и небесной механике.

II. Установление фундаментальных свойств симметрии физического пространства и, как следствие, установление того принципа, что изменение состояния движения вызывается единственно только воздействием материальных тел. На основе этих двух принципов было релятивировано положение Земли в космосе, а как дальнейшее следствие — теоретико-познавательный принцип однородности законов природы. Это является также основой коперниканского космологического принципа, согласно которому надлежит систематически отрицать привилегированность положения Земли, планетной системы и тех систем, в которые планетная система входит.

III. Кроме того, коперниканство является первой физико-математической формулировкой философского принципа материального единства мира и постижимости свойств Вселенной на основе исследования законов движения материи. Это коперниканское положение включает в себя признание того, что физические законы, изученные в лаборатории, принципиально должны быть справедливы в любом месте Вселенной и что, наоборот, законы, открытые астрономическим путем, в принципе могут быть проверены и в лаборатории.

Положения, принятые Коперником в качестве основы физического учения о движении, начинаются с его замечания о необходимости различать истинные и кажущиеся движения. Коперник отмечал, что всякое наблюдаемое изменение положения объекта происходит либо от движения самого объекта, либо от движения наблюдателя, или же наконец от (неодинакового) движения того и другого. Если же объект и наблюдатель движутся одинаковым образом, то никакого видимого движения не воспринимается. Так был сформулирован Коперником кинематический принцип относительности, который, пройдя через работы Галилея и Декарта, стал основой учения о движении.

Такого рода кинематическая относительность дала Копернику технические средства для перехода от геоцентрической системы отсчета к гелиоцентрической. Поскольку геоцентрическая система мира Птолемея была построена, по существу, кинематически, указание Коперника на кинематическую относительность уже содержало в себе доказательство того, что геоцентрическая система мира не является преимущественной. Но, кроме того, Коперник противопоставлял наблюдаемым относительным движениям истинные (физические) движения. Нахождение истинных движений должно, согласно Копернику, существенно основываться на динамических принципах. Это значит, что истинной системой отсчета является та, в которой кинематическим движениям соответствуют движения, естественные в

смысле законов природы. В качестве таковых Коперник рассматривал движение небесных тел по кругу (с постоянной угловой скоростью) и (жесткое) вращение их вокруг своей оси (это соответствовало аксиомам движения по Платону); напротив, сложным образом составленные движения по птолемеевским эпициклам не признавались в этом смысле естественными. Поскольку эпициклы (соответствующие вторым неравенствам в теории планетных движений) могут быть исключены путем перехода к гелиоцентрической системе отсчета, эта система отсчета и должна быть признана истинной системой мира.

В то же время Коперник заметил, что эти истинные движения могут рассматриваться и как движения по отношению к небу или к небесному своду неподвижных звезд. Таким образом, небесный свод также дает истинную астрономическую систему отсчета. В частности жесткое вращение Земли вокруг своей оси может рассматриваться как вращение по отношению к небесному своду. Таким образом, небесный свод, окружающий Солнечную систему вместе с Землей, дает систему отсчета, по отношению к которой вращение Земли может быть определено как истинное движение. Напротив, говорить, следуя Аристотелю и Птолемею, о вращении небесного свода неподвижных звезд было бы, согласно Копернику, лишено физического смысла. Хотя в кинематическом отношении и нет различия между вращением Земли и противоположным вращением небесного свода, во втором случае не дано никакого пространства отсчета, по отношению к которому это последнее вращение происходит.

Эти идеи Коперника дали толчок развитию физической теории движения. Фундаментальную важность имела прежде всего констатация того факта, что законы движения тел выделяют в физическом отношении некоторые системы отсчета, тогда как для субъективного восприятия все системы отсчета оказываются равноправными.

Коперниканская идея о выделении динамической системы отсчета на основе законов движения планет была впервые конструктивно применена Кеплером. Кеплер исходил из того, что в системе мира Коперника планета всякий раз по истечении планетного (звездного) года вновь занимает прежнее положение в пространстве неподвижных звезд и что Солнце в этом пространстве остается неподвижным. Таким путем Кеплер нашел две точки опоры, которые (вместе с гипотезой о компланарности) позволяют определять положения планет.

Тот факт, что построение Кеплера имеет для теории систем отсчета такое значение, был отмечен в 1930 г. Эйнштейном. Построение Кеплера не предполагает знания абсолютного движения планеты. В самом деле, согласно коперниканскому принципу относительности, какое-либо изменение положения Солнечной системы в пространстве не влечет за собой физических последствий.

Это построение не является чем-то само собой разумеющимся. Как и Коперник, Кеплер предположил при этом, что орбиты планет представляют замкнутые кривые (т. е. замкнутые после однократного обхода). Кеплеру это казалось обязательным по соображениям симметрии, подобно тому как Копернику казались обязательными круговые орбиты на основании аксиомы Платона. Замкнутость орбит требует силовых законов особого вида; законы общего вида приводят к орбитам, напоминающим розетки, подобные тем, какие получаются для планет в общей теории относительности из эйнштейновских уравнений движения (в результате медленного движения их перигелиев).

Закон инерции Галилея послужил обоснованием аргументации Коперника, направленной против заимствованных из аристотелевской физики возражений, отрицавших истинное движение Земли. В самом деле, инерция приводит к сохранению скоростей тел, а не к сохранению их положений, как это предполагал Аристотель, а с ним и Птолемей. Поэтому положение земных тел по отношению к Земле от (поступательного) движения Земли не меняется. Таким образом, динамика Галилея входит существенным образом в коперниканскую систему мира.

Согласно закону инерции Галилея, для неускоренных поступательных движений имеет место не только кинематическая, но и динамическая относительность; это вносит существенно новый элемент в коперниканское понятие системы отсчета. Постулат Коперника о возможности определить истинные движения небесных тел на основе законов движения планет допускает, согласно закону инерции, существование поступательного движения всей Солнечной системы. Такое движение было обнаружено около 1800 г. Гершелем.

Произведенный Ньютоном синтез небесной механики Кеплера и динамики Галилея с открытием всемирного тяготения опять-таки предполагает коперниканское определение истинного физического движения. Законы движения Ньютона выделяют коперниканскую систему мира. В самом деле, если считать истинными (в смысле Коперника) те движения планет, которые вытекают из уравнений движения Ньютона, то получается гелиоцентрическая система мира. Говоря точнее, получается та система отсчета, в которой роль, отводимая Коперником и Кеплером центру Солнца, переходит к общему центру масс Солнца и планет¹ (этот центр масс по большей части лежит внутри Солнца).

Соображения Коперника относительно вращения Земли были в дальнейшем углублены Ньютоном и Гюйгенсом, которые показали, что по законам механики вращение Земли вокруг

¹ Эта связь между ньютоновой небесной механикой и коперниканской системой рассматривалась Эйнштейном и Инфельдом в их книге «Эволюция физики».

своей оси определяется динамически, на основе рассмотрения действующих сил. Связанные с этим вращением силы инерции приводят к предсказанному Ньютоном сплюснению земного шара. Это сплюснение, обнаруженное Мопертюи и Клеро, тем самым стало прямым доказательством вращения Земли. Далее, из вращения Земли возникают, согласно ньютоновой механике, силы инерции; это позволило предсказать дальнейшие виды воздействия вращения Земли на движение тел, например те, которые обнаруживаются количественно в опыте Фуко с маятником (1851).

Уже Коперник вывел кинематические следствия из орбитального движения Земли по отношению к небесному своду неподвижных звезд. Земная орбита должна отображаться во все уменьшающихся в перспективе кругах, описываемых звездами на небесном своде (параллаксы). Тем самым астрономия XVII и XVIII вв. пришла к выводу, что «сфера неподвижных звезд» в действительности включает в себя звезды бесконечно протяженного космоса (Вселенной), так что параллактические круги более близких неподвижных звезд должны выделяться среди неизменных углов визирования весьма удаленных звезд. Это прямое кинематическое доказательство гелиоцентрической системы мира удалось получить в 1837 г. Бесселю и Струве. Еще в 1727 г. Брадлей обнаружил эффект кругового движения Земли, относящийся к геометрической оптике, а именно, аберрацию света. Наличие аберрации вытекает из движения Земли вокруг Солнца и из доказанного Рёмером (1675 г.) — на основании наблюдений затмений спутников Юпитера — конечного значения скорости света. Тем самым был количественно измерен оптический эффект кругового движения Земли по орбите.

Для физического объяснения аберрации света необходимо, помимо кинематической величины $\frac{v}{c}$ (где v — скорость Земли, а c — скорость света), ввести в рассмотрение ту или иную теорию распространения света. В свое время Брадлей исходил из ньютоновской эмиссионной теории света; тогда аберрация представляется как следствие принципа относительности Галилея (векториальное сложение скоростей), причем v есть относительная скорость Земля — звезда. Астрономическое наблюдение аберрации дает тогда изменение направления этой относительной скорости.

В классической волновой теории света (основанной как на представлении о механическом, так и на представлении об электромагнитном эфире) величина v есть скорость Земли относительно эфира. Если эфир покоится, то v есть абсолютная скорость Земли в космосе, и астрономическое наблюдение аберрации дает изменение этой скорости (Юнг, 1807 г.). (Если же, как это допускали некоторые гипотезы, эфир полностью увлекается Землей, то никакой аберрации не должно быть).

Согласно частной теории относительности, абберация света вытекает из формул преобразования Лоренца для волнового вектора, или, что то же, из эйнштейновской теоремы сложения скоростей. В этом случае v есть опять-таки относительная скорость Земля — звезда. Мы видим, что абберация представляет очень многостороннее подтверждение значения коперниканской системы отсчета в оптике.

Таким образом, коперниканская гелиоцентрическая система отсчета позволяет теоретически объяснить и предсказать ряд динамических и оптических явлений, не объяснимых с точки зрения птолемеевой системы. Это выделяет, как подчеркивал Пуанкаре (1906 г.), коперниканскую систему как ту систему отсчета, к которой надлежит относить законы физики в планетной системе. Указание Пуанкаре было направлено против попыток построить на основе физических принципов относительно апологию схоластической теологии и особенно апологию процесса против Галилея. (Правда, при этом Пуанкаре ослабил свою позицию конвенционалистской философией.)

Решающим вкладом коперниканской системы мира в физическую теорию движения было, таким образом, проведение различия между наблюдаемыми и истинными движениями тел, а также самый принцип констатируемости истинных движений тел на основе физических законов движения. Только такого рода определение истинных движений позволило перейти от чисто описательной кинематики птолемеевой системы к динамике тел в космосе. В свою очередь динамические законы движения как раз и позволяют отличать в смысле Коперника кажущиеся движения от истинных. Признание этого принципа Ньютоном, Гюйгенсом и Лейбницем завершило первый этап начатого Коперником развития физического понятия движения. В частности Кант в своей натурфилософии, проводя различие между относительным движением, составляющим предмет формального учения о движении (форономии), и истинными движениями, составляющими предмет механики, исходил из тождества этих истинных движений и движений, определяемых физическими силами.

Новые исследования о значении систем отсчета в физике были начаты во второй половине XIX в. в работах Неймана, Маха, Ланге² и Герца, продолжены в работах Лоренца, Абрагама, Эйнштейна и Ланжевена и получили известное (предварительное) завершение в общей теории относительности Эйнштейна. В этих работах повторялся на более высоком уровне начатый Коперником анализ физического понятия движения. Эта новая постановка вопроса также исходила из признания различия между наблюдаемым кинематическим движением и истинным

² Центральная часть книги Ланге «Историческое развитие понятия движения» посвящена значению коперниканского «преобразования астрономии» для обоснования классической механики.

динамическим движением и имела целью пойти разъяснение связи того и другого. Используемые при этом и получившие дальнейшее развитие понятия соответствуют коперниканскому образу мыслей. Разработанное Ланге понятие инерциальной системы, ставшее фундаментальным для теории относительности, представляет математическую формулировку идеи Коперника о том, что истинные движения тел определяются законами движения; эта математическая формулировка стала возможной благодаря развитию аналитической механики. Согласно Ланге, физически выделенная система отсчета, а именно инерциальная система, характеризуется тем, что в ней наблюдаемые (представленные кинематически) траектории движения совпадают с теми, какие следуют из (ньютоновых) законов движения.

В этом смысле гелиоцентрическая система мира Коперника (с поправками, вытекающими из ньютонова закона действия и противодействия) оказалась почти точно инерциальной системой (с тем небольшим ограничением, что само Солнце движется, и это движение в вековом масштабе является ускоренным — обращение Солнца вокруг центра Млечного пути). Согласно Нейману (1870 г.), такого рода инерциальную систему можно представить себе связанной с неким телом «Альфа», которое находится в состоянии свободного движения согласно галилеевскому закону инерции. Тогда для планетной системы телом «Альфа» будет в первом приближении центр Солнца. Во втором приближении им будет центр масс Солнечной системы.

Эти соотношения между коперниканской системой мира и механикой были замечены около 1900 г. Больцманом, когда он занимался аксиоматическим обоснованием классической механики. Впоследствии Эйнштейн и Инфельд подчеркивали, что система мира Коперника представляет первый пример использования инерциальной системы в физике.

Нейман, Ланге, Зеелигер и другие теоретически разработали программу определения астрономической системы отсчета для тел Солнечной системы на основе небесной механики. Программа эта ныне систематически реализуется с привлечением электронной вычислительной техники, причем ньютоновские уравнения движения дополняются эйнштейновскими релятивистскими поправками. Программа представляет, очевидно, современную формулировку той идеи, на основе которой Коперник построил свою гелиоцентрическую систему мира. Он постулировал для планет круговые орбиты. Но, как мы говорили выше, Кеплер, развивая идею Коперника (о существовании динамически выделенной системы отсчета), пришел к выводу, что орбиты планет являются эллипсами; при этом он внес поправку, согласно которой Солнце находится в одном из фокусов эллипса (а не в его центре). Ньютон открыл, что кеплеровские эллипсы представляют собой решение задачи одного тела, соответствующей движению в поле тяготения. Законы движения небес-

ных тел, которые, по Копернику, определяют их истинные движения, выражаются ньютоновыми уравнениями движения. После Эйнштейна место этих уравнений движения заняли уравнения общей теории относительности, содержащие ньютонову динамику в качестве предельного случая (для слабых полей тяготения и для скоростей, малых по сравнению со скоростью света).

Другим методом определения астрономической системы отсчета является метод астрометрический; это — чисто кинематический метод; он сопоставляет (двухмерную) сферическую координатную систему с небом неподвижных звезд.

Определение «истинного положения» тел, основанное на понятии положения относительно «неба неподвижных звезд», было дано еще Аристотелем. В этом Аристотелю следовали Птолемей и Коперник, а впоследствии и Кеплер. Постановка данного вопроса в общей теории относительности и в космологии, принятая Махом и Эйнштейном, вновь возвращается к этому аристотелевскому определению. Научные революции не представляют собой нигилистического разрушения более старых представлений, а являются скорее диалектическим их отрицанием. Исследования физического понятия движения, идущие от Аристотеля через Коперника, Галилея, Декарта и Ньютона вплоть до Эйнштейна, представляют диалектический процесс (далеко не завершенный и поныне).

Предположение, что и таким путем можно вывести истинное движение тел из наблюдаемого, основано, по существу, на утверждении Коперника, что «небо неподвижных звезд» должно считаться (в среднем) покоящимся и что все отображаемые на этом небе относительные движения Земли представляют истинные движения. Этот принцип должен быть только дополнен собственным движением «неподвижных» звезд, открытым Галилеем (около 1700 г.) и обнаруженным уже в нашем столетии вращением Млечного пути (Галактики), к которой принадлежит и наше Солнце. Введенное Коперником понятие «небо неподвижных звезд» распространяется ныне и на Метагалактику, под которой подразумевают совокупность всех звездных систем, галактик, расположенных вне Млечного пути. Достаточно удаленные галактики не имеют, в силу их удаленности, заметных собственных движений на небесной сфере. Коперниканский принцип утверждает, что наблюдаемые движения относительно удаленных галактик (движения относительно Метагалактики) являются истинными движениями. Действительно, движения, отнесенные к инерциальной системе, совпадают (в пределах все возрастающей точности наблюдений) с движениями, отнесенными к Метагалактике.

Открытие Коперником истинного движения Земли вместе с последовавшим в XIX в. развитием волновой оптики (Френель, Физо) и электродинамики (Максвелл, Гельмгольц, Герц) при-

вели непосредственно к тем фундаментальным проблемам, из которых создалась (частная) теория относительности. Одной из таких проблем является следующая: может ли движение Земли в данный момент (мгновенная скорость Земли) быть обнаружено оптическим или электродинамическим путем? Такое измерение скорости представляло бы определение абсолютной скорости Земли безотносительно к «небу неподвижных звезд». Тем самым было бы показано отсутствие кинематической относительности движения (относительности наблюдаемых скоростей), т. е. эта относительность распространялась бы только на механику.

Отрицательный результат этих опытов (сделанных по инициативе Максвелла и Гельмгольца), начиная с опытов Майкельсона (1881—1887 гг.), послужил толчком для работ Лоренца и Пуанкаре о принципе относительности в физике и явился основой частной теории относительности Эйнштейна (1905 г.). Это позволило дать наиболее полную формулировку открытой Коперником кинематической относительности, а тем самым (по Галилею) относительности неускоренного движения (т. е. движения при отсутствии сил).

Общая теория относительности Эйнштейна (1913—1916 гг.) заново сформулировала понятие относительного движения, а тем самым и понятие движения вообще. Исходя из физики поля, основы которой были заложены Максвеллом и Герцем, Эйнштейн сформулировал чисто локальный принцип относительности, обобщающий его «частный» принцип относительности. Вместо исследованной Коперником, Галилеем, Гюйгенсом и Ньютоном взаимности кинематических движений у Эйнштейна на первый план выступила ковариантность самих уравнений движения. Как следствие этого, движение частицы в принципе рассматривается не относительно удаленного окружающего мира, а относительно бесконечно малой окрестности частицы, т. е. относительно метрического поля, характеризующего структуру пространства и времени и отождествляемого Эйнштейном с полем тяготения. Согласно Эйнштейну, общая относительность означает, что все физические законы, и в частности уравнения движения, должны быть ковариантны относительно произвольных локальных преобразований системы отсчета. Если вместе с движением тела изменить одновременно и одинаковым образом движение его бесконечно малых окрестностей, то это не даст никакого физического эффекта, поскольку, по Эйнштейну, движение тела надлежит относить к тому, что находится в его бесконечно малых окрестностях (т. е. сравнивать его с движением находящихся там тел). В этом смысле всякой частице можно локально приписать любое состояние движения.

Полная динамика получается, однако, лишь после перехода от бесконечно малых к конечным областям пространства и времени, т. е. после того, как дифференциальные уравнения поля

и уравнения движения, написанные в данной координатной системе, проинтегрированы. Это интегрирование существенным образом предполагает задание не только дифференциальных уравнений, но также и граничных условий. Эти предельные условия говорят, в частности, о том, каким еще дополнительным влиянием, помимо действия масс, учитываемого в самих уравнениях движения, подвергается исследуемое движение тел (влияние полей инерции, не имеющих источников на конечном расстоянии).

Применим эти соображения — следуя Эйнштейну и Шварцшильду (1915—1916 гг.)³ и особенно Эйнштейну, Инфельду и Гофману (1938 г.) и Фоку (1939 г.) — к движению планет в поле тяготения Солнца. В этой задаче требование, чтобы, помимо полей тяготения, связанных с массами Солнца и планет, никакие другие силовые поля на планеты не действовали, однозначно определяет опять-таки коперниканскую систему отсчета. И обратно, если при интегрировании уравнений тяготения Эйнштейна принять в качестве дополнительного физического условия коперниканскую систему отсчета, то для движения планет получатся как раз правильные законы. Эти соотношения были впервые разработаны Фоком (1947 г.).

Основанный на постулате локальности эйнштейновский общий принцип относительности одно время толковался как ниспровержение коперниканского принципа в том смысле, что будто бы гелиоцентрическая и геоцентрическая системы мира с точки зрения общего принципа относительности равноправны между собой (а также равноправны со всякой иной системой, например связанной с какой-нибудь частицей). Вышеприведенные наши соображения показывают, что это утверждение неверно. Общий принцип относительности есть всего-навсего последовательное применение кинематической относительности движений в теории поля.

Такого рода локальная интерпретация кинематического понятия движения впервые была предложена Декартом. Уже Декарт, а впоследствии Эйнштейн (который прямо ссылается на Декарта) постулировал, что движение частицы должно быть отнесено к ее непосредственной (бесконечно малой) окрестности и что оно является взаимным по отношению к движению этой окрестности. Поэтому, согласно Декарту, вопрос об истинном движении Солнца и планет не имеет физического смысла. Такая позиция позволила Декарту после осуждения Галилея уклониться от выражения определенной точки зрения относительно

³ Метрика Шварцшильда (т. е. обладающее сферической симметрией поле точечной массы), выраженная в принятых Шварцшильдом координатах, дает математическое представление системы Коперника при условии, что планеты рассматриваются как «пробные тела», а шварцшильдowska масса отождествляется с массой Солнца (при рассмотрении Эйнштейном движения перигелия (1914 г.) это так и делалось).

коперниканской системы мира, которую он первоначально признавал истинной⁴.

Вследствие чисто локального определения движения вопрос о системах мира потерял у Декарта всякий смысл. Но поскольку точка зрения Декарта была чисто кинематической, она не могла привести к созданию какой бы то ни было небесной механики. Небесная механика была построена на основе ньютоновского понятия абсолютного движения, определяемого Ньютоном посредством коперниканского принципа.

Философское родство позиции Декарта с упомянутыми выше попытками объявить, ссылаясь на общую теорию относительности, коперниканский принцип несущественным, представляется очевидным. Но, как показывает эйнштейновский общий принцип относительности, программа Декарта может быть доведена до конца только при условии, что с переходом к динамике надлежит от локального рассмотрения отказаться, а это и означает введение коперниканского принципа.

Следует обратить внимание еще и на то, что общая теория относительности вновь подтвердила и доказала существование замеченного Коперником физического различия между вращением Земли относительно «неба неподвижных звезд» и (происходящим с той же по величине, но противоположной по знаку угловой скоростью) вращением «неба неподвижных звезд». Вейлем было показано (1924 г.) с полной общностью, что, согласно общей теории относительности, вращение тела есть движение абсолютное, поскольку уравнения движения материальных точек вращающегося тела вне оси его вращения отличаются ковариантным образом (а именно, по геодезической кривизне траектории) от уравнений движения невращающихся материальных точек. В соответствии с механикой Ньютона может быть констатировано, что во вращающемся теле действуют силы инерции, которые независимо от кинематического способа их определения дают угловую скорость вращения. Поэтому подчеркиваемая Коперником (в соответствии с учением Николая Кузанского) истина, согласно которой вращается именно Земля, а не «небо неподвижных звезд», как полагали Аристотель и Птолемей, остается фундаментальной истиной и в общей теории относительности. В самом деле, при вращении тела происходят относительные движения и относительные ускорения между разными точками тела, так что вращательное движение может быть определено в соответствии с принципом взаимности и не прибегая к сравнению с кинематической системой отсчета. Из абсолютного характера вращения вытекает, в частности, что универсальное вращение космоса (так называемый гёделевский космос) исключается и что, следовательно, как это и предпола-

⁴ Это отступничество Декарта критиковалось Г. Мором (1679 г.), который в теории пространства был предшественником Ньютона.

гал Коперник, «небо неподвижных звезд» в среднем покоится, а не вращается. Таким образом, Коперник дал здесь как раз правильную формулировку состояния движения «небесной сферы».

Таким образом, коперниканский принцип, сформулированный с полной общностью, входит существенным образом как в классическую, так и в общерелятивистскую динамику. В классической динамике коперниканский принцип определяет те системы отсчета, в которых имеют место уравнения классической физики. В общей теории относительности коперниканский принцип позволяет из всего многообразия совместных со структурой пространства и времени (изометрических) полей тяготения и инерции выбрать именно те, какие соответствуют физической ситуации. В обоих случаях эти результаты применения коперниканского принципа основаны как раз на установленном Коперником постулате, согласно которому физические действия всегда имеют материальную причину, а значит, в случае гравитации должны быть связаны с существованием масс. Этот принцип приводит к коперниканской теории пространства, а ее значение для развития физики и космологии явствует из теории относительности и связанной с ней теории пространства, времени и тяготения.

С точки зрения астрономической техники система мира Птолемея представляла чисто кинематическое описание движения небесных тел, и как таковая она содержит долю истины. Если отличать, как это делал Коперник, истинные движения от наблюдаемых, то можно сказать, что система мира Птолемея описывает относительные движения, наблюдаемые с Земли.

Но геоцентрическая картина мира претендовала на отображение *истинных* космологических соотношений. В качестве космологии эта картина мира составляла часть натурфилософии и физики Аристотеля и перипатетиков, то и другое в схоластической интерпретации. Сам Птолемей, как уже говорилось, тоже пытался дать физическое обоснование геоцентрической картины мира на основе аристотелевской физики. Одним из величайших достижений Коперника как раз и было преодоление этой аристотелевской натурфилософии в самых основных ее положениях. На этом достижении Коперника строили свои рассуждения как Кеплер, так и Галилей, которые окончательно преодолели физику перипатетиков.

Физика Аристотеля основывалась на представлениях о качественной структуре космического пространства, радикально отличных от тех, какие описываются евклидовой геометрией (каковая представляет аксиоматический синтез свойств Земли и земных предметов). Согласно аристотелевской физике пространство было неоднородным и анизотропным. Точки пространства были сами по себе качественно различны, и в пространстве существовали выделенные направления. Аристотелевское прост-

ранство было конечным, и оно имело форму шара, границу которого составляла сфера неподвижных звезд и в центре которого находилась Земля. В физике перипатетиков элементы отличаются между собой своим сродством с областями пространства. Естественным местом тяжелых и инертных элементов является центр мира; на некотором расстоянии от него находится естественное место воздуха, тогда как огонь и пятый элемент — мировой эфир — имеют естественное место на периферии шара.

Сообразно этому существуют, с перипатетической точки зрения, в космосе и выделенные направления движения. Так, естественным движением вещества с большим удельным весом является, по Аристотелю, прямолинейное падение по направлению к центру Земли. Естественное движение легкого вещества есть удаление от центра мира по направлению к сфере неподвижных звезд. Если отвлечься от естественных движений, то сами по себе тяжелые вещества и тяжелые тела неподвижны, т. е. их движение требует, по Аристотелю, затраты силы. Начиная со сферы Луны, тела состоят из легкого эфирного вещества и имеют естественные движения, составленные, по аксиоме Платона, из движений по кругу. Решающим в птолемеевой системе мира является то, что земные элементы неизбежно должны скапливаться в центре мира, причем направление к центру мира дается траекториями свободно падающих земных тел.

В противоположность всем этим гипотезам и представлениям Коперник постулировал равноценность всех точек и направлений в пространстве (он и в этом следовал Николаю Кузанскому и конкретизировал его положения). Согласно Копернику, в пространстве не существует выделенных точек и направлений, иначе говоря, по Копернику, физическое пространство однородно и изотропно. Геометрия космоса является поэтому евклидовой.

Вследствие этих свойств симметрии пространства точки и направления в нем не могут сами по себе оказывать каких-либо физических действий. Физическое действие может исходить только из тех точек, где находится материя, и, согласно Копернику, это действие не зависит от того, в какой именно точке пространства эта материя находится. Поэтому земные тела падают не в направлении геометрического центра мира, а в направлении центра материального земного шара, и Коперник постулировал, что то же самое имеет место и для окрестностей всех других небесных тел. Иначе говоря, Коперник постулировал (качественно) принцип всемирного тяготения в смысле Ньютона, т. е. в том смысле, что притяжение понимается как функция масс (впоследствии аргументация Коперника была принята Кеплером, затем Хокке и особенно Гюйгенсом). Эту часть коперниканского учения можно назвать кузанско-коперниканским принципом относительности. Этот принцип устанавливает свойства симметрии (а именно однородность и изотропность) физического пространства, и из него следует, что метрика пространства

является евклидовой. Сами по себе положения точек и направлений не имеют значения как таковые: значение имеют только взаимные положения тел, так как физическое действие может исходить только из материи, а не из пространства самого по себе.

В философском отношении кузанско-коперниканский принцип означает прежде всего отрицание постулированного схоластической философией и теологией различия между небом и Землей; в гносеологическом отношении этот принцип заключал в себе признание универсальности законов природы в том смысле, что физические свойства тел и законы природы, установленные на Земле, справедливы при наличии тех же материальных условий и в любой области космоса.

Из этого принципа вытекала также возможность количественной разработки физики неба и Земли. Платоновская философия рассматривала возможность точной математической формулировки движений небесных тел как качественную особенность транслунной сферы. Но из того, что ни одна область пространства, согласно Копернику, не имеет каких-либо отличий от других областей, вытекала возможность спустить математику «с небес на Землю» и построить точную земную физику на основе тех же, по существу, законов, каким подчиняется физика неба.

Постулат Коперника о том, что физическое действие могут оказывать только материальные тела, был для Кеплера исходной точкой его критики Птолемея, самого Коперника и Тихо де Браге. В их теориях, исходивших из платоновской аксиомы о движении, центры эпициклов, точка, называемая «*punctum aequans*», и другие геометрические точки приобретали для определения планетных движений большее значение, чем Солнце и Земля. Кеплер же, как мы знаем, исходил из того, что движение планет необходимо относить к истинному положению Солнца.

Коперниканский принцип относительности положений и направлений в пространстве является одной из основ классической физики. Эта относительность предстала с особенной ясностью тогда, когда в результате открытия неевклидовой геометрии и, в частности, обоснования римановой геометрии стали доступны математическому исследованию пространственные структуры, не обладающие (в противоположность евклидову пространству) этими видами симметрии. Гельмгольц показал (1868—1870 гг.), что основные понятия классической физики, такие, как, например, понятие абсолютно твердого тела, уже предполагают наличие этих видов симметрии. Математическими исследованиями Гельмгольца, Клейна (после 1872 г.) и Ли было показано, что принципы классической механики (в том числе законы сохранения количества движения и момента количества движения) отражают однородность и изотропность пространства. Это значит, что коперниканские виды симметрии пространства являются

основой законов сохранения количества движения и момента количества движения. Таким образом, кузанско-коперниканский принцип вместе с галилеевской относительностью неускоренных движений определяет кинематическую группу преобразований классической механики. В частной теории относительности группа Галилея заменяется частной группой Лоренца, и в соединении с нею кузанско-коперниканский принцип относительности приводит к группе Лоренца — Пуанкаре, которая и является группой симметрии пространственно-временного мира Минковского.

Кузанско-коперниканский принцип утверждает несущественность чисто пространственных положений и ориентаций. Согласно Копернику, всякое действие, влияющее на движение каких-нибудь тел, может исходить только от других тел. Физические законы должны описывать взаимодействие между телами. Программа эта, воспринявшая идеи Кеплера, Герики, Хокке и других, была осуществлена в области небесной механики теорией тяготения Ньютона. Классическая физика Ньютона и Эйлера, продолженная Лапласом и Гельмгольцем и далее Фараде-ем и Максвеллом, постулировала выражения для ускорения тел и его зависимость от их расстояний до других тел.

Вводя в качестве структуры физического мира пространства-времени риманову геометрию, Эйнштейн сохранил основную идею этого коперниканского принципа. В самом деле, согласно Эйнштейну, деформация однородного и изотропного мира пространства-времени и превращение его в мир с римановой хроно-геометрией определяется наличием в пространстве материи (в первом приближении наличием масс). Неоднородность и изотропность пространства-времени не есть его свойство само по себе, а находится в функциональной зависимости от распределения материи в пространстве.

Эйнштейновская концепция общей теории относительности вернулась к кругу вопросов, связанных с постулатом, согласно которому пространство само по себе физических действий оказывать не может. В классической механике физическое пространство имеет и другие свойства, помимо чисто геометрического свойства быть носителем мероопределения. Именно используемое в ньютоновой механике понятие истинного физического движения предполагает наличие динамического воздействия пространства на движущиеся в нем тела. Закон инерции Галилея — Ньютона утверждает, что тела, не подверженные действию сил, движутся с постоянной скоростью вдоль евклидовых прямых. Системы отсчета, в которых этот закон не имеет места, отличаются от истинных физических систем отсчета (от инерциальных систем) наличием дополнительных сил инерции, для которых нельзя указать источников в виде масс (и которые поэтому не удовлетворяют коперниканскому принципу). Герц усматривал в этом наиболее слабое место классической механики.

Предложенное Эйнштейном решение этой проблемы заключалось в формулировании его общего принципа относительности, в котором понятие поля сливается с понятием пространства, в результате чего инерция объединяется с гравитацией. Но в силу того, что этот принцип является строго локальным и справедлив лишь в бесконечно малом, для всех проблем динамики остается в силе особая роль квазикоперниканских систем отсчета, а вместе с тем сохраняет свое значение вопрос о независимом от масс воздействии свободного пространства на движение. В самом деле, согласно Эйнштейну, материя определяет структуру пространства не полностью, она только ее деформирует.

В неявной форме указание на пути разрешения этой трудности содержится в том упомянутом выше открытом Коперником факте, что система отсчета, кинематически определяемая небом неподвижных звезд, совпадает с динамически определяемой инерциальной системой отсчета. Уже Кеплер, а также Лейбниц и Гюйгенс (в состоявшейся между ними дискуссии) пытались в соответствии с этим фактом заменить силовое воздействие свободного пространства воздействием отдаленных космических масс. Эта мысль была в 1883 г. вновь высказана Махом, и Эйнштейн видел в ней (в период между 1913 и 1917 годами) одну из главных проблем, когда он занимался обоснованием общей теории относительности и ее применением к космологическим задачам. Правда, общая теория относительности еще не содержит полного решения этой проблемы, но Эйнштейн дал в 1917 г. четкую математическую формулировку задачи, поставленной в так называемой доктрине Маха — Эйнштейна. Мы не можем здесь входить в дальнейшие подробности и заметим только, что с формулировкой доктрины Маха — Эйнштейна круг исследований физических систем отсчета, вместе с открытием, что истинные движения суть движения относительно неба неподвижных звезд, привел к постановке Эйнштейном вопроса о полном определении динамики посредством «инерциальной индукции» отдаленных космических масс.

Эйнштейновский общий принцип относительности констатирует однородность и изотропность пространства и времени в бесконечно малом (это значит, что в бесконечно малом остается применимой псевдоевклидова метрика пространства и времени частной теории относительности). В этом заключается наиболее общий подход, приводящий к конструктивной и пригодной для физики математической формулировке принципа материального единства мира. В самом деле, эйнштейновский принцип относительности утверждает, что общие физические законы — в той форме, в какой они формулированы в частной теории относительности, — имеют одинаковый вид во всех мировых точках (т. е. везде в пространстве и во всякое время). Это значит, что, будучи отнесенными к локальной инерциальной системе, физи-

ческие элементарные процессы везде и во все времена протекают одинаково, а физические элементарные величины имеют везде и всегда одинаковые значения.

Введение принципа относительности в космологию позволило распространить на весь космос коперниканский постулат о принципиальной равноценности всех точек и направлений в пространстве. Начиная с Фридмана (1922 г.) теоретическая космология исходит из предположения, что во Вселенной, рассматриваемой как целое, нет выделенных точек и направлений и что сообразно этому материя распределена во Вселенной однородным и изотропным образом. Это предположение полностью соответствует духу коперниканства.

Этот «универсальный коперниканский постулат» приводит математически к космологическому принципу Вейля, согласно которому космическая материя после исключения (путем усреднения) всех стохастически колеблющихся собственных движений может быть истолкована как система «фундаментальных частиц», движущихся по геодезическим линиям. Эти геодезические мировые линии частиц (которые дают в смысле частной теории относительности историю их жизни по Минковскому) таковы, что связанные с разными частицами атомные часы показывают одинаковое мировое время. Тогда показание таких часов $\tau = \text{const}$ дает время для всего мира. Под «фундаментальными частицами» в смысле космологического принципа следует понимать здесь галактики.

Все основные космологические модели, предложенные после Эйнштейна и Де Ситтера (1917 г.) и Фридмана (1922 г.) в теоретической физике и астрономии, основываются на этом коперниканском постулате, который широко подтверждается исследованиями в области внегалактической астрономии. Этот постулат не может быть выведен из теорий тяготения и из динамики частиц (а также из общей теории относительности). В самом деле, согласно локальному принципу относительности Эйнштейна, основные законы физических теорий формулируются в виде общековариантных дифференциальных уравнений, а такие уравнения сами по себе не могут дать представления о глобальной структуре Вселенной. Универсальный коперниканский принцип должен быть дополнительно введен в качестве правила отбора решений, для того чтобы можно было применять фундаментальные уравнения физики ко Вселенной в целом.

В свою очередь, этот коперниканский постулат настолько силен, что уже кинематика по Милну (1930 г.) и все разумные динамики и теории тяготения, — как теория Ньютона (согласно Милну, 1934 г.), так и теория Эйнштейна с ее модификациями, — приводят к одинаковым по существу математическим моделям Вселенной, которые отличаются друг от друга только своей «тонкой структурой», а именно, аналитической формой законов движения галактик.

Основные законы космологии определяются, по существу, принципом относительности и космологическим постулатом.

Основой космологии является, таким образом, постулат об однородности законов природы во всем космосе. Предположение о справедливости этого постулата содержится уже в общем принципе относительности и в космологическом принципе. Без постулата об одинаковости законов природы построение космологических теорий не было бы возможно, так как тогда не был бы возможен переход от физики на Земле к физике во Вселенной.

Отсюда видно, насколько ошибочны в методическом отношении космологические гипотезы, с помощью которых из наличия математических сингулярностей в аналитически разработанных космологических теориях пытаются делать спекулятивные заключения о «сотворении мира» примерно 10 миллиардов лет тому назад или о «спонтанном возникновении материи из ничего». Как подчеркивал еще Эйнштейн, наличие математических сингулярностей означает только то, что мы еще недостаточно точно знаем элементарные физические законы, чтобы их неограниченно применять в самых крайних условиях в космосе.

Из всего того, что сделал Коперник для развития естественных наук и для создания современной нам научной картины мира, наиболее общим следствием является отрицание различия между небом и Землей, положившее начало признанию материального единства мира.

Следствием этого коперниканского переворота явилось, с одной стороны, признание того, что изучение Вселенной является частной задачей изучения законов, которым подчинена материя. С другой стороны, из коперниканского принципа вытекало, что доступные математической формулировке законы природы не являются следствием идеальных внеземных структур, как это считал Платон; они суть выражения универсальной закономерности, справедливой и для «земной материи». Это единство космической и земной физики означает, что исследованные в лаборатории и сформулированные математически законы физики могут применяться и в космических условиях и тем самым составить основу для изучения космических явлений. В то же время из этого единства следует, что законы, открытые нами путем изучения движения и структуры небесных тел, обогащают наше знание физики вообще. Так коперниканская революция формулировала программу для количественной физической науки, построенной на основе земных экспериментов, и для ее применений в человеческой практике.

Тем самым Коперник «бросил ... вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается свое летосчисление освобождение естествознания от теологии...»⁵ Но Энгельс

⁵ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 347.

добавил, что «выяснение между ними отдельных взаимных претензий затянулось до наших дней и в иных головах далеко еще не завершилось даже и теперь»⁶. Такого рода споры идут и в настоящее время, в частности при обсуждении основ теории относительности, космологии и космогонии.

Как мы говорили выше, первый непосредственный вклад Коперника, внесенный им в основы физики вообще и механики в частности, состоял в открытии единства геометрии неба и Земли и тем самым в обосновании евклидова мероопределения космического пространства. Это включало в себя открытие коперниканского принципа относительности. Далее Коперник дал первую формулировку кинематики, общей для небесных и земных движений, и тем самым положил начало исследованию физических систем отсчета, приведшему через учения Галилея и Ньютона к открытиям Эйнштейна.

Согласно коперниканскому постулату об отсутствии противоположности неба и Земли, всякое продвижение в исследовании физических, а также химических свойств космических тел является шагом в разработке и развитии самого коперниканства в том смысле, что дает более конкретное и более глубокое проникновение в материальное единство мира.

Законы движения планет, выведенные Кеплером из наблюдений Тихо де Браге, представляют шаг вперед по сравнению с учением Коперника, но в духе коперниканской программы. Вместо «спасения явлений», о котором говорил Платон, Кеплеру удалось изучить истинные законы движения планет.

Галилей, Кеплер и другие ученые впервые применили физический прибор, а именно телескоп, к изучению небесных явлений и таким путем открыли, что небесные тела (Солнце, Луна, Сатурн) не представляют идеальных математических тел, а обладают, подобно Земле, нерегулярной структурой. Но и до сих пор иногда повторяют — отчасти с апологетическими намерениями, — что астрономические открытия Галилея будто бы не имеют, по существу, ничего общего с коперниканской системой мира, так как их точно таким же образом можно было бы вписать в птолемееву картину мира (например, фон Вейцзеккер, 1966 г.). Но такого рода утверждения упускают из виду, что мы выяснили и обосновали выше: коперниканская революция не сводится к введению в астрономию новой — динамически обоснованной — системы отсчета, она состоит в преодолении взглядов в области натурфилософии и физики, идущих от схоластиков и перипатетиков; взгляды эти использовались и Птолемеем для обоснования геоцентризма. Но эта натурфилософия исходила из утверждения о существовании принципиального различия между «подлунной» и «транслунной» сферами. Всякое астрономическое открытие, обнаружива-

⁶ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 347.

ющее сходство небесных тел с Землей, являлось поэтому продолжением и развитием учения Коперника. В самом деле, после открытия сходной природы Земли и небесных тел и после установления подавляющих размеров Солнечной системы по сравнению с земным шаром геоцентризм, может быть, и оставался формально возможным в качестве кинематической системы отсчета, применяемой в сферической астрономии, но в качестве картины мира он стал чуждым и гротескным.

В противовес физике неба Галилей обосновал экспериментальную физику, приводящую к открытию законов природы, которые могут быть выражены в математической форме. Он нашел первые физические законы, справедливые как для небесных, так и для земных тел. Обобщением, увенчавшим дело, явилась первая общая теория физических форм движения, сформулированная в механике, и теории тяготения Ньютона. Фундаментом для ньютоновой механики была, с одной стороны, теоретическая астрономия, разработанная Кеплером на основе коперниканской системы мира, а с другой стороны, таким фундаментом явилось начатое Галилеем экспериментальное исследование движения земных масс. На обоих этих фундаментах Ньютон построил здание классической механики, являющейся в то же время и небесной механикой.

Из галилеевых законов падения, из особенностей движения Луны, из законов Кеплера для движения планет и из введенных Гюйгенсом понятий центростремительной и центробежной силы Ньютон вывел свой закон всемирного тяготения. (Революционный характер этого закона явствует уже из отрицательно-скептического к нему отношения даже таких ученых, как Гюйгенс.) Универсальная справедливость закона всемирного тяготения была подробно доказана (в рамках тогдашней точности измерений) небесной механикой XVIII и XIX вв. на основе теории движения планет и их спутников. Уже Ньютон и Галилей постулировали справедливость закона всемирного тяготения и всей классической механики также и для движения «неподвижных» звезд, собственные движения которых были открыты Галилеем около 1700 г. Но и эта универсальность тяготения оспаривалась еще в течение десятилетий — вплоть до произведенного Гершелем около 1800 г. исследования движения двойных звезд. Оспаривалась она на основе аргументов, принципиально ставивших под сомнение универсальную справедливость законов природы вообще. В XX же веке справедливость механики, связанной с теорией тяготения, была доказана для области, гораздо более обширной, чем исследованная Гершелем, а именно для всей системы Млечного пути и для движения галактик в скоплениях. Входящая в закон тяготения универсальная гравитационная постоянная была определена в лабораторных экспериментах Кавендишем еще в конце XVIII в. С этого началось исследование земного гравитационного поля, составляющего

основу гравиметрии в геодезии и в прикладной геофизике. (Исследование космоса начинается уже с изучения гравитационного поля Луны.)

В этом развитии идущее от Коперника и Кеплера допущение о центральном положении Солнечной системы во Вселенной было релятивизировано в духе коперниканства, что привело к убеждению о существовании во Вселенной практически бесконечного числа солнц, среди которых наша Солнечная система никакого особого положения не занимает. Вплоть до XX в. утверждалось, однако, что звездная система, к которой принадлежит наше Солнце, занимает какое-то особое положение в космосе. Однако уже в XVIII в. Кант и Ламберт на основе общих натурфилософских соображений, опиравшихся на принцип материального единства мира, допускали существование многих звездных систем одинакового ранга. В XX в. были открыты внегалактические звездные системы (другие галактики), составляющие Метагалактику; эти звездные системы в космосе — того же ранга, что и наша собственная Галактика. Этим открытием астрономия XX в. доказала «множественность миров» и подвела этим фундамент под общий коперниканский принцип. Как указывалось выше, этот принцип сформулирован математически в общей теории относительности Эйнштейна и в космологическом принципе Вейля. Фридман сделал в 1922 г. из эйнштейновской теории тяготения теоретические выводы о динамической эволюции Метагалактики, и эти выводы были подтверждены наблюдениями красного смещения спектральных линий тех галактик, которые достаточно удалены от Млечного пути (работы Хаббла, 1929 г.).

Дальнейшим следствием коперниканства является открытие генетического единства материи и доказательство фундаментального единства физико-химической структуры небесных тел. Кант (1755 г.) положил начало космологии, опирающейся на динамику Ньютона. Тем самым объяснимость материи на основе ее собственных свойств была установлена в принципе и для проблемы образования существующих материальных структур в космосе. Энгельс считал поэтому космогонию Канта вторым после Коперника великим вкладом астрономии в картину мира⁷.

Тем не менее вплоть до конца XVIII в. господствующим было мнение, что между физико-химическими свойствами Земли и небесных тел существуют непреодолимые различия. Так, в первом изданном на немецком языке физическом словаре (1791 г.) его издатель Геллер аргументировал свое выступление против предложенной Хладни астрономической теории метеоритов следующим образом: принадлежащее Хладни толкование «огненных шаров» как маленьких небесных тел очевидно неверно, по-

⁷ См. К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 350—351.

тому что найденные метеоритные камни имеют, по существу, такую же химическую и минералогическую структуру, как и земные тела. Небесные же тела должны иметь совершенно иную физико-химическую природу.

Такого рода утверждения были поколеблены прежде всего в космогонии Канта и Лапласа, которые теоретически обосновали генетическое единство Солнечной системы. Эмпирическое обоснование физико-химического единства материи в Солнечной системе было впервые дано печатым Хладни исследованием метеоритов, которое как раз и показало, что небесные тела обладают такими же химическими и минералогическими свойствами, как и земные. Агностическая первоначальная позиция идеалистической философии заключалась в позитивистском тезисе Конта о принципиальной невозможности исследовать физико-химическую структуру удаленных небесных тел. Для Конта эта невозможность была, по существу, главным аргументом в пользу тезиса о границах научного познания. Но тезис Конта был опровергнут уже через 10 лет после того, как он был выдвинут: Кирхгоф и Бунзен, исходя из термодинамики, создали основы спектрального анализа и тем самым положили начало исследованию физического состояния и химического состава Солнца и звезд. Это позволило расширить область астрономии, включившей в себя астрофизику.

В начале XX в. астрофизика получила теоретическое обоснование в атомной и квантовой физике. На этих основах возникла теория звездных атмосфер (Шварцшильд, Саха) и были сделаны первые шаги к теории строения звезд (Эмден, Эддингтон и другие). Затем был в принципе решен вопрос об источниках энергии излучения звезд, причем фундаментом послужили результаты, полученные в ядерной физике. Эти исследования источников энергии звезд привели в 1929—1938 гг. к открытию процессов слияния ядер, имеющих фундаментальное значение для ядерной энергетики.

Новейшее развитие астрономии также повлекло за собой выводы в духе коперниканских идей. После того как представления о центральном положении Земли и о центральном положении Солнечной системы в космосе были оставлены, продолжались выдвигаться, особенно философами-идеалистами, утверждения о космогонической сингулярности и случайности планетной системы, а тем самым и об исключительном положении Земли в космосе, причем делались ссылки, в частности, на «теорию катастроф» Джинса. В противоположность этому в последнее пятилетие было теоретически в духе Коперника доказано, что образование планетных систем представляет закономерный процесс развития звезд. Космическая магнитогидродинамика учит (на основе применения закона сохранения момента количества движения к развитию звезд), что примерно половина звезд солнечного типа должна быть окружена планетами.

Триумфом коперниканства явилось тогда косвенное доказательство наличия планетных систем у близких к Солнцу звезд — доказательство, основанное на астрометрическом изучении их собственных движений. А развитие «инфракрасной» астрономии, как можно надеяться, позволяет и непосредственно наблюдать новейшее развитие планетных систем из незвездной материи.

В настоящее время началось непосредственное исследование близкого к Земле мирового пространства, Луны и всей Солнечной системы посредством запуска искусственных спутников, зондирования пространства и посылки автоматических станций на Луну и на планеты. Это непосредственное исследование пространства и его техническое использование (например, для телекоммуникаций) сделало в глазах всех людей коперниканскую картину мира чем-то близким и практически реальным. Ныне можно сказать, что теперь коперниканство входит в конкретную картину мира и стало основным, фундаментальным фактом. Коперниканские идеи об относительности положения Земли во Вселенной сейчас, как и раньше, влияют на постановку задач и целей человеческих размышлений и действий.

В этом смысле научно-техническая революция нашего времени является прямым продолжением начатой Коперником первой научной революции. Не только в научном отношении, но и в отношении миросозерцания человека астрономическое исследование Вселенной образует единое целое с внеземным исследованием пространства в Солнечной системе. Действительно, в конечном счете и астрономия и исследование пространства представляют реализацию выводов из коперниканской революции, изменившей картину мира.

IV. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ В АСТРОНОМИИ

Н. Н. Лисовой

СИНГУЛЯРНОСТЬ, НАПРАВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ И ПРОБЛЕМА «НАЧАЛЬНОГО МОМЕНТА» ВРЕМЕНИ

Основой современной космологии является, по общему признанию, эволюционная модель Вселенной А. А. Фридмана. Фридман рассматривал, как известно, нестационарные решения уравнений общей теории относительности Эйнштейна при единственном дополнительном предположении: Вселенная в среднем считается однородной и изотропной. Он указал на три возможности для нестационарной Вселенной: ей было позволено либо сжиматься, либо расширяться, либо делать то и другое по очереди, т. е. осциллировать относительно некоторого начального, нулевого положения. Какой вариант соответствует единственной истинной Вселенной? Или истинная Вселенная может быть и не «единственной», а представлять суперпозицию равно истинных вариантов? Следует ли считать, что Вселенная расширяется (антиколлапсирует) раз навсегда из особого, сингулярного состояния (особой точки) или она испытала уже в прошлом однократное сжатие (коллапс) и опять начала расправлять крылья, устремляясь к бесконечности? Или Вселенная возрождается тысячекратно, как Феникс, в пламени «большого взрыва» (циклическая модель)? — Каждая из названных моделей имеет свои за и свои против. Но неизбежным для любой из разновидностей эволюционной модели Фридмана является вывод о том, что когда-то однажды на космологической оси времени имел место момент, когда плотность вещества во Вселенной была бесконечно велика, а радиус Вселенной (которая предполагается сферически симметричной) обращался в нуль. Сам Фридман, излагая свои результаты, писал так: «Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев: для

этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира, начиная с некоторого значения, постоянно возрастает с течением времени; возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в пичто), затем, снова из точки, доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т. д. Невольно вспоминается сказание индусской мифологии о периодах жизни... бесполезно, за отсутствием надежных астрономических данных, приводить какие-либо цифры, характеризующие «жизни» переменной Вселенной; если все же начать подсчитывать, ради курьеза, время, прошедшее от момента, когда Вселенная создавалась из точки, до теперешнего ее состояния..., то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет»¹.

Характерна решительность, с которой был совершен этот переход к принципиально новой, эволюционной картине мира. Сделать Вселенную функцией времени, освободиться от статической системы мира (на что так и не мог согласиться даже взорвавший пространственно-временной фундамент классического мироздания Альберт Эйнштейн) — в этом неустаревающее революционное значение открытия Фридмана². Это было в 1922 г. Пять лет спустя модель расширяющейся Вселенной была, независимо от Фридмана получена Ж. Леметром³, и, наконец, в 1929 г. она была в первый раз подтверждена наблюдательными данными: Э. Хаббл открыл закон красного смещения в спектрах удаленных галактик⁴. Наблюдения Хаббла были осмыслены в терминах «разбегания галактик», т. е. фридмановского расширения Вселенной⁵.

Правда, некоторые авторы не примирились с утратой традиционной картины мира. Вместе с тем расширяющаяся модель столкнулась с конкретными трудностями. Во-первых, сингулярность трудно было увязать с термодинамическими, энтропийными соображениями. (Частично эта проблема сохраняет остроту и теперь.) С другой стороны, из-за неточности определения постоянной Хаббла H конкретные цифры возраста Вселенной оказывались меньше гораздо более надежных геологических оценок возраста самой Земли. В поисках выхода из положения, а заодно и отказа от нестационарности, в 1948 г. была предложена

¹ А. А. Фридман. Мир как пространство и время. М., 1965, с. 100—101.

² Подробнее см.: Я. Б. Зельдович. Теория расширяющейся Вселенной, созданная А. А. Фридманом.—«Успехи физических наук», 1963, т. 80, № 3, с. 363.

³ G. Lemaitre. L'Univers en expansion.—«Annals Society Science Bruxelles», 1933, v. 53, A, p. 51—85.

⁴ E. P. Hubble. A Relation Between Distance and Radial Velocity among Extragalactic Nebulae.—«Proceedings of the National Academy of Sciences US», 1929, v. 15, p. 169—173.

⁵ А. Эйнштейн. О специальной и общей теории относительности. Приложение IV.—Собрание научных трудов, т. I, М., 1965, с. 600.

так называемая модель «стационарного состояния», в прошлом основной конкурент Фридмановской эволюционной космологии⁶. Чтобы объяснить наблюдаемое расширение Вселенной и сохранить при этом извечный *status quo*, Ф. Хойлом была разработана концепция «непрерывного творения материи»⁷, использующая уравнения с *C*-полем, которая предвосхитила физические формализмы современных теорий рождения частиц⁸.

Но параллельно со «стационарной моделью» совершенствовалась и Фридмановская космология. В том же 1948 г. была выдвинута известная « α , β , γ -теория» (Р. Альфера, Г. Бете и Г. Гамова), предсказывавшая существование фоновой радиации, обусловленной взрывом Вселенной из сингулярной точки, с температурой порядка 25° К. В 1964 г. эти результаты, на основе новых соображений, повторил Р. Г. Дикке, и был начат экспериментальный поиск реликтового излучения. В 1965 г. реликтовое излучение с температурой 2,7° К было обнаружено Пензиасом и Уилсоном. Эволюционная модель Фридмана была подтверждена экспериментально второй раз. В настоящее время ее справедливость не вызывает сомнений у большинства физиков и астрофизиков⁹.

В то же время, почти одновременно с моделью Фридмана, стали выдвигаться анизотропные модели, в которых поведение вещества предполагается различным в различных направлениях. Первой такой моделью была модель Е. Казнера (1921 г.).

В ранних публикациях Е. М. Лифшицем и И. М. Халатниковым был поставлен вопрос, «насколько общий характер имеет другое важное свойство изотропной модели — наличие в ней особой точки пространственно-временной метрики по отношению ко времени.... является ли наличие особенности общим свойством

⁶ H. Bondy, T. Gold. The Steady-State Theory of the Expanding Universe.— «Monthly Notices of Royal Astronomical Society», 1948, v. 108, N 3, pp. 252—270; F. Hoyle. A New Model for the Evolving Universe.— Ibid., p. 372—382.

⁷ F. Hoyle. The Nature of the Universe. N. Y., 1960, p. 122—127; H. Bondy. Cosmology. London, 1960, p. 143—156.

⁸ M. K. Munitz. Creation and the New Cosmology.— «British Journal for the Philosophy of Science», 1954, v. V, N 17, pp. 32—46. О квантовомеханических процессах, приводящих к рождению частиц в современной анизотропной космологии, см.: Я. Б. Зельдович. Спонтанное рождение частиц в космологии. М., 1970, с. 3—4; он же. Рождение частиц и космология. М., 1973, с. 10 и сл. Разумеется, теория рождения частиц в анизотропной эволюционной космологии исходит из совершенно других принципов, чем хойловская «стационарная» космология.

⁹ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1967; они же. Теория тяготения и эволюция звезд. М., 1971; они же. Строение и эволюция Вселенной. М., 1973. См. также: C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation. San-Francisco, 1973, p. 733; M. J. Rees. Recent Developments in Cosmology.— «Physics Bulletin», 1973, v. 24, N 11, pp. 651—653. Но все же нельзя полностью исключать, что мы живем именно в стационарном мире (G. Burbidge. Was there really a Big Bang?— «Nature», 1971, v. 233, N 5314, p. 36—40).

космологических решений»¹⁰. Они ограничивались при этом исследованием вида общего решения только непосредственно вблизи сингулярности. В частности рассматривалась анизотропная метрика с таким режимом изменений вблизи сингулярности, что в каждой точке пространства линейные расстояния по двум направлениям убывают, а по третьему возрастают. Авторы делали вывод, что наличие сингулярности для общего случая моделей общей теории относительности не обязательно, а ни одно из сингулярных решений не обеспечивает достаточной степени общности. Если относительно сингулярности в прошлом вывод делался в терминах «необязательности», то сингулярное состояние в будущем исключалось начисто: «сжатие мира (если оно вообще должно наступить) должно будет в конце концов снова смениться его расширением»¹¹.

Позиция Е. М. Лифшица и И. М. Халатникова обладает рядом несомненных методологических достоинств. Для философско-методологического анализа проблемы сингулярного состояния важны, прежде всего, следующие два нетривиальных момента. Во-первых, широта постановки задачи, принципиальная ориентация на максимальную общность искомого решения. Почему, действительно, природа должна ограничиваться простейшим изотропным случаем космологических моделей? С другой стороны, в противоположность сторонникам классической фридмановской модели с сингулярностью, апеллирующим довольно часто к необходимости «новых теорий» и «новых законов природы», Е. М. Лифшиц и И. М. Халатников подчеркивают, что «сама по себе теория гравитации (ОТО) не теряет логической связности ни при каких плотностях материи»¹². Тем самым анализ сингулярности не повисает в воздухе, а приобретает в рамках общей теории относительности статус полной логической и формальной законности.

В последующие годы был уточнен характер приближения решения к сингулярной точке ($t=0$). Были получены осцилляторные режимы, но по-прежнему высказывалось мнение, что «учет зависимости метрики от всех координат приведет к ликвидации физической особенности»¹³. Вскоре, однако, после осмысления результатов Пенроуза, Хоукинга, Героча (1965—1968 гг.), И. М. Халатников и его сотрудники признали, что «ситуация изменилась» и что «вопрос о существовании общего решения с физической особенностью во времени имеет положи-

¹⁰ Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников. Проблемы релятивистской космологии. — «Успехи физических наук», 1963, т. 80, № 3, с. 392.

¹¹ Там же, с. 410.

¹² Там же.

¹³ В. А. Белинский, И. М. Халатников. К вопросу о характере особенностей в общих решениях уравнений гравитации. — «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1969, т. 56, № 5, с. 1709.

тельный ответ»¹⁴. Модель эволюционирует в направлении к сингулярной точке таким образом, что в каждую «эпоху» пространственные расстояния вдоль двух осей осциллируют, а вдоль третьей убывают, причем направлением с монотонным убыванием по очереди оказывается каждая из осей. Частота пульсаций с приближением к сингулярности растет, «последовательные эры сгущаются», а размах колебаний снижается¹⁵.

Характер сингулярности, непосредственно испытанной нашей Вселенной в прошлом, может быть определен лишь на основе фундаментальных физических требований и правил отбора, на установление которых современная общая теория относительности не претендует. Вполне допустимо, что природа укажет — как она указывает для современного этапа эволюции Вселенной — на классическую сингулярность фридмановской изотропной модели. Может быть, ближе к истине окажутся колебательные «сценарии» Мизнера и Халатникова. Считалось, что они обладают существенным преимуществом — глобальной каузальностью по всему пространству в противоположность непроницаемому горизонту моделей Фридмана. В космологической модели, построенной Ч. У. Мизнером на основе «колебательных режимов», если в течение одной эры горизонт открыт вдоль одной оси, то в течение следующей эры он открывается в другом направлении. Если вспомнить, что такое «перемешивание» происходит бесконечное число раз, можно было бы ожидать, что окажется «возможной причинная связь во всем объеме пространства»¹⁶. Но, как показал И. Д. Новиков, последнее вряд ли имеет место. Во всяком случае, свет, начиная от сингулярности, как и в модели Фридмана, ни разу не успевает обогнуть Вселенную¹⁷.

В результате вышеизложенного становится ясно, что фридмановская космология с присущей ей сингулярностью в начале расширения еще раз одержала решительную победу. Самые убежденные ее противники вынуждены были примириться с (теоретической) неизбежностью сингулярного состояния в эво-

¹⁴ В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников. Колебательный режим приближения к особой точке в релятивистской космологии.— «Успехи физических наук», 1970, т. 102, № 3, с. 464, 465. Ср.: I. M. Khalatnikov, E. M. Lifschitz. General Cosmological Solution of the Gravitational Equations with a Singularity in Time.— «Physical Review Letters», 1970, v. 24, N 2, p. 76—79.

¹⁵ В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников. Колебательный режим приближения к особой точке в релятивистской космологии.— «Успехи физических наук», 1970, т. 102, № 3, с. 473.

¹⁶ Там же, с. 491. Именно в связи с интенсивным «перемешиванием» Вселенной вблизи сингулярности Мизнер назвал свою модель образно «моделью миксмастера», См.: C. W. Misner. The Mixmaster Universe.— «Physical Review Letters», 1969, v. 22, p. 1071—1074.

¹⁷ И. Д. Новиков. Ранние стадии космологического расширения. М., 1970, с. 6.

люционных — как изотропных, так и анизотропных — моделях Вселенной.

Возможность научного обсуждения сингулярного состояния, ухода в сингулярность (коллапса, «черной дыры») и выхода из сингулярности (космологического расширения) является выдающимся завоеванием современной науки. Следует, однако, отметить, что еще античные авторы пытались выделить и проанализировать различные аспекты вопроса о начале времени, находя здесь в сущности не одну, а целый пучок взаимосвязанных проблем. Так, дифференцированному рассмотрению подвергались вопросы о несотворимости и неуничтожимости материи, о диалектической природе движения и изменения вообще, о безначальности и бесконечности движения мира в целом и как о гарантии этого движения — безначальности и бесконечности времени. Понятие начального момента времени ставилось при этом в неизбежную связь с анализом таких исконных его свойств, как непрерывность, линейность, направленность, анизотропия¹⁸.

Большинство античных диалектиков исходило в космологических построениях из концепций несотворимого и неуничтожимого космоса и безначально-бесконечного космического времени. Анаксагор и Платон¹⁹ представляют в этом отношении некоторые серьезные отличия.

«Начальный момент», как мы мыслим его в контексте современных идей, наиболее близок, быть может, к категории «вдруг» платоновского «Парменида»²⁰. Аналогию нетрудно будет усмотреть, если сопоставить платоновское «движение Единого» с состояниями Вселенной после выхода из сингулярности, т. е. с состояниями, для которых определено космологическое время, а «покой Единого» — с состоянием «по ту сторону» особой точки, для которого внутреннее время не определено.

В платоновском «Пармениде» четко различаются два понятия времени. Одно из них отражает и моделирует другое. С одной стороны — время метафизическое, которое строится через диалектику единого — множественного, затем — одного и числа, наконец, числа как потенциального времени. С другой стороны — время физическое, «начинаемое» категорией «вдруг»; оно строится через диалектику изменения, движения — покоя и другие физические категории.

Если Платон учил о несотворимости материи, о со-вечности ее богу (миф Тимея), то некоторые неоплатоники выдвинули принцип самовозмущения, независимого от чьего-либо произволения, в живой и неживой природе. Время началось с первого «возмущения» — диалектического распада единого на мно-

¹⁸ См.: А. Ф. Лосев. Античный космос и современная наука. М., 1927, с. 432.

¹⁹ См., например: И. Д. Рожанский. Анаксагор. М., 1972; А. Ф. Лосев. Античный космос и современная наука.

²⁰ Платон. Парменид. — Сочинения, т. 2. М., 1970, с. 457—458.

жественное и не может быть поставлено в соответствие с абсолютным единством²¹. Возмущения, скачки, перерывы постепенности, «мука материи» постоянно присущи физической Вселенной. Потому время, как мера этой «муки», этой возможности и стремления к развитию, и является неотъемлемым атрибутом материального мира. Только мир, начинающийся и становящийся, обеспечивает диалектическое единство бытия и ничто²². А космологическим следствием этой диалектической нераздельности бытия и ничто является существование особых точек, моделирующих «начало» и «конец» времени и мира в современных моделях.

Существует мнение, что многим бытующим концепциям пространственно-временной структуры мира как раз и недостает некоего «творческого» принципа, как бы встроенного в физический темпорализм²³. Категория времени проигрывает в своей гносеологической и инструментальной мощности, если игнорируется или затушевывается присущий ему аспект становления, данный опытно в диалектически противоречивом синтезе возможности — действительности. В этой связи актуально звучит предупреждение Гегеля: «направленная против начала мира, а также против его гибели» диалектика, хочет она того или не хочет, оказывается «направленной вообще против становления, против возникновения и прехождения»²⁴.

Стремление признать за физическим временем свойство или способность «начинаться» является методологически оправданным. Это особенно важно для анализа моделирования времени в современных космологических теориях, неизбежно сталкивающихся с проблемой сингулярного состояния в начальной точке расширения.

ПРОБЛЕМА ЦИКЛИЧНОСТИ ВРЕМЕНИ

Прямой логической противоположностью и космологической альтернативой «начинающемуся» времени является идея циклического темпорализма, т. е. времени, замкнутого самого на себя. Рассмотрение замкнутой модели времени тем более актуально, что, согласно распространенному мнению, «эта проблема является тем пробным камнем, который, с одной стороны, позволяет более глубоко понять специфику времени и его отличие от пространства, а с другой — выяснить ограниченность релятивистской концепции времени»²⁵.

²¹ Ср. мысли о «начальном моменте времени» в статье Дж. Дж. Уитроу «Время и Вселенная».

²² Гегель. Сочинения, т. V. М., 1937, с. 68 и след.

²³ S. Watanabe. The Creative Time.— «Studium Generale», 1970, N 11, p. 1057—1087.

²⁴ Гегель. Сочинения, т. V, с. 94—95.

²⁵ Э. М. Чудинов. Логические аспекты проблемы бесконечности Вселенной в релятивистской космологии.— В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969. с. 196.

Мифологема «вечного возвращения», «круга времени» присуща древнейшим мифологическим моделирующим системам не только античного мира, но и древней Индии, Китая, Ближнего Востока, доколумбовской Америки, что заставляет считать ее своего рода архетипом донаучного космологического мышления²⁶. В более позднюю эпоху представители научной и философской мысли относились к этой пережившей тысячелетия идее крайне по-разному. Например, в истории немецкой классической философии судьба ее складывалась так. Фихте выступал против идеи вечного возвращения; он говорил, что «Вселенная не есть возвращающийся в себя круг, непрестанно повторяющаяся игра. Нет, она — процесс к более совершенному в виде прямой линии, идущей в бесконечность»²⁷. Затем Гегель очень непочтительно обошелся с фихтевской бесконечностью, назвав ее «дурной», и снова противопоставил ее кругу, правда, уже не как вечному круговороту, а как конкретной полноте²⁸. В послегегелевский период идею вечного возвращения в немецкой философии пытались реставрировать А. Шопенгауэр и особенно Ф. Ницше, причем последний выводил ее именно из космологических аргументов²⁹.

Эйнштейн, согласно А. Мошковскому, отзывался в свое время о ницшевской модели времени и мира весьма осторожно³⁰, сославшись единственно на термодинамический аргумент и указав, что циклический мир мало вероятен. Столь же лаконичен был Эйнштейн и в 1949 г., когда Гёдель выступал в Принстоне с докладом «Время в общей теории относительности» и доказывал возможность замкнутых во времени геодезических для специального класса моделей с вращением³¹. Замечания Эйнштейна по докладу Гёделя обнаруживали, однако, «определенную, хотя и осторожно выраженную, симпатию»³².

Спустя много лет Чандрасекар вновь обратился к проблематике, связанной с метрикой Гёделя, и показал, что круговые траектории, действительно возникающие в этой модели, при «физически разумных» допущениях (интервал ds^2 не меняет знака или равен нулю), не приводит к парадоксальным результатам. «Физическую разумность» выбора тех или иных траекторий Чандрасекар связывал, в частности, с той или иной интерпретацией

²⁶ Н. Н. Лисовой. Об одной мифологеме времени в связи с проблемой межкультурных контактов. (Материалы научного семинара «Семиотика средств массовой коммуникации», ч. II. М., 1973, с. 345—355).

²⁷ Цит. по: Б. Вышеславцев. Этика Фихте. М., 1914, с. 157.

²⁸ Гегель. Сочинения, т. V, с. 151—152.

²⁹ Ф. Ницше. Вечное возвращение. — «Новый путь», 1903, № 5, с. 35—44.

³⁰ А. Мошковский. Альберт Эйнштейн. Беседы с Эйнштейном о теории относительности и общей системе мира. М., 1922, с. 188.

³¹ См. также: K. Gödel. A Remark about the Relativity Theory and Idealistic Philosophy. — In: P. A. Schilpp (Ed.). Albert Einstein. Philosopher-Scientist. Evanston, 1949, p. 557, a. o.

³² M. Capek. Time in Relativity Theory: Arguments for a Philosophy of Becoming. — In: «The Voices of Time», Ithaca, 1967, p. 436—437.

необратимости (анизотропии) времени. Если выбрать направление времени вдоль одной из геодезических и считать, что автоматически такое же направление обязано иметь время и вдоль любой другой геодезической, то петля Гёделя потеряет физический смысл.

Но, не имея специальной аксиомы относительно глобальной односторонности всех геодезических, более того, раньше чем вообще определена для общерелятивистского темпорализма категория направления, едва ли правомерно доверять аргументации типа «физической разумности». Другое дело, что мир Гёделя оказался недостаточно диалектичным, чтобы стоило определять для него циклический темпорализм. Но ведь существуют другие примеры. Есть модели, куда проще гёделевской, которые удовлетворяют повсюду уравнениям гравитации Эйнштейна и содержат при этом замкнутые линии времени. Тривиальный образец — простейший гипертор с замкнутыми времени-подобными $x, y, z = \text{const}$. Или мир де Ситтера ($\Lambda < 0$), на котором, как бы ни была определена наблюдателем локальная ориентация времени, он всегда может, двигаясь по непрерывным геодезическим линиям, проникнуть из области с темпорализмом одного знака в область с темпорализмом другого знака (т. е. туда, где время, на языке научно-популярной журналистики, «течет вспять») ³³.

Несколько лет назад Я. Б. Зельдович высказался против идеи неориентируемой топологии как противоречащей физическому мышлению. Суть сомнений состояла в следующем: как может, например, электрон, перемещаясь из одной точки-момента циклической геодезической в точку прямо ей противоположную, где темпорализм отрицателен относительно первого, по ходу дела «постепенно» превратиться в позитрон. Но это возражение не решает дела. Когда говорят о времени в контексте полной зарядовой симметрии начального состояния, а следовательно, и всей Вселенной, явной становится относительность самого понятия «направления» времени, что соответствует такой же относительности вещества и антивещества. В случае фридмановской сферически симметричной стандартной модели для каждого фундаментального наблюдателя его «миром» является вся наблюдаемая область Вселенной вплоть до горизонта событий, а «антимиром» — все, что находится по ту сторону космологического горизонта и принципиально недоступно наблюдению. Переход от «расширения» к «сжатию» соответствует при этом мгновенному переключению сигнатуры пространства-времени (и СРТ-инверсии материи) по всему космосу. Иначе говоря, космос переключается в «обратное время» только весь целиком, с точностью до последнего электрона.

³³ Подробнее см.: А. С. Эддингтон. Пространство, время и тяготение. Одесса, 1923.

Таким образом, если геодезия типа Гёделя оказывается нефизичной в малом (локально), то из этого еще не следует, как иногда говорят, что «доказана» принципиальная невозможность мира с круговой замкнутостью времениподобных геодезических (т. е. невозможность циклического времени).

Это признает и Чандрасекар, когда говорит: «Тот факт, что ситуация с возвращением в прошлое, описанная Гёделем, невозможна в этой, им предложенной метрике, не исключает вообще подобной возможности в рамках общей теории относительности. Хорошо бы, конечно, доказать для общего случая невозможность замкнутых времениподобных геодезических, но пока можно сказать только, что частный, приведенный Гёделем, пример оказался неверен»³⁴.

Мы не вполне согласны в этой связи с Э. М. Чудиновым, считающим, что возможность циклического темпорализма, имплицитруемая общей теорией относительности, свидетельствует об ограниченности релятивистской концепции времени³⁵. Проблему следует ставить более широко, так как здесь сказывается недостаточность и ограниченность всякого, не только релятивистского, но и классического, аппарата геометрического моделирования времени. Это внутреннее диалектическое противоречие геометрического и темпорального ряда (мы сознательно избегаем здесь термина «хронометрический») заслуживает специального дальнейшего исследования³⁶.

Представляется весьма актуальным искать новые подходы к моделированию физического темпорализма в современной теории на пути сочетания аспектов сохранения (геометрической инвариантности) и становления (эмерджентности) времени, а не только в справедливо указываемом Э. М. Чудиновым обращении к логической аксиоматике времени. Логическая аксиоматика — это всегда лишь формально-аппаратный уровень теории. Смены же пространственно-временной физической парадигмы можно ждать только от качественного революционного развития интуитивно-содержательного уровня моделирующей системы. Посмотрим, что может дать современная космология в смысле моделирования раннего этапа развития Вселенной на этом, более глубоком интуитивно-содержательном уровне.

³⁴ S. Chandrasekhar. The Geodesics in Gödel's Universe.— In: The Nature of Time. Ithaca, 1967, p. 69.

³⁵ Э. М. Чудинов. Логические аспекты проблемы бесконечности Вселенной в релятивистской космологии.— В кн.: Бесконечность и Вселенная, с. 197 и сл.

³⁶ О. Коста де Борегар. Принцип относительности и физическая эквивалентность пространства и времени.— В кн.: Время и современная физика. М., 1970, с. 110. См. также в кн.: Bergson and the Evolution of Physics. Knoxville, 1969, p. 45—62; М. Капек. Bergson and Modern Physics Dordrecht, 1971, p. 8.

Если время является самой интуитивно ясной, ощутимой и непосредственной формой бытия, движения и изменения физической реальности,— целесообразно ввести в рассмотрение и другие, различно, но тесно со временем связанные характеристики материальных объектов, и вводить их как можно больше, анализировать, сравнивать, сопоставлять и пытаться, наконец, построить как бы внутренне-структурную модель времени. Так, например, соотнося временные характеристики с другими параметрами физической системы, хотя бы теоретически и не равнопомощными, но более конкретно ощутимыми, можно попытаться, не искажая физической и философской сущности вопроса, говорить о космологической шкале времени и, как о предельной отметке этой шкалы, — о нуле или, по аналогии с температурой, об «абсолютном нуле времени».

Одним из первых, насколько нам известно, обсуждал эту далеко идущую аналогию В. де Ситтер в 1932 г.³⁷, затем Р. Шлегель³⁸, наконец, в недавнее время, Ч. Мизнер³⁹.

Следуя Мизнеру, зададимся следующим вопросом: является ли нижний предел на шкале времени (т. е. в релятивистской особой точке) столь же физически приемлемым, каким является нижний предел температуры на шкале Кельвина? — В определенном смысле его можно сделать физически приемлемым. Мизнер выделяет две различные трактовки времени: время философское (он отождествляет его, не вполне корректно, с психологическим) и время физическое, «собственное», или истинное, время теории относительности. Время физическое, с точки зрения Мизнера,— понятие вполне точное и всегда определенное; время же философов «эволюционирует» от системы к системе, от одного интеллектуального уровня к другому, более богатому и содержательному.

Но и к самому физическому времени современный научный метод требует, согласно Мизнеру, дифференцированного подхода. Время, особенно в космологическом аспекте, представляет собой структуру, в высшей степени иерархическую. Секунда, день, год — не просто различные «единицы измерения» времени, которое, казалось бы, всегда имеется в виду одним и тем же, подобно тому, как миллиметр, сантиметр, километр — единицы

³⁷ W. De Sitter. Relativity and Modern Theories of the Universe.— In: Munitz M. K. (Ed.). Theories of the Universe Glencoe, 1957, p. 317.

³⁸ R. Schlegel. Time and the Physical World. Chicago, 1961, p. 67 a. o.

³⁹ Ch. W. Misner. The Absolute Zero of Time.— «Physical Review», 1969, v. 186, N 5, p. 1328—1333. См. также: Ch. W. Misner. The Mixmaster Universe.— «Physical Review Letters», 1969, v. 22, N 20, pp. 1071—1074. Следует напомнить, что модель миксмастера была разработана Мизнером на основе решения с колебательным режимом, полученным в 1969 г. В. А. Белинским (СССР).

измерений одного и того же физического параметра длины. Это по природе иерархически различные времена, связанные с разными уровнями физической реальности (атомным, планетарным, галактическим).

Мысль, которую высказывает здесь Мизнер, справедлива и интересна, но для большей точности, пожалуй, не о более или менее правильном выборе единиц измерения надо здесь говорить, а о едином космологическом темпорализме как неизменном атрибуте материального единства мира. Собственно, это ведь и подразумевает Мизнер, когда приходит в результате анализа к заключению, что ни один из частных стандартов времени не определяет космологического темпорализма, не дает нам истинного «пульса Вселенной». Это последнее, довольно естественное замечание, однако, ни в коей мере не эквивалентно вышеизложенному тезису о «различных по природе временах». Космологическое время должно, видимо, оставаться одним и тем же, оно должно скорее «разветвляться», подобно системе сообщающихся сосудов и капилляров, но пульс во всех этих сосудах должен быть единым. Ньютоновским, линейным такое космологическое время уже не будет, ритм его будет меняться в ходе эволюции модели Вселенной.

Очевидно, изменения «пульса» космологического времени не могут быть хаотичными и произвольными. В них должен наблюдаться определенный порядок, и этот порядок будет, в свою очередь, связан с закономерной последовательностью возникновения и развития новых форм и уровней физической реальности. Если использовать для этих скачков, перерывов постепенности в темпоральной эволюции материи термодинамические, температурные метки, получим такую приблизительную шкалу соответствий:

Температура (в эв)	Температура (в °К)	Масштаб (как характеристика ритма, темпа времени)
100 Кэв	10^9 град. К	— масштаб времени ядерных реакций
100 Мэв	10^{12} град. К	— время жизни Мю-мезона
10^3 Гэв	10^{16} град. К	— масштаб неизвестен

Задача будущей теории — установить строгий принцип соответствия между физическими временами, моделируемыми в нынешних теориях отдельно и различно для каждого из указанных уровней. Только такой принцип соответствия, будучи положен в основу, если можно так выразиться, «единой теории времени», позволит подойти к решению той задачи, которую Мизнер называет нахождением «истинного пульса Вселенной».

Весьма несовершенной аппроксимацией этого будущего алгоритма моделирования времени следует считать попытки отобразить физическое время антиколлапсирующей модели Все-

ленной (т. е. модели большого взрыва) на логарифмическую ось которого методологически обосновываемого псевдовремени.

Наиболее естественным в космологии горячей (гамовской) модели является путь маркировки времени температурными метками ($t = \log T$). Но поскольку температура, характеризующая физическое состояние вещества на каждом этапе расширения, в первом приближении пропорциональна красному смещению

$$T \sim 3^{\circ}K (1 + z),$$

то эквивалентом температурной маркировки времени будет маркировка его по красным смещениям:

$$t \sim \ln(1 + z)$$

или, наконец, по самому расширению:

$$\omega = -\ln \sqrt[3]{V_t},$$

где V_t — объем вселенской сферы на данный момент времени. Этот параметр так и называют « ω -временем», исключительно с этим логарифмическим псевдовременем и работает затем Мизнер. Сингулярность остается в этой модели истинной в математическом смысле, но зато отодвигается вместо фиксированных 10 млрд лет на бесконечность. $V_{t_0}=0$ соответствует $\omega \rightarrow \infty$.

В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц и И. М. Халатников, анализируя модель миксмастера, подчеркивают общее философско-методологическое значение, которое имеет новая модель для лучшего понимания самой природы космологического времени, в частности антиномии его конечности — бесконечности. Известная кантовская антиномия как бы устраняется здесь возможностью третьего варианта. «Колебательный режим приближения к особой точке придает новый аспект самому понятию конечности времени. Между любым конечным моментом мирового времени t и моментом $t=0$ заключено бесконечное множество колебаний. В этом смысле процесс приобретает бесконечный характер. Более естественной переменной для его описания вместо самого времени t оказывается его логарифм $\ln t$, по которому процесс растянут до $-\infty$ »⁴⁰.

Тогда на уровне логической непротиворечивости проблема нуля времени решается положительно. Да, нуль времени имел место, но «Вселенную можно считать во времени бесконечной, в том смысле, что с начального момента времени в ней имело место бесконечное множество событий»⁴¹. Причем устроена

⁴⁰ В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников. Колебательный режим приближения к особой точке в релятивистской космологии. — «Успехи физических наук», 1970, т. 102, № 3, с. 490.

⁴¹ Ch. W. Misner. The Absolute Zero of Time. — «Physical Review», 1969, v. 86, p. 1328.

Вселенная в модели миксмастера так, что ее часы «тикают» регулярно, но все медленнее по мере углубления в бесконечное прошлое, обеспечиваемое перенормировкой $t \rightarrow \omega$. Если рассматривать интервалы времени, необходимые для установления во Вселенной теплового равновесия при различных значениях плотности, справедливо будет, по Мизнеру, даже такое парадоксальное высказывание: в первую секунду своего существования Вселенная медленно эволюционировала через бесконечные эпохи, постепенно убыстряя в течение 10 млрд лет темпы своей эволюции до взрывного расширения в самые недавние времена. Т. е. космос как бы «пробуждается», медленно раскручивая спираль своей эволюции. Постепенно расширение становилось слишком быстрым для того, чтобы успевало установиться термодинамическое равновесие между веществом и излучением. Неуравновешиваемая более светом модель начинает, образно выражаясь, быстро «тускнеть» и «темнеть» по мере катастрофического расширения.

Напомним, что хотя все вышеприведенные соображения формулировались в терминах одной специальной модели — типа «миксмастер», некоторые выводы и обобщения имеют тем не менее, на наш взгляд, гораздо более глубокий, если и не универсальный, философский и космологический характер.

Особенно интересен в данном случае анализ физического содержания эволюции Вселенной, характера самого временного процесса. Поэтому важнее всего в аргументации Мизнера идея «эволюции времени», принцип неразрывного единства времени с материальным его содержанием. «Материя не существует «в» пространстве и «во» времени как в чем-то внешнем: она сама формирует свое пространство и свое время»⁴². Это единство времени с его материальным содержанием усматривается тем конкретнее, глубже и яснее, чем шире спектр привлекаемых к рассмотрению космологических моделей и временных представлений.

Связан ли как-либо (номологически или фактически) абсолютный нуль времени с абсолютным нулем температуры или аналогия не простирается дальше терминологической синонимии? На этот вопрос пока нельзя ответить ни положительно, ни отрицательно. Интуитивно представляется (и Мизнер дает это понять), что какая-то не только аналогия, но и физическая связь между ними должна быть; так же, как должна быть и концептуальная связь между понятиями, если продолжить аналогию, отрицательных температур и отрицательного, инверсного темпорализма. В этом смысле, во-первых, может оказаться,

⁴² Ю. А. Урманцев. Специфика пространственных и временных отношений в живой природе. — В кн.: Пространство, время, движение. М., 1971, с. 215.

что, подобно абсолютному нулю температуры, абсолютный нуль времени является в физической теории понятием отнюдь не «абсолютным», а как нельзя более относительным⁴³.

Во-вторых, если эта аналогия отражает некоторую глубинную связь и диалектическое единство темпоральных и термодинамических характеристик системы⁴⁴, то, возможно, удастся построить своего рода фазовую диаграмму космологического процесса (температура-время).

Такая диаграмма описывала бы на космологическом уровне теоретического моделирования ход температуры со временем в гамовской модели (т. е. в модели расширяющейся и, соответственно, остывающей Вселенной). Температура уходила бы в бесконечность на нуле времени и асимптотически стремилась к нулю на бесконечности времени. Повернув оси координат, мы получили бы «зависимость» времени от температуры, в том смысле, как мы говорили выше о маркировке времени температурными метками. (Речь идет, разумеется, не о зависимости, но о внутренней связи и взаимном соответствии физических понятий, обусловливаемом и содержательным родством моделируемых этими понятиями реальных аспектов движущейся материи.)

КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕМПОРАЛИЗМ И НОМОЛОГИЧЕСКАЯ НЕРАЗЛИЧИМОСТЬ ПРЯМОГО И ИНВЕРСНОГО ВРЕМЕНИ

Проблема разнонаправленности времени, как она снова предстает нам в связи с проблемой «абсолютного нуля времени», заставляет вернуться к анализу философской и физической состоятельности идей «встречного», «вывернутого» или «обращенного» времени.

Пусть мы имеем упорядоченный набор фотоснимков некоторой части Вселенной, достаточно подробных для того, чтобы на них запечатлена была в главных чертах наша сегодняшняя

⁴³ Отрицательные температуры для физика ничем не хуже положительных. И то, и другое понятие моделирует один и тот же аспект физического состояния системы. Более того, можно сослаться на известное указание Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица: «Температура $T = -\infty$ физически тождественна с температурой $T = +\infty$; оба эти значения дают одинаковое распределение и одинаковые значения термодинамических величин» (Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М., 1964, с. 258). Разумеется, приведенные слова сказаны Ландау и Лифшицем по специальному поводу и могут в нашем анализе иметь лишь эвристическое значение. Но именно такое значение им здесь и придается.

⁴⁴ Сами понятия, разумеется, никак не равнозначны. Понятие температуры само является частичным, бледным и неполным выражением одного из аспектов временных характеристик физической реальности. См. интересные соображения о природе времени и температуры: J. Mehra, E. C. G. Sudarshan. Some Reflections on the Nature of Entropy. Irreversibility and the Second Law.— «Nuovo Cimento», 1972, v. 118, N 2, p. 215—256.

конкретная физика. Пачем тасовать колоду в обратном порядке. Точнее, мы не знаем априори, какой порядок «прямой», какой — «обратный». Мы просто случайно начали с одного из «концов».

Мы обнаружим, что в этой обращенной «колоде Вселенной» полностью сохраняется помологическая структура физики, присущей Вселенной с положительно определенным темпорализмом, т. е. выполняются законы ньютоновской механики, максвелловской электродинамики, классической квантовой механики с обращенным, соответственно, уравнением Шредингера и теории тяготения (как ньютоновской, так и эйнштейновской). Одно могло бы насторожить: статистические закономерности, механизм термодинамики заработают в обратном порядке. Тепло хлынет от холодных тел к горячим, энтропия замкнутой системы начнет уменьшаться со временем.

Но сможет ли это действительно «насторожить» наблюдателя, который определит свой физический темпорализм противоположно нашему обычному? Согласно принципу, связываемому обычно с именем Каратеодори, закон возрастания энтропии не может быть доказан в рамках теоретической термодинамики. Показано может быть только, что для всех больших систем соответствующая тенденция имеет место в одном и том же направлении. Но решить, в каком именно направлении, «вдоль» по времени или «против» него, можно только обратившись к наблюдениям. В обращенной Вселенной наблюдатель увидит многое не так. Термодинамические процессы зеркально обратятся, частицы «поглотитель» и «излучатель» в Фейнман—Уилеровской электродинамике поменяются функциями, а значит, для наблюдателя, и названиями. А такие «крайне невероятные» для нашей статистики явления, как излучение света фотопластинкой и поглощение его затем (в виде сходящейся волны) некоторой точкой на поверхности звезды, перестанут казаться невероятными, потому что именно они будут соответствовать закону убывания энтропии.

Если еще раз вспомнить, что формализм Максвелла временно-симметричен, вообще приходится сомневаться, можно ли эмпирически убедиться в том, что мы живем не в сжимающейся, а в расширяющейся Вселенной. Эмпирический критерий в данном случае, видимо, не верен. Разумеется, любой школьник сегодня скажет, что мы живем в расширяющейся Вселенной, так как мы «наблюдаем» Хаббловское красное смещение; если бы мы жили во Вселенной сжимающейся, мы, вероятно, «наблюдали бы» смещение фиолетовое.

Но в том-то и дело, что не наблюдали бы. Если в обращенной Вселенной действуют обращенные, соответственно, законы термодинамики и время «стреляет» в направлении, противоположном нашему обычному (не стоит уточнять, какое из них «истинное»), то никакого излучения «слетающихся» галактик не

будет, не будет вообще излучения с поверхности звезд⁴⁵. Звезды станут чистыми «поглотителями», а фиолетовое смещение будет не у них, а для них станут более «фиолетовыми» по мере сжатия Вселенной наши глаза, фотографические пластинки и (излучающие тепло) холодильники. То есть не у нас, а у гипотетического наблюдателя на поверхности поглощающей звезды не было бы никакого сомнения в факте сжатия и «фиолетового смещения» Вселенной, как у нас, наблюдателей, связанных с «остывающей» системой отсчета, не вызывает сомнения факт расширения Вселенной и красного смещения галактик.

Следовательно, этому гипотетическому наблюдателю в сжимающейся Вселенной с отрицательно определенным темпорализмом «карта мира» предстанет не хуже и не лучше, не более чудовищной и не менее вероятной, а просто как «так и надо». Есть способ приобщиться к подобной системе отсчета. Это, в сущности, призвана делать общая теория относительности.

Если мы представим (опять, конечно, гипотетического) наблюдателя, поднявшегося «над» искривленным, изогнутым и т. п. четырехмерным многообразием, называемым пространством-временем, и видящего перед собой, как на обычной школьной карте, прочерченные мировые линии галактик по всей Вселенной, — что он заметил бы? Наблюдатель заметил бы, что если идти по многообразию вдоль одной из его осей (которую мы, в многообразии погруженные, отождествляем с временем), то мировые линии в одном направлении становятся визуально гуще (сходятся), а в противоположном направлении — становятся реже (расходятся)⁴⁶. При таком представлении бессмысленным становится и «формальный» вопрос, в каком «направлении» течет время, и более «содержательный» вопрос, какой из «модулов» Вселенной или какой из участков нашей карты, является «подавляюще вероятным», а какой — «крайне невероятным».

Единственная вероятностная оценка, которую мы, поднявшись над пространством-временем, вправе будем сделать, состоит в том, что физические законы, известные нам для данного обрыва многообразия, позволяют с большей вероятностью давать правильное описание физической реальности по одну сторону (мы никогда не знаем, по какую) от данного момента, пространственно-подобного сечения, чем по другую от него сторону. Только в этом смысле мы и можем говорить о различении между прошедшим и будущим⁴⁷.

⁴⁵ T. Gold. The Arrow of Time.— «American Journal of Physics», 1962, v. 30, N 6, p. 408—409.

⁴⁶ T. Gold. The Arrow of Time.—Jn: La Structure et l'Evolution de Universes. Bruxelles, 1958, p. 230.

⁴⁷ Ср.: О. Коста де Борегар. Второй принцип науки о времени.— В кн.: Время и современная физика. М., 1970, с. 133—134.

Тогда обсуждавшаяся выше эмпирическая противояужность Вселенной сжимающейся и Вселенной расширяющейся сводится к тому, что известные нам «здесь-теперь» локальные физические законы не позволяют различать глобально между прошедшим и будущим Вселенной в большом. Один кусок карты пространственно-временного многообразия, лежащей перед нами, так сильно отличается от другого, что мы утрачиваем ощущение непрерывности нашего движения по нему и думаем, что попали в «иной», «мнимый», «обращенный», «сжимающийся» и т. п. мир, говорим о различных мировых циклах и разделяющих их сингулярных состояниях.

Стрела времени была бы физически определена, если бы мы обнаружили нарушение Т-инвариантности в конкретном физическом законе. Возможно, так оно действительно и обстоит с распадом нейтральных каонов. В работах А. Аарони и И. Не-емана делалась попытка скоррелировать и связать воедино 4 известные ныне «стрелы» времени: каонную, космологическую, термодинамическую и электромагнитную⁴⁸. Но и это еще не дает оснований думать, что такое («каонное») определение «стрелы времени» можно считать глобальным, а не локальным, связанным опять-таки лишь с данным участком проходимого нами 4-многообразия.

Пусть действительно «каонная стрела» указывает, что из некоторого состояния (в момент t_1) необратимо получилось качественно иное состояние (в момент t_2), т. е. однозначно определен порядок, в каком оба состояния должны следовать одно за другим. Но и тогда в самом темпоральном порядке (t_1 , t_2) нельзя задать «направления», или, как говорит Голд, «смысла» времени.

Видимо, эволюция взглядов Т. Голда за последние 20 лет привела его к дополнению «идеального космологического принципа», предложенного им совместно с Г. Бонди в 1948 г., принципом «идеальной конвенциональности» относительно направления времени. В одном месте глухо намекается даже, что не имеет вообще, быть может, смысла говорить о самой концепции, утверждающей за временем направление. Может быть, именно «для того» мир так и устроен, физические законы и инвариантны, чтобы «направление времени» не имело для нас смысла, чтобы мы одинаково хорошо себя чувствовали в «прямом» и в «обратном» времени и «не боялись» переходить из расширяющейся в сжимающуюся Вселенную.

«Если бы законы природы,— говорит Голд,— не были симметричны относительно поворота времени, мог бы возникнуть вопрос, почему время течет именно «туда», а не «обратно», по-

⁴⁸ A. Aharony, Y. Ne'eman. Time-Reversal Violation and the Arrows of Time.— «Letters Nuovo Cimento», 1970, v. 4, N 19, p. 862—866. Ср. их же статью: Time-Reversal Symmetry Violation and the Oscillating Universe.— «International Journal of Theoretical Physics», 1970, v. 3, N 6, p. 437—441.

чему Вселенная именно расширяется, а не сжимается. Но поскольку законы, описывающие физическую реальность, во времени полностью обратимы, то даже и вопроса подобного не возникнет. Бессмысленно спрашивать «почему» и «куда». Мы можем просто сказать, что наблюдаем (в данный момент) картину развивающейся Вселенной, которой присущи, в частности, те или иные статистические свойства, скоррелированные с (наблюдаемым в данный момент) характером ее развития. У нас нет законов, определяющих число всех возможных вариантов эволюции Вселенной, среди которых наш вариант картины (с красным смещением и расширением) был бы только один, случайно выбранный из многих других. Похоже, что мир так устроен, чтобы мы могли узнать о нем не более, чем нам нужно о нем знать «здесь» и «сегодня», что он всегда нам дан как единственная в своем роде возможность»⁴⁹.

Итак, новый «идеальный принцип» Голда можно было бы сформулировать так: имеет смысл говорить (на каждом данном ограниченном отрезке, например для современной стадии расширения Вселенной) о «каком-то» направлении времени, но не имеет смысла различать между ним и ему противоположным направлением и, тем более, делать на этом основании выводы о возможности или невозможности каких-либо других (отличных от стадии расширения) картин физической реальности.

Что касается первого тезиса в этой фразе, то он сводится, по существу, к неоднократно обсуждавшемуся в литературе, хотя и не всеми принятому, признаку: нет времени без направления, нет смысла говорить о времени, которое «стоит», а не «течет». Физический темпорализм изначально задан в категориях направления «от» и «к». «Начальный момент времени» становится в этом контексте неотъемлемым, если вообще не краеугольным, элементом в конструировании — на интуитивно-содержательном уровне физической теории — понятия физического и космологического времени. На уровне же модельных представлений Вселенной в современных физико-математических формализмах таким краеугольным элементом является соответствующее «начальному моменту времени» понятие «космологической сингулярности».

ИНВЕРСНЫЙ ТЕМПОРАЛИЗМ
И ПРОБЛЕМА ПРОХОЖДЕНИЯ
ЧЕРЕЗ СИНГУЛЯРНОСТЬ
/ В КОСМОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

В последнее время в публикациях по космологии часто говорят о моделях Голда и Дэвиса. Практически никакой «модели» Голда как завершенной теоретической конструкции не суще-

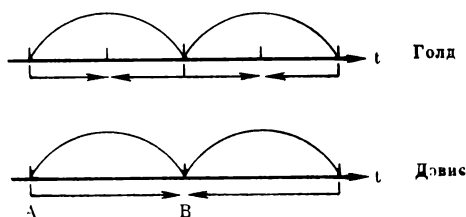
⁴⁹ T. Gold. The Arrow of Time.— «American Journal of Physics», 1962, v. 30, N 6, p. 410.

ствуует. Голд показал только, и мы сейчас об этом говорили, принципиальную неразличимость «изнутри» прямого и инверсного темпорализма и, соответственно, физической картины Вселенной на стадиях расширения и сжатия.

Это и дало, собственно, повод говорить о модели Голда, в которой «стрела времени» при переходе к стадии сжатия в каждом цикле меняет направление на противоположное.

В развитие этой эвристической идеи Голда, кембриджский астроном Дэвис построил во многом сходную, но интерпретационно контрастную модель с циклически определенным темпорализмом. (Отметим в скобках, что **ведь** и модель Голда тоже предполагает в основе своей циклическое время.)

Графически темпорализм того и другого типа может быть представлен следующим образом:



У Голда энтропия возрастает в обеих половинах цикла, стремясь к максимуму в точке перегиба, на максимуме расширения. У Дэвиса максимум энтропии приходится, напротив, на сингулярную точку между двумя циклами.

Отсюда сразу ясно, что для Голда исходной идеей является «стационарная Вселенная», все делается ради того, чтобы она «всегда» расширялась. Исходной моделью Дэвиса является «горячая Вселенная» Гамова, а делается все для того, чтобы позволить ей стать пульсирующей.

Космологи кембриджской школы часто и прежде проявляли симпатию к осциллирующим моделям. Их смущала, как благоденственных физиков, именно проблема энтропии. Бонди, например, писал в свое время об осциллирующей модели: «Она представляет комбинацию лучших качеств теории стационарного состояния и традиционной релятивистской космологии. Она не противоречит ни одному из основных уравнений теории относительности и продолжает работать также при нулевом космологическом члене. С другой стороны, благодаря бесконечной повторяемости циклов, Вселенной присуще — по времени в большом — некое свойство неизменности, аналогичное ее пространственной однородности»⁵⁰. К сожалению, добавлял Бонди, пока нет никаких конкретных исследований о физическом характере такой

⁵⁰ H. Bondi. *Relativity and Cosmology*.— In: *Recent Developments in General Relativity*. Warszawa, 1962. p. 53

модели. В частности, если фаза сжатия «сможет быть физически осмыслена без «свещающегося» ночного неба и вместе с тем совместимой с известными нам физическими законами, пульсирующая Вселенная станет истинно альтернативной моделью наряду с моделью Леметра и стационарной моделью»⁵¹.

Именно такую, логически непротиворечивую в контексте современной физики модель пытается построить Дэвис. И мало того, что построить, но и обосновать с помощью экспериментально наблюдаемых данных. В 1965 г., когда было открыто реликтовое излучение, теоретики считали его аргументом в пользу космологии «большого взрыва», против стационарной модели. Теперь Дэвис использует тот же космологический фон как аргумент в пользу своей квазистационарной циклической Вселенной⁵². Одновременно, замечает Дэвис, «я пытался таким способом избежать проблемы творения в начальный момент времени»⁵³.

Правда, проблема начального момента не вполне устранена Дэвисом, да это, видимо, и невозможно. Циклическая Вселенная, будет ли она строго замкнута или осциллирует вдоль бесконечной оси времени, является системой атемпоральной (т. е. внутреннее время для такой системы не задано), как и маятниковая Вселенная в примере Грюнбаума⁵⁴. Крайние же точки диаграммы, физической интерпретацией которых являются сингулярные состояния, являются в любом случае и физически, и логически выделенными (хотя бы в смысле платоновского «вдруг», о котором говорилось выше)⁵⁵. Тот же момент подчеркивает и Дэвис, когда говорит: «Картина состоит из двух темпоральных областей с взаимно противоположным направлением времени, разделенных малой областью, в которой время не имеет направления»⁵⁶.

С термодинамической точки зрения модель работает следующим образом. Свет, излучаемый звездой в цикле *AB*, пропущенный через сингулярное состояние в точке *B*, полностью термализуется и присутствует в цикле *BA* в виде фонового чернотельного излучения. Достигнув точки *A*, он без какой-либо физической переработки, в виде той же чернотельной радиации снова поступает в цикл *AB* и в точке *B* подвергается обратной процедуре, своеобразному «квантованию», после чего поглощается в цикле *BA*

⁵¹ Там же, с. 53, 55.

⁵² P. C. W. Davies. Closed Time as an Explanation of the Black Body Background Radiation.— «Nature. Physical Science», 1972, v. 240, N 97, p. 3—5.

⁵³ Там же, с. 3.

⁵⁴ А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени. М., 1969, с. 252—253.

⁵⁵ Платон. Сочинения, т. 2. М., 1970, с. 457—458.

⁵⁶ P. C. W. Davies. Closed Time as an Explanation of the Black Body Background Radiation. Последнее указание следует уточнить и усилить: время в особой точке и ее окрестности не только «не имеет направления», но и вообще не определено (F. D. Peat. Black Holes and Temporal Ordering.— «Nature», 1972, v. 239, N 5372, p. 387).

в виде сходящихся на поглотителе волн, представляя при этом для локального наблюдателя свет звезд, излученный в направлении к точке *B*.

Реликтовый фон, наблюдаемый сейчас в нашем цикле *AB*, и представляет, согласно гипотезе Дэвиса, не что иное, как «зарю» завтрашнего цикла, «гостей» не из прошлого, как говорится в традиционных моделях гамовского класса, а из будущего.

Интересно, что Дэвису удалось получить количественные оценки, приводящие к двум космологически существенным совпадениям. Во-первых, расчетная температура гипотетической «зари» следующего цикла оказывается близкой к реально наблюдаемой температуре «фона» ($2,7^\circ\text{K}$). Во-вторых, если эту температуру выразить в терминах фотонно-барионного отношения, получается не зависящее от времени число 10^8 . Это число, как и другие «большие числа» наблюдаемой Вселенной, относят обычно к совокупности «начальных условий». В модели Дэвиса это число находит естественное объяснение. Для этого привлекается другое, тоже известное, но не работающее в традиционной релятивистской космологии, совпадение по порядку величины между плотностью энергии звездного свечения галактики и плотностью фона: А в среднем по всему межгалактическому пространству это энергетическое отношение пропорционально пройденному участку цикла для осциллирующих моделей фридмановского типа.

Одна из трудностей интерпретации модели Дэвиса состоит в том, что физически цикл *AB* выглядит идентичным с циклом *BA*, так что априорно нельзя объяснить, почему они должны быть противоположными в смысле термодинамической картины. Эту трудность, кажется, устраняет Д. Т. Педж, показывая, что соответствующее направление стрелы времени в каждом из циклов может быть получено как формальное следствие из адсорбционной теории излучения. Педж считает при этом, что космологическая стрела времени не является главной и определяющей для всех других «стрел», но сама обусловлена термодинамической, а последняя — электромагнитной⁵⁷.

К модели Дэвиса и ко всей ее принципиальной основе могут быть, конечно, предъявлены самые серьезные претензии. Но три возражения, наиболее часто встречающиеся, по нашему мнению, являются как раз весьма и весьма неокончательными.

Начнем с возражения эмпирического. Против всех осциллирующих моделей, вообще против возможности перехода к фазе сжатия выдвигают следующий факт. Согласно расчетам А. А. Фридмана, модель может перейти к фазе сжатия в том и только в том случае, если средняя плотность вещества во Вселенной превышает критическое значение. Между тем плотность наблюдаемых пока во Вселенной масс — порядка нескольких процентов от кри-

⁵⁷ D. T. Pegg. Closed Time and Absorber Theory.— «Nature Physical Sciences», 1973, v. 243, N 130, p. 143—144.

тической. Это возражение, однако, подозрительно именно в силу своей сугубой эмпиричности. Ведь в «наблюдаемые» массы сегодня не входят (1) гравитационные волны, (2) галактики низких светимостей, (3) межгалактический газ и (4) черные дыры. Картина выглядит так, точно видимые массы во Вселенной представляют собой лишь надводную часть айсберга, утаившего от наблюдателей до 99% истинной своей массы. Во всяком случае, многие ведущие астрономы и физики-релятивисты говорят о фазе сжатия как о вполне конкретной физической возможности⁵⁸.

Другое возражение — термодинамическое. Говорят, что от цикла к циклу осциллирующая Вселенная должна была бы аккумулировать энтропию, которая возрастает в ходе каждого цикла. Или, формулируя в форме парадокса: «если у нашей Вселенной будет «второе начало», то у термодинамики «второго начала» больше не будет». Мы уже видели, однако, как логически непротиворечиво можно построить схему «оконечения» энтропии в каждом цикле (Голд, Дэвис). Но к проблеме моделирования перехода через сингулярное состояние можно подойти и с точки зрения традиционной релятивистской космологии, — достаточно только допустить некоторые отклонения от слишком строгих требований на однородность.

С. Хоукинг и Дж. Эллис, представляющие авторитетную школу космологов-релятивистов, вполне утвердительно пишут: «Сингулярность имела место в прошлом нашей Вселенной и может быть в принципе исследована, в противоположность сингулярностям в сколлапсировавших звездах, которые навек недоступны внешнему наблюдателю. Действительно, ситуация коллапса во многом аналогична повороту времени при расширении Вселенной... Если бы Вселенная была совершенно однородна, мировые линии всех частиц должны были бы проходить через сингулярность. Однако это необязательно в действительной Вселенной, в которой присутствуют локальные неоднородности. Сингулярность в реальной Вселенной может состоять из изолированных точек или поверхностей, которых большая часть мировых линий могла бы миновать... Следует предполагать, что современному расширению предшествовала фаза коллапса с нарастанием неоднородностей и возникновением изолированных сингулярностей. Но большая часть материи во Вселенной избежала захвата в сингулярное состояние и начала вновь расширяться, что мы и видим в сегодняшних наблюдениях... При существовании поверхности Коши, пересекая которую материя «уходит» из Вселенной или «входит» в нее, эволюционная задача становится существенно менее определенной, поскольку во Вселенную, вместе с материей, может «входить» новая информация. Это решает проблему энтропии для осциллирующих мировых моделей.

⁵⁸ M. J. Rees. The Collapse of the Universe: An Eschatological Study.— «The Observatory», 1969, v. 89, N 972, p. 193—198.

В каждом цикле сингулярность обеспечивает инъекцию негэнтропии»⁵⁹.

Наконец, третье возражение — логическое. В циклической модели, тем более с циклическим темпорализмом, почти неизбежно появление причинно-замкнутых цепей. Сказав это, спешат с порога отвергнуть всякое последующее рассуждение, между тем как предмет обязывает к трезвой осторожности. Ведь однопараметрическая причинность, из которой родилось, в сущности, и однопараметрическое время классической и неклассических теорий, не является единственно возможной.

Может быть предложен такой алгоритм преодоления этой логической трудности. Э. Реками, по другому поводу, предлагал следующее обобщение понятия причинности. Постулируется существование двух раздельных, ни в одной точке не пересекающихся событийных множеств E_1 и E_2 .

Пусть событие $e_1 \in E_1$ происходит статистически независимым образом. По определению, если между e_1 и $e_2 \in E_2$ существует некоторая корреляция, говорим, что e_1 — причина e_2 , независимо от того, имеет место событие e_1 раньше, чем событие e_2 , или наоборот⁶⁰.

Следующий шаг — определить в аналогичном смысле «вселенную причин» и «вселенную следствий», сопоставив им модельно темпорально-инверсные соседние циклы Дэвиса. Кроме того, надо иметь в виду специфику уровня движения, а это в данном случае глобальное космологическое превращение Вселенной как целого. Как осуществляется принцип противоречия сохранения и превращения для такой глобальной системы, какие конкретные корреляции имеют место в космологическом уровне движения материи в целом — в настоящее время эти вопросы не поддаются даже приблизительной конкретизации. Во всяком случае методологически оправданным будет искать на глобальной космологической шкале усиления, а не ослабления форм физических связей, образующих в совокупности связность материальной Вселенной.

Вспомним, что В. И. Ленин, выписав тезис Гегеля о формальной бесплодности причинной цепи («Действие не содержит... вообще ничего, что не содержится в причине»), развивает его мысль следующим образом: «Причина и следствие, ergo, лишь моменты всемирной взаимозависимости, связи (универсальной), взаимосцепления событий, лишь звенья в цепи развития материи»⁶¹. И следом подчеркивается «всесторонность и всеобъемлющий ха-

⁵⁹ S. W. Hawking, G. F. R. Ellis. The Cosmic Black — Body Radiation and the Existence of Singularities in Our Universe.— «The Astrophysical Journal», 1968, v. 152, N 1, pt. 1, p. 32—34.

⁶⁰ E. Recami. About «Anticausality» and Tachyons.— «Lettere al Nuovo Cimento», 1970, v. 4, N 2, p. 73—74.

⁶¹ В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, стр. 143.

раक्टर мировой связи, лишь односторонние, отрывочно и неполно выражаемой каузальностью»⁶².

«Каузальность, обычно нами понимаемая, — продолжает развивать свои мысли В. И. Ленин, и это актуально и для современной космологии, — есть лишь малая частичка всемирной связи, но (материалистическое добавление) частичка не субъективной, а объективно реальной связи»⁶³. «Когда читаешь Гегеля о каузальности, то кажется на первый взгляд странным, почему он так сравнительно мало остановился на этой излюбленной кантианцами теме. Почему? Да потому, что для него каузальность есть лишь *одно* из определений универсальной связи, которую он гораздо глубже и всестороннее охватил уже раньше...»⁶⁴ А ведь «универсальная связь» — это и есть диалектика.

В. И. Ленин конспектировал «Науку логики» в конце 1914 г. К этому же примерно времени относятся размышления А. Эйнштейна о «сверхпричинности», которые зафиксировал А. Мошковский. Явления природы могут оказаться гораздо глубже связанными, чем предполагается в классическом понятии причинности. Принцип причинности ориентирует нас на меньшую глубину закономерной связи, чем та, которая фактически заложена в природе⁶⁵. По образному выражению Эйнштейна, мы различаем в стихосложении Вселенной «рифму, но не чувствуем просодии и ритма»⁶⁶.

Эвристическая ценность осциллирующих моделей типа рассмотренной модели Дэвиса, может быть, состоит еще в том, что они, не укладываясь в прокрустово ложе одной «лишь малой частички всемирной связи», приучают расслышать в мироздании и «ритм» и «размер».

ПРОБЛЕМА СИНГУЛЯРНОГО СОСТОЯНИЯ В ГЕОМЕТРОДИНАМИКЕ УИЛERA. ОТКАЗ ОТ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕНИ

Другая крайность геометризации темпоральных представлений, противоположная циклическому темпорализму и замкнутым моделям, приводит к принципиальному отказу от традиционной концепции времени в современной геометродинамике (Дж. А. Уилер и его школа). Время и концептуально, и даже стилистически «берется в кавычки»⁶⁷.

⁶² Там же.

⁶³ Там же, с. 144.

⁶⁴ Там же, с. 146.

⁶⁵ См.: А. Мошковский. Альберт Эйнштейн. Беседы с Эйнштейном о теории относительности и общей системе мира. М., 1922, с. 142.

⁶⁶ См. там же.

⁶⁷ J. A. Wheeler. From Mendeleev's Atom to the Collapsing Star.— In: Atti del Convegno Mendeleeviano. Torino, 1971, p. 222; C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation. San Francisco, 1973, p. 1180.

Исходная, если можно так выразиться, мифологема Уилера такова: никакому временному параметру, — а ведь именно к этому сводилось всегда определение времени теоретиками, — не под силу упорядочить множество реализуемых трехмерных геометрий в однопараметрическое семейство. Причина тому простая. «Время» в общей теории относительности вообще не является однопараметрическим понятием, говорит Уилер, т. е. не может моделироваться математически с помощью одного параметра. Оно — многомерно, практически — бесконечномерно.

Переход от одного пространственноподобного среза к другому может быть реализован в пространстве-времени бесконечным числом способов, гиперповерхность как бы «сдвигается во времени» с одной «скоростью» в одной точке и совсем с другой скоростью в соседней точке. Поэтому квазиклассическая траектория пространства, т. е. четырехмерное пространство-время традиционной теории относительности, отображается в уилеровском сверхпространстве не линией, а целым «листом», содержащим всевозможные множества линий.

Если дано подобное сечение, лист сверхпространства, произвести обратную операцию и реконструировать начальное классическое пространство-время можно тремя последовательными переходами: 1) от листа к отдельным точкам на нем, 2) от каждой из этих «репрезентативных» точек к соответствующей квазиклассической трехмерной геометрии; 3) «смонтировать» из получившегося набора трехмерных геометрий квазиклассическую четырехмерную геометрию.

Квантовая геометродинамика стирает и последнее, к классической общей теории относительности восходящее, различие между «реализуемыми» и «нереализуемыми» геометриями пространства. Мы имеем, как вообще в квантовой механике, лишь ту или иную амплитуду вероятности для одной, другой, третьей геометрии. И вероятность эта «размазана» по всему сверхпространству. Почти любой пространственно-подобной гиперповерхности соответствует при этом ненулевая амплитуда вероятности. Но зато появляющиеся с физически значимой вероятностью пространственно-подобные гиперповерхности не могут теперь быть смонтированы и подогнаны в единое пространство-время. Пространства-времени в смысле классической физики в квантовой геометродинамике не существует.

Но если принципиально нет возможности ставить имеющиеся гиперповерхности в конкретные физические отношения одна к другой, теряет, видимо, физический смысл и понятие временного порядка событий. Только пренебрегая квантовомеханической размазанностью вероятности по всему «сверхпространству», можно трактовать динамическую эволюцию конкретной геометрии в строго детерминистском контексте классического релятивизма.

Приведенные соображения как будто позволяют говорить, что понятия времени и пространства-времени не являются первичны-

строгие работают в классическом приближении, но теряют смысл там, где вступают в силу квантовые геометродинамические эффекты⁶⁸. Приходится отказаться от картины мира, в которой любое из прошедших, настоящих и будущих событий занимает от века ему предназначенное место в великом каталоге, именуемом «пространство-время». Нет более «пространства-времени», нет «времени», нет отношения «раньше — позже». Не имеет смысла вопрос «а что потом?»⁶⁹.

Такова дословно программа Уилера относительно темпоральных характеристик физической реальности. Именно такая атемпоральная ситуация наиболее наглядным образом по его мнению присуща состоянию гравитационного коллапса массивной звезды.

Проследивание коллапса строго детерминистским образом до некоторой предельной квазиклассической гиперповерхности, от которой дальнейшее детерминистское движение становится невозможным, может быть сопоставлено с известной задачей классической механики. Частица, падающая прямо к центру кулоновского притяжения, согласно ньютоновской механике, достигнет за конечное время состояний с бесконечно большой кинетической энергией. В действительности же, как известно, частица испытывает не детерминистский коллапс, а вероятностное рассеяние. Равным образом, для Вселенной, как когда-то для этой классической частицы, говорит Уилер, не стоит думать, что физике конец, если классическая физика исчерпала арсенал своей прогностической мощности. Пусть пока мало что известно о конкретной реализации тех или иных, даже центральных, принципов квантовой геометродинамики, особенно, как описываются квантомеханические преобразования связности пространства, но ни в коем случае это обстоятельство не снижает эвристического значения методологии квантовой геометродинамики. Нас интересуют здесь, прежде всего, выводы, которые следуют из концепции Уилера относительно проблемы сингулярного состояния: Вселенная начинает новый цикл расширения из той же сингулярной области сверхпространства, где теряются следы коллапса. Более того, путь, ведущий из этой сингулярной области, отнюдь не является единственным. Существует вероятностное распределение «траекторий» новой эволюции Вселенной. Каждый из этих возможных вселенских циклов имеет в принципе различный набор характеристик: разный объем при максимальном расширении, разное «время» от начала расширения до конца сжатия, разный спектр частиц. Вселенная полностью преобразуется (физически), с той или иной вероятностью, от одного цикла эволю-

⁶⁸ C. C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation, p. 1184.

⁶⁹ J. A. Wheeler. From Mendeleev's Atom to the Collapsing Star.— In: Atti del Convegno Mendeleeviano, p. 223.

ции к другому. В области, соответствующей эпохе коллапса, осуществляется не только количественный, но и качественный скачок⁷⁰.

Может быть, как качественное, так и количественное описание этого критического состояния потребует определенного выхода за рамки классической дифференциальной геометрии. Но ведь не в первый раз физика прокладывает дорогу в новые области математики.

Хотя описанная картина «преображения мира» следует из общей теории относительности и квантового принципа, как считают Уилер и его ученики, вполне строгим и причинно-логическим образом, она, конечно, выглядит, на первый взгляд, достаточно революционно. Действительно, можно ли переключить полностью динамику такой огромной системы, как Вселенная, по вероятностному закону, от одного цикла с характеристическим временем, как у нас сейчас (10^{11} лет), к другому циклу со временем, например, порядка 10^6 лет? Это как будто противоречит законам сохранения, прежде всего, энергии.

Но, во-первых, ни одна физическая величина не обязана сохраняться в «конце» и в «начале» мира (сингулярные точки в эволюционной модели Вселенной) без предположения какой-либо специальной симметрии. Потому хотя бы, что в этом случае не мыслима никакая внешняя система отсчета для измерения энергии или углового момента системы. А в ситуации, когда энергия и угловой момент не могут быть физическим образом определены, теряет объективный смысл и понятие об их несохранении⁷¹. Пока для коллапсных состояний неясно, сохраняется ли при переходе Вселенной от цикла к циклу хотя бы одна из космологических структурных или физических характеристик материального мира, включая мировые константы и спектр элементарных частиц.

Во-вторых, переход Вселенной через состояние коллапса отнюдь не отменяет всеобщности принципа сохранения и превращения энергии, справедливого для каждого из циклов, как бы ни отличались они друг от друга. Принцип сохранения энергии более органично вплетен в структуру физической теории, моделирующей «ткань универсума», чем думают те, кто боится его «нарушений». Как справедливо подчеркивает Н. Ф. Овчинников, «открытие новых форм действия закона сохранения энергии, которое может выявиться как нарушение известной в настоящее время формы его действия, будет связано с исследованием новых форм причинных связей природы»⁷².

Именно такая ситуация, характеризующаяся поиском новых форм причинных связей, новой, может быть, вообще пространст-

⁷⁰ C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation, p. 1196—1214.

⁷¹ Ibid., p. 1214—1215.

⁷² Н. Ф. Овчинников. Принципы сохранения. М., 1966, с. 86.

вешно-временной парадигмы, и складывается в физике коллапсирующих и антиколлапсирующих моделей Вселенной.

Близко к концепции Уилера, как одна из возможных реализаций идеи сверхпространства, развивается «многолистная» модель Вселенной. Эта модель исходит из показанной И. Д. Новиковым возможности «сшивания» гравитационным коллапсом двух 4-пространств, одно из которых лежит в области абсолютного будущего относительно другого⁷³. Такие сшитые коллапсом пространства так же, как в уилеровском сверхпространстве, называются «листами». Общая структура Вселенной представляет бесконечную последовательность этих попарно «сшитых» листов. Возможны несколько вариантов модели: нейтральная квазипериодическая модель, СРТ-симметричная многолистная модель и др.

Особенно интересна модель с СРТ-инверсией в особой точке. Листы с зеркально сопряженными номерами L_i и L_{-i} являются в этом случае тождественным взаимным СРТ-отражением. На листах нечетных ($i = \pm 1, \pm 3$) происходит общекосмологическое расширение, на листах четных ($i = \pm 2, \pm 4, \dots$) — общекосмологическое сжатие. Листы с малым по модулю индексом несут на себе как бы «память» о центральной фридмановской сингулярности, объективно отличаясь по астрофизической картине от квазипериодической асимптотики ($i \rightarrow \pm \infty$).

Выбор наиболее адекватно моделирующей физическую реальность варианта и определение индекса для «нашего» листа в настоящее время едва ли может быть сделан.

В общефилософском плане квантовомеханическая модель Уилера представляется в сравнении с несколько механистичной многолистной моделью Вселенной более привлекательной. Не может не импонировать радикальность уилеровских «переключений» космологического режима Вселенной, вмещающих все богатство физических возможностей, все многообразие начальных условий.

Есть в квантовой геометродинамике еще один аспект, заставляющий обращаться за аналогией к лейбницевской монаде, которая «затрагивается всем, что происходит во Вселенной», потому что и сама «представляет всю Вселенную»⁷⁴.

Геометрические флуктуации на глубине планковской длины (10^{-33} см) повторяют и отражают в малом моменты расширения и сжатия всей Вселенной. Насколько конкретна физически эта постулируемая связь двух крайних уровней физической реаль-

⁷³ Отметим, что еще в 1936 г. А. Эйнштейн и Н. Розен для устранения шварцшильдовской сингулярности выдвинули гипотезу о том, что обычное пространство связано — через сингулярность — посредством топологической ручки со своим зеркальным двойником — своеобразным антипространством. Эта идея вполне аналогична современным представлениям о связи коллапсирующего и антиколлапсирующего пространств.

⁷⁴ Цит. по: В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29, с. 70.

ности? Во всяком случае, Мизнер, Торн и Уилер в своей «Гравитации» пишут дословно следующее: «Эти мелкомасштабные флуктуации показывают, что нечто подобное гравитационному коллапсу имеет место всюду в пространстве и всегда во времени, что гравитационный коллапс, вследствие этого, никогда не прекращается, но постоянно флуктуирует, что помимо гравитационного коллапса Вселенной и звезды, приходится также иметь дело с третьим и, в силу постоянства его пульсаций, наиболее значимым уровнем гравитационного коллапса на планковском масштабе длины»⁷⁵.

Именно на этом уровне осуществляется «преображение» Вселенной в сингулярной точке. А геометрия, пространство-время и спектр частиц генерируются на выходе этого сингулярного «черного ящика» как готовый набор начальных условий. Как нигде сильнее, сказывается здесь потребность более глубокого понимания квантового принципа организации материи, диалектически сочетающего дискретное и непрерывное и пронизывающего в равной степени все структурные уровни материи.

* * * * *

Мы начали с того, что проблема сингулярного состояния в современной космологии есть проблема статуса начального момента времени в современной философии. Сингулярное состояние определяется сегодня релятивистами как точка-момент, где обрываются времени-подобные геодезические линии, или, что одно и то же, откуда «начинаются» линии времени. Сингулярное состояние — это область, где, возможно, коллапсирует само понятие пространственно-временного многообразия, геометрическое многообразие перестает сколько-нибудь адекватно моделировать физическую реальность. Одни говорят при этом, что понятие времени — в сингулярностях космологической модели, в коллапсе — вообще неприменимо. Понятие времени не работает логически. Другие (Уилер) свидетельствуют, что, напротив, пространственно-временная структура полностью растворяется в темпорализме, в имеющем аналог по математической конкретизации бесконечномерном «гильбертовом времени».

Так или иначе, у современной космологии две реальные программы: (1) либо пульсирующая модель, ведущая при логически последовательном подходе к идее циклического темпорализма, (2) либо (несущественно: циклическая или однократная) модель с «начинающимся» временем.

Мы склоняемся ко второму варианту — к модели эмерджентного времени, как более соответствующей установкам современного физического мышления. Мы рассматриваем физический темпорализм как один из возможных аппаратов для характеристики физической реальности, строго соответствующих объек-

⁷⁵ C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler. Gravitation, p. 11194.

тивно известному нам на данном этапе участку эволюции материальной Вселенной. Диалектико-материалистическая методология в современной космологической науке не может связывать себя однозначно с той или иной разновидностью абстрактно математической бесконечности; для нее достаточно — и несравненно важнее — бесконечность материи вглубь, что и отражается эмерджентно-эволюционным темпорализмом.

Дальнейшие задачи развития формализмов и принципов математического моделирования времени в современной физике и космологии (которая должна же быть «физикой», а не только «геометрией» Вселенной) потребуют, очевидно, существенного выхода за пределы как квазиклассического, так и релятивистского темпорализма. Проблема сингулярного состояния и начального момента времени в сегодняшней космологии — один из признаков назревающего кризиса пространственно-временной парадигмы.

М. Д. Ахундов, Л. Б. Баженов, Э. М. Чудинов

КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ, БЕСКОНЕЧНОСТИ И СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ

Понятия пространства и времени всегда играли важнейшую роль в освоении мира человеком и привлекали к себе особое внимание мыслителей. С глубокой древности и до наших дней не утихают споры вокруг этих понятий, достигая подчас высокого накала и драматизма. Достаточно вспомнить хотя бы о бурных дискуссиях вокруг теории относительности в 20—30-е годы нашего столетия¹. Во всех этих многовековых спорах видную роль играла и продолжает играть философия, хотя в оценках этой роли (особенно на современном этапе развития познания) имеются существенные расхождения. В связи с этим мы считаем необходимым подчеркнуть следующее положение: философия выступает не как «наука наук», дополняющая естествознание и раскрывающая какие-то черты реального пространства и времени, которые естествознание раскрыть не в состоянии, а как методология конкретного научного познания. В русле этих представлений нам хотелось бы сделать некоторые критические замечания в адрес М. Бунге. В своей статье «Пространство и вре-

¹ См., например: К. Х. Делокаров. Философские проблемы теории относительности. М., 1973.

мя в современной науке» он пишет: «Физика не дает нам полной картины пространства и времени... Физическая теория... терпит неудачу при попытке дать нам глубокие знания о том, что же представляют собой пространство и время. Для ответа на вопросы последнего типа следует обратиться к основаниям физики»².

Иначе основания физики М. Бунге называет также метафизикой или онтологией, и задачу специалистов, работающих в области, традиционно называемой философией науки, он видит именно в разработке так охарактеризованной онтологии, где им «придется конкурировать с физиками»³.

Позиция М. Бунге вызывает у нас серьезные возражения. Во-первых, не оспаривая правомерности разработки оснований физики, мы не можем согласиться с оценкой этой области как области, занимающейся вопросами, на которые «нельзя дать ответа в рамках науки»⁴. На наш взгляд, так же как основания математики представляют хотя и насыщенную глубоким философским содержанием, но специально математическую дисциплину, так и возможные основания физики будут представлять специально физическую дисциплину, т. е. будут находиться «в рамках науки».

Во-вторых, если согласиться с тем, что онтология в смысле Бунге («разрабатываемая в том же самом духе, в каком мы строим науку»⁵) — это и есть философское исследование, то это по существу ликвидирует философию как особую по сравнению с частными науками сферу интеллектуальной деятельности.

На наш взгляд, более верной является позиция, например, Р. Пенроуза, отмечающего (как и М. Бунге), что «природа пространства-времени не совсем такова, какой она нам «представляется», и в понимании ее мы пока не достигли ясности»⁶. Однако достижение ясности и появление новых идей он (в отличие от Бунге) связывает не с выходом за «рамки науки» и созданием метафизики, а с дальнейшим развитием самой физики. «В будущей теории (ясно, что речь идет о будущей *физической* теории.— *Авт.*) мы, несомненно, столкнемся со множеством сюрпризов и важных новых идей»⁷.

² М. Бунге. Пространство и время в современной науке.— «Вопросы философии», 1970, № 7, с. 91.

³ Там же.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ Р. Пенроуз. Структура пространства-времени. М., 1972, с. 16—17.

⁷ Там же, с. 17.

В понимании пространства и времени с давних пор сформировались и конкурировали два основных подхода.

Первый подход может быть назван субстанциальной концепцией пространства и времени. Пространство и время понимаются здесь как нечто самостоятельно существующее наряду с материей — как пустые вместилища материальных тел; все объекты мыслятся существующими *в* пространстве и *во* времени, причем последние имеют самостоятельное, независимое от первых существование; пространство — это чистая протяженность, а время — чистая длительность, в которые как бы «погружены», «помещены» материальные объекты.

Этот взгляд одним из первых четко сформулировал Демокрит: «...в действительности же [существуют только] атомы и пустота»⁸. Здесь пустота (т. е. «чистое» пространство) наделяется субстанциальностью и мыслится наряду с атомами как единственно существующая в действительности. Свое всестороннее развитие и завершение субстанциальная концепция пространства и времени получила у Ньютона и в классической физике в целом.

Второй подход можно назвать реляционной концепцией пространства и времени. Наметки этой концепции можно обнаружить еще у Аристотеля, но впервые со всей четкостью ее сформулировал Г. Лейбниц. «Говорят,— писал он, полемизируя с последователем Ньютона С. Кларком,— что пространство не зависит от положения тел. На это я отвечаю, что оно, конечно, не зависит от того или иного положения тел. тем не менее оно является таким порядком, который делает возможным само *расположение тел* и в силу которого они в своем существовании друг подле друга обладают отношением расположения, подобно тому как время представляет собой тот же порядок в смысле последовательности их существования»⁹. И дальше: «Я вовсе не говорю, что материя и пространство одно и то же, а лишь утверждаю, что без материи нет и пространства и что пространство само по себе не представляет собой абсолютной реальности»¹⁰.

В предисловии к книге М. Джеммера «Понятие пространства» А. Эйнштейн так сформулировал эти две концепции: «... (а) пространство как свойство материальных объектов занимать определенное положение; (б) пространство как то, что содержит в себе все материальные объекты. В случае (а) пространство без материального объекта немыслимо. В случае (б) материальный объект мыслим только как существующий в прост-

⁸ См.: А. О. Маковельский. Древнегреческие атомисты. Баку, 1946, с. 224.

⁹ Полемика Г. Лейбница с С. Кларком. Л., 1960, с. 58.

¹⁰ Там же, с. 84.

пространство, в этом случае пространство выступает как реальность, обладающая большей общностью по сравнению с материальным миром»¹¹.

С точки зрения реляционной концепции пространство и время не особые субстанциальные сущности, а формы существования материальных объектов, выражающие собой порядок, отношение этих объектов. Пространство выражает сосуществование объектов, время — существование объектов, последовательность их состояний. Реляционная концепция в философском плане была воспринята и развита диалектическим материализмом, в естественнонаучном плане — релятивистской физикой и в настоящее время является концепцией, наиболее полно отвечающей достигнутому уровню развития естествознания.

В нашей литературе широко представлен взгляд, согласно которому субстанциальная и реляционная концепции являются чуть ли не в равной степени односторонними и диалектический материализм преодолевает эту односторонность, синтезируя рациональные моменты той и другой¹². Нам эта точка зрения представляется неверной¹³. Субстанциальная и реляционная концепции не могут быть рассматриваемы как равноправные и одинаково односторонние. Конечно, субстанциальная концепция не просто досужий вымысел, она схватывает (и абсолютизирует) действительный момент пространственно-временных отношений — момент протяженности и длительности как необходимой предпосылки существования конкретных материальных объектов. Но этот момент не отбрасывается (и никогда не отбрасывался) реляционной концепцией, а именно как момент всегда в нее включался.

В этой связи нам представляется уместным обсудить вопрос о статусе реляционной концепции в плане философии, о ее «эмпирическом» или «языковом» характере. Представляет ли она концепцию, имеющую эмпирическое содержание и могущую быть принятой (или отвергнутой) на основе опытных данных, или она есть просто логический вывод из принятых определений, есть факт языка, говорящий о правилах пользования языком, а не о реальности.

Этот вопрос был поставлен А. А. Зиновьевым, выдвинувшим тезис о «языковом» статусе реляционной концепции. «Поскольку пространственные структуры образуют эмпирические предметы, то из самого определения предиката существования для этих

¹¹ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. IV. М., 1967, с. 346.

¹² См., например: В. И. Свидерский. Пространство и время, М., 1958, с. 110; А. М. Мостепаненко. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. Л., 1969, с. 54.

¹³ См. также: Р. А. Аронов. Рецензия на книгу: А. М. Мостепаненко. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. — «Вопросы философии», 1970, № 1. Мы согласны с основными возражениями рецензента в адрес «концепции синтеза».

структур следует, что пространство не существует без эмпирических предметов. Это не опытный факт, а именно логическое следствие из определений. Но поскольку не только в быту, но и в науке обходятся неявными определениями, это обстоятельство остается скрытым и положение о невозможности существования пространства без вещей расценивается как результат наблюдений или как постулат»¹⁴.

Мы согласны с А. А. Зиновьевым в решительном принятии реляционной концепции, но не согласны с утверждением о ее чисто «языковом» характере. На наш взгляд, «невозможность существования пространства без вещей» есть итог длительного развития научного познания, а не следствие логического анализа употребляемых терминов.

В эпоху создания основ механики постулирование независимого реального существования пространства и времени было теоретической необходимостью, что неоднократно отмечалось А. Эйнштейном (как и многими другими учеными), писавшим, что «в то время не было другого выбора, если хотели, чтобы механика имела ясный смысл»¹⁵.

Эйнштейн воспроизводит аргументацию Декарта против пустого пространства (в принципе близкую к аргументации А. А. Зиновьева) и отмечает ее неудовлетворительность: «...Пространство совпадает с протяженностью, а протяженность связана с телами; таким образом, нет пространства без тел и, следовательно, нет пустого пространства... Несомненно верно, что понятие протяженности обязано своим происхождением нашему опыту в расположении твердых тел в пространстве. Отсюда, однако, нельзя заключить, что понятие протяженности не может быть оправдано и в других случаях. Такое расширение понятий может быть обосновано косвенно по его значению для интерпретации эмпирических результатов»¹⁶.

Именно таким «расширением, обосновываемым косвенно, по его значению для интерпретации эмпирических результатов» и являлось понятие пустого пространства — субстанциальная концепция пространства. Для ее опровержения понадобилось создание *физической* теории, способной обойтись без пустого пространства, и создание такой теории было прежде всего связано с выработкой понятия поля.

А. А. Зиновьев в своей аргументации ограничивается фактически эмпирическим уровнем знания и не принимает в расчет законности создания теоретических конструктов, «обосновываемых косвенно». На уровне оперирования теоретическими конструктами несостоятельность субстанциальной концепции следует не из правил образования пространственно-временной терминологии.

¹⁴ А. А. Зиновьев. О пространственно-временной терминологии. — «Вопросы философии», 1969, № 5, с. 71.

¹⁵ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II. М., 1966, с. 744.

¹⁶ Там же, с. 745.

логии, а из развития *физической* концепции поля: «Пространственный аспект реальных вещей, таким образом, полностью выражается полем, зависящим от четырех координат-параметров; он есть свойство этого поля. Если мы представим себе, что поле удалено, то не останется и «пространства», так как пространство не имеет независимого существования»¹⁷.

РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. ПРОБЛЕМА БЕСКОПЕЧНОСТИ

Теоретической основой пространственно-временной концепции, применяемой в релятивистской космологии, является общая теория относительности. Общая теория относительности выбирает из всех математически мыслимых типов пространства один тип — риманово (точнее, псевдориманово) пространство. Римановым пространством, как известно, называется многообразие, между элементами которого определено отношение расстояния посредством дифференциальной квадратичной формы линейного элемента:

$$dS^2 = g_{ik} dx^i dx^k.$$

Пространство общей теории относительности является, таким образом, метрическим. Однако это обстоятельство не раскрывает в полной мере сущности релятивистской концепции пространства. Дело в том, что и классическая физика, лежащая в основе дорелятивистской космологии, также оперирует метрическим пространством, правда, частного типа — пространством, имеющим евклидову метрику. Важнейшей особенностью релятивистской концепции пространства является *отождествление четырехмерного пространства-времени с гравитационным полем*. Это достигается посредством специальной гипотезы, согласно которой функции g_{ik} являются одновременно компонентами фундаментального метрического тензора, ответственного за геометрию пространства, и потенциалами гравитационного поля. Таким образом, релятивистская (в смысле общей теории относительности) концепция пространства-времени является *полевой*. «...Функции g_{ik} описывают не только поле, но и в то же самое время топологические и метрические структурные свойства многообразия. Пространство типа (1) (т. е. пространство Минковского.— *Авт.*) с точки зрения общей теории относительности не есть пространство без поля, но представляет собой частный случай поля g_{ik} , когда... функции g_{ik} имеют значения, независимые от координат. Пустое пространство, т. е. пространство без поля, не существует. Пространство-время существует не само по себе, но только как структурное свойство поля»¹⁸.

¹⁷ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 788.

¹⁸ Там же, с. 757—758.

Интерпретация пространства-времени как физического поля, сведение его свойств к свойствам поля является уникальной особенностью общей теории относительности, отличающей ее не только от классической физики, но и от современных физических теорий, в том числе квантовой механики, релятивистской теории гравитации в плоском пространстве, скалярно-тензорной теории гравитации и др. Эта интерпретация приводит к далеко идущим следствиям, прежде всего к выводу о неевклидовости пространства-времени и к специфическому решению вопроса об его бесконечности.

Ньютоновская теория утверждает, что поле тяготения зависит от создающих его материальных масс. Общая теория относительности принимает этот результат. Но поскольку, согласно ей, гравитация идентична геометрии пространства-времени, то вышеизложенное означает одновременно и зависимость от материальных масс метрических свойств пространства-времени. Идея взаимосвязи геометрии пространства-времени и материальных масс лежит в основе уравнений общей теории относительности:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -\kappa T_{ik},$$

левая часть которых описывает геометрию пространства-времени, а правая — «материю», представленную тензором материи-энергии-импульса T_{ik} .

Идея связи материи с геометрией пространства-времени в общей теории относительности совершила определенную эволюцию. В ней следует выделить два этапа. Первоначально она трактовалась в духе принципа Маха, утверждающего, что метрические свойства пространства-времени полностью определяются содержащейся в ней материей. В 1917 г. де Ситтер получил из уравнений общей теории относительности пустую модель, пространство-время которой характеризуется ненулевой римановой кривизной в отсутствие материальных масс. В логическом плане «мир» де Ситтера свидетельствовал о независимости принципа Маха от других принципов общей теории относительности. Но этот результат не зачеркивает связи материи с геометрическими свойствами пространства-времени. Он лишь утверждает, что материальные массы не являются единственным источником пространственно-временных метрических свойств. В пустых мирах эти метрические свойства связаны с гипотетическим λ -полем, которое также можно интерпретировать как вид материи.

Влияние «материи» на геометрию пространства-времени приводит к тому, что оно в общем случае становится неоднородным и анизотропным: его кривизна имеет различное значение в разных точках и в разных направлениях в каждой данной точке. Это создает дополнительные трудности космологического применения релятивистских представлений о пространстве-времени. Для того чтобы релятивистская космология могла пользоваться понятиями мирского пространства и времени, принимается так

пазываемый космологический постулат, утверждающий однородность и изотропию пространства на основе предположения о равномерном распределении материи.

Мировое пространство и время в релятивистской космологии не идентично абсолютному пространству и времени космологии Ньютона. Здесь пространство в общем случае имеет неевклидову метрику и может характеризоваться не только нулевой, но отрицательной и положительной кривизной. Если первые два пространства являются метрически бесконечными, то последние имеют конечные размеры. Вопрос о том, какова кривизна пространства релятивистской Вселенной, можно рассматривать как одну из формулировок проблемы пространственной бесконечности в релятивистской космологии. Эйнштейн первоначально считал, что теоретически предпочтительным является вариант конечной Вселенной. Такая трактовка проблемы опиралась на постулат статичности Вселенной, который был отвергнут в результате открытия «красного смещения». В современном варианте релятивистской космологии, представленном теорией эволюционирующей Вселенной, считаются теоретически равноправными как конечный, так и бесконечный типы пространства. Какой из них реализуется в природе — этот вопрос может быть решен не путем теоретических рассуждений, а лишь на основе опыта.

С философской точки зрения определенный интерес представляет анализ возможности описания посредством конструкторов конечного и бесконечного пространства Вселенной в целом. Это связано с тем, что описательные возможности данных конструкторов нередко ограничиваются и считается, что они могут быть описаниями лишь ограниченных и локальных областей Вселенной. Особые мнения высказываются в отношении глобальной применимости конечного пространства. Поэтому мы вначале рассмотрим этот тип пространства.

Пространство положительной кривизны, несмотря на его конечность, можно рассматривать как всеобъемлющее пространство. Основанием для такого заключения могут служить два обстоятельства. Во-первых, это пространство представляет собой неограниченное многообразие. Из любой его точки в любом направлении можно неограниченно продолжить наикратчайшие линии — «прямые», которыми в данном случае будут геодезические линии. Однако все они будут замкнутыми, и их длины будут иметь конечные значения.

Во-вторых, основанием считать риманово пространство положительной кривизны как охватывающее все пространство являются некоторые особенности римановой кривизны. Риманова кривизна в данной точке и в данном направлении совпадает с гауссовой кривизной. Последняя представляет собой меру неевклидовости пространства, т. е. свойство его внутренней геометрии. Поэтому риманова кривизна, характеризующая внутреннюю геометрию пространства, и само пространство римановой кри-

визию не зависят от всеобъемлющего пространства, по отношению к которому эта кривизна имеет буквальное значение.

Критика конечных моделей, рассматриваемых как описание Вселенной в целом, основана на смешении понятий бесконечности и неограниченности пространства. Обычно ставят вопрос так: если Вселенная конечна, то что же находится за ее «концом», границей? Признание конечности Вселенной в данном случае расценивается как допущение за пределами материального мира, субстанциального начала, отличного от материи.

Но бесконечность и неограниченность пространства не эквивалентны друг другу. Первое свойство является *количественным*, а второе — *топологическим*. Риманово пространство положительной кривизны является примером расщепления свойств бесконечности и неограниченности: оно конечно, но не имеет границ. Г. И. Наан справедливо отмечает, что бессмысленно ставить вопрос о том, что находится за его границами и расценивать модель такого пространства как противоречащую материализму¹⁹.

Все же в целях математического удобства и известной наглядности риманово пространство иногда представляют в виде некоторого объекта, вложенного в объемлющее евклидово пространство большего числа измерений. Эти пространства, в том числе и пространство положительной кривизны, могут быть *полностью* реализованы на гиперсфере $n-1$ измерений в евклидовом пространстве n -измерений. Для двухмерного риманова пространства это дает трехмерный евклидов фон, а для трехмерного — четырехмерный евклидов фон.

Изложенный способ математического представления трехмерного риманова пространства постоянной положительной кривизны иногда служит поводом для критики возможности его реализации. Некоторые авторы считают, что оно в значительной степени зависит от четырехмерного евклидового фона. Но поскольку такой фон является фиктивным в онтологическом смысле, то онтологически фиктивной считается и сама возможность трехмерного пространства, конечным образом реализующая все пространство как неограниченное многообразие.

Здесь, на наш взгляд, смешиваются две совершенно различные вещи: математическое представление и реальность риманова пространства. Как уже отмечалось, риманова кривизна пространства — это свойство внутренней геометрии пространства, мера его неевклидовости. Она не нуждается в существовании внешнего фона, хотя последний и применяется ради соображений математического удобства. Ее реальность — это реальность самой внутренней геометрии пространства, его неевклидовых свойств. С этой точки зрения риманово пространство постоянной положительной кривизны не менее реально, чем, допустим, евклидово пространство классической космологии.

¹⁹ Г. И. Наан. О бесконечности Вселенной. — «Вопросы философии», 1961, № 6, с. 93—105.

Вообще говоря, можно себе представить замкнутое трехмерное пространство и не прибегая к помощи фиктивного четырехмерного евклидова пространства. Для этого необходимо только принять другой критерий наглядного представления пространства. Таким критерием могут быть пространственные опыты с твердыми телами и световыми лучами. Производя посредством этих физических эталонов измерения пространства, в частности сумм углов треугольников, длин окружностей, площадей сферических поверхностей и т. д., мы можем найти значение кривизны пространства и таким образом представить его конечность.

Иногда высказывается мнение о том, что свойства глобальности лишены также и релятивистские космологические модели, пространственное сечение которых бесконечно. По мнению некоторых ученых, понятие бесконечности в релятивистской космологии употребляется в смысле «физической» бесконечности. Свойствами «физической» бесконечности наделяются такие объекты, которые в рамках нашего опыта ведут себя так, что их конечность практически себя не проявляет, и поэтому от нее можно абстрагироваться. Например, В. А. Фок²⁰ считает, что бесконечная модель с пространством отрицательной кривизны может рассматриваться только как описание конечных областей. Нам представляется, что такое понимание бесконечности в космологии в принципе возможно, но не является необходимым. Допустима и трактовка космологической бесконечности как «истинной» бесконечности. Именно такая трактовка обычно принимается в релятивистской теории однородной Вселенной.

Если мы примем последнее допущение, то возникает следующий вопрос: о каком типе математической бесконечности в данном случае может идти речь — о потенциальной или актуальной? Известно, что понятие потенциальной бесконечности получило всеобщее признание. Этого нельзя сказать о понятии актуальной бесконечности. Правомерность его оспаривалась многими крупными математиками прошлого, например Коши, Гауссом, Вейерштрассом, Пуанкаре и другими. В XX в. оно подверглось критике со стороны школы математического интуиционизма Брауэра. С другой стороны, в защиту этого понятия выступил Кантор, положивший его в основу своей теории множеств.

Решение вопроса об актуальной бесконечности в космологии зависит от того, какая математика применяется в космологии — классическая или конструктивная. Известно, что в современной космологии применяется аппарат классической математики. Кантор убедительно показал, что в рамках классической математики идея потенциальной бесконечности с необходимостью предполагает признание бесконечности в ее актуальной форме.

²⁰ См.: В. А. Фок. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1961, с. 10, 495.

По его мнению, актуально бесконечное множество должно обязательно вводиться как область изменения переменной, бесконечно возрастающей величины, т. е. потенциальной бесконечности.

Актуальная бесконечность обладает парадоксальными, с точки зрения здравого смысла, свойствами. Именно эта парадоксальность иногда используется в качестве аргумента против возможности фактической ее осуществимости. В этом отношении показательна дискуссия, нашедшая отражение в английском журнале «Философия».

П. Хьюби в статье «Кант или Кантор? Если Вселенная реальна, то она конечна в пространстве и во времени» обосновывает тезис, согласно которому реальная Вселенная может быть только конечной в пространственном отношении. Этот тезис аргументируется ссылкой на то, что признание бесконечности Вселенной приводит к парадоксам типа «Гильбертовского отеля» (в отеле имеется бесконечное количество мест, занятое бесконечным числом гостей, но в нем всегда найдутся свободные места для новых гостей), которые не должны иметь место для реального мира²¹. Н. У. Бойс, возражая П. Хьюби, справедливо указывает, что приведенный парадокс является метафорической формой определения бесконечности, и если Вселенная бесконечна, то он выполняется для реального мира²².

Как уже отмечалось, релятивистская космология ввиду теоретического равноправия двух альтернатив — пространственной конечности и пространственной бесконечности Вселенной пытается решить проблему бесконечности на основе опытных данных. Задача, по существу, сводится к определению величин (средней плотности вещества, постоянной Хаббла и др.), связанных с кривизной теоретической зависимостью. Если речь идет о кривизне пространства достаточно большой, но, вообще говоря, ограниченной области Вселенной, то проблема «бесконечности», действительно, является проблемой эмпирического плана. Однако если мы будем придавать космологическим моделям глобальное значение, то одна лишь ссылка на данные опыта недостаточна для решения проблемы. Здесь необходимы дополнительные соображения, в том числе общеполитического характера.

Еще Кант высказал мысль о том, что проблема бесконечности не может быть решена опытным путем. Негативное отношение Канта к возможностям опытного решения проблемы бесконечности было продиктовано его идеалистическими взглядами. По мнению Канта, человек в принципе не может выйти за рамки чувственного опыта и познать мир вещей в себе, т. е. дейст-

²¹ P. M. Huby. Kant or Cantor? That the Universe if Real Must be Finite in Both Space and Time.— «Philosophy», 1971, v. XLVI, p. 121—132.

²² N. W. Boyce. A priori Knowledge and Cosmology.— «Philosophy», 1972, v. XLVII, N 179, p. 68.

вительную структуру мира, как она существует независимо от человеческого сознания. Однако, несмотря на эти мотивы, в кантовском решении проблемы имеются рациональные моменты. Они заключаются в констатации того, что ограниченный опыт, взятый сам по себе, не может быть основой для достоверного решения проблемы бесконечности. Для того чтобы опытные данные могли служить подтверждением любого решения проблемы, к ним необходимо присоединить некоторые допущения, гипотезы общего характера. Рассмотрим, какие гипотезы используются тогда, когда эмпирические данные, казалось бы, безоговорочно подтверждают идею пространственной бесконечности Вселенной.

Эмпирические данные в релятивистской космологии считаются аргументом в пользу пространственной бесконечности Вселенной, если из них следует, что пространство характеризуется нулевой или отрицательной кривизной. Однако сама по себе кривизна пространства, определенная для небольшой области Вселенной, не задает метрики мирового пространства. Для того чтобы указанные значения кривизны определяли бесконечность пространства, необходимо допустить его однородность в целом.

Однако что означает сделанное допущение? Во-первых, оно никак не вытекает из эмпирических данных и из самой теории, а имеет постулативный характер. Во-вторых, только в силу этого постулата нулевое и отрицательное значения кривизны дают бесконечность пространства. Поэтому постулирование однородности пространства Вселенной в целом при данном значении кривизны является постулированием и его бесконечности.

Попытка эмпирического обоснования идеи бесконечности приводит, таким образом, к любопытному результату. Эмпирические данные сами по себе не доказывают этой идеи. Но если они это делают при помощи допущений, то оказывается, что на уровне допущений фигурируют идеи, эквивалентные идее бесконечности. Таким образом, идея пространственной бесконечности Вселенной не может быть полностью обоснована эмпирически.

Проблема пространственной бесконечности в релятивистской теории однородной Вселенной сводится к вопросу о значении кривизны, а значит, и о типе геометрии. Трудности эмпирического обоснования геометрии физического пространства иногда устраняются указанием на то, что геометрия конвенциональна и мы можем описать одни и те же пространственные факты на языке любой метрической геометрии. Конвенционалистская трактовка вопроса о геометрии ведет к конвенционалистскому решению проблемы бесконечности.

По поводу конвенционалистской концепции геометрии необходимо заметить следующее. В рамках чистой математики мы действительно можем описать одно и то же абстрактное пространство на языке различных метрических геометрий, соответствующим образом меняя правила конгруэнтности. В случае ре-

ального пространства выбор геометрии ограничивается физическими условиями. Например, в общей теории относительности таким ограничением является следующее обстоятельство. Пространство общей теории относительности — это не абстрактное математическое многообразие, а реальное физическое поле — поле тяготения, структура которого определяется распределением и плотностью материальных масс. Именно полевая концепция пространства обуславливает выбор реальной геометрии, которая не зависит от конвенции исследователя, а детерминирована физическими факторами.

Поскольку проблема бесконечности пространства обсуждается не в рамках чистой математики, а в рамках физической теории, в данном случае общей теории относительности и релятивистской космологии она имеет конкретный физический смысл. Она должна формулироваться с учетом эмпирических данных, хотя в силу ряда особенностей природы бесконечности ее эмпирическое решение отнюдь не тривиально.

Хотя время в теории относительности тесно связано с пространством и рассматривается как одно из измерений релятивистского четырехмерного континуума, проблема его бесконечности существенно отличается от проблемы бесконечности пространства. Имеются две проблемы бесконечности времени. Одна из них связана с интерпретацией замкнутых времениподобных, а другая — с «началом» времени релятивистских эволюционирующих моделей.

Развитие общей теории относительности показало, что ее уравнения совместимы с такими пространственно-временными структурами (модель де Ситтера для $\lambda < 0$, модель Гёделя), временное сечение которых или, по крайней мере, некоторые времениподобные линии замкнуты. Какой смысл имеет замкнутое время? Казалось бы, эти конструкции совершенно аналогичны конструкциям замкнутого трехмерного пространства: они логически и физически правомерны, а их парадоксальность носит чисто психологический характер. Однако дело обстоит далеко не так. Замкнутое пространство действительно является непротиворечивой конструкцией. Этого нельзя сказать о замкнутом времени. Допущение замкнутости времени противоречит принципу причинности. Кроме того, в нем вырождаются отношения «раньше чем», «позже чем», которые определяют сущность времени. На наш взгляд, конструкция замкнутого времени в общей теории относительности является своего рода «издержкой» геометрического метода, который применяется для описания времени.

Геометрический метод дает возможность представить время в виде координаты четырехмерного пространства. Однако мы должны отдавать себе отчет в том, что геометрическая линия времени имеет характер идеализированной модели. Было бы ошибочно полагать, что геометрическим линиям времени, которые применяются в математическом аппарате физики, соответ-

ствуют «реальные» физические линии. Время в этом отношении существенно отличается от пространства, математические формы которого во многих случаях являются прямым отражением пространственных форм реального мира. Линии, служащие геометрическими моделями времени, независимо от этой функции, являются пространственными объектами в том смысле, в каком ими являются точка, плоскость и т. п. Поэтому геометризация времени в своей сущности есть процедура представления времени в терминах пространства. Замкнутость пространственной линии ничего в себе противоречивого не заключает. Она такой же правомерный объект, как и незамкнутая линия, например евклидова прямая. Замкнутая линия времени коренным образом отличается от незамкнутой. Она, по существу, уже перестает быть временем, так как на ней не выполняются отношения временного порядка.

А. Эйнштейн, с сочувствием отнесшийся к модели К. Гёделя с замкнутыми времениподобными линиями как к интересной теоретической возможности, вместе с тем указал на целесообразность ее исключения из физики. Нам представляется, что замкнутое геометризованное время представляет собой «лишнее» решение уравнений общей теории относительности.

Сущность проблемы «начала» времени состоит в следующем. Экстраполируя закономерность расширения пространства нестационарной модели на прошлое, приходим к некоторому начальному моменту времени, в который пространство модели имело нулевой объем и которому поэтому соответствовала бесконечная плотность материи. Если мы будем считать, что данная модель описывает реальный случай, а именно, нашу Метагалактику, которая в релятивистской космологии отождествляется со Вселенной, то все вышеизложенное применимо и к ней.

Какой смысл имеет вывод о начале эволюции космологических моделей в описываемом ими реальном мире? Эйнштейн считал, что указанный вывод, получающийся из общей теории относительности, свидетельствует о неадекватности самой теории. Однако попытки Эйнштейна интерпретировать особое состояние в начале эволюции нестационарных моделей — сингулярность — как проявление ограниченности общей теории относительности оказались непродуктивными. Большинство физиков и космологов-релятивистов в настоящее время склонны считать, что упомянутая сингулярность отнюдь не является свидетельством дефекта теории, а описывает реальное физическое состояние, с которого началась эволюция.

Если сингулярность рассматривать как начало эволюции мира, то сразу же возникает вопрос о том, что было до этого начала. Прежде всего, уместна ли сама постановка вопроса о том, что было «до»?

Существует мнение, что любое утверждение о начальном моменте времени существования Вселенной является или внутрен-

не противоречивым, или же приводит к идеалистической концепции креационизма, согласно которой Вселенная возникла из ничего. Креационизм в своей примитивной форме основан на ньютоновской концепции времени. Если попытаться осмыслить сингулярность в рамках ньютоновской концепции времени, то действительно можно прийти к креационизму. Если мы полагаем, что Вселенная, как она понимается релятивистской космологией, существует некоторое конечное время, то, следовательно, она и возникла во времени, т. е. было время, когда Вселенной не было; Вселенная возникает из ничего в определенный момент бесконечного ньютоновского времени. Но ньютоновская концепция времени несовместима с общей теорией относительности. Релятивистское время согласуется с лейбницевской концепцией времени, согласно которой время представляет собой не чистую длительность, а некоторую последовательность событий. В рамках этой концепции предположение о том, что некоторому событию обязательно предшествует другое, не является необходимым.

В лейбницевской концепции времени вышеупомянутая форма креационизма не проходит. Поскольку время неотделимо от реализующего его материального субстрата, то предполагать существование чистого времени «до» Вселенной невозможно. «До» Вселенной не существует не только материи, но не существует и времени. В. Л. Гинзбург, в связи с этим, пишет: «Вселенная в прошлом находилась в «особом» состоянии, которое отвечает «началу» времени, понятие времени «до» этого «начала» лишено физического, да и любого другого смысла... В самом деле, если можно было бы говорить о времени «до» начала эволюции Вселенной, а Вселенная при этом еще не существовала бы, то мы как раз и должны были бы допустить «сотворение мира»»²³.

Однако не следует преувеличивать значения лейбницевской концепции времени для критики креационизма. Сама по себе она еще не ведет к опровержению этой идеалистической концепции. Ведь в свете этой концепции мы не можем допустить существование абсолютного времени, а потому и возникновение Вселенной во времени, мы могли бы в принципе истолковать релятивистскую сингулярность не только как возникновение Вселенной, но и как возникновение времени. Поэтому для критики креационизма необходимы дополнительные доводы.

Нам представляется, что для исключения креационистской интерпретации сингулярности важное значение имеет следующее обстоятельство. Когда мы говорим о том, что Вселенная конечна во времени, мы подразумеваем под последним координатное время. Оно входит в выражение $R(t)$, которое представляет собой масштабный фактор, характеризующий расширение пространства. С увеличением t возрастает и R , т. е. расстояние

²³ В. Л. Гинзбург. Современная астрофизика. М., 1970, с. 100.

между любыми двумя точками пространства. Устремляя к нулю значение t , мы получаем нулевое значение R , соответствующее релятивистской сингулярности.

Если принять во внимание вышеизложенное, то можно сделать вывод о том, что конечность времени Вселенной в релятивистской космологии отнюдь не безусловна. Вселенная конечна лишь в смысле весьма специального типа времени — координатного времени. Если мы заменим его другими формами времени, то получим совершенно иные результаты.

Координатное время можно рассматривать как определенную конкретную форму временного порядка. Эта форма может быть нами ассоциирована с определенными видами материи. Мы могли бы интерпретировать конечность Вселенной в координатном времени как свидетельство того, что конкретным, исторически сложившимся видам материи соответствуют конкретные специфические формы временного порядка.

Возможен и другой подход к решению проблемы «начала» времени. Время, которое мы знаем по своему опыту и в терминах которого мы описываем эволюцию Вселенной, — это некоторая последовательность событий, упорядоченная отношениями «раньше чем», «позже чем». Эти временные отношения связаны с конкретными свойствами и законами физического мира, в котором мы живем. Можно допустить, что при плотностях материи порядка 10^{93} г/см³ существенно меняются пространственно-временные свойства материи. Эти изменения могут иметь двоякий характер, зависящий от того, как понимать сверхплотное состояние материи, соответствующее сингулярности. Леметр описывает сингулярность следующим образом. Она, по его мнению, представляет собой единственный атом, равный нейтрону, который имеет массу всей Вселенной. Он пишет: «Если существует единственное атомное ядро, то не имеет смысла говорить в связи с ним о пространстве и времени. Пространство и время являются статистическими понятиями, которые применимы к ансамблю, состоящему из большого числа индивидуальных элементов»²⁴.

Другой вариант трактовки сингулярности состоит в следующем. Если даже в сверхплотном состоянии различимы индивидуальные элементы материи, можно предположить, что связи между ними отличаются от тех, которые мы наблюдаем в своем макроопыте. Возможно, что в этом состоянии вообще утрачивает смысл понятие временного порядка, как мы его обычно понимаем.

Однако эта ограниченность понятия времени не наносит ущерба материалистическому объяснению сингулярности и эволюции Вселенной. В любом случае Вселенная представляет со-

²⁴ G. E. Lemaitre. The Cosmological Constant.— In: Albert Einstein: Philosopher-scientist. London, 1970, p. 453.

бой диалектически развивающуюся материю. Здесь уместно было бы привести слова известного физика М. Борна, который писал: «Те, кто приветствует идею о «начале», забывают, что с уверенностью можно утверждать лишь существование состояния высокой плотности материи, совершенно отличного от известного нам распределения отдельных звезд; можно усомниться, что в таком состоянии применимы представления о пространстве и времени, поскольку эти представления самым тесным образом связаны с характером разреженной системы звезд. Поэтому «начало» относится лишь к нашей способности описывать положение вещей с помощью аппарата привычных нам понятий. Вопрос, имело ли место сотворение из ничего,— не научная задача, а вопрос веры, лежащий вне возможностей опыта, о чем знали уже старые философы и теологи, вроде Фомы Аквинского. Атеистам, которым не нравится «начало», потому что его можно истолковать как сотворение, следует сказать, что начало Вселенной в том виде, как она нам известна, может быть концом другой формы развития материи, хотя практически было бы совершенно невозможно узнать что-нибудь относительно этого периода, поскольку все следы были стерты в суматохе разрушения и перестройки»²⁵.

Мы рассмотрели вопрос о пространстве, времени, их бесконечности в релятивистской теории однородной и изотропной Вселенной. Эта теория опирается на предположение о мировом субстрате, равномерно распределенном в пространстве. С ним она связывает привилегированную систему отсчета, по отношению к которой пространственно-временной континуум расщепляется на мировое пространство и время, и получает определенное решение проблема пространственно-временной бесконечности. Однако эта предпосылка не безусловна. В релятивистской космологии существует другое направление — теория неоднородной и анизотропной Вселенной, которая отвергает ее. Отказ от привилегированной системы отсчета, введение нескольких систем отсчета приводит к тому, что утрачивается единое мировое пространство и время. В разных системах отсчета пространственно-временной континуум расщепляется на разные мировое пространство и время. При определенных условиях эта неоднозначность расщепления континуума может привести к неоднозначности решения проблемы пространственной и временной бесконечности.

Несмотря на то, что теория неоднородной Вселенной более очевидна с точки зрения «обыденного» астрономического опыта (ибо материя в наблюдаемой части Вселенной, действительно, распределена неравномерно), она не получила такого же развития и признания, как альтернативная ей теория однородной Вселенной. Причина этого заключается в том, что теория однород-

²⁵ Макс Борн. Эйнштейновская теория относительности. М., 1964, с. 445.

пой Вселенной более проста и эвристична. Кроме того, она соответствует если не обыденным, то более тонким эмпирическим фактам (красное смещение, 3°K изотропное реликтовое излучение).

ПУТИ ОБОБЩЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Успешная геометризация гравитации заставила многих физиков задуматься над вопросом о сущности физики. По этому вопросу существуют две противоположные точки зрения, которые четко сформулированы Ч. Мизнером и Дж. Уилером²⁶.

1. Пространственно-временной континуум служит лишь ареной проявления полей и частиц. Эти последние сущности чужды геометрии. Их следует добавить к геометрии для того, чтобы вообще можно было говорить о какой-либо физике.

2. В мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства. Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривленного пространства. Физика есть геометрия.

В первой точке зрения сформулирована исторически сложившаяся традиция, определяющая двухкомпонентную модель физической теории $\Phi + \Gamma$, где Φ — это физические объекты, а Γ — геометрия. В подобном подходе мы исследуем поведение физических объектов, частиц и полей (Φ) в рамках некоего пространственно-временного многообразия, в рамках некой геометрии (Γ). Эта модель физической теории была сформирована в глубокой древности (атомы и пустота Демокрита) и сыграла большую роль в развитии классической физики (абсолютные пространство и время Ньютона).

В этом отношении можно сказать, что общая теория относительности является предельной или переходной теорией. Мы имеем в виду следующее: общую теорию относительности еще можно отнести к физическим теориям первого типа, допускающим расщепление на фон (Γ) и начинку (Φ). Но, вместе с тем, она имеет и общие черты со вторым типом физических теорий, ибо гравитация геометризована. В общей теории относительности функционирует смешанный тип описания реальности: частицы и поля, отличные от гравитации, добавляются к геометрии. Однако успех в геометризации гравитации побудил многих ученых (и в первую очередь самого Эйнштейна) к попыткам объединения электромагнитного и гравитационного полей в рамках достаточно общего геометрического формализма на базе общей теории относительности. Весьма заманчивой казалась попытка обобщения математических основ общей теории относительности

²⁶ Ч. Мизнер и Дж. Уилер. Классическая физика как геометрия. — Дополнение в кн.: Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962, с. 218.

(выход за рамки римановой геометрии) таким образом, чтобы в обобщенном формализме описывалось не только гравитационное поле, но и поле электромагнитное. (С открытием разнообразных элементарных частиц и соответствующих полей, естественно, встала проблема включения и их в рамки подобной единой теории.) Так было положено начало длительному процессу поисков геометризованной единой теории поля, которая характеризует реализацию второго типа физической теории — сведение физики к геометрии, создание геометродинамики.

Здесь необходимо одно предварительное замечание. Дело в том, что довольно часто приходится встречаться с неадекватной оценкой этого направления как якобы философски ошибочного, пытающегося свести «материю» к «пространству-времени». Уже в рассмотрении общей теории относительности этот подход давал себя знать в утверждении, что Эйнштейн свел физику к геометрии, «геометризовал физику». И уже в рамках общей теории относительности можно было с не меньшим правом сказать, что, наоборот, скорее произошло «офизичение геометрии».

Разбираемые нами два типа физических теорий не могут быть оцениваемы с точки зрения оппозиции материализма и идеализма. С точки зрения материалистической гносеологии они в равной степени законные направления физического исследования. Следует учитывать, что, например, физика XIX в. строила теории различных видов материи и теории различных агрегатных состояний определенного вида материи. Как правило, подобные теории являлись эмпирическими, в них пытались систематизировать экспериментальный материал, касающийся многочисленных свойств и параметров физических объектов. Эти свойства, выступающие в своей чувственной конкретности и наглядности (сила, давление, работа, упругость и т. д.), были непосредственно связаны с опытом. Подобные фактуальные теории, в которых математика играет вспомогательную роль, имеются и в современном естествознании, но, вместе с тем, мы можем выделить и теории существенно иного типа. — теории логико-математические, в которых опыт не является судьей получаемых результатов. Эти теории (и даже не отдельные теории, а логика и математика в целом) лишь в самых начальных своих истоках связаны с опытом.

Фундаментальные теории современной физики теснейшим образом связаны с абстрактной математикой, причем связаны иначе, чем в классической физике. Математика перестала быть лишь орудием расчета физической теории, она превратилась в язык, на котором единственно только и может быть изложена (построена, оформлена, выражена, сформулирована) современная физическая теория. Причем если мы возьмем такие теории, как геометродинамика, в которой пытаются представить многообразие полей в рамках обобщенного пространства, или же теорию элементарных частиц для которой характерны поиски

обобщенных групп симметрий, описывающих многочисленное и разнообразное семейство объектов микромира, то эти теории описывают не частные формы материи или их агрегатные состояния, а некий комплекс форм материи, все многообразие полей и т. д. Эти теории в своей тенденции стремятся стать *теориями материи*.

Подобное восхождение от частных физических теорий к единой теории поля сопровождается элиминацией огромного числа частных и узкоспецифических свойств и понятий. Единая теория поля оперирует наиболее общими и абстрактными логико-математическими категориями, которые связаны с понятиями опыта длинной цепью опосредствований. В этом аспекте становятся понятными представления многих ученых о том, что физика сводится к геометрии, что будущая общая теория элементарных частиц будет наделенной физическим смыслом алгебраической топологией и т. д.

Диалектический материализм под материей понимает отнюдь не какой-то вещественный субстрат, не обязательно какую-то «начинку» пространственно-временного каркаса, а объективную реальность, являющуюся источником наших знаний, в том числе и создаваемых нами физических теорий.

При разработке физических теорий второго типа ни в коей мере не подвергается сомнению этот исходный принцип философского материализма, речь здесь идет не о попытке отрицать материю как объективную реальность, а о структуре этой реальности: представляет ли она нечто разделенное на «каркас» и «начинку» или образует единое целое. Эйнштейн неоднократно указывал на то, что исходным пунктом здесь отнюдь не выступает некое «пустое пространство», как раз наоборот, существование пустого пространства последовательно отвергалось им. «Согласно общей теории относительности, не существует понятия пространства, лишенного какого бы то ни было физического содержания. Физическая реальность пространства представляется полем, компоненты которого есть непрерывные функции четырех независимых переменных — пространственных координат и времени»²⁷.

Необходимо отметить, что попытки развития так называемой пространственной теории материи предпринимались и до создания общей теории относительности, — их логические основы органично связаны с разработкой неевклидовой геометрии, в частности с развитием Риманом обобщенного метода исследования геометрических объектов (дифференциально-метрический), в рамках которого была развита общая геометрия римановых пространств произвольного числа измерений. Дело в том, как отмечает Эйнштейн, что, «сообразно с этой более общей геометрией, метрические свойства пространства и различные возмож-

²⁷ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 725.

ности расположении бесконечно большого числа бесконечно малых неизменяемых тел в конечных областях не определяются исключительно аксиомами геометрии. Вместо того чтобы быть смущенным этим выводом и заключить о физической бессмысленности своей системы, Риман пришел к смелой мысли, что геометрические отношения тел могут быть обусловлены физическими причинами, т. е. силами»²⁸. Пространство, в этом свете, выступает как метрически аморфное многообразие, в которое вводится определенная организация наполняющими его материальными объектами и процессами. Причем различные структурные уровни материи, вообще говоря, определяют различные организации пространственно-временного многообразия. Характеризуя эту плодотворную доктрину, Вейль подчеркивал, что Риман «отказывается принять концепцию, до него разделявшуюся всеми математиками и физиками, будто бы метрика пространства независима от протекающих в нем физических процессов и будто реальное вступает в это метрическое пространство как наниматель в готовую квартиру»²⁹. Развитие подобных идей приводит Клиффорда (1870 г.) к попытке идентифицировать материальные частицы с областями сильно искривленного пространства. В подобном подходе происходит отождествление пространства и материи³⁰. Однако эта программа осталась нереализованной: Клиффорд не сумел дать чисто геометрическую интерпретацию массы.

Действительное развитие пространственной теории материи начинается лишь с созданием общей теории относительности. В речи, произнесенной 7 июня 1930 г. в Ноттингеме, Эйнштейн развил весьма симптоматичные представления о единой теории поля: «Мы приходим к странному выводу: сейчас нам начинает казаться, что первичную роль играет пространство; материя же должна быть получена из пространства, так сказать, на следующем этапе. Пространство поглощает материю»³¹. В этом смысле геометризация гравитации явилась лишь первым шагом на пути построения теории поля *par excellence*. Построение геометризованной единой теории поля мыслилось именно как обобщение математических основ общей теории относительности. Дело в том, как пишет Эйнштейн, что «в геометрии Римана, которая дала возможность физического описания гравитационного поля в общей теории относительности, совершенно отсутствуют поня-

²⁸ Там же, с. 181.

²⁹ «Об основаниях геометрии». М., 1956, с. 341.

³⁰ См.: W. K. Clifford. The Common of the Exact Sciences. N. Y., 1946, p. 202. Можно говорить об определенной аналогии концепции Клиффорда и картезианской доктрины, с той лишь существенной разницей, что если Декарт сводил пространство к материи, то у Клиффорда именно пространство выступает «строительным материалом» физической реальности («перевернутое» картезианство).

³¹ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 243.

тия, которые можно было бы сопоставить с электромагнитным полем. Поэтому физики-теоретики, надеясь построить логическую теорию, объединяющую с одной точки зрения все физические поля, стремятся найти такие естественные обобщения геометрии Римана, в которых содержится больше понятий, чем в последней»³².

Действительно, если риманова геометрия дает описание гравитационного поля как искривления пространства-времени, то нельзя ли таким образом обобщить риманову геометрию, чтобы такие пространственные сущности, как закрученность, аффинная связность, флуктуация метрики, многосвязность и т. д., давали возможность описывать электромагнитные, мезонные и т. д. поля в едином геометрическом формализме³³.

Начало реализации подобных попыток положила работа Вейля³⁴ (1918 г.), в которой он стремился развить геометрическую интерпретацию электромагнитного поля в процессе выхода за рамки римановой геометрии (градиентно-инвариантная теория Вейля). Дело в том, что закон параллельного переноса векторов (аффинная связность) сводится к римановой метрике лишь в том случае, если длина вектора при подобном переносе не меняется. Однако это допущение не является логически необходимым, и, отказавшись от него, Вейль построил обобщение римановой геометрии, которое, по его мнению, содержит теорию электромагнитного поля. Он ввел представление об изменении длины вектора при параллельном переносе в зависимости от потенциала электромагнитного поля ϕ . Другой вариант этого направления построения единой теории поля (аффинной теории поля) дал Эддингтон³⁵, и с этим направлением в свое время были связаны большие надежды. Его с воодушевлением воспринял Эйнштейн, который приложил массу усилий для его логического завершения. Однако это направление обобщения геометрических основ общей теории относительности не привело к прогрессу физических знаний,—единую теорию не удалось последовательно развить, формализм оказался громоздким и весьма искусственным, из уравнений поля не удалось построить удовлетворительной теории электрона и т. д. Все эти (и многие другие) затруд-

³² А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 223.

³³ Следует учитывать, что наряду с попытками построения единой теории поля на базе обобщения римановой геометрии общей теории относительности существуют разнообразные альтернативные теории самой гравитации, которые в определенном смысле также можно рассматривать как обобщение общей теории относительности. Здесь можно указать на такие направления исследования, как различные конформно-плоские теории (Нордстрем, Уитроу—Мордух и др.), скалярно-тензорная теория (Йордан—Бранс—Дикке), слоисто-конформные теории (Пейдж—Тупнер, Розен и др.).

³⁴ H. Weyl. Gravitation und Elektrizität.— «Sitzungsbericht Preussische Academia Wissenschaft», 1918, Bd. 1, S. 465—480.

³⁵ А. С. Эддингтон. Теория относительности. М.— Л., 1934, с. 397.

нения и несудачи привели физиков к выводу, что путь Вейля и Эддингтона не дает возможности продвинуться к истине, и он был оставлен.

Однако попытки построения геометризованной единой теории поля не были оставлены. Тем более, что путей формального обобщения римановой геометрии огромное множество. Можно, например, использовать пространства более высокой размерности, чем пространственно-временное многообразие общей теории относительности. Такова теория Калуцы³⁶, в которой единое поле описывается в пятимерном континууме при помощи пятимерного метрического тензора $g_{\alpha\beta}$. Компоненты $g_{11}, \dots, g_{44}$ задают гравитационное поле, что же касается компонент $g_{15}, \dots, g_{45}$, то они означают электромагнитные потенциалы. Физический смысл компонент g_{55} в теории Калуцы не определен. Пятимерный континуум позволил в теории Калуцы рассматривать гравитационное и электромагнитное поля как единую структуру пространства. Удалось получить уравнения, которые в первом приближении совпадают с уравнениями гравитационного поля и с уравнениями Максвелла. Однако и эта теория столкнулась с массой трудностей, и ее обобщения оказались весьма искусственными, формальными и далеко не достаточными. Как указывает Эйнштейн³⁷, в теории Калуцы вводится пятимерный континуум, тогда как наблюдаемый нами мир является четырехмерным; в ней не удалось вычислить константу связи электрической и весомой масс движущейся материальной точки; в ней также не удалось физически интерпретировать компоненту g_{55} метрического тензора.

Следует отметить, что сама идея поиска синтеза полевых концепций на пути использования пространств повышенных размерностей захватила умы физиков. А. Эйнштейн с В. Майером пытаются построить единую теорию поля, вводя 5-векторы в четырехмерное пространство. Их преследует проблема сингулярностей, без которой не удастся ввести в теорию элементарные частицы. Они же придерживаются мнения, что «...удовлетворительная теория поля должна избегать введения сингулярностей при описании *полного поля*, т. е. должна включать в себя и поля внутри корпускул»³⁸.

Концепция пятимерного континуума не привела к построению геометризованной единой теории поля, хотя ей отдали много энергии такие выдающиеся физики, как А. Эйнштейн, В. Паули, В. А. Фок и многие другие. Однако в физике использование пятимерного пространства ознаменовало создание очень мощного формализма, который помог, например, выведению квантового

³⁶ Th. Kaluza. Zum Unitätsproblem der Physik.— «Sitzungsbericht Preussische Akademie Wissenschaft», 1921, Bd. 2, S. 966—972.

³⁷ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 367.

³⁸ Там же, с. 387; Эйнштейн считал, что «сингулярности приводят к такому произволу в теории, который делает ее бессодержательной» (там же, с. 425).

псевдорилистического уравниения, описывающего скалярные и псевдоскалярные частицы (π -, K -мезоны). Что же касается геометризованной единой теории поля, то ее не удалось построить ни в обобщенном формализме Эйнштейна, ни в проективном варианте Веблена, ни в шестимерной теории Клейна, ни даже в ∞ -мерном варианте Калицина.

Внимание исследователей привлекает другое обобщение основ общей теории относительности,— попытка Эйнштейна развить единую теорию поля на базе римановой геометрии с сохранением понятия абсолютного (далекого) параллелизма. Полученная в подобном подходе структура оказывается промежуточной между структурами пространств Римана и Евклида. Эйнштейн задает пространство не метрикой, а посредством n -подов (n -мерных ортогональных реперов). Естественно, что если заданы n -поды во всех точках пространства, то этим определена и метрика пространства, хотя обратное утверждение не верно. Подобное описание пространства с помощью n -подов является более содержательным, чем описание посредством фундаментальной квадратичной формы. «Возникает мысль,— пишет Эйнштейн,— что именно в произволе, связанном с этим способом описания, кроются искомые связи между структурой пространства и причиной электромагнетизма, которые до сих пор ускользали от теории»³⁹. В подобном подходе структура пространства задается при помощи n -подов, которые для любых двух точек оказываются параллельными. Т. е. мы можем установить между любыми двумя точками пространства не только метрические соотношения, но и соотношение направлений, через ориентацию n -подов. Таким образом, подход к более общей геометрии, чем геометрия Римана, сводится к существованию в структуре пространства «направлений» и соотношений между ними. Причем, как подчеркивал Эйнштейн, «этого понятия направления» не содержит в себе ни понятие континуума, ни понятие пространства»⁴⁰.

Рассматривая h_s^v -проекции единичных векторов n -пода на оси системы гауссовых координат⁴¹, Эйнштейн приходит для четырехмерного пространства ($n=4$) к оперированию 16 величинами h_s^v , которые полностью описывают структуру пространства. Довольно просто определяются коэффициенты фундаментальной метрической формы $g_{\mu\nu}dx_\mu dx_\nu$ с помощью новых величин $g_{\mu\nu}=h_{s\mu}h_{sv}$, где h_{sv} — миноры детерминанта $h=|h_s^v|$, деленные на h . Величины h_s^v составляют фундаментальный тензор, аналогичный тензору $g_{\mu\nu}$ из обычной общей теории относительности, однако по сравнению с 10 компонентами тензора $g_{\mu\nu}$ мы

³⁹ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов, т. II, с. 288.

⁴⁰ Там же, с. 289.

⁴¹ h_s^v обозначает v -ю проекцию единичного вектора, направленного вдоль S -той оси n -пода.

обладаем 16 величинами h_s^ν , которых должно хватить как для задания гравитационного, так и электромагнитного полей. В этом подходе мы получаем две группы уравнений: группу симметричных уравнений, выражающих законы гравитационного поля, совместные с законом Ньютона — Пуассона, и группу антисимметричных уравнений, выражающих уравнения Максвелла в обобщенной форме.

Следует отметить, что идеи релятивистской теории несимметричного поля представлялись Эйнштейну наиболее перспективными, и различные модификации подобной теории разрабатывались им вплоть до 1955 г. В результате удавалось из обобщенной структуры пространства получить некие общие уравнения поля, которые в первом приближении приводят к известным уравнениям теории гравитации и электромагнетизма Максвелла. Однако дальше этого результата продвинуться не удалось. Сведение уравнений единой теории поля к известным уравнениям традиционных частных полевых теорий хотя и является необходимым условием в построении единой теории поля, однако оно не является достаточным. Полученные результаты не давали возможности экспериментальной проверки предсказаний теории, не удалось вывести закон движения частиц из уравнений поля. Далее, теория поля не полностью определяется системой уравнений поля. Перед исследователем встают такие проблемы, как проблема сингулярностей, постулирование граничных условий и т. д. Причем в рамках единых теорий поля отсутствует какой-либо метод систематического получения решений, свободных от сингулярностей.

Мы привели лишь самые характерные варианты геометризованных единых теорий поля, которые привлекали пристальное внимание физиков в 20—30-е годы нашего столетия. Они так и остались нереализованными. Эйнштейн предпринимал все новые попытки реализации этой программы, однако они оказались тщетными.

Но были ли эти поиски напрасными? И является ли крах нескольких попыток свидетельством порочности самой программы? Ведь путей формального обобщения римановой геометрии огромное множество. И даже неудавшиеся попытки внесли в современную физику много ценных идей, которые плодотворно работают сегодня и лежат в основе наших завтрашних изысканий. Например, описание пространства с помощью n -подов, которое использовалось Эйнштейном для построения единой теории поля, имеет непосредственное отношение к современному обобщению общей теории относительности на базе тетрадного формализма. Это тем более важно, что обычные метрические потенциалы $g_{\mu\nu}$ пригодны лишь для описания взаимодействия с гравитацией макроскопических тел и атомных систем бозонного типа, поскольку фермионы, описываемые спинорами, взаимодействуют с тетрадными величинами $h_\nu(a)$, являющимися корнями

из $g_{\mu\nu}$. В этой связи весьма актуальна проблема ревизии всей общей теории относительности с точки зрения тетрад. «С точки зрения единой теории,— отмечает Д. Д. Иваненко,— тетрадный формализм гравитации не только объединяет ее с другими полями через компенсационную трактовку, но также предсказывает использование компонент $h_\nu(a)$ в виде наиболее первичных величин, наряду с каким-то наилучше подобранным спинором объединенной теории «обычной» материи. В этой связи приобретает добавочное значение спинорная запись эйнштейновских уравнений»⁴². Т. е. в подобном подходе может оказаться возможным провести синтез двух направлений построения единых теорий: направление эйнштейновской геометризованной единой теории поля и направление, связанное с развитием единой спинорной нелинейной теории элементарных частиц⁴³.

С другой стороны, следует учитывать, что все попытки построения геометризованной единой теории поля, характерные для 20—30-х годов, не пошли дальше обобщения метрических характеристик римановой геометрии. Но существуют еще и топологические характеристики пространства. Именно на пути пересмотра тривиальной евклидовой топологии пространства-времени общей теории относительности и строится современная единая теория — геометродинамика Уилера.

Еще в 1924 г. Райнич показал, что при определенных допущениях мы можем полностью определить электромагнитное поле через кривизну пространства-времени. В этом подходе уравнения Максвелла выступают как простые геометрические соотношения, связывающие кривизну Риччи и скорость ее изменения. Уравнения второго порядка Максвелла и Эйнштейна приводятся к системе уравнений четвертого порядка, которые зависят только от геометрических величин. Физически это означает, что электромагнитное поле оставляет весьма характерный след на метрике, по которому можно получить все необходимые данные о самом поле.

Эти представления и послужили основой для развития геометродинамики, которая выступает как современная пространственная теория материи и является воплощением второго типа физической теории (физика есть геометрия). Удалось построить геометродинамическую модель массы — геон, который представляет собой сгусток электромагнитного или гравитационного (или обоих вместе) полей, сформированный собственным гравитационным притяжением. Однако подобная модель массы, построенная в рамках евклидовой топологии (классическая геометродинамика), хотя и непротиворечива, но не дает возможности скон-

⁴² Д. Д. Иваненко. Возможности единой теории поля.— В кн.: *Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии*. Киев, 1965, с. 51.

⁴³ См., например: В. Гейзенберг. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., 1968, с. 182.

струировать мир конкретных квантовых частиц с их фиксированным спектром масс. Что касается классического заряда, то он проявляется в виде заключенного в многосвязную метрику потока силовых линий, т. е. электрические силовые линии проходят через ручку многосвязного пространства⁴⁴. Окрестность одной горловины ручки воспринимается наблюдателем как положительный заряд, а окрестность второй горловины — как отрицательный заряд. Эта геометродинамическая модель электрического заряда не имеет никакого отношения к квантованному заряду элементарных частиц. На этом уровне фактически была проведена интерпретация классической физики как геометрии. Дальнейший прогресс геометродинамики безусловно связан с попытками синтеза с квантовыми закономерностями.

Современное развитие квантовой геометродинамики Уилера связано с концепцией суперпространства, которое выступает ареной действия геометродинамики, подобно тому, как пространство-время выступало ареной действия динамики частиц. В подобном подходе в единую структуру вполне органично входят и элементарные частицы, которые предстают как пространство, резонирующее между двумя различными топологиями.

Суперпространство было введено в формализм квантовой гравитации как область определения функционалов квантовых состояний. Причем введение суперпространства можно рассматривать как одну из форм обобщения римановой геометрии в общей теории относительности, а именно того положения, что в каждой точке четырехмерного многообразия существует локальное псевдоевклидовое пространство специальной теории относительности. Обобщение этого положения приводит нас к расслоенным пространствам (риманово пространство в известном смысле также может рассматриваться как расслоенное — слоем выступает касательное евклидовое пространство в соответствующей точке некоторого многообразия евклидовой связности). Использование расслоенных пространств общего вида дает возможность провести геометрическую интерпретацию всего класса калибровочных или компенсирующих полей (к этому классу, в частности, относятся электромагнитное и гравитационное поля). В подобном подходе каждому взаимодействию соответствует своя геометрия, и «единство» различных теорий поля заключается в существовании общего принципа, по которому строится каждая из этих геометрий, а не в существовании некой единой обобщенной геометрии и обобщенного пространства. В общем случае объединение подобных слоев не образует многообразия.

Любое суперпространство само не является многообразием, но расслаивается на последовательность многообразий. Касаясь

⁴⁴ При подобной топологической интерпретации заряда ручка связывает две области одного и того же почти евклидового пространства. Подробнее см.: Дж. Уилер. Предвидение Эйнштейна. М., 1970, с. 24.

суперпространства квантовой гравитации, Б. С. Де Витт предположил, что слои необходимо убрать, а суперпространство превратить в многообразие, склеивая копии его вдоль слоев. В подобном подходе строится расширенное суперпространство. Причем, Д. Брилл и Р. Гоуди⁴⁵ указывают, что в дополнение к математическим преимуществам работы с одним многообразием имеются также и физические мотивировки для подобного расширения: кривые в суперпространстве, представляющие динамическое развитие пространства-времени (разрезанного на 3-геометрии при помощи некоторого временного координатного условия), являются гладкими в расширенном суперпространстве, а в общем случае они могут даже отражаться под острыми углами от слоев самого суперпространства. Кроме того, малые негеометрические возмущения наподобие слабых электромагнитных полей могут быть однозначно описаны только в расширенном суперпространстве.

Однако есть еще одна возможность расширения суперпространства, которую и использовал Уилер,— он обратился к многообразиям, которые обладают различными топологиями. Более того, квантовая геометродинамика использует 3-геометрии, оснащенные n -ручками, что определяет многолистный характер суперпространства, причем количество листов равно 2^n . Подобная ориентируемость замкнутых 3-многообразий требует введения спиновой структуры, которая в совокупности с топологией, дифференциальной структурой и метрикой полностью определяют соответствующее 3-многообразие. Следует учитывать, что спиновая структура, как и метрика, является в принципе наблюдаемой величиной.

Квантовая геометродинамика находится в процессе становления. Ее создатели ждут от нее очень многого. Возможно, она коренным образом преобразует всю физику и сам стиль нашего естественнонаучного мышления, хотя и не исключено, что она окажется лишь одной из многих неудавшихся попыток построения геометризованной единой теории.

Важно подчеркнуть, что использование многосвязанного пространства не является произвольным и чисто формальным обобщением римановой геометрии на пути выхода за рамки евклидовой топологии. Переход к неевклидовой топологии продиктован спецификой самих уравнений Эйнштейна (которые таят в себе еще много загадочного и неизвестного). Так, Дж. Уилер⁴⁶ пришел к многосвязанному пространству, оснащенному ручками, горловинами и т. д., анализируя метрику Шварцшильда (простейший случай сферически-симметричного поля), которая

⁴⁵ Д. Брилл, Р. Гоуди. Квантование общей теории относительности.— В кн.: Квантовая гравитация и топология. М., 1973, с. 168—169.

⁴⁶ Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная, с. 95.

оказывается сингулярной, что непосредственно связано с гравитационным коллапсом.

В проблеме коллапса общая теория относительности столкнулась с существенными трудностями, и стало ясным, что здесь мы имеем дело с границей применимости этой теории. В проблеме гравитационного коллапса стыкуются трудности космологические и квантовомеханические, ибо коллапсирующий объект, описываемый общей теорией относительности, за конечное собственное время уменьшается до бесконечно малых размеров, «сжимается» в точку, что соответствует бесконечной кривизне пространства и бесконечной плотности объекта. В заключительной стадии гравитационного коллапса применение классической теории является бесполезным, мы вступаем в область квантовых явлений.

Следует отметить, что проблема сингулярности привлекает пристальное внимание ученых,— это направление исследований органично связано с анализом топологической структуры пространства-времени и каузальной структуры в космологии. В частности интересны разработки Пенроуза и Хокинга, Герока и др., в которых доказывается, что в рамках современных физических концепций в пространстве-времени неизбежно существуют (или существовали) сингулярности, области огромной кривизны и бесконечно большой плотности материи, в которых локальные физические законы весьма отличны от привычных нам. Помимо коллапсирующих звезд здесь имеются в виду феномены типа «первоатома» Вселенной в модели Большого взрыва. Таким образом, пространство-время Вселенной не является гладким дифференцируемым многообразием, оно обладает дырами, горловинами, ловушечными поверхностями и т. д.⁴⁷

Встает вопрос о реальности сингулярностей. Действительно ли массивная холодная звезда, ушедшая за сферу Шварцшильда, коллапсирует до $r \rightarrow 0$, когда плотность вещества и кривизна пространства-времени становятся бесконечно большими? Или мы просто сталкиваемся с неприменимостью общей теории относительности в случае сверхплотных состояний материи на малых расстояниях, которые достигаются в процессе коллапса? Не существует ли фундаментальной длины, которая бы естественным образом устранила бесконечности, ибо бесконечности в теории — вещь весьма нежелательная?

В связи с проблемой сингулярностей встает вопрос о статусе пространства-времени на заключительной стадии гравитационного коллапса. Весьма симптоматично, что подобная проблема функционирует и в современной физике микромира, где она получила свое проявление в гипотезе о макроскопической природе пространства-времени. Дж. Уилер⁴⁸ считает, что на заключитель-

⁴⁷ См.: Р. Пенроуз. Структура пространства-времени, с. 143.

⁴⁸ Дж. Уилер. Предвидение Эйнштейна, с. 41.

ной стадии гравитационного коллапса пространства-времени не существует. «Событие» или «временная последовательность событий» оказываются понятиями бессмысленными, и сам вопрос, «что произойдет на заключительной стадии гравитационного коллапса», — неверно поставленный вопрос.

Общая теория относительности является классической теорией, в ней совершенно не учитываются квантовые эффекты. Между тем, как справедливо подчеркивает В. Л. Гинзбург⁴⁹, истинная теория гравитационного поля должна быть квантовой теорией. Мы не будем специально затрагивать в данной статье проблемы квантовой гравитодинамики, а лишь подчеркнем тот факт, что на заключительных стадиях гравитационного коллапса, вблизи сингулярности становится необходимым учет квантовых эффектов. Причем следует иметь в виду, что фундаментальные константы, которые лежат в основе еще не созданной квантованной общей теории относительности, образуют некую элементарную (гравитационную) длину. Комбинация гравитационной постоянной G , скорости света c и квантовой постоянной Планка $\hbar$ образует гравитационную длину

$$l_g \sim \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см.}$$

Этой величине соответствуют гравитационный хронон $t_g \approx 0,5 \cdot 10^{-43}$ сек. и критическая плотность $\rho_g \approx 10^{95}$ г/см³. Именно в этой области $\sim 10^{-33}$ см и происходят субмикроскопические флуктуации метрики, которые и составляют основу пенообразной структуры многосвязного пространства. Эта гравитационная длина выступает мерой флуктуации геометрии пространства в квантовой геометродинамике. Причем, как отмечает Уилер, «важно не то, что эта длина мала, а то, что вообще существует некоторая характеристическая длина. Существование такой длины гарантирует невозможность появления сингулярностей кривизны пространства, предсказанных классической геометродинамикой. Появление сингулярностей не означает, однако, внутренней противоречивости классической общей теории относительности. Напротив, они означают, что классическая динамика кривизны прямо приводит к явлениям, которые можно удовлетворительно объяснить лишь в квантовой теории»⁵⁰.

На этом пути мы можем получить возможность анализировать процесс коллапса вплоть до состояния изменения топологии пространства-времени.

С другой стороны, очень перспективными являются попытки связать внутренние симметрии квантовых частиц с геометрическими и общерелятивистскими соображениями, например объ-

⁴⁹ В. Л. Гинзбург. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными. — «Успехи физических наук», 1971, т. 103, вып. I, с. 110.

⁵⁰ Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная, с. 123.

единить релятивистское четырехмерное пространство-время с внутренним изотопическим пространством, релятивизировать группу SU_3 , объединить ее с группами релятивистской космологии, с группой де Ситтера, группой Бонди — Мещнера и т. д.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ МИКРОМИРА

В связи с вышеизложенными направлениями исследований нам, естественно, необходимо рассмотреть пространственно-временные представления современной квантовой физики. В процессе развития квантовой механики была вскрыта принципиальная граница применимости некоторых классических представлений к атомным явлениям и процессам. В микромире становится бессодержательным понятие причинной пространственно-временной траектории частицы, если мы под траекторией будем понимать классический образ линейного точечного континуума как гладкого дифференцируемого многообразия. Именно поэтому в первые годы становления квантовой механики ее создатели (Бор, Гейзенберг и другие) делали основной упор на вскрытие того факта, что она не имеет дела с описанием движения атомных частиц в пространстве и времени, что она содержит в себе отказ от причинного пространственно-временного описания.

Таким образом, в квантовой механике встал вопрос о пересмотре ограниченных пространственно-временных представлений и лапласовского детерминизма классической физики. Они оказались понятиями приближенно применимыми для описания микромира, ибо основывались на идеализациях, допустимых лишь для макромира, мира твердых тел и световых лучей. Квантовая физика потребовала более тонких форм упорядоченности событий, в которых бы учитывалось существование принципиальной неопределенности в состоянии объекта, наличие черт целостности и индивидуальности, что и сублимировалось в понятии универсального кванта действия $\hbar$ и соотношениях неопределенностей Гейзенберга. В подобной картине становится не совсем корректным сам классический образ частицы. Необходимо подчеркнуть, что в соотношениях неопределенностей Гейзенберга мы сталкиваемся не просто с ограничениями точности измерений, а с ограниченной применимостью пространственно-временных понятий и динамических законов сохранения, основанных на концепции классического континуума⁵¹.

Вероятностная интерпретация квантовой механики формировалась в условиях довольно острой критики и конкуренции. Однако поразительные практические успехи этой теории в применении к атомным явлениям постепенно свели на нет всю оппозицию. На время были забыты сомнения Эйнштейна в полноте

⁵¹ Н. Бор. Избранные научные труды, т. 2. М., 1971, с. 530.

квантовомеханического описания. Порядки ряды «сторонников концепции «скрытых параметров». Квантовая механика была положена в основу бурно развивающейся физики элементарных частиц, количество которых перевалило за вторую сотню, но корректной обобщающей теории не создано до сих пор. В этой области наши обычные представления о континуальности пространства и времени, которые в определенной степени были еще характерны для обычной интерпретации квантовой механики, повлекли за собой серьезные трудности.

Исторически первой теорией элементарных частиц является квантовая электродинамика, включающая в себя описание взаимодействий электронов, позитронов, мюонов и фотонов. Это пока единственная ветвь теории элементарных частиц, которая достигла высокого развития и известной завершенности. Квантовая электродинамика является теорией локальной. В ней функционируют заимствованные из классической физики понятия, основанные на концепции пространственно-временной непрерывности: точечность заряда, локальность поля, точечность взаимодействия и т. д., — которые влекут за собой весьма существенные трудности, связанные с бесконечными значениями некоторых величин (собственная энергия электрона, энергия нулевых колебаний поля и т. д.).

Эти трудности весьма напоминают проблематику сингулярностей при анализе коллапса, когда мы также сталкиваемся с бесконечностью при $r \rightarrow 0$. В этом смысле можно сказать, что бесконечность проникает в физику через концепцию точечного классического континуума. И не мудрено, что весьма распространенными попытками решения проблемы бесконечности, расходимости, сингулярности являются именно попытки ревизии концепции континуума. Так, например, возникающие в квантовой электродинамике бесконечности пытались устранить в рамках теории дискретного пространства-времени, которая намечает весьма естественный выход из коллизий бесконечности, ибо содержит обрезывающий фактор — фундаментальную длину. Такая теория была развита в 1930 г. В. А. Амбарцумяном и Д. Д. Иваненко. Квантование пространства и времени механически аннулировало бесконечность энергии взаимодействия точечного электрона и т. д. Однако эта теория столкнулась с большими трудностями (она, в частности, оказалась релятивистски инвариантной) и не получила плодотворного применения.

Квантовая электродинамика была весьма успешно развита в формализме перенормировки. Правда, сама теория перенормировки носит рецептурный характер. Более того, как отмечает один из ее создателей Р. Фейнман, «теория перенормировки — это просто один из способов заматать под ковер трудности электродинамики, связанные с расходимостью»⁵². Подобная специ-

⁵² Р. Фейнман. Характер физических законов. М., 1968, с. 228.

фика теории перенормировки создает вокруг квантовой электродинамики что-то вроде «аромата» фундаментальной длины.

Концепция дискретного пространства-времени не была оставлена и получила очень плодотворное развитие в работах Снайдера, Ю. А. Гольфанда, В. Г. Кадышевского, Коиша, И. С. Шапиро, Р. М. Мир-Касимова и многих других физиков⁵³. Дело в том, что метод перенормировки оказался некорректным вне квантовой электродинамики, его не удалось применить для описания сильных взаимодействий, которые характеризуются значительной величиной константы связи. В современной физике происходит весьма радикальный пересмотр концепции классического континуума,— введение в физику кванта действия было лишь началом этого процесса. Мы часто не совсем четко отдаем себе отчет в том, что противоречие поля и точечной частицы не является, вообще говоря, противоречием прерывности и непрерывности в современной физике. Как поле, так и точечная частица одинаково органично связаны с принципом локальности и являются лишь различными проявлениями классического континуума в квантовой физике. Современное развитие физики микромира и такие направления исследований, как, например, теория S-матрицы, нелокальные и нелинейные теории поля, теория квантованного пространства-времени и т. д., являются существенными шагами в процессе ревизии концепции классического континуума. «В последнее время,— писал И. Е. Тамм,— развитие квантовой физики поставило по-новому вопрос о пространстве и времени в микрокосме. Пока можно, конечно, только гадать о том, как разрешится этот вопрос, но мне представляется весьма вероятным, что в микрокосмических масштабах пространство дискретно»⁵⁴.

Правда, некоторые исследователи, исходя из затруднений современной физики, отказались гадать о сущности пространства и времени в микромире, пойдя по линии их упразднения. Это направление исследований связано с так называемой гипотезой о макроскопической природе пространства и времени⁵⁵.

Да, пространство и время классической физики не функционируют в физике микромира, как, кстати, нет их и в релятивистской физике. Но специфическая структура отношений объектов релятивистской физики осталась геометрической (хотя и неевклидовой), и мы продолжаем использовать понятие пространство-время, не вводя гипотезы о нерелятивистской природе пространства и времени. В подходе же Циммермана, Дж. Чу и других предпринята попытка развить физику микромира в рамках не-

⁵³ См., например: В. Г. Кадышевский. К теории дискретного пространства-времени.— «ДАН СССР», 1961, т. 136, № 1, с. 70.

⁵⁴ И. Е. Тамм. Эйнштейн и современная физика.— «Успехи физических наук», 1956, т. 9, вып. 1, с. 9.

⁵⁵ См., например: E. Y. Zimmerman. The Macroscopic Nature of Space-Time.— «American Journal of Physics», 1969, v. 30, p. 101.

геометрических структур (теория бутстрапа, высшие симметрии и т. д.). Пожалуй, все согласны, что развитие физики потребует достаточно радикального пересмотра наших обычных (макроскопических) пространственно-временных представлений. Парадоксально формулируя этот тезис, можно, конечно, говорить об отказе от всеобщности пространства-времени. Нам, однако, представляется, что и в случае пространства-времени (как и в ряде других случаев) разумнее говорить об обобщении соответствующих фундаментальных категорий, а не об отказе от них.

В отношении пространства-времени к тезису о его всеобщности следует подойти еще и с точки зрения фундаментального гносеологического принципа, сформулированного Н. Бором (принцип Бора): *«Как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные evidence должны описываться при помощи классических понятий»*⁵⁶. С учетом принципа Бора пространственно-временной характер эмпирической базы любой возможной физической теории очевидно неизбежен.

Следует отметить, что любая физическая теория содержит в себе, вообще говоря, две структуры отношений. Во-первых, это пространство и время как структура эмпирической верификации. Эта структура обладает гносеологической универсальностью, — какие бы глубинные уровни строения материи мы ни исследовали, какие бы «сумасшедшие» теории ни строили, мы никогда не сможем обойтись без эмпирической верификации, мы должны получить определенные экспериментальные, эмпирические данные, дабы проверить предсказания теории. На этом уровне используется язык наблюдений, в основе которого лежит концепция пространства и времени классической физики (эмпирическая структура отношений физической теории). Во-вторых, исследуя неклассические объекты, мы прибегаем к помощи абстрактных математических структур, развиваем теорию в рамках групповых, теоретико-множественных, алгебро-топологических и других структур отношений (теоретическая структура отношений физической теории). В классической физике эти две структуры (эмпирическая и теоретическая) совпадали и выступали в форме пространства и времени, что обусловлено объектом исследования. Абстрагируясь от окружающих нас макрообъектов и их макроизменений, мы создали евклидову геометрию, геометрию пространства и времени макромира. В рамках этих понятий и была развита классическая физика. Мы изучали макромир в структуре отношений, которую «извлекли» из самого макромира, — они органично соответствуют друг другу. В классической физике эмпирическая и теоретическая структуры отношений, вообще говоря, совпадают, ибо сам макромир и является миром эмпирической верификации. В неклассических физических тео-

⁵⁶ Н. Бор. Атомная физика и человеческое познание. М., 1961, с. 60.

ниях (микромир и мегамир) эти структуры расщепляются. Так что, когда речь заходит о макроскопичности пространства и времени, нужно четко отдавать себе отчет в том, что речь идет о теоретической структуре отношений физической теории.

В этой связи развитие физики микромира в рамках негеометрических структур отношений ставит перед исследователями очень важные задачи: мало провозгласить негативное отрицание пространства и времени в микромире, необходимо вскрыть то позитивное, конструктивно новое, что пришло к ним на смену, а также взаимосвязь и соответствие старой и новой структур отношений.

Развитие гипотезы о макроскопической природе пространства и времени поставило на повестку дня вопрос о статусе пространства и времени в квантовой теории. Если брать обычную квантовую механику Гейзенберга — Шредингера, то в ней пространство и время фактически просто заимствованы из классической механики (или в лучшем случае из специальной теории относительности). В этом смысле можно говорить, что в квантовую теорию континуум проникает через структуру пространства-времени. Мы фактически берем геометрическую и динамическую структуры классической физики, которая в определенных пределах вполне корректно описывает реальный мир, и улучшаем ее путем квантования. Этот путь развития теории связан, в определенном смысле, с «квантованием геометрии». На этом пути достигнуты очень большие успехи современной физики, и сегодня мы не чувствуем его какой-либо ограниченности, — теория находится в очень хорошем соответствии с экспериментом.

Но физиков не оставляют тяжелые предчувствия, что этот метод может нас подвести уже в ближайшие годы, где-нибудь на уровне достижения характеристических длин слабых взаимодействий. Именно поэтому большой интерес вызывает второй путь — *не квантование геометрии, а геометризация квантов*. Эта возможность является общей как для развития квантовой геометродинамики, так и для развития квантовой физики, т. е. здесь происходит определенное сближение перспектив развития общей теории относительности и физики микромира. Так, Дж. Уилер⁵⁷ формулирует программу развития квантовой геометродинамики именно в аспекте: не геометрия, а затем квантовый принцип, а, наоборот, сначала квантовый принцип, а уже затем геометрия! Аналогичной программы придерживаются и мно-

⁵⁷ Дж. А. Уилер. Предвидение Эйнштейна, с. 95. В этом положении мы усматриваем методологическое превосходство квантовой геометродинамики над обычными попытками построения квантовой теории гравитации, которые ограничиваются главным образом «поисками лучшего варианта классической формулировки общей теории относительности, к которому затем применяется один из существующих методов квантования» (Дж. Андерсон. Квантование общей теории относительности. — В кн.: Гравитация и относительность. М., 1965, с. 435).

гис ученые, пересматривающие основания современной квантовой физики. Дело в том, что в квантовой теории мы имеем целый ряд величин и понятий, которые носят существенно квантовый, неклассический характер. В частности подобным параметром является спин, угловой момент частиц. В последнее время были предприняты очень интересные попытки развить квантовую теорию исходя из одних лишь неклассических величин. В этом подходе строится теория, которая, в соответствии с пересмотром концепции континуума, вообще не использует понятий «частица» и «поле», ибо они содержат в себе идею потенциальной изолированности объекта, что несовместимо с фундаментальной идеей квантовой физики, — с идеей целостности описания.

Это направление созвучно идеям Циммермана и Чу, но есть в нем и одно существенное отличие — оно не просто элиминирует пространство-время из структуры теории, а конструирует его на основе неклассических, квантовых порождающих элементов. Построенное подобным образом пространство-время обладает целым рядом нетривиальных свойств: оно оказывается комбинаторным, обладающим спиторной структурой, дискретным, с богатой гомологией и т. д.⁵⁸

Пути развития современной физики ведут к квантовой геометродинамике (или в более общем плане — к квантовой структуродинамике). Причем это движение происходит как со стороны общей теории относительности, так и со стороны квантовой физики. Именно этот синтез и определяет тот факт, что в рамках квантово-геометродинамической модели физики пытаются найти решение самых кардинальных проблем релятивистской космологии и физики микромира. Осуществив такой синтез, мы сможем анализировать конечные стадии гравитационного коллапса и понять внутреннюю сущность элементарных частиц. Это действительно величественная программа (но не более). Удастся ли человечеству ее реализовать — покажет будущее. Однако уже сейчас можно с уверенностью сказать, что эта программа многое дала современной физике. В первую очередь следует отметить решительную ревизию классической концепции континуума, пересмотр которой происходит в самых разнообразных аспектах: в рамках гомологических структур, в формализме конечной геометрии, в конструктивном направлении, в неклассических топологиях и т. д. Эта специфика современной физики микромира и дает право Вейцзеру сформулировать следующее положение: «Не следует ожидать, что понять атом легче, чем понять, например, число, и в то же время баталии между логи-

⁵⁸ См., например: R. Penrose. Angular Momentum an Approach to Combinatorial Spase-Time.— In: Quantum Theory and Beyond. Cambridge, 1971, p. 151—180.

цистами, формалистами и интуиционистами о значении числа до сих пор не привели к разрешению проблемы»⁵⁹.

Квантовая геометродинамика ставит перед собой несоизмеримо более грандиозную задачу, она не пытается понять число или атом, она стремится понять Вселенную и элементарные частицы в их единстве и гармонии.

А. М. Мостепаненко

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ ВСЕЛЕННОЙ

Все большее значение для развития научного познания приобретает проблема происхождения топологической структуры пространства-времени Вселенной. Эта проблема имеет два аспекта: топология пространства-времени «в малом» и его топология «в целом», обусловленная связностью и другими особенностями космологической модели.

По поводу трактовки понятия «Вселенная» и его соотношения с понятием «материальный мир» в нашей философской литературе имеются значительные расхождения¹. Не останавливаясь на подробном анализе дискуссии по этому вопросу, дадим лишь некоторые определения. По нашему мнению, под «миром» естественно понимать все существующее как предмет широкого философского исследования с позиций определенной онтологической модели. Так, под миром можно понимать многообразие вещей, свойств и отношений; многообразие событий; многообразие уровней материи и пространственно-временных форм; и т. д. С другой стороны, Вселенная — это взятое со стороны его цельности многообразие физических явлений, вошедших в сферу современной конкретно-научной практики, охватываемых современной физической картиной мира и удовлетворяющих принятым в современном естествознании стандартным критериям существования (таким, как принципиальная наблюдаемость). Из этих определений вытекает, что Вселенная — это вовсе не «все существующее». Это — определенный «срез» материального ми-

⁵⁹ C. F. von Weitzsäcker. The Copenhagen Interpretation.—In: Quantum Theory and Beyond, p. 25.

¹ Э. Кольман. О конечности и бесконечности Вселенной.— В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969, с. 143—144; А. С. Кармин. К вопросу о предмете космологии.— В кн.: Некоторые вопросы методологии научного исследования. Л., 1968, с. 234—238; В. В. Казютинский. Понятие «Вселенная».— В кн.: Бесконечность и Вселенная, с. 116—126.

ра, полученный с помощью исторически обусловленных естественнонаучных методов.

Из сказанного делается ясной тесная связь понятия Вселенной с особенностями современной физической картины мира. Но в основе этой картины мира, наряду с другими важными положениями, лежат постулаты о топологической структуре пространства-времени. Без анализа этих фундаментальных постулатов вряд ли можно будет понять и объяснить происхождение и природу нашей Вселенной. Для космологии далеко не безразлично, что такие топологические и порядковые характеристики пространства и времени, как трехмерность пространства и одномерность времени, линейная упорядоченность и однонаправленность времени и др., в современной физике низводятся «с Олимпа априорности», начинают все шире анализироваться и в конкретно-физическом, и в методологическом аспектах. Вопрос о происхождении связности и других глобальных характеристик Вселенной также должен учитывать результаты такого анализа.

Фундаментальность топологической структуры пространства-времени заставляет исследователей обращаться в ее анализе к наиболее глубоким физическим явлениям и закономерностям природы. При этом встает множество как собственно физических, так и логико-гносеологических вопросов, требующих решения.

АБСОЛЮТНА ЛИ ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ?

Одна из важных методологических проблем, встающих на пути осмысления топологической структуры пространства-времени,— проблема ее теоретического объяснения. Уже давно возник вопрос, *почему* Вселенная обладает именно такой, а не какой-либо иной топологической структурой? В частности, почему пространство-время четырехмерно, время линейно-упорядоченно и т. д.? Впервые ответы на подобные вопросы попытались дать Платон и Аристотель. Платон полагал², что временной порядок мира является творением божественного разума, целью которого было создать Вселенную, наиболее похожую на идеальный образец. Согласно Аристотелю³, только наличие трех измерений пространства обеспечивает совершенство и полноту мира. Ненаучность и неубедительность подобных обоснований была подчеркнута еще Галилеем⁴. Начиная с Канта⁵ появилось множе-

² Платон. Сочинения, т. 3, ч. I. М., 1971, с. 477.

³ Aristotle. De Coelo. Aristotelis Opera. Academia Regia Borussica, 1831, v. 3, p. 143—165.

⁴ Г. Галилей. Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой. М.—Л., 1948, с. 24—27.

⁵ И. Кант. Мысли об истинной оценке живых сил.— Сочинения, т. 1. М., 1963, с. 71.

ство научных теоретических обоснований трехмерности пространства и однонаправленности времени⁶. Так, трехмерность пространства обосновывалась исходя из закона тяготения Ньютона, из принципа Гюйгенса в оптике, из уравнения Шредингера в квантовой механике и т. д. Линейная упорядоченность времени выводится из принципа причинности, а однонаправленность времени — из закона повышения энтропии.

Однако во всех этих научных обоснованиях топологической структуры пространства-времени присутствует одна из следующих двух трудностей.

1. *Наличие круга в рассуждениях.* Особенно явно эта трудность обнаруживается в попытках вывести линейный временной порядок из причинного («причинная теория времени»). До сих пор еще никому не удалось определить причинный порядок без явного или неявного использования понятия временного порядка. Следовательно, любая попытка вывести временной порядок из причинного логически некорректна. Так, когда говорят о том, что «причина порождает следствие», неявно подразумевают, что следствие появилось «позже» причины, т. е. используют понятие временного предшествования. Кроме того, временной порядок событий может присутствовать и без наличия между ними реальной причинной связи. В рамках теории относительности временной порядок выводится из *потенциального* причинного порядка, т. е. порядка таких событий, между которыми в *принципе* возможна каузальная связь; реальной причинной связи между ними может и не быть. Но очевидно, что такой причинный порядок есть не что иное, как порядок событий, разделенных времениподобными интервалами. Следовательно, понятие времени и временного порядка неявно используется с самого начала, что и приводит к логическому кругу.

2. *Неявная подмена научного обоснования телеологическим.* Согласно стандартным научным обоснованиям топологических свойств пространства и времени, в случае отсутствия этих свойств физические условия во Вселенной были бы гораздо менее благоприятными с точки зрения человеческих существ. Так, если бы наше пространство имело не три, а большее число измерений, то, согласно исследованиям устойчивости движения тел в поле тяготения, было бы невозможно существование устойчивых планетных орбит, а следовательно, и земных форм жизни. Такая Вселенная была бы менее совершенной и с точки зрения передачи информации, так как в ней невозможно распространение сферических волн без искажений. Как следует из анализа многомерного уравнения Шредингера, в такой Вселенной не было бы ни атомов, ни молекул, ни построенных из них вещественных тел, в частности — живых организмов.

⁶ См.: А. М. Мостепаненко. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. Л., 1969, с. 108—174.

В чем причина указанных трудностей? Основная причина связана с особо общим и фундаментальным характером топологических свойств пространства и времени, с тем, что научное познание долгое время не выходило за пределы той обширной предметной области, в которой эти свойства были универсальными. Но, по-видимому, в принципе невозможно получить научное теоретическое обоснование фундаментального свойства пространства и времени, исходя из той области явлений, в которой это свойство универсально (независимо от того, является ли эта область ограниченной или это — область всех явлений в мире).

Действительно, универсальность какого-либо свойства пространства и времени означает, в частности, его неизменность при всевозможных физических условиях и, следовательно, — независимость от них, т. е. — *абсолютность*. Но, по-видимому, бессмысленно говорить о теоретическом обосновании определенного свойства пространства и времени не выходя за пределы той области явлений, в которой оно абсолютно⁷. Теоретическое обоснование всегда означает выведение из чего-то *другого*, обладающего не меньшей степенью фундаментальности, а в данном случае этого другого не существует. Например, псевдоевклидов пространственно-временной континуум специальной теории относительности в пределах области применимости этой теории рассматривается как универсальный и вместе с тем — абсолютный, не зависящий от изменения системы отсчета. Следовательно, не выходя за пределы области применимости специальной теории относительности, по сути дела невозможно дать теоретического обоснования его четырехмерности и псевдоевклидовости.

С другой стороны, ясно (и это соображение является не менее важным), что основные свойства пространства и времени, которые универсальны для всей предметной области какой-либо физической теории, по всей вероятности, должны входить в систему исходных постулатов, на которых строится эта теория. Следовательно, данная теория никак не может дать теоретического обоснования этих свойств. В лучшем случае проверяемые на опыте следствия из теории могут послужить для них косвенными эмпирическими основаниями. В связи с этим делаются понятными трудности логического характера, которые возникают в попытках вывести свойства времени из свойств причинной взаимосвязи (наличие круга в рассуждениях). Дело в том, что в подобных выводах неизбежно используется то, что надо доказать (здесь — пространственно-временные постулаты, лежащие в основании принципа причинности).

Главная причина проявления телеологических обоснований пространственно-временной структуры состоит в том, что эта

⁷ А. М. Мостепаненко. К проблеме теоретического обоснования топологических свойств пространства и времени. — В кн.: Философские вопросы современной физики. М., 1969, с. 150—156.

структура предстает перед исследователями как абсолютная и универсальная предпосылка любых явлений природы, не имеющая более глубоких материальных истоков в самой физической Вселенной.

Каким образом можно преодолеть эти трудности? Ответ на поставленный вопрос зависит от решения следующей проблемы: являются ли основные свойства нашего макроскопического пространства-времени универсальными? Если предположить, что топологические свойства нашего пространства и времени являются универсальными и, следовательно, по всей вероятности, будут входить в качестве постулатов в основание любой будущей физической теории, говорить об их теоретическом обосновании бессмысленно — эта проблема по сути дела становится неразрешимой. Но если окажется, что топологическая структура пространства-времени хотя и чрезвычайно обща, но, строго говоря, не универсальна, проблема ее теоретического обоснования не только останется вполне законной, но сможет быть более строго сформулирована.

Очевидно, что первый способ решения этой проблемы было бы трудно согласовать с практикой научного исследования, отрицающей возведение в абсолют каких бы то ни было физических характеристик. На первый взгляд может показаться, что универсализация таких «коренных» свойств времени и пространства, как однонаправленность времени, трехмерность пространства и т. д., в рамках материалистической методологии необходима и неизбежна. Однако если на деле признать универсальность этих свойств и тем самым — по существу невозможность дать их научное теоретическое обоснование, сразу же открывается дорога для выводов в духе телеологии.

В самом деле, если мы допустим, что трехмерность пространства действительно универсальна и по этой причине будет и впредь постулироваться с самого начала в любой будущей физической теории, неизбежно придется признать, что дать научное теоретическое обоснование этого свойства, т. е. вывести его из более фундаментальных свойств, в принципе невозможно. Вместе с тем приходится признать, что только в трехмерном физическом пространстве возможно существование нашего физического мира — именно в том виде, в котором он реально существует. Только в случае $n=3$ возможно существование атомов и молекул, устойчивых динамических систем, в том числе — нашей Солнечной системы, наконец — существование живых существ, включая и нас самих. Очевидно, что в этом случае было бы трудно опровергнуть утверждение о том, что наш мир является наиболее «совершенным» из возможных миров и что трехмерность пространства — одна из предпосылок этого совершенства, предусмотренная в акте творения. Таким образом, приходится признать, что неоправданная универсализация свойства трехмерности ведет в конечном счете к телеологии.

На это могут возразить, что подобные ненаучные выводы во все не вытекают однозначно из универсализации свойства трехмерности. В самом деле, трехмерность пространства так же не требует выведения из чего-то другого, более фундаментального, как, например, принцип материальности или принцип единства мира. Однако и этот последний аргумент является неосновательным. Трехмерность пространства — это конкретное физическое свойство, и было бы совершенно неправильно возводить его в ранг некоего общеприимного принципа. Такое «возведение» было бы явным и ничем не оправданным смешением естественных и философских категорий.

Наиболее естественным выводом из всего сказанного является то, что основные свойства нашего макроскопического пространства-времени, по-видимому, не являются универсальными и, следовательно, могут получить в будущем научное теоретическое обоснование.

Получить искомое обоснование можно в рамках такой фундаментальной физической теории, которая покоится на иных, гораздо более общих и фундаментальных постулатах.

МАКРОСКОПИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ И МИКРОМИР

Возникает естественный вопрос: к какой предметной области будет относиться эта теория? Из сказанного следует, что она не может быть макроскопической, так как вся макрофизика сама покоится на макроскопических пространственно-временных постулатах. Но пока неясно, о какого рода немикроскопической теории может здесь идти речь.

Предполагаемая теория должна описывать один из фундаментальных уровней микромира. Имеются основания полагать⁸, что макроскопическая пространственно-временная структура обусловлена фундаментальными микроявлениями и может быть обоснована лишь с помощью последних.

Основные аргументы в пользу этого предположения сводятся к следующему. Очевидно, что физические явления, ответственные за топологические свойства пространства-времени, должны обладать особо фундаментальным и общим характером. Ведь сама пространственно-временная структура чрезвычайно обща и фундаментальна, не зависит от изменения физических условий в чрезвычайно широких пределах. Микроявления как раз и обладают требуемой степенью общности и фундаментальности по сравнению с макроявлениями.

⁸ А. М. Мостепаненко и М. В. Мостепаненко. Четырехмерность пространства и времени. М.—Л., 1966, гл. I, § 3 и гл. II, § 13. В последнее время к этому выводу присоединился целый ряд авторов (см., например: Н. В. Мицкевич. Физические поля в общей теории относительности. М., 1969, с. 190).

В самом деле, все макрообъекты построены из микрообъектов. Элементарные частицы являются тем единым строительным материалом, из которого построены все окружающие нас физические системы с самыми различными качествами и свойствами. В этом смысле можно говорить об *универсальности* микроявлений по отношению к макроявлениям. Вместе с тем универсальным свойством макрообъектов является их принадлежность к $(3+1)$ -мерной пространственно-временной структуре. Очевидно, что универсальное свойство может быть обусловлено лишь не менее универсальной реальностью. Такой единственно известной нам реальностью по отношению к макрообъектам выступают микроявления.

Рассмотрим, например, такой эмпирический факт, как факт трехмерности всех макрообъектов, вне зависимости от их качества. Этот фундаментальный факт становится понятным лишь в том случае, если предположить, что истоки трехмерности макротел лежат не в макромире, а на уровне единых фундаментальных закономерностей элементарных частиц, образующих макротела.

Согласно современной физике свойства пространства-времени обусловлены свойствами физических полей. Это положение в настоящее время уже может рассматриваться как общепризнанное. Физические поля (прежде всего гравитационное) рассматриваются как такие типы физической реальности, которые по своей универсальности приближаются к статусу пространства-времени. Кроме того, в соответствии с принципом близкого действия принимается, что непрерывное пространство-время может быть обусловлено только непрерывной же и ничем не ограниченной физической сущностью (полем). Эйнштейн пишет, что единое поле представляет собой «единственное средство описания реального мира. Пространственный аспект реальных вещей, таким образом, полностью выражается полем, зависящим от четырех координат-параметров; он есть свойство этого поля. Если мы представим себе, что поле удалено, то не останется и «пространства»»⁹. Однако единая теория поля Эйнштейна не оправдала возлагавшихся на нее надежд. Кроме того, учитываемые теорией Эйнштейна макрополя — гравитационное и электромагнитное — сами по себе вряд ли могут нести ответственность за все свойства макроскопической пространственно-временной структуры. Гравитационное поле не имеет существенного значения для структуры не слишком больших макротел. С другой стороны, электромагнитное поле не является *универсальным полем* и потому не может обуславливать общие свойства пространства-времени¹⁰. Поэтому положение о

⁹ А. Эйнштейн. Сущность теории относительности. М., 1955, с. 147.

¹⁰ А. М. Мостепаненко. Хроногеометрия и причинная теория времени. — «Вопросы философии», 1969, № 9, с. 63.

том, что пространственно-временные характеристики обусловлены свойствами поля, требует уточнения.

Фундаментальный статус пространства-времени даст основание предполагать, что его основные свойства обусловлены не макрополями как таковыми, а единой физической микроструктурой, которая лежит в их основе и является гораздо более фундаментальной реальностью.

Известно, что с точки зрения квантовой теории поля микрочастицы являются квантами поля, его элементарными возбуждениями. Квантовое поле в невозбужденном состоянии (физический вакуум), подобно пространственно-временной структуре, служит как бы универсальным «фоном», на котором разыгрываются все события во Вселенной. Поэтому можно предположить, что «вездесущность» и фундаментальность пространственно-временной структуры макромира связана с «универсальностью» микроструктуры квантового поля, физического вакуума. Эта микроструктура присутствует в макротелах, и вне их, и даже в случае отсутствия каких-либо элементарных частиц. В настоящее время мы не знаем другой фундаментальной физической реальности, которая могла бы обуславливать существование $(3+1)$ -мерного пространственно-временного каркаса макромира.

Важно отметить, что предположение об ответственности микроявлений за основные свойства макроскопического пространства-времени является продолжением обычной и, как правило, работающей в физике гносеологической процедуры. Мы имеем в виду метод объяснения свойств макроявлений путем сведения последних к комплексу микроявлений. Физика твердых, жидких и газообразных тел и другие разделы макрофизики в ее современном понимании были бы невозможны без выявления атомно-молекулярных и даже более глубоких механизмов макроскопических процессов. По-видимому, аналогичный подход следует применить и к макроскопическому пространству-времени.

На это может последовать возражение, что не исключена и другая альтернатива, а именно, что пространство-время макромира обусловлено явлениями космического масштаба, мегаявлениями. Однако, по нашему мнению, это возражение неосновательно. Согласно общей теории относительности, чем меньше пространственно-временные масштабы мегаявлений, тем ближе структура пространства-времени к псевдоевклидовой. В общей теории относительности и релятивистской космологии обычная пространственно-временная структура в малом просто постулируется, так что в пределах этих теорий невозможно получить ее непротиворечивое теоретическое обоснование.

Таким образом, становится ясно, что неудача упомянутых выше и аналогичных попыток теоретического обоснования основных свойств пространства и времени была связана с тем,

что они не доходили до микроявлений достаточной степени фундаментальности и основывались на макроскопическом теоретическом языке. Хотя было предпринято несколько попыток вывести $(3+1)$ -мерную пространственно-временную структуру в рамках физики элементарных частиц¹¹, ни одну из них пока нельзя считать удавшейся. Видимо, искомое обоснование может быть получено лишь из существенно иных посылок, в будущей фундаментальной теории квантовых полей и элементарных частиц.

МИКРООБУСЛОВЛЕННОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ И КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

На сказанное в предыдущем разделе может последовать следующее возражение. В современной микрофизике обычные классические пространственно-временные отношения постулируются с самого начала. В нерелятивистской квантовой механике — это пространство и время ньютоновской механики, в квантовой теории поля — пространство и время специальной теории относительности. Как же можно надеяться вывести (не допуская логического круга) обычную топологическую структуру пространства-времени в рамках микрофизики?

На это можно ответить, что в современной микрофизике классические пространственно-временные представления зачастую не экстраполируются на поведение микрообъектов «как таковых». В тех же случаях, когда такая экстраполяция все же имеет место, в теории возникают различные парадоксы и несообразности. Чтобы показать это, обратимся прежде всего к копенгагенской интерпретации квантовой механики.

Как известно, основной аргумент Бора в пользу правильности этой интерпретации состоял в том, что в связи с принципиальной неделимостью (целостностью) процесса наблюдения квантовых явлений, обусловленной неделимостью кванта действия, не имеет смысла говорить о существовании квантовых объектов «как таковых», т. е. безотносительно к средствам наблюдения¹². Согласно принципу дополнительности, имеется два взаимодополняющих класса экспериментальных установок, с помощью которых могут изучаться два взаимодополняющих друг друга класса явлений. К одному из них относится измерение координат частицы, к другому — измерение ее импульса. Однако даже в случае измерения координаты речь фактически

¹¹ E. Wigner. Relativistic Invariance of Quantum-mechanical Equations. Jubilee of Relativity Theory. Bern, 1955. Helvetica Physica Acta. Supplementary IV. Basel, 1956, p. 210; A. Eddington. Fundamental Theory. Cambridge, 1946, p. 107, 126; E. Bastin, C. Kilmister. Concept of Order. — «Proceedings of Cambridge Philosophical Society», 1954, v. 50, pt. 2, p. 278.

¹² Н. Бор. Атомная физика и человеческое познание. М., 1961, с. 42—43, 74—75.

идет не о существовании микрообъекта «самого по себе» в определенной точке пространства, а лишь о результатах макроскопического процесса, протекающего в экспериментальной установке и локализованного в макространстве и макровремени. Таким образом, фактически принимается, что понятия пространства и времени непосредственно характеризуют лишь экспериментальную ситуацию и не экстраполируются на «микрообъекты как таковые»¹³.

Сказанное выражается в статистической интерпретации волновой функции: принимается, что волновая функция не связана с каким-то реальным физическим полем, а описывает лишь «поле вероятности». Таким образом, и здесь понятия координат и времени не экстраполируются на «микрообъекты в себе», независимые от наблюдения.

Сходная ситуация имеет место и в фейнмановской интерпретации квантовой механики¹⁴, в которой центральным понятием является понятие пространственно-временной траектории частицы. Чтобы получить амплитуду вероятности перехода частицы из точки *a* в точку *b*, необходимо вычислить сумму (интеграл) по всевозможным траекториям, проходящим между этими точками. Таким образом, фактически не предполагается, что частица движется в классическом смысле по какой-либо одной определенной траектории или что она каким-то загадочным образом движется по всем возможным траекториям сразу. Фейнмановский подход служит просто удобным и наглядным математическим приемом для вычисления квантовомеханических величин, особым способом изложения квантовой механики. Если настаивать на том, что движение частицы все же *происходит* по траектории, то эта траектория оказывается *принципиально ненаблюдаемой*, что свидетельствует о бессмысленности такой трактовки. Иными словами, подход Фейнмана фактически не вводит никакой онтологической картины квантовых процессов и, следовательно, не экстраполирует классические понятия пространства и времени на поведение микрообъектов «самих по себе».

Таким образом, в нерелятивистской квантовой механике классические пространственно-временные представления фактически не экстраполируются на движение микрообъектов «как таковых». Они используются лишь для описания всевозможных результатов макроскопического эксперимента, производимого над микрообъектами.

Более сложная ситуация возникает в квантовой теории поля. В ней уже не удастся избежать экстраполяции макроско-

¹³ Подробнее см.: И. С. Алексеев. Развитие представлений о структуре атома. Новосибирск, 1968, гл. 3, § 3.

¹⁴ Р. Фейнман, А. Хибс. Квантовая механика и интегралы по траекториям. М., 1968.

пических (релятивистских) пространственно-временных отношений на поведение микрообъектов¹⁵, что и приводит к ряду трудностей и аномалий.

Одна из важнейших трудностей такого рода — фактическое нарушение в квантовой теории поля принципа наблюдаемости. Уже на первых шагах стандартного построения квантовой электродинамики, для придания уравнениям теории явно ковариантного вида, вместо обычных трехмерных векторов напряженности электрического и магнитного полей $\vec{E}$ и $\vec{H}$, фигурирующих в уравнениях Максвелла, вводится четырехмерный вектор электромагнитного потенциала A_μ ¹⁶. Вектор-потенциал A_μ , как всякий четырех-вектор, имеет четыре независимые компоненты. При этом компоненты разложения, перпендикулярные распространению фронта волны, можно интерпретировать как две разные поляризации света или как два типа так называемых поперечных фотонов. Компоненты же разложения, соответствующие двум оставшимся направлениям, приходится связывать с так называемыми «продольными» и «временными» фотонами. Но это представляет собой серьезное затруднение, так как в эксперименте наблюдаются только фотоны, соответствующие двум поперечным типам. В самом деле, вектора напряженности электрического и магнитного полей лежат в плоскости, перпендикулярной распространению волны.

Указанное затруднение преодолевается следующим образом. Добиваются того, что в аппарате теории средние числа «продольных» и «временных» фотонов в точности одинаковы, а их вклады в наблюдаемые величины различны по знаку и таким образом взаимно сокращаются. Следовательно, противоречия опыту не возникает.

Однако такая интерпретация имеет существенный методологический недостаток: продольные и временные фотоны оказываются *принципиально ненаблюдаемыми*. Подобно тому, как в теории Лоренца любые эффекты, связанные с движением по отношению к абсолютному эфиру, в точности компенсировались сокращением размеров вдоль направления движения, так и здесь вклады этих обоих типов фотонов в наблюдаемые величины полностью уничтожают друг друга.

Другая трудность состоит в том, что в основе описания механизма взаимодействия элементарных частиц в квантовой теории поля лежит понятие о виртуальных процессах. Не останавливаясь на тех дискуссиях, которые ведутся вокруг проблемы реальности виртуальных частиц (это потребовало бы особого

¹⁵ См., например: В. Тирринг. Принципы квантовой электродинамики. М., 1964, с. 52.

¹⁶ См.: Н. Н. Боголюбов и Д. В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей. М., 1957, с. 41.

анализа), констатируем лишь то, что частицы в виртуальных состояниях, фигурирующие в диаграммах Фейнмана, не могут непосредственно наблюдаться в эксперименте.

Во время взаимодействия элементарных частиц происходит множество самых различных виртуальных процессов. В эксперименте фактически наблюдается только то, что было до столкновения частиц, и то, что возникает в результате их столкновения.

Сложнейшие процессы, происходящие в самый момент столкновения, остаются для нас скрытыми.

На это могут возразить, что в квантовой электродинамике виртуальным частицам и состояниям обычно не придается онтологического статуса именно потому, что они ненаблюдаемы. Обычно считают, что понятие виртуальных процессов — просто удобное вспомогательное понятие, необходимое для математического расчета реальных физических величин, таких, как амплитуды реакций. Диаграммы Фейнмана вовсе не рассматриваются как изображение действительного механизма движения микрообъектов — полагается, что это просто удобный способ символического изображения членов ряда теорий возмущений. Однако на деле подобные возражения бьют мимо цели. Действительно, тезис о ненаблюдаемости виртуальных частиц по сути дела равнозначен тезису о ненаблюдаемости модели взаимодействия реальных частиц, принимаемой квантовой электродинамикой. Более того, согласно этой модели, в процессе взаимодействия, точнее — в промежутке времени между началом взаимодействия t_1 и его концом t_2 частицы могут находиться только в виртуальных состояниях. Следовательно, здесь идет речь не только о ненаблюдаемости механизма взаимодействия, но и о ненаблюдаемости *самых взаимодействующих объектов* в некоторые моменты их взаимодействия. Само «существование» физических объектов в квантовой теории поля столь неразрывно связано с их взаимодействием, что ненаблюдаемость механизма взаимодействия по сути дела эквивалентна ненаблюдаемости самих физических объектов. Как известно, вся идеология перенормировок в квантовой электродинамике основывается на незаконности такой грубой идеализации, как невзаимодействующая частица, — абсолютно изолированная частица оказывается ненаблюдаемой. Тем парадоксальнее оказывается вывод, что описание самого процесса взаимодействия по сути дела полностью исходит из ненаблюдаемых! Приходит-ся согласиться с тем, что в квантовой теории поля ни изолированная, ни взаимодействующая частицы не могут быть описаны в полном соответствии с принципом наблюдаемости.

Становятся ненаблюдаемыми и ультрамалые пространственно-временные интервалы. Так, если координата частицы измеряется с помощью фотона, то для увеличения точности измерения необходимо уменьшать длину волны фотона λ . Но если

λ достигнет величины $\frac{\hbar}{mc}$, где m — масса частицы, энергия взаимодействия

станет достаточной для возникновения новых частиц, и вся ситуация исказится. Следовательно, в системе покоя частицы невозможно измерить ее координату точнее, чем до

величины $\Delta x_0 = \frac{\hbar}{mc}$ ¹⁷. Это означает, что пространственные ин-

тервалы, меньшие, чем Δx_0 , оказываются ненаблюдаемыми.

Нарушение принципа наблюдаемости — это лишь одна из аномалий, возникающих в современной квантовой теории поля, основывающейся на классических пространственно-временных представлениях. Аномалиями другого типа, возникающими в теории, являются индефинитная метрика и «духовые состояния», т. е. состояния с отрицательной вероятностью.

В связи с рядом трудностей, с которыми сталкивается современная квантовая теория поля, возникают тенденции вообще отказаться от экстраполяции понятий времени и пространства на поведение элементарных частиц. Для изучения микрообъектов без углубления в интимные детали их взаимодействия,

относящиеся к масштабам порядка $\Delta x_0 \approx \frac{\hbar}{mc}$, применяется

теория матрицы рассеяния (S -матрицы). В этой теории используется то обстоятельство, что можно экспериментально исследовать поведение частиц до их взаимодействия и после их взаимодействия и по этим сведениям судить о микропроцессах. Если $\psi(t_1)$ — волновая функция системы до взаимодействия в момент времени t_1 , а $\psi(t_2)$ — волновая функция системы после взаимодействия, в момент t_2 , то можно записать: $\psi(t_2) = S\psi(t_1)$. Оператор S , преобразующий волновую функцию начального состояния в волновую функцию конечного состояния, и есть матрица рассеяния. Если S -матрица для какого-то процесса уже известна, можно теоретически предсказать его результат.

В релятивистски инвариантной теории S -матрицы используются релятивистские пространственно-временные представления¹⁸. Однако они фактически не применяются к ультрамалым пространственно-временным масштабам. Теория S -матрицы позволяет судить о микрообъектах по их поведению в тех предельных физических условиях, при которых еще оказываются применимыми классические представления о пространстве и времени, т. е. условиях, характерных для макроскопического эксперимента.

¹⁷ В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. Релятивистская квантовая теория, ч. I. М., 1968, с. 15.

¹⁸ Н. П. Боголюбов и Д. В. Ширков. Введение в теорию квантовых полей, с. 142.

Исходя из формальной теории S -матрицы, некоторые авторы утверждают¹⁹, что понятия пространства и времени в микромире теряют смысл. По их мнению, понятия пространства и времени играют в современной микрофизике роль, аналогичную роли эфира в физике конца XIX столетия. С такой точки зрения, отказ от ненаблюдаемого пространственно-временного континуума был бы столь же прогрессивным, каким был в свое время отказ от ненаблюдаемого эфира.

Согласно гипотезе о «макроскопической природе» пространства-времени²⁰, понятия пространства и времени имеют статистическую природу, подобно термодинамическому понятию температуры. К самим микрообъектам, согласно этой гипотезе, понятия времени и пространства неприменимы: о существовании пространственно-временного каркаса имеет смысл говорить лишь в случае большого числа микросистем; макроскопическая пространственно-временная структура возникает в процессе своего рода статистического усреднения «непространственных» и «невременных» видов реальности.

Мы видим, что формальная теория S -матрицы и основывающаяся на ней гипотеза о макроскопической природе пространства-времени фактически продолжают ту же методологическую процедуру, которая была использована в нерелятивистской квантовой механике. Именно, запрещается любая экстраполяция макроскопических пространственно-временных отношений на микроуровень как таковой. Тем самым избегаются многие парадоксы и аномалии, свойственные обычному изложению квантовой теории поля. Кроме того, оказывается в принципе возможным непротиворечивое теоретическое выведение макроскопической пространственно-временной структуры из особенностей микропроцессов. Возникает надежда на объяснение топологической структуры нашего пространства-времени из более фундаментальных сторон физической реальности.

Однако аксиоматическая теория S -матрицы и основывающаяся на ней гипотеза о макроскопической природе пространства-времени сталкиваются с серьезными трудностями. Прежде всего, в рамках этой теории не удастся получить систему уравнений для наблюдаемых величин и невозможно получить какие-либо конкретные результаты без дополнительных упрощений исходных положений теории. Отказ от «ненаблюдаемых», осуществленный в теории, является формальным, не основывающимся на каких-либо новых эвристических идеях и положениях. Он произведен ценой значительного обеднения теории и ценой утраты ее физического смысла. Принимаемые в теории

¹⁹ См., например: *G. Chew*. The Dubious Role of Space-Time Continuum in Microscopic Physics.— «Science Progress», 1963, v. 51, N 204, p. 529.

²⁰ *E. J. Zimmermann*. The Macroscopic Nature of Space-Time.— «American Journal of Physics», 1962, v. 30, N 2, p. 99.

некоторые формальные постулаты, в частности — об аналитичности матричных элементов, связаны в основном с выполнением принципа соответствия между микро- и макропроцессами. По-видимому, для построения адекватной теории микрообъектов этого недостаточно — необходимо основываться на качественно новых представлениях о динамике поведения микрообъектов в микропространстве и микровремени.

Гипотеза о макроскопической природе пространства-времени фактически не исключает существования особой микрогеометрии. В самом деле, из утверждения, что макроскопическое пространство-время отсутствует в микромире и в конечном счете порождено микроявлениями, еще не следует, что сами микрообъекты находятся «вне» пространства и времени вообще, т. е. не имеют своих специфических пространственно-временных отношений с особыми метрическими и топологическими свойствами. По-видимому, построение будущей адекватной теории элементарных частиц потребует введения качественно новых представлений о характере микрогеометрии. Имеющиеся в настоящее время гипотезы о пространстве микромира (гипотезы дискретного пространства, попытки связать «внутренние» и «внешние» симметрии элементарных частиц и т. д.) еще слишком далеки от реальности. Однако это не означает, что следует вообще отказаться от поисков нового геометрического языка для описания микрообъектов. Есть основания полагать, что топологическая структура нашего пространства-времени сможет быть успешно выведена из микрофизики лишь в том случае, если сама микрофизика будет перестроена на основе новых, гораздо более общих и фундаментальных пространственно-временных постулатов.

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ И МИКРОМИР

Топология Вселенной «в целом», так же как ее топология «в малом», определяется фундаментальными физическими процессами. Следовательно, без обращения к микрофизике, по-видимому, невозможно решить и другую важную проблему — проблему начальных условий космологической модели и ее особенностей на первоначальном этапе эволюции.

Связь топологической структуры Вселенной с микрофизикой приобретает особенно важное значение вблизи космологической сингулярности.

До последнего времени существовали предположения²¹, что можно избавиться от сингулярности с помощью пульсирующей модели Вселенной, колеблющейся между двумя предельными состояниями. Однако, как показали работы Хокинга и Пенроу-

²¹ Е. М. Лифшиц, И. М. Халатников. Проблемы релятивистской космологии. — «Успехи физических наук», 1963, т. 80, вып. 3, с. 391.

за, при достаточных общих предположениях об эволюции Вселенной и ее свойствах наличие в прошлом особой точки с бесконечной плотностью и скалярной кривизной является неизбежным. Эволюция Вселенной началась с сингулярности, а возможно, и закончится ею.

Смысл теоремы Хокинга о космологической сингулярности сводится к следующему²². Предполагается, что во Вселенной имеет место «сильная причинность», состоящая в том, что времениподобные мировые линии не могут покинуть окрестность некоторого события P , а затем вновь вернуться в эту окрестность. Отсюда следует, что невозможны замкнутые времениподобные мировые линии, допускающие воздействие следствия на его причину. Кроме того, предполагается, что Вселенная расширяется, что верен закон тяготения Эйнштейна и что плотность гравитирующего вещества положительна. При этих весьма общих условиях оказывается, что в прошлом имела место сингулярная точка, в которой все геодезические «обрываются», любые объекты как бы прекращают существовать.

Очевидно, что такая сингулярность есть своего рода каузальная аномалия²³. Кроме того, космологическая сингулярность представляет собой и своего рода «объектную аномалию», связанную с обращением в бесконечность плотности материи²⁴.

Обращение в бесконечность некоторой физической величины далеко не всегда следует рассматривать как аномалию. Если бы мы встали на такую крайнюю точку зрения, это означало бы «запрещение» любых актуально-бесконечных величин. При таком подходе, который имеет место в философии математики (интуиционизм, конструктивизм) и в определенных рамках правомерен, допускается в лучшем случае лишь «потенциальная», незавершенная бесконечность. Не говоря уже о том, что при этом приходится жертвовать целыми разделами классической математики, ясно, что в физике такой подход вряд ли разумен. Например, с его позиций пришлось бы априори отвергнуть все бесконечные космологические модели, в частности — бесконечную модель Лобачевского, которая на данной стадии астрономических наблюдений лучше других подтверждается опытом. Кроме того, с философской точки зрения разумнее предположить, что и актуальная, и потенциальная бесконечность «имеют право на существование», отражая разные аспекты физической реальности. Так, бесконечность времени, по-видимому,

²² Р. Пенроуз. Структура пространства-времени. М., 1972, с. 165.

²³ Мы всюду имеем в виду такую сингулярность, которую нельзя устранить изменением системы отсчета (т. е. нефиктивную сингулярность).

²⁴ Классификация аномалий, свидетельствующих о неадекватности пространственно-временного описания, дана в работе: А. М. Мостепаненко. О критериях адекватности пространственно-временного описания. — В кн.: Некоторые философские проблемы физики, вып. III; Пространство и время. Законы сохранения. М., 1970, с. 117—128.

может мыслиться только как потенциальная (иначе неизбежна антипомия типа кантовской). С другой стороны, бесконечность пространства вполне может быть и актуальной.

Но в случае космологической сингулярности дело обстоит гораздо серьезнее, чем это обрисовано выше, а именно: обращается в бесконечность не просто некоторая физическая величина, а *плотность* этой величины. Мы вполне могли бы допустить бесконечность *массы* Вселенной (например, если бы Вселенная была метрически бесконечной, в ней содержалось бы бесконечное число звезд и других объектов). Но допущение бесконечной *плотности* массы или другой физической величины представляет собой аномалию²⁵.

Обращение в бесконечность масс и зарядов элементарных частиц в неперенормированной квантовой теории поля—аномалия именно такого рода. Конечный физический объект (частица) наделяется бесконечно большой массой, так что именно плотность массы обращается в бесконечность.

Правда, в квантовой теории поля «голые» невзаимодействующие частицы, которым приписывается бесконечная масса, ненаблюдаемы. В космологии дело обстоит иначе—сингулярность в принципе наблюдаема и, следовательно, требует к себе еще более серьезного внимания.

Возникает вопрос: о чем же свидетельствуют аномалии, связанные с космологической сингулярностью? По-видимому, подобные аномалии—признак неадекватности современной хроногеометрической модели при особо плотных состояниях вещества. Возникает сомнение, имеем ли мы право экстраполировать общую теорию относительности и ее хроногеометрическую модель на эти состояния.

Несомненно, что любая физическая теория, в том числе и общая теория относительности, имеет ограниченную область применимости. Иногда подчеркивают²⁶, что общая теория относительности внутренне противоречива при любых плотностях материи (в отличие, например, от электродинамики Максвелла, которая становится противоречивой при очень больших напряженностях поля). На этом основании ограничения принципов общей теории относительности могли бы возникнуть лишь как следствие факторов, лежащих вне теории гравитации, и поэтому кажется вполне законным анализировать сингулярность уже в рамках общей теории относительности. С этим выводом следует в общем согласиться, с той лишь оговоркой, что наличие в теории объектных и каузальных аномалий (сингулярности) не в меньшей степени свидетельствует о неадекватности теории в

²⁵ Речь идет именно о *физической* величине, а не геометрической (как кривизна).

²⁶ В. А. Белинский, Е. М. Лифшиц, Н. М. Халатников. Колебательный режим приближения к особой точке в релятивистской космологии.— «Успехи физических наук», 1970, т. 102, с. 463.

соответствующей области, чем наличие дескриптивных аномалий (противоречивость теории при некоторых параметрах). Вопрос состоит фактически в том, до каких плотностей материи еще *можно* экстраполировать положения общей теории относительности, а при каких они уже потеряют свою силу.

В сингулярном состоянии Вселенную уже нельзя рассматривать лишь как «мегаобъект» — фактически она становится «микрообъектом», объектом ничтожно малых размеров. При этом выступает на первый план идея о неразрывной взаимосвязи Вселенной как целого (мегамира) и элементарных частиц (микромира), высказанная еще Эддингтоном. С одной стороны, микрообъекты существуют в единой Вселенной и не исключено, что без учета космологических обстоятельств окажется невозможным построить будущую теорию элементарных частиц. С другой стороны (и это, с нашей точки зрения, еще более важно), Вселенная построена из микрообъектов и трудно надеяться понять ее законы без учета микрофактора. Более того, в окрестностях сингулярности влияние микромира на мегамир должно проявляться с максимальной силой. Поэтому не удивительно, что именно здесь мы сталкиваемся с аномалиями, сходными с теми, которые возникают в физике элементарных частиц, оперирующей неадекватной хроногеометрической моделью. По-видимому, без знания адекватной микрогеометрии будет невозможно разобраться в сущности процессов, происходящих как на ранней стадии эволюции Вселенной, так и в самом акте «порождения».

В последнее время полностью подтвердилась гипотеза о важности и распространенности во Вселенной нестационарных процессов, выдвинутая еще в 30-е годы В. А. Амбарцумяном. Оказалось, что нестационарные процессы, процессы взрывного типа (взрывы сверхновых, распады звездных ассоциаций, процессы, происходящие в ядрах галактик, и т. д.) чрезвычайно распространены во Вселенной и играют важную роль в ее эволюции.

Большая часть этих процессов связана с огромными концентрациями вещества и огромными выделениями энергии. Открытие в 60-х годах квазаров, квазизвездных ассоциаций, пульсаров и т. д. показало, что эволюция Вселенной не ограничивается ее расширением и пронизывает, если можно так выразиться, все ее структурные уровни.

В. А. Амбарцумян указывает на два различных подхода к изучению нестационарных процессов во Вселенной²⁷. Один подход стремится описать эти процессы в рамках уже известных законов физики, не учитывая возможность нарушения этих законов в необычных физических условиях. Другой подчеркивает трудности, возникающие при попытках объяснения необычных

²⁷ Проблемы современной космогонии. М., 1969, с. 13.

астрофизических явлений с помощью старых законов, и учитывает возможность изменения этих законов.

По нашему мнению, реальная проблема состоит в том, какая область применимости современной астрофизики и космологии, основывающихся на общей теории относительности. Возможны два подхода к решению этой проблемы и, соответственно, два пути исследования, каждый из которых имеет право на существование:

1. Общая теория относительности верна в макроскопических масштабах, ее область применимости может быть ограничена лишь со стороны квантовых эффектов. При описании особых состояний материи во Вселенной следует исходить из общей теории относительности и физики элементарных частиц.

2. Необходимо изменение или обобщение общей теории относительности в макроскопических масштабах. Это изменение может сказаться и на микрофизике.

Очевидно, что при объяснении любых необычных явлений во Вселенной подход, основывающийся на общей теории относительности, должен учитываться в первую очередь и что его возможности еще далеко не исчерпаны. Не исключено, что именно квантовые эффекты приводят ко многим необъяснимым особенностям эволюции Вселенной и нестационарных процессов. Поэтому, не отказываясь от принципов общей теории относительности в макромасштабах, оставаясь в рамках этого подхода, следует шире учитывать влияние микропроцессов на эволюцию Вселенной. При этом определяющее значение приобретает идея влияния микромира на мегамир.

Примером возможной реализации подобного подхода является исследование эффекта рождения элементарных частиц из вакуума в гравитационных и электрических полях²⁸. Как известно, при расчете этого эффекта внешние силовые поля рассматриваются как классические, а рождение новых частиц описывается в рамках квантовой теории поля. Особенно интересны исследования рождения частиц в космологии, в частности — вблизи космологической сингулярности²⁹. Можно даже выдвинуть гипотезу о том, что вблизи первоначального сингулярного состояния Вселенная была пустой, а затем все вещество и излучение породились в процессе эволюции³⁰. Привлекательность такого подхода состоит в том, что сингулярность в этом случае является чисто геометрической и не влечет бесконечной плотно-

²⁸ К. П. Станюкович. Гравитационное поле и элементарные частицы. М., 1965, с. 256—287; Ю. Швингер. О калибровочной инвариантности и поляризации вакуума.— В кн.: Новейшее развитие квантовой электродинамики. М., 1954, с. 277; Д. Д. Иваненко. Классическая теория поля. М.—Л., 1949, с. 432.

²⁹ I. Parker. Quantized Fields and Particle Creation in Expanding Universes.— «Physical Review», 1969, v. 183, p. 1057.

³⁰ R. U. Sexl, N. K. Urbanke. Production of Particles by gravitational Fields.— «Physical Review», 1969, v. 179, p. 1247.

сти вещества, т. е. объектной аномалии. Каузальная аномалия здесь тоже не имеет места, так как порождение вещества происходит в рамках известных законов физики и в соответствии с законами сохранения. Однако в реализации такой программы возникает ряд существенных трудностей.

Прежде всего, частицы рождаются только парами: частица — античастица, а окружающая нас Вселенная, по-видимому, целиком построена из вещества и не содержит значительного количества антивещества. Поэтому остается неясным, как объяснить порождение барионов и лептонов без нарушения законов сохранения. Кроме того, имеются трудности в построении самосогласованной теории рождения в гравитационных полях, т. е. такой теории, которая учитывала бы обратное влияние порождающегося вещества на метрику. Очевидно, что, если мы хотим объяснить рождение всего вещества Вселенной эффектом рождения частиц из вакуума, учет этого обратного влияния обязателен, так как он вносит существенный вклад.

Исследование эффекта рождения вблизи сингулярности может иметь определенное значение и для выбора адекватной космологической модели, в частности — для установления типа этой модели на начальном этапе расширения. Так, в некоторых космологических моделях (например, модели де Ситтера) группа симметрии налагает известные ограничения на спектр масс рождающихся частиц: зная спектр масс элементарных частиц в настоящее время, можно попытаться восстановить свойства космологической модели вблизи сингулярности и выяснить характер эволюции модели.

Не исключено, что эффекты рождения имеют значение и на современной стадии эволюции Вселенной, проявляя себя в нестационарных процессах взрывного типа — в квазарах, пульсарах и т. д. Например, не исключено, что электромагнитные поля пульсаров достаточно сильны, чтобы обеспечить заметное рождение частиц. По-видимому, эффекты рождения имеют место и при гравитационном коллапсе.

Сказанное не означает, что априори следует отвергнуть подход второго рода, допускающий изменение (обобщение) идей или уравнений общей теории относительности (теории Иордана, Бранса-Дикки и др.). Но, какой бы подход к развитию современной астрофизики и космологии ни оказался верным, очевидно, что эволюция Вселенной, включая нестационарные процессы взрывного типа, не сможет быть понята до конца без обращения к микрофизике, к квантовым закономерностям. По-видимому, связь мега- и микромира особенно существенна именно в нестационарных процессах, связанных со сверхплотными состояниями вещества и выделениями больших количеств энергии. Вместе с тем в этих состояниях можно ожидать существенного изменения обычных свойств пространства-времени (многосвязная топология, флуктуация метрики и т. д.). Именно при этих ус-

ловнях «связываются в один узел» проблемы микрофизики, релятивистской астрофизики и топологической структуры пространства-времени.

Ю. Б. Молчанов

НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ И НАПРАВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

ФАКТУАЛЬНАЯ НЕОБРАТИМОСТЬ ВРЕМЕНИ

Космологические гипотезы всегда так или иначе связаны с представлениями о сущности, структуре и закономерностях пространства и времени, которые являются фундаментальными характеристиками Вселенной и по-разному определяются в различных концепциях или моделях пространства и времени.

Проблема времени с древнейших времен волновала человеческий разум. Начиная с мифологических представлений о боге времени, пожирающем своих детей, вопросы, связанные с попытками решения проблемы времени, так или иначе ставились и обсуждались во всех философских направлениях и школах. Обсуждалась эта тема и в рамках естественнонаучных теорий. Однако тот интерес, который проблема времени вызывает к себе последние 20 лет, начиная с 50-х годов нашего столетия, ни в какое сравнение не идет по своей интенсивности с обсуждением ее в прошлом.

Проблема времени рассматривается сейчас не только философами, физиками, космологами, но и лингвистами, логиками, специалистами по теории культуры и т. д. За последнее время вышли в свет десятки монографических исследований и сотни статей. Подобный интерес и творческая активность обусловлены, видимо, тем, что, с одной стороны, все более пробивает себе путь осознание того обстоятельства, что понимание природы или сущности времени является одним из центральных пунктов в мировоззрении и методологии. С другой стороны, развивающееся научное знание: математика, логика, физика, астрономия, космология, теория информации и философия — предоставляет все большее количество данных, позволяющих содержательно обсуждать проблему времени.

Во всем сложном многообразии вопросов, составляющих эту проблему, пожалуй, наибольшее внимание, особенно в естественнонаучном плане, привлекает в настоящий момент проблема направления времени. Не будет преувеличением сказать, что большая часть публикаций, посвященных проблеме времени, так или

иначе обсуждает вопрос о направлении времени, о его смысле и объективных основаниях.

Дискуссия относительно этого вопроса ведется в мировой и советской физической и философской литературе как в широком мировоззренческом плане поиска объективных физических критериев для определения направления времени и его необратимости, так и на методологическом уровне. Дело в том, что обсуждение вопросов, связанных с поисками объективных критериев направления времени, не исчерпывается полемикой вокруг конкретного естественнонаучного материала, оно имеет и более глубокий уровень, затрагивающий методологические основания той или иной точки зрения и выражающий подчас подспудно формулируемые и применяемые требования к содержанию, строгости, убедительности и силе тех или иных законов, принципов, а также способов аргументации и доказательств. Однако для того, чтобы подойти к рассмотрению всех этих вопросов, нужно прежде всего внести ясность в некоторые понятия, имеющие существенное значение при обсуждении проблемы. К таким понятиям относятся, прежде всего, понятие обратимости и необратимости физических процессов.

Обратимыми процессами являются, вообще говоря, такие, последовательность состояний которых может располагаться как в одном порядке и направлении, так и в другом, прямо ему противоположном. Простейшими примерами обратимых (вернее квазиобратимых) процессов являются перемещения тел в пространстве, которые могут совершаться в любых направлениях, в том числе и прямо противоположных.

Что касается необратимых процессов, то это, вообще говоря, такие процессы, последовательность состояний которых является уникальной. Они могут проходить или протекать только в одном направлении, одном порядке и не могут совершаться в обратном, прямо противоположном порядке. Примерами необратимых процессов являются все термодинамические процессы и многие процессы статистического характера, особенно такие, как перемешивание жидкостей и газов. Необратимость термодинамических и статистических процессов фиксируется вторым началом термодинамики или законом возрастания энтропии.

Кроме термодинамических и статистических процессов существуют и другие типы необратимых процессов: электродинамические, химические, радиоактивные, физиологические, космологические и другие.

Поскольку любой естественный макропроцесс представляет собой совокупность явлений различного типа, постольку в природе не существует чисто механических процессов, и любой механический процесс так или иначе сопровождается явлениями термодинамического, статистического характера, т. е. так или иначе связан с необратимыми процессами. А отсюда следует, что во Вселенной обратимых макропроцессов фактически не суще-

ствуует. Положения о том, что все природные процессы в макром мире имеют необратимый характер, подтверждается всей совокупностью эмпирических данных и никем не оспаривается.

Представление о направлении времени, несомненно, связано с наличием в мире необратимых процессов, которые эмпирически постигаются нами, а представление о необратимости времени, видимо, обусловлено тем, что человек фактически в конечном счете имеет дело только с необратимыми процессами, хотя некоторые из них подчас и представляются вполне обратимыми. Представления о необратимости течения времени возникли, как известно, задолго до того, как были сформулированы не только законы термодинамики, но и вообще какие-либо научные законы. Это явно обусловлено тем, что сама жизнь человека представляет собой необратимый процесс.

Не следует, однако, жестким образом связывать представление о необратимом течении или направлении времени с необратимостью того или иного естественного процесса. Если бы во Вселенной существовали фактически только обратимые процессы, то, видимо, никакого направления времени как в самой природе, так и в теоретических представлениях о ней, видимо, не было бы. Однако появление во «Вселенной обратимых процессов» хотя бы только одного необратимого уже придавало бы физический смысл представлению о направлении времени для всех связанных с ним обратимых процессов, которые, кстати говоря, превращались бы тем самым в необратимые. Тем более, в мире необратимых процессов, в котором мы живем, появление какого-либо обратимого процесса или какой-то совокупности обратимых процессов не в состоянии изменить направление времени. Для изменения направления времени, видимо, необходимо обращение всех необратимых процессов, которые столь же необратимым образом потекли бы в обратном направлении.

Необходимо, далее, проводить различие и между направлением и необратимостью времени. Направление времени, как и последовательность состояний реальных процессов, может, хотя бы только теоретически, проходить как в одном, так и в обратном направлении, необратимость же времени выражает уникальную выделенность одного из возможных направлений.

Строго говоря, время и имеет направление и необратимо. Иногда этот факт пытаются выразить с помощью одного понятия — анизотропии времени. Конечно, это понятие является более удобным и емким, чем два понятия — направление и необратимость, однако в современной литературе понятие анизотропии времени жестким и однозначным образом связывается с вполне определенной концепцией времени, а именно, со статической концепцией¹.

¹ Это обстоятельство не всегда учитывается авторами, которые считают возможным использовать термин «анизотропия» времени и в то же время от-

Эта концепция отрицает существование объективного «течения» времени, объективного становления событий во времени, рассматривает их как иллюзии нашего сознания, которое, двигаясь в застывшем четырехмерном пространственно-временном континууме, просто наталкивается на расположенные в нем вещи и события. Столкновение сознания с какой-либо вещью и переживается им как становление этой вещи.

По ряду причин эта концепция представляется несостоятельной, и поэтому мы вынуждены отказаться от применения термина «анизотропия» времени и будем везде говорить о «направлении» времени, имея в виду, что этим термином выражается подчас и направленность и необратимость.

Итак, в реальной действительности все процессы как живой, так и неживой природы, все процессы, связанные с жизнедеятельностью человека и развитием общества, необратимы, а тем самым необратимо и время. Обращение времени означало бы неестественное протекание процессов: мертвецы вставали бы из могил и оживали, из пепла и праха в процессах, обратных горению и разложению, которые «всасывали» бы теплоту и электромагнитное излучение из окружающей среды, в результате синтеза возникли бы новые вещи и т. д. С подобными явлениями и процессами человечество не сталкивалось на протяжении истории всей своей практической деятельности, что дает достаточно убедительные эмпирические доказательства уникального направления времени в окружающем нас мире. Необратимость времени, обосновываемая ссылками на существование необратимых естественных процессов, именуется в литературе необратимостью де-факто, или фактуальной необратимостью времени. Поиски строго необратимых процессов природы, которые можно было бы связать с направлением времени, представляют собой исследование фактуальных оснований этого направления.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ НЕОБРАТИМОСТИ

Среди бесконечного разнообразия квазиобратимых и необратимых процессов представляется возможным выделить, по крайней мере, два класса таких процессов, которые эмпирически представляются строго необратимыми.

Прежде всего — это термодинамические процессы, с которыми начали связывать направление времени еще во второй половине прошлого века после оформления феноменологической термодинамики как самостоятельной науки. Поведение термодинамических процессов определяется, наряду с законом сохранения энер-

вергают статическую концепцию. См., например: *З. Аугустынек*. Проблема анизотропии времени.— В кн.: *История и методология естественных наук*, вып. VI. Физика. М., 1968, с. 256—262; *Г. Г. Сучкова, А. Турсунов*. Проблема анизотропии времени и космология.— *«Вопросы философии»*, 1971, № 12, с. 90—102.

гин, так называемым вторым принципом, или началом, термодинамики.

Первоначально он был сформулирован Сади Карно в таком виде, что теплота в термодинамических процессах может передаваться только от нагретых тел к холодным, но не наоборот. Отсюда следовала невозможность построения вечного двигателя второго рода. При окончательном формулировании второго начала в рамках классической термодинамики Р. Э. Клаузиусом и У. Томсоном ему был придан более общий вид, в котором фигурировала некоторая физическая величина, представляющая функцию состояния системы и именуемая энтропией.

В этой более общей формулировке второе начало гласило, что энтропия любой замкнутой системы всегда стремится к возрастанию или в крайнем случае остается той же самой, но никогда не уменьшается. В самом общем виде это означает, что развитие любой материальной системы всегда стремится только к уменьшению порядка и возрастанию беспорядка, но никогда не наоборот (второе начало термодинамики). Известные примеры кажущихся противоречий этому началу, связанные с работами холодильных установок и вообще с явлениями понижения энтропии отдельных систем, объясняются взаимодействием систем со своим окружением, в результате которого энтропия более широких систем неизменно возрастает.

Формулирование второго начала термодинамики было по сути дела первой попыткой придать необратимости определенной группы физических процессов законосообразный, или, как принято говорить в литературе, номологический, характер.

Следует отметить, что второе начало термодинамики — это достаточно широкий или общий закон, который был выведен на основе громадного эмпирического материала, не дававшего по сути дела ни одного контрпримера.

Далее, этот принцип не только провозглашает или, вернее, позволяет протекание процессов в каком-то определенном направлении, но и запрещает протекание их в направлении противоположном. Кроме того, в рамках феноменологической термодинамики он является первичным законом, т. е. ни из каких других более общих законов этой теории его вывести нельзя.

Хотя Клаузиус, как известно, и пытался связать действие второго начала термодинамики с направлением развития Вселенной в целом, все же честь первой попытки соотнести направление времени с направлением протекания термодинамических процессов по праву принадлежит Л. Больцману. Л. Больцман вывел законы феноменологической термодинамики как следствия другой более общей теории, охватывающей не только термодинамические, но и все статистические процессы. Опираясь на кинематическую теорию газов, он придал законам термодинамики и, в частности, второму ее началу статистический, вероятностный характер. В его формулировке второе начало гласило, что энтро-

пия любой замкнутой системы уже не просто может оставаться постоянной или только возрастать и никогда не уменьшаться, а существует лишь большая вероятность того, что энтропия будет возрастать, и меньшая вероятность того, что она будет уменьшаться.

Как видим, строгий динамический закон, постулировавший протекание процессов только в одном направлении и запрещающий их протекание в другом, уступил место более гибкому, менее определенному, вероятностному закону, который уже говорил только о большей вероятности того, что процессы будут протекать в одном направлении, и отнюдь не запрещающем их протекание в другом направлении.

Более вероятное направление протекания процессов к состояниям, характеризующимся высокими уровнями энтропии, и было связано Больцманом с направлением времени окружающего нас участка Вселенной. Из вероятностного толкования второго начала термодинамики Больцманом был сделан вывод, что это направление времени не является уникальным и что возможны такие места во Вселенной, где необратимые процессы идут в направлении, прямо противоположном нашему, а вообще для Вселенной «в целом» понятие направления времени, равно как и понятие энтропии, не имеет смысла.

В дальнейшем энтропийное обоснование направления времени разрабатывалось и разносторонне обсуждалось А. Эддингтоном и многими другими исследователями, из которых необходимо выделить в первую очередь Г. Рейхенбаха. Предложенная им²⁻³ и усовершенствованная А. Грюнбаумом⁴ гипотеза ветвящихся структур представляет собой наиболее совершенный вариант энтропийного обоснования направления времени.

Однако против идеи Больцмана о связи направления времени с направлением возрастания энтропии были высказаны существенные возражения, суть которых сводится к следующему.

Статистическая физика опирается на кинетическую теорию газов, которая описывает перемещения и механические взаимодействия молекул и атомов и вызываемые этими перемещениями и взаимодействиями эффекты. Однако процессы чисто механического движения полностью обратимы, т. е. могут протекать и в прямо противоположном направлении. Отсюда вытекает знаменитый «парадокс обратимости», который рассматривался как возражение против статистически-энтропийного определения направления времени (Г. Лошмидт, 1876 г.).

Иногда это возражение против энтропийного определения направления времени понимают не совсем точно — как будто бы

²⁻³ Г. Рейхенбах. Направление времени. М., 1962, с. 185—198.

⁴ А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени. М., 1969, с. 296—327.

оно заключается в том, что при статистическом столкновении закона возрастания энтропии все же остается определенная вероятность (хотя и очень малая) того, что возможны такие флуктуации, когда необратимые процессы будут происходить в обратных направлениях, а тем самым и время получит другое направление. Исходя из этого, пытаются отклонить возражение обратимости, ссылаясь на то, что вероятность подобных флуктуаций подавляюще мала⁵. Однако подобная аргументация оставляет в стороне существо дела, поскольку возражение, опирающееся на «парадокс обратимости», связано не с той или иной степенью вероятности протекания процессов в том или ином направлении, а отвергает правомерность самого вывода закона возрастания энтропии из статистических соображений.

Суть этого возражения состоит в том, что коль скоро термодинамика и статистическая физика имеют в своей основе кинетическую теорию газов, описывающую обратимые механические перемещения атомов и молекул, — ничто не запрещает нам предположить, что в один прекрасный момент все эти атомы и молекулы повернут в противоположном направлении и все «необратимые» процессы потекут вспять. И вероятность того, что любая замкнутая система будет развиваться в направлении к состояниям с более низкой, а не более высокой энтропией, отнюдь не крайне или подавляюще мала по сравнению с вероятностью развития системы в противоположном направлении. «Парадокс обратимости» как раз в том и состоит, что вероятности развития любой замкнутой системы как в том, так и в другом направлении равны. «Переходы к низким значениям энтропии происходят столь часто, сколь и переходы к высоким значениям; в этом и состоит современная формулировка парадокса обратимости»⁶. Поэтому нет никаких оснований связывать направление времени (причем не вообще Вселенной, а любой материальной системы) с направлением возрастания энтропии.

В отношении подобных рассуждений может возникнуть возражение, что кинетическая теория газов сама является неточной, ибо движение атомов и молекул подчиняется не законам классической механики, а законам квантовых теорий, квантовой механики и электродинамики. Это верно, однако законы этих теорий столь же обратимы, вернее, столь же безразличны к знаку направления времени, как и законы классической механики.

В современной физической и философской литературе до сих пор не найдено сколько-нибудь убедительных доводов против возражения, основанного на «парадоксе обратимости».

Доводы вроде отмеченной выше ссылки на подавляющую вероятность протекания процессов в направлении состояний с

⁵ См.: В. П. Лебедев, В. С. Степин. Гносеологический аспект понятия времени. — «Вопросы философии», 1970, № 10, с. 58.

⁶ Г. Рейхенбах. Направление времени, с. 154.

более высоким уровнем энтропии, гипотеза «ветвящихся систем» Рейхенбаха—Грюнбаума и некоторые другие не признаются в современной литературе решающими⁷. Интересно, что и сам Больцман признавал, что «второй закон термодинамики никогда не удастся доказать математически на основе одних лишь уравнений движения». Рейхенбах, комментируя это высказывание Больцмана, полагает, что он «просто хотел сказать, что нельзя доказать, что энтропия всегда возрастает. Мы можем доказать только, что возрастание энтропии весьма вероятно»⁸.

Другое возражение против энтропийного определения направления времени, а именно — возражение, основанное на «парадоксе периодичности», было выдвинуто Цермело в 1896 г. и состоит в следующем. Согласно одной из теорем динамики, сформулированных А. Пуанкаре⁹, любое состояние системы должно повторяться бесконечное число раз: отсюда следует, что время, связываемое с развитием этой системы, будет иметь не направленный, а циклический характер. Однако это возражение не имеет, на наш взгляд, существенного значения, ибо повторяемость и неповторяемость, с одной стороны, обратимость и необратимость, с другой, вовсе не одно и то же, и повторяемость вовсе не исключает необратимости, и в этом смысле «парадокс обратимости» является гораздо более сильным.

Итак, мы видим, что фактуальное обоснование направления времени с помощью энтропийных или статистических процессов является однозначным и неопровержимым, ибо нам не известно ни одного факта самопроизвольного протекания процессов в порядках, обратных протеканию подавляющего большинства процессов нашего окружения. В отношении же номологического обоснования направления времени с помощью законов термодинамики и статистики дело обстоит совсем по-другому.

В первоначальной формулировке второе начало запрещает протекание процессов в направлении к состояниям, характеризующимся более низким уровнем энтропии. Затем, в статистической формулировке, этот запрет снимается и постулируется только большая вероятность процессов, идущих в направлении возрастания энтропии. Это приводит в конечном счете к номологическому равноправию между обоими направлениями протекания процессов, хотя в реальной действительности мы не наблюдаем не только равноправия, но и вообще нам не известно хотя бы одно исключение из второго начала.

При этом интересно обратить внимание на следующее обстоятельство. С одной стороны, все признают, что второе начало

⁷ Г. Рейхенбах. Направление времени, с. 132—198; Дж. Уитроу. Естественная философия времени. М., 1964, с. 357—358; А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 300—327.

⁸ Г. Рейхенбах. Направление времени, с. 158.

⁹ H. Poincaré. Sur la problème de trois corps et les equations de la dynamique.— «Acta Mathematica», 1890, t. 13, p. 67.

термодинамики в его статистической формулировке не может выражать направление времени, поскольку не запрещает протекания процессов в направлении к меньшим значениям энтропии. С другой стороны, также всеми признается, что те же самые факты и закономерности вполне достаточны для запрета построения вечного двигателя второго рода, хотя оснований для подобного запрета отнюдь не больше, а даже меньше, чем для отказа от признания за вторым началом термодинамики выражения направления времени. Для обращения направления времени необходимо самопроизвольное отражение естественных процессов, построение же вечного двигателя предусматривает их обращение под воздействием человека.

НЕОБРАТИМОСТЬ, ОСНОВАННАЯ НА ПРОЦЕССАХ РАСХОЖДЕНИЯ ВОЛН

Вторым фактуальным основанием необратимого направления времени являются процессы рассеяния электромагнитного излучения в мировом пространстве. Известно, что излучение от любого источника распространяется в пространстве в виде сферической волны, которая уходит все дальше и дальше в глубины космоса, никогда не возвращаясь назад. Подобные факты мы можем наблюдать и в более наглядном виде. Все мы не раз являлись свидетелями того, как расходятся и гаснут волны от брошенного в воду предмета. Хотя затухание волн в вещественных средах и обусловлено статистическими механическими процессами, связанными с трением и возрастанием энтропии, все же оно к ним не сводится, оно имеет еще и другие определяющие стороны, общие с процессами распространения электромагнитных волн в космическом пространстве, которые не характеризуются статистическими закономерностями и возрастанием энтропии. Нам не известны такие явления, когда какой-либо предмет «всасывал» бы спонтанно приходящее из глубин космоса когерентное электромагнитное излучение, как не знаем мы и случаев спонтанного и когерентного возникновения волн на водной поверхности, одновременно сходящихся в центре и выталкивающих вверх предметы.

Такую асимметрию электромагнитных и волновых процессов можно было бы охарактеризовать как принцип расходимости и затухания волн. И с ним также можно было бы однозначным образом связать необратимое направление времени.

Однако такого принципа нет ни в современной электродинамике, ни в теории колебаний и волновых процессов, и, в отличие от термодинамики, его никогда не существовало. Даже более того, теоретически признается полное равноправие как расходящихся, так и сходящихся, как затухающих, так и самовозбуждающихся волновых процессов, что выражается в равноправии запаздывающих и опережающих потенциалов. (В этой тер-

минологии описанное выше состояние дел выражается в электродинамике.)

При обсуждении вопроса об асимметрии расходящихся, затухающих и сходящихся, самовозбуждающихся волн нужно иметь в виду следующее обстоятельство. Согласно уравнениям электродинамики, как прямое, так и противоположное ему направление процессов являются равноправными. Однако течение процессов обуславливается не только законами или уравнениями, но и начальными, граничными условиями. В том и другом случае начальные условия являются явно неравноправными. Для образования расходящейся, затухающей волны необходим и достаточен только один источник, дающий импульс излучению или волновому процессу, который затем спонтанно и самостоятельно, симметричным образом распространяется во все стороны.

Для образования же сходящейся в одну точку, самовозбуждающейся когерентной волны необходимы несколько иные условия.

Обсуждение этих условий в современной зарубежной литературе в работах К. Поппера, Е. Хилла, А. Грюнбаума и Г. Мельберга¹⁰ носило, на наш взгляд, несколько односторонний характер, так как рассматривались только специфические начальные условия, необходимые для образования сходящихся волновых процессов. Так, К. Поппер указывал, что такие процессы невозможны уже лишь потому, что для их осуществления необходимо множество расположенных в различных местах источников, причем соответствующим образом синхронизированных и скоррелированных между собой с тем, чтобы они давали когерентное и направленное в одну точку излучение. К. Поппер отмечал, что самопроизвольное возникновение таких источников и их корреляция является чисто случайным процессом, вероятность которого равна нулю. Нам бы со своей стороны хотелось добавить, что невозможна и сознательная корреляция подобных источников, в силу предельного характера скорости света, а вернее, в силу отсутствия мгновенного дальнего действия, ибо это не позволяет их синхронизировать.

Е. Хилл, А. Грюнбаум и Г. Мельберг разбирали в этой проблематике мысленные эксперименты и идеализированные случаи, в которых постулировали специфические начальные условия, позволяющие будто бы добиться возникновения сходящихся самовозбуждающихся волн. В качестве подобных примеров рассматривалось точно горизонтальное падение на водную поверхность

¹⁰ K. P. Popper. The Arrow of Time.—«Nature», 1956, v. 177, p. 538; Irreversibility and Mechanics.—«Nature», 1956, v. 178, p. 382; Irreversible Processes in Physical Theory.—«Nature», 1957, v. 179, p. 1297; Irreversible Processes in Physical Theory.—«Nature», 1958, v. 181, p. 402; E. L. Hill and A. Grünbaum. Irreversible Processes in Physical Theory.—«Nature», 1957, v. 179, p. 1296; H. Mehlberg. Physical Laws and Time Arrow.—In: «Current Issues in the Philosophy of Science», eds. H. Feigl and G. Maxwell, N. Y., 1951; A. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 327—344.

большого круга, которое якобы должно было вызвать сходящиеся к центру круга когерентные волны, а также большая замкнутая сфера с расположенными на ее внутренней поверхности излучателями, направляющими когерентное излучение к центру сферы. Эта модель должна была имитировать самосходящиеся электромагнитные волны.

Вообще полемика вокруг подобного рода начальных условий сводилась к их статусу в физической картине мира: равноправны ли они с наиболее общими законами или же представляют собой совершенно случайные события во Вселенной.

Представляется, что в этих дискуссиях значение и роль начальных граничных условий для образования и протекания расходящихся затухающих волновых процессов были оценены не совсем верно. Обе стороны исходили из того, что начальные условия могут быть, хотя бы в принципе, симметричными, т. е. наряду с подавляющим преимуществом таких начальных условий, которые обуславливают расходящиеся самозатухающие волновые процессы, возможны, или скорее мыслимы, и такие, которые якобы могут привести к образованию и функционированию обратных процессов.

Однако представляется, что дело обстоит несколько иначе. Никакие начальные условия, ни случайно возможные, ни сознательно организуемые, ни реально осуществимые, ни только мыслимые, недостаточны для возникновения самовозбуждающихся, сходящихся когерентных волновых процессов. Об этом явно свидетельствуют те самые примеры, в которых предлагаются условия, якобы достаточные для образования подобных процессов, а именно, примеры с бросаемым на воду кругом и с излучением, направленным с внутренней поверхности сферы к центру. Все эти когерентные и синхронизированные источники, расположенные на сфере и излучающие по направлению к ее центру электромагнитные импульсы, не вызовут ожидаемого эффекта сходящейся, самовозбуждающейся волны, равно как подобной же волны не вызовет и строго горизонтально брошенный на воду большой круг. Дело в том, что они действительно будут порождать сходящиеся к единому центру волновые процессы, но эти процессы будут не самовозбуждающимися, усиливающимися само-сходящимися процессами, а сходящимися к определенной точке, но расходящимися от своего источника самозатухающими процессами. Они будут давать не возрастающий, а затухающий эффект.

Для возникновения указанных начальных условий самовозбуждающихся сходящихся волновых процессов необходимо, кроме того, чтобы интенсивность этих процессов по мере их удаления от своего источника не уменьшалась, а усиливалась.

Видимо, все-таки главной характеристикой волновых процессов, принимаемых в качестве одного из коррелятов направления времени, является не то, что они расходятся, ибо любое тело не

только излучает, но и поглощает электромагнитные волны, а то, что они затухают, что их интенсивность убывает с расстоянием от источника. Поэтому более наглядным контрпримером был бы не процесс «всасывания» каким-то источником когерентного излучения, приходящего из глубин космоса, а процесс расходящихся из одного центра волновых колебаний, интенсивность которых возрастала бы по мере удаления от места возникновения. Предлагаемый контрпример, как нам кажется, позволяет лучше понять, что невозможность подобных процессов обусловлена не начальными условиями, а более фундаментальными свойствами природы, в частности законами сохранения.

Действительно, подобные процессы, интенсивность которых увеличивалась бы с удалением их от своего источника, должны были бы либо черпать энергию из ничего, т. е. нарушать первое начало термодинамики, либо собирать энергию из окружающей среды, самопроизвольно повышая ее организацию, что противоречит второму началу.

Итак, в случае рассеивания электромагнитного излучения в мировом пространстве и затухания волновых процессов в вещественных средах мы сталкиваемся хотя и с несколько отличной, но все же с похожей ситуацией. Нам не известны случаи возникновения самовозбуждающихся, сходящихся волн. Все известные нам волновые явления протекают в прямо противоположном направлении. Приходящее к нам излучение является затухающим. И все же мы не решаемся связать с этими процессами необратимое направление времени. И не потому, что не знаем закона или законов, которым подчиняются эти явления, а только потому, что нам не известен и не сформулирован специальный закон, который запрещал бы протекание явлений и процессов в обратной последовательности, обратном направлении. Причастность же к рассмотрению и оценке этих явлений уже известных принципов сохранения и запрета либо вовсе не осознается, либо считается недостаточной.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ НЕОБРАТИМОСТИ

Большое значение в современной литературе придается третьему фактуальному обоснованию направления времени, которое является космологическим. Как известно, в доступной нашему наблюдению части Вселенной происходит глобальное расширение, выражающееся в разбегании или удалении галактик друг от друга. Вот с этим-то расширением наблюдаемой нами части Вселенной, или разбеганием галактик, и связывают или, вернее, предлагают связать необратимое направление времени. Правда, здесь мы поставлены в гораздо более трудное положение, чем в случае термодинамики и электродинамики, поскольку выводы из космологических теорий относительно свойств и характера времени, видимо, всегда будут только гипотетическими, по при-

чине несравнимости временных масштабов человечества и космоса. Против подобной оценки направления времени также могут быть выдвинуты и на самом деле выдвигаются веские возражения, из которых наиболее существенны два.

Первое возражение относится к тому же самому типу, которое выдвигается против энтропийного и электродинамического оснований направления времени. Оно состоит в том, что нам не известен какой-либо закон, который запрещал или предотвращал бы движение космических объектов в обратном направлении. По современным представлениям возможность обращения этого движения связана со средней плотностью вещества и излучения, от чего будет зависеть, удастся ли порождаемым ими силам тяготения преодолеть первоначальные импульсы, полученные при Большом взрыве. Известно, что пока измерения средней плотности вещества дают отрицательный ответ на этот вопрос. Однако наблюдается тенденция, что с каждым годом, с каждым совершенствованием теоретических представлений и экспериментальных данных оцениваемая величина средней плотности вещества все более приближается к критической, т. е. такой, которая не допустит вечного расширения и с неизбежностью сменит его стадией сжатия. Уже только эти соображения делают довольно обоснованным отказ от признания за космологическим расширением статуса уникального коррелята необратимого направления времени. Второе возражение состоит, вообще говоря, в том, что не следует связывать столь общее и фундаментальное свойство, как направление времени, с каким-то одним конкретным процессом, или, вернее, каким-то одним конкретным видом процессов.

Это возражение имеет свой резон, поскольку на самом деле, видимо, неразумно, имея по крайней мере три эмпирических обоснования направления времени, без видимых на то причин отдавать предпочтение какому-то одному из них, в данном случае космологическому.

В настоящее время идут теоретические поиски связи или хотя бы корреляции этих трех оснований (энтропийного, электродинамического и космологического) между собой. Несомненно, что обнаружение и доказательство подобной связи и корреляции имели бы громадное значение для решения проблемы направления времени.

Некоторые авторы, правильно давая положительную оценку этим поискам, полагают, однако, что они свидетельствуют об окончательном отказе от поисков какого-то одного коррелята направления времени в пользу представления о множестве таких коррелятов¹¹. Нам представляется, что подобные выводы

¹¹ Г. Г. Сучкова, А. Турсунов. Проблема анизотропии времени и космология.— «Вопросы философии», 1971, № 12, с. 91—102.

пока преждевременны. Весьма возможно, что поиск этих связей и корреляций приведет к формулированию какого-то одного, более фундаментального основания направления времени, или закона, его определяющего, а известные нам три эмпирических обоснования окажутся различными проявлениями этого единого закона.

Верно, что направление времени обусловлено всей совокупностью конкретных типов необратимых процессов, однако ошибочным или, во всяком случае, пока необоснованным является молчаливо подразумеваемое при этом предположение о том, что в основе этого многообразия конкретных типов необратимых процессов не может лежать какой-то один, более общий закон или же одно более общее фундаментальное свойство.

При рассмотрении связи и корреляции трех эмпирических оснований направления времени довольно часто выдвигаются утверждения относительно того, что определяющим и наиболее фундаментальным является космологическое основание, т. е. расширение наблюдаемой нами части Вселенной. Выдвигаются предположения, что именно это явление обуславливает определенное направление статистических и электродинамических процессов.

Несомненно, подобная точка зрения имеет известные основания в том, что такой процесс, как разбегание доступных нашему наблюдению галактик, является неизмеримо более мощным как по пространственным, так и энергетическим масштабам, по сравнению с мелкомасштабными статистическими и электродинамическими процессами. Действительно, возможно, что это свойство, характеризующее поведение громадных совокупностей космических масс, является определяющим по отношению к другим свойствам, выражающим необратимость процессов меньших масштабов.

Однако пока такая взаимосвязь этих трех эмпирических оснований направления времени теоретически не установлена и не доказана, как не доказана и определяющая роль космологических процессов. Поэтому не лишним будет рассмотрение и другой возможности, а именно, предположения о том, что космологическое расширение не является столь определяющим и фундаментальным для направления времени, как это кажется на первый взгляд.

Можно выдвинуть ряд элементарных соображений в пользу того, что космологическое расширение не является столь же фундаментальным для обоснования наших представлений о направлении времени, как энтропийные и электродинамические процессы. Таких соображений, по крайней мере, два.

Первое состоит в том, что факты космологического расширения стали известны сравнительно недавно, во всяком случае, после того, как люди стали искать научное обоснование направления времени, и значительно позднее того, как они вообще ста-

ли задумываться над направлением и необратимостью времени. Это свидетельствует о том, что наши понятия и представления о необратимости и направлении времени генетически вообще не связаны со знанием поведения крупных космических масс, а логическая связь между ними не является жестко однозначной. Знания о процессах космологического расширения вовсе не обязательны для образования понятий и представлений о направлении и необратимости времени.

Второе соображение, несомненно связанное с первым, состоит в том, что наши чувства и представления о направлении времени, по всей вероятности, ничуть не изменились бы, если бы изменилось направление космических процессов, но осталось бы прежним направление развития энтропийных, статистических и электродинамических процессов. И наоборот, смысл направления времени претерпел бы, видимо, коренное изменение в гипотетическом мире, где процессы идут в сторону спонтанного понижения энтропии в замкнутых системах,— электродинамические процессы — в направлении схождения к определенным центрам с одновременным усилением их интенсивности, а космические системы удаляются друг от друга.

Таким образом, обоснование фундаментального значения для направления времени факта космологического расширения связано с необходимостью доказательства обусловленности направления необратимого протекания энтропийных и электродинамических процессов разбеганием космических масс.

Есть еще и другие эмпирические и теоретические соображения, говорящие в пользу уникального необратимого направления времени для Вселенной, а именно, соображения кинематического типа, связанные с тем, что тела, которые сближаются в пространстве, будут по истечении определенного промежутка времени только удаляться друг от друга, а тела, удаляющиеся друг от друга, всегда будут только удаляться. Сюда же относятся и соображения вероятностного подхода — так называемый принцип Байеса, который О. К. де Борегаар считает наиболее фундаментальным (но также недоказуемым и просто постулируемым), статистические же и электродинамические основания направления времени лишь его проявлениями¹². Должны быть принимаемы во внимание также соображения относительно асимметрии предсказания и ретросказания, неопределенности будущего и полной определенности прошлого.

¹² O. Costa de Beauregard. Information and Irreversibility Problems. In: Time in Science and Philosophy. An international study of some current Problems. Prague, 1971, p. 11—26.

Рассмотренные выше основания необратимости и направления времени являются фактуальными, но не номологическими, т. е. отражают реальное поведение тел, которое, однако, не зафиксировано никакими законами. Не зафиксировано, правда, в известном смысле, т. е. все эти явления сами по себе подчиняются определенным законам, но эти законы точно так же разрешают и прямо противоположное протекание процессов, поэтому и можно сказать, что необратимое течение времени никакими законами не зафиксировано и, следовательно, не имеет никаких номологических оснований.

В самом деле, общеизвестно, что законы как классической механики, так и классической электродинамики, а также теории относительности и квантовой физики безразличны к изменению знака переменной t на обратный. Коротче говоря, почти все законы физики, известные нам, теоретически не запрещают протекания в обратном направлении всех тех процессов, которые известны нам на практике как необратимые.

Исключение из этого правила составляют два случая, а именно, факт аномального распада K^0 -мезона, который расценивается как доказательство неинвариантности законов физики элементарных частиц относительно направления или знака времени. Но коль скоро этот факт и его интерпретация не получили пока окончательной оценки, вопрос о номологическом обосновании необратимости и направления в данном случае остается открытым.

В качестве второго исключения из всеобщей инвариантности законов физики относительно направления времени считают закон возрастания энтропии, связанный с рассмотренными нами термодинамическими и статистическими процессами.

Действительно, в своей первоначальной формулировке в качестве второго начала термодинамики он просто запрещал одно из направлений протекания термодинамических процессов, а именно, передачу тепла от более холодного тела к более тепловому. Однако в более поздней формулировке в статистической физике он гласит, что развитие любой замкнутой материальной системы с подавляюще большей вероятностью происходит в направлении состояний, характеризующихся более высоким, нежели предыдущие, величинами энтропии.

Постулирование более высокой вероятности протекания процессов в определенном направлении рассматривается иногда как номологическое обоснование направления времени. Действительно, выше мы отмечали, что во Вселенной, подавляющее большинство процессов которой эмпирически обратимы, достаточно наличия одного процесса или, вернее, одного вида процессов, которые необратимы, с тем чтобы этим самым уже было установлено направление времени всех связанных с ними про-

цессов. Мы же имеем довольно широкий класс процессов, для которых существует закон, утверждающий подавляющую вероятность развития явлений в одном направлении и весьма малую вероятность их протекания в другом.

Казалось, можно было бы говорить о законоподобном, номологическом, хотя и вероятностном (что в наш век статистики едва ли может считаться серьезным недостатком), обосновании направления времени. Однако из подобного обоснования направления времени выбивает почву из-под ног возражение, опирающееся на «парадокс обратимости», рассмотренное нами выше. Согласно этому возражению, необходимость увеличения энтропии со временем является недоказуемой, а, кроме того, для достаточно больших промежутков времени или достаточно малых объемов протекание термодинамических и статистических процессов в обоих противоположных направлениях — уменьшения и увеличения энтропии системы — является равновероятным. Поэтому нельзя говорить о каком-то, хотя бы и статистическом, преимуществе одного из направлений, и оба они для закона возрастания энтропии предстают равноправными.

Итак, нашим эмпирически абсолютно необратимым макромиром управляют полностью и без исключения обратимые, т. е. безразличные к направлению времени, законы. Поэтому вполне естественным представляется, на первый взгляд, утверждение, что необратимость реальных процессов Вселенной определяется не законами, а начальными, граничными условиями, которые являются случайными в номологическом отношении.

Однако при более внимательном рассмотрении представляется все же сомнительным, чтобы эти начальные, граничные условия были номологически случайными. Они оказываются более чем просто регулярными и приводят к слишком уж железной необходимости, которая обуславливает необратимость всех без исключения процессов. О какой же тогда «случайности» граничных условий можно говорить? Это скорее более или менее разнообразные проявления некоего общего и динамического закона или свойства Вселенной, чем беспорядочное стечение независимых друг от друга условий и обстоятельств.

Итак, внешние проявления и условия протекания необратимых процессов свидетельствуют скорее всего о том, что их необратимость имеет не случайный, спорадический, а регулярный, необходимый, динамический характер и, видимо скорее всего есть проявление или действие какого-то единого и всеобщего закона. Может быть, конечно, таких законов несколько, и каждый из них определяет поведение какой-нибудь одной разновидности необратимых процессов, однако поразительная их согласованность свидетельствует скорее в пользу единого закона. Каковы же этот закон и законы, — в настоящее время никто сказать не может. Ни в одной из отраслей естественных наук, ни в одном из разделов физики эти законы не сформулированы и

осознанным образом не применяются, хотя стихийно они прокладывают себе дорогу и их неотвратимость так или иначе признается, если не в теории, то на практике.

Рассмотренные нами три класса наиболее фундаментальных физических процессов, представляющие собой энтропийное, электродинамическое и космологическое эмпирические обоснования направления времени, могут оказать нам помощь, видимо, и в определении того, какого типа закон или законы требуются для номологического обоснования направления времени.

Начнем с рассмотрения механического движения, или перемещения тел в пространстве. Это движение является необратимым только в силу того, что оно связано с необратимыми процессами энтропийного и электродинамического характера. Следовательно, чисто механические процессы, если бы они существовали, были бы обратимы — как де-факто, так и номологически. Причем номологическая обратимость их означает, что законы механики разрешают механическое перемещение во всех возможных направлениях в пространстве и не запрещают обращения этого движения. Мы имеем здесь абсолютную, т. е. фактуальную и номологическую, обратимость (если отвлечься, повторяем, от связи механических процессов с необратимыми немеханическими процессами).

В случае электродинамических процессов электромагнитного излучения мы сталкиваемся с эмпирической необратимостью самих процессов и номологической обратимостью законов, которым они подчиняются. Т. е. все известные нам процессы излучения протекают только в одном направлении. Они расходятся из какого-то центра и постепенно рассеиваются и затухают в глубинах мирового пространства. Однако законы электродинамики не только не запрещают, но и разрешают протекание их и в обратном направлении.

В отличие от механических процессов, где каждому классу номологически допустимых процессов соответствует непустой класс реальных процессов (реальных в том смысле, что любой механический процесс обратим в той мере, в какой он является механическим, и необратим в силу своей связи со статистическими, термодинамическими и электромагнитными процессами), — здесь одному классу номологически допустимых процессов соответствует непустой класс реальных референтов. Другому же классу столь же допустимых процессов в действительности не соответствует ничего — класс его референтов оказывается пустым. Но, несмотря на это, подобные процессы, которые реально не существуют, или во всяком случае нам не известны, в номологическом отношении рассматриваются как равноправные с реальными процессами — только потому, что теория их не запрещает.

Несколько иная ситуация складывается в области термодинамических, статистических процессов, подчиняющихся закону

возрастания энтропии. В первоначальной своей формулировке он запрещал протекание термодинамических процессов в определенном направлении, и этот запрет до сих пор считается вполне справедливым в отношении попыток построения вечного двигателя второго рода. Но как только этот запрет в статистическом истолковании второго начала термодинамики был снят и была постулирована лишь меньшая вероятность протекания статистических процессов в направлении состояний с меньшей энтропией (отнюдь не запрет), это постепенно привело к отказу от энтропийного обоснования направления времени, привело к известному «парадоксу обратимости».

В настоящее время мы имеем здесь два класса, или два множества, номологически допустимых процессов. В первом приближении один из них, содержащий процессы, протекающие в направлении увеличения энтропии, обладает большей вероятностью, является более мощным, тогда как второй, содержащий процессы, протекающие в обратном направлении, обладает гораздо меньшей вероятностью и является менее мощным. Однако во втором, так сказать, приближении, при рассмотрении достаточно длительных промежутков времени, оба эти класса процессов становятся равновероятными.

Что же касается их референтных классов, то один из них охватывает все реально существующие явления, поскольку все они идут в направлении повышения энтропии либо данной, либо более общей системы, второй же либо вообще не содержит референтов, либо вероятность их появления подавляюще мала.

Отсюда можно сделать следующие выводы.

Во-первых, вольно или невольно, сознательно или неосознанно, но всеми признается, что для обоснования такого фундаментального свойства природы, как необратимость времени, недостаточно фактуальных, опытных, практических доказательств, сколь бы очевидны и подавляющи они ни были. Для этого необходимо его номологическое обоснование в виде специального закона, выражающего необратимое протекание определенной группы естественных процессов, а тем самым и необратимое направление времени.

Во-вторых, это должен быть такой закон, который не только описывал бы и разрешал протекание некоторых процессов в одном определенном направлении и ничего не говорил бы о протекании их в обратном направлении, а гораздо более строгий закон — принцип запрета, который положительно запрещал бы протекание этих процессов в обратном направлении. (На связь номологического обоснования направления времени с запрещением обратного протекания процессов указывает также З. Аугустынек¹³).

¹³ З. Аугустынек. Проблема изотропии времени.— В кн.: История и методология естественных наук, вып. VI. Физика, с. 261.

Однако номологическое обоснование направления времени с помощью принципов запрета встречается с определенными трудностями.

Существуют две точки зрения на проблему обоснования направления времени вообще.

Ряд авторов считает, что направление времени не нуждается ни в каком обосновании, потому что время является изначальной, самой себя определяющей сущностью и ни в каком обосновании своих свойств не нуждается, поскольку само этими свойствами определяет направление и необратимость всех процессов Вселенной. Другие же, напротив, ищут номологическое его обоснование с помощью строгих динамических законов, которые не только обуславливали бы протекание процессов в одних направлениях, но и запрещали их протекание в обратных направлениях. Однако законы подобного типа, законы типа принципов запрета, сами являются настолько общими и фундаментальными, что их нельзя ниоткуда вывести, а можно только постулировать. Тем самым смыкаются две, на первый взгляд казалось бы, противоположные точки зрения: и та, которая считает время изначальной, ни к чему не сводимой сущностью, и та, которая стремится вывести свойства времени на основании каких-то законов, ибо сами эти законы оказываются невыводимыми и также просто постулируются.

По всей видимости, для решения проблемы обоснования направления и необратимости времени недостаточно рассмотрения одного лишь естественнонаучного уровня, будь то эмпирическая или теоретическая сторона проблемы. Может быть, следовало бы более внимательно присмотреться к тем методологическим требованиям, которые наука предъявляет к законам и явлениям различных степеней общности и различного уровня.

Почему, например, один и тот же закон (возрастание энтропии) считается вполне достаточным для запрета построения вечного двигателя второго рода и несостоятельным для обоснования направления времени?

Почему нам недостаточно того, что все известные законы физики разрешают протекание процессов в том направлении, в каком мы их наблюдаем? Почему нам обязательно необходим еще и закон, запрещающий такие процессы, которых в природе не существует или которые во всяком случае пока не известны?

Почему, наконец, современный «стиль мышления», который оценивается как «вероятностный», не признает никаких вероятностей, когда дело доходит до столь фундаментальной черты Вселенной, как необратимость и направление времени?

Нам представляется, что размышление над этими вопросами и попытки ответа на них в столь же значительной степени способствовали бы дальнейшему прогрессу в решении проблемы, как и поиски удовлетворительных формулировок законов, выражающих необратимое направление времени.

ВСЕЛЕННАЯ И «СТРЕЛЫ ВРЕМЕНИ»

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ.

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

В современной космологии, выросшей на почве общей теории относительности, много неясных и трудноразрешимых вопросов. Основная трудность проистекает из того обстоятельства, что объект исследования космологии — Вселенная — является *объектом уникальным* в том смысле, что на Вселенную невозможно посмотреть извне, невозможно сопоставить с ней другие объекты, одним словом, нельзя считать ее вещью, свойства которой могли бы быть раскрыты в ее отношениях к другим вещам. Вряд ли стоит подробно говорить также о том, что всякое определение Вселенной как целого может быть дано только непредикативным образом.

Как известно, специфика познания как процесса определяется переходом от явления к сущности, от сущности первого порядка к сущности второго порядка и т. д. Переход к сущности означает раскрытие общего в частном, в отдельных явлениях, т. е. установление закона. Для Вселенной этот способ установления законов ее развития исключается. Остается единственный путь — экстраполяция на мир в целом тех физических законов, которые известны в настоящее время. Но и этот путь не совсем надежен, поскольку нет уверенности, что фундаментальные законы физики окажутся применимыми в экстремальных условиях, более того, основные физические константы могут изменяться на протяжении времени космологических масштабов.

Однако, несмотря на перечисленные и им подобные трудности, даже наиболее скептически настроенные ученые признают, что в последнее время благодаря усовершенствованию техники наблюдений на расстояниях космологического порядка космология получила значительную эмпирическую опору и перестала быть областью неконтролируемых спекуляций¹.

Основной факт в этой области, который теперь едва ли кем подвергается сомнению, — факт расширения Вселенной. Часто это явление связывают не с Вселенной как целым, а с той ее частью, которая доступна астрономическим наблюдениям и носит название Метагалактики. Однако термин «Метагалактика» не относится к теоретическому понятию космологической науки. С другой стороны, понятие «Вселенная» является теоретическим конструктом космологии, которая на основании своих теоре-

¹ P. G. Bergmann. Cosmology as a Science.— «Foundations of Physics», 1970, v. 1, N 1, p. 17.

тических средств исследования смогла предсказать явление расширения Вселенной, подтвержденное опытным путем. Во всяком случае, в настоящее время можно говорить о вполне определенном наблюдаемом состоянии Вселенной, состоянии, которое характеризуется удалением галактик друг от друга.

Отмечая огромную роль, которую играет факт расширения Вселенной в системе физического знания, можно попытаться использовать его в исследовании столь универсального феномена, как феномен времени, в частности в анализе топологических характеристик последнего. В контексте данной статьи нас будет интересовать вопрос о необратимости времени.

В современной теории времени² различают два аспекта концепции его необратимости: динамический аспект, связанный с понятием становления, и статический аспект, в котором ставится вопрос об изотропии или анизотропии времени. Именно, когда хотят выразить такие утверждения, как «время течет в одном направлении», затрагивают динамический аспект необратимости и пользуются метафорическим понятием «стрелы времени». С другой стороны, когда хотят подчеркнуть структурные различия между противоположными направлениями физического времени, отвлекаются от его динамических характеристик и пользуются понятиями изотропии и анизотропии.

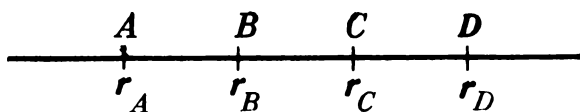
Предварительно, исходя только из интуиции, мы можем соотнести стрелу времени с фактом расширения Вселенной и говорить в таком смысле о космологической стреле времени. Для этого достаточно иметь лишь некоторое представление о порядке времени и воспользоваться соотношением Хаббла $v = Hr$, где v — скорость движения космологического объекта, удаленного на расстояние r , H — постоянная Хаббла. Явление «разбегания» галактик характеризуется тем обстоятельством, что, как бы мы ни выбрали систему отсчета координат, вектор расстояния совпадает по направлению с вектором скорости удаляющегося объекта. Поэтому в производной $\frac{d}{dt}(\vec{r}) = \vec{v}$ мы можем опу-

стить знаки векторных соотношений. Подставив вместо v в уравнение Хаббла $\frac{dr}{dt}$ и проинтегрировав его, получим с точностью до константы: $\ln r = Ht$.

Очевидно, начиная с некоторого критического расстояния, каждому значению расстояния r можно сопоставить момент времени. Расстояние r дает представление о стадии расширения Вселенной. Упорядочивая моменты времени точками $A, B, C, D \dots$ на шкале времени путем сопряжения их с различными значениями расстояния $r_A, r_B, r_C, r_D, \dots$, определяющими стадии

² См., например: А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени. М., 1969.

эволюции Вселенной, мы с необходимостью констатируем факт направления времени от A к D , поскольку исключается отрицательная величина приращения времени или обратный ход в направлении от расстояния r_D к расстоянию r_A (см. схему).



Логически допустима ситуация, когда Вселенная может не только расширяться, но и сжиматься в том смысле, что за стадией расширения следует стадия сжатия или, наоборот, стадия расширения наступает после стадии сжатия. Эта ситуация превращает космологическую асимметрию времени во внутренний, ничего не значащий эпифеномен. Но она же лишает смысла и общую постановку вопроса о соотношении направления времени с эволюцией Вселенной: только внешний наблюдатель смог бы установить стрелу времени, принимая во внимание «начальные» условия. Однако, как говорит Г. Бонди, «нам следует рассматривать *движение* Вселенной, а не *закон ее движения*»: ³ допущение о внешнем наблюдателе и начальных условиях лишено всякого научного смысла.

Можно, тем не менее, концепцию космологической стрелы времени сделать вполне осмысленной, если сопоставить ее с другими концепциями направленности времени (а именно, с направленностью времени с точки зрения теории электромагнитных процессов и термодинамики). В связи с этим мы будем весьма условно говорить соответственно об электромагнитной и термодинамической стрелах времени и зададимся следующим вопросом: в какой корреляции находится космологическая стрела времени с электромагнитной и термодинамической стрелами времени? Или точнее: могли бы быть повернуты в обратную сторону электромагнитная и термодинамическая стрелы времени при сжатии Вселенной и что означал бы такой поворот?

Для этого необходимо прежде всего выяснить, имеют ли значение (смысл) сами понятия электромагнитной и термодинамической стрел времени. Более того, нам придется остановиться на основных пунктах причинной теории времени.

НАПРАВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И ПРИЧИННЫЙ ПОРЯДОК

Причинная теория времени призвана ответить, по крайней мере, на следующие вопросы: (1) выводим ли временной порядок из причинного порядка? (2) определяются ли другие основные свойства времени (одномерность, однонаправленность) свой-

³ Г. Бонди. Гипотезы и мифы в физической теории. М., 1972, с. 77.

ствами причинно-следственной связи? (3) выводимы ли метрические свойства времени из свойств причинности?⁴

Нас будут интересовать, в основном, ответы на вопросы (1) и (2), касающиеся временного порядка и временной односторонности.

Итак, выводится ли временной порядок из причинного или, наоборот, причинный из временного?

Начнем с уточнения терминологии. Под выводимостью мы будем понимать цепь умозаключений, аналогичную той цепи звеньев, которая в исчислении предикатов представляет логический вывод. В качестве элементарных, далее неразложимых объектов в наших рассуждениях будут выступать события. О них мы будем делать определенного рода высказывания, как, например, « x есть причина y », или « x есть событие, происходящее в момент времени A или соответствующее моменту времени A ». В последнем случае можно идентифицировать событие, происходящее в момент времени A , с самим этим моментом и говорить просто о событии A как о временном событии.

Наша цель состоит в том, чтобы показать, что временной порядок событий следует из причинного, а не наоборот, или формируется на основании последнего. Поскольку ни тот, ни другой порядок не задается заранее, необходимо подойти к этому вопросу конструктивно. Такой подход в данном случае будет означать следующее. Мы докажем сначала, что класс событий, находящихся в причинно-следственной связи, можно упорядочить. Это будет достаточным условием для введения временного порядка событий, причем такой порядок будет иметь в определенном смысле безусловный характер по сравнению со всяким другим произвольным временным порядком.

Весьма общее допущение, которое следует принять на основании гносеологических соображений, сводится к тому, что в каждой паре смежных событий x и y можно различить, по крайней мере, на макроуровне причину и следствие, сопоставляя их посредством некоторого причинного отношения R , если оно имеет место. Далее, мы располагаем понятиями линейного и кругового порядков в некотором классе, элементы которого различаются между собой. Для наших целей достаточно ограничиться понятием линейного порядка.

По определению элементы $a, b, c, \dots$, принадлежащие классу K , являются упорядоченными, если над ними задано отношение «между» так, что для любой их произвольной тройки x, y, z можно указать один элемент, который находится *между* двумя другими. Будем обозначать такое отношение через (xyz) , если мы хотим, в частности, показать, что элемент y находится между элементами x и z . Понятие отношения (xyz) удовлетворяет следую-

⁴ А. М. Мостепаненко. Хроногеометрия и причинная теория времени.— «Вопросы философии», 1969, № 9, с. 56—66.

щим аксиомам: 1) если y между x и z , а z между y и v , то z между x и v ; 2) если y между x и z , а v между x и y , то y между v и z .

Посмотрим, какие отношения могут иметь место при этих условиях между *двумя* элементами. Имеются две взаимно исключающие друг друга альтернативы: 1) x предшествует y , y предшествует z ; 2) x следует за y , y следует за z . Обе альтернативы совершенно равноправны, если не указано каким-либо внешним образом направление для порядка элементов x, y, z . (Разумеется, в нашем случае никакого такого априорного направления нет.) Для упорядочивающего отношения «между» совершенно безразлично, примем ли мы во внимание для конкретности отношение «предшествует» или отношение «следует за». Важно, однако, подчеркнуть, что данное отношение нельзя менять по произволу на противоположное: если имеет место xPy и yPz , то одновременно будет yPx и zPy (т. е. неверно, что между y и x и между z и y имеет место отношение P).

Таким образом, получается эквивалентность:

$$(xyz) \sim [(xPy) \& (yPz) \& (y\bar{P}x) \& (z\bar{P}y)].$$

Из этого выражения видно, что отношение P асимметрично. Из аксиом (1) и (2) следует также заключение, что оно транзитивно. В самом деле, аксиому (1) можно записать в виде:

$$(xyz) \& (yzv) \rightarrow (xzv),$$

или

$$(xPy) \& (yPz) \& (yPz) \& (zPv) \rightarrow (xPz) \& (zPv),$$

или (по правилам логики):

$$(xPy) \& (yPz) \rightarrow (xPz). \quad (1)$$

Условие (1) означает транзитивность отношения P .

Итак, если класс содержит не менее чем три элемента, то утверждение, что y находится между x и z равносильно утверждению, что существует асимметричное транзитивное отношение между x и y и между y и z . Трехместное отношение упорядочения «между» сводится к двухместному асимметричному переходному отношению.

Перейдем теперь к отношению причинности. Здесь мы будем исходить из нашей способности обобщать (выделять) некоторую совокупность или класс причинно связанных событий. Также можно допустить, что для каждой пары событий этого класса мы умеем определять, является ли одно из этих событий непосредственной причиной другого. Если на практике реализуется наша гносеологическая способность апеллировать к смежным событиям и узнавать, какое из них является причиной, а какое — следствием, то можно также задать над рассматриваемым классом событий одно-однозначное отношение в форме предиката « x причина y », который обозначим сокращенно через « $xPру$ ».

« $x\text{Пр}y$ » означает, что x является непосредственной причиной y . В общем по опыту наблюдения допускается возможность каждое событие соотносить вполне однозначным образом двумя разными отношениями с его смежными событиями. Например, из трех смежных событий x, y, z имеется возможность выделить событие y такое, что будут иметь место отношения $x\text{Пр}y$ и $z\text{Пр}y$, где Пр — отношение, обратное отношению Пр . Отношение Пр , как и обратное ему, является, очевидно, асимметричным. Для конкретности принимается условная схема, при которой всякий раз, как только выясняется, что x является причиной (непосредственной) y , отношение $x\text{Пр}y$ ставит на первое место x , т. е. показывает, что x «предшествует» y .

Возникает вопрос, можем ли мы воспользоваться таким представлением причинного отношения для упорядочивания событий обзораемого класса? Ответ пока отрицателен. Отношение порядка, как выше было показано, должно быть асимметричным и транзитивным. Отношение же Пр транзитивным не является (из отношений $x\text{Пр}y$ и $y\text{Пр}z$ не следует, что $x\text{Пр}z$). Но от отношений $x\text{Пр}y$, $y\text{Пр}z$, ... легко перейти к отношению — обозначим его через « Det », — которое асимметрично и переходно. Действительно, пусть дан ряд (класс) событий $x, y, z, v, \dots$ таких, что $x\text{Пр}y$, $y\text{Пр}z$, $z\text{Пр}v$, ... Мы можем составить относительные произведения этих отношений в виде: $(x\text{Пр}y) \& (y\text{Пр}z) \sim \sim x\text{Пр}^2z$, где Пр^2 — относительное произведение отношения Пр на само себя; затем: $(x\text{Пр}^2z) \& (z\text{Пр}v) \sim x\text{Пр}^3v$ и т. д. Ряд отношений Пр , Пр^2 , Пр^3 , ..., Пр^n представляет собой последующие степени отношения Пр . Все они одно-однозначны и не-транзитивны. Но из этого ряда допустимо образование логической суммы (дизъюнкции) этих отношений: $x\text{Пр}yv \vee x\text{Пр}^2zv \vee x\text{Пр}^3v \vee \dots \vee x\text{Пр}^nw$. Это и будет искомое отношение « Det ». $x\text{Det}w$ в таком случае означает, что или x есть непосредственная причина w или x есть опосредствованная рядом звеньев причина w . Эта дизъюнкция дает возможность понимать причинное отношение в обобщенном смысле, когда его наделяют свойствами асимметрии и транзитивности.

Итак, мы указали способ упорядочения временных событий на основании причинно-следственного отношения. Возникает вопрос, в каком смысле подобного рода упорядоченность является безусловной, абсолютной?

Под абсолютной упорядоченностью событий обычно понимают инвариантную упорядоченность временных событий в мире Эйнштейна — Минковского. Таким образом, достаточно выбрать в качестве модели специальную теорию относительности, чтобы продемонстрировать, во-первых, что может существовать условный временной порядок событий, зависящий от той или иной инерциальной системы отсчета, во-вторых, что такой порядок может быть изменен на обратный при переходе к другой системе отсчета и, в-третьих, что существует абсолютный поря-

док событий и этот порядок определяется причинно-следственной связью.

Г. Рейхенбах, которому принадлежит одно из наиболее фундаментальных исследований топологических свойств времени, пишет по этому поводу следующее:

«Хорошо известно, что преобразования Лоренца, в которых выражается специальный принцип относительности Эйнштейна, позволяют производить обращение временного порядка некоторых событий, а именно тех, между которыми нельзя установить причинную связь. Временной порядок остается инвариантным при преобразованиях Лоренца только в том случае, если рассматриваемые события могут быть связаны посредством сигналов, т. е. посредством причинных цепей. Из этого следует, что если временной порядок был бы чем-то большим, нежели причинным порядком, тогда нельзя было бы признавать справедливость преобразований Лоренца и теории относительности Эйнштейна»⁵.

Доказанный результат означает, что если установлен причинный порядок событий $A, B, C, D, \dots$, то он, и только он, дает право упорядочивать на оси единого времени моменты времени $t_A, t_B, t_C, t_D, \dots$, или, чтобы определить, в каком порядке следуют друг за другом указанные моменты времени, необходимо исследовать, в какой причинной зависимости находятся соответствующие им временные события.

Однако следует помнить, что в соответствии с общими свойствами упорядочивающего отношения мы не располагаем никакими данными для указания абсолютного направления причинного порядка: если b находится между a и c , то отношение порядка (abc) дает равные права для утверждений « a предшествует b , b предшествует c » и « c предшествует b , b предшествует a ». Но это означает, что задание причинного порядка еще недостаточно для определения направления времени. На вопрос, определяется ли свойство однонаправленности времени свойством причинно-следственного отношения событий, следует ответить отрицательно. Здесь и теория относительности не дает в наше распоряжение никаких дополнительных данных для противоположного ответа.

«...Если бы временной порядок,—замечает Рейхенбах,—представлял собой нечто большее по сравнению с причинным порядком, то временной порядок этой теории был бы несостоятельным. Различие между времени-подобными и пространственно-подобными интервалами в мире Эйнштейна — Минковского идентично с различием между причинно упорядоченными событиями и событиями, временной порядок которых является неопределенным. Поэтому замечание, что теория Эйнштейна *предполагает*

⁵ Г. Рейхенбах. Направление времени. М., 1962, с. 42.

причинное определение времени и не требует определения его направления, остается справедливым»⁶.

Указанное обстоятельство объясняет тот факт, что обоснование асимметрии времени строят на других началах, в частности апеллируют к законам таких физических теорий, как теория электромагнитных процессов и термодинамика.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СТРЕЛА ВРЕМЕНИ И ЕЕ СВЯЗЬ С СОСТОЯНИЕМ ВСЕЛЕННОЙ

При дальнейшем изложении будут уточняться такие понятийные термины, как «однонаправленность», «изотропия», «необратимость», «асимметрия», «стрела» времени, на основании только фактов и законов физики. Все указанные термины соотносятся так или иначе со следующим тезисом, выраженным словами обывденного языка:

Время движется от прошлого к будущему, и прошлое никогда не возвращается.

Рассмотрим этот тезис с точки зрения классической механики и специальной теории относительности. Здесь можно констатировать, что все физические явления разыгрываются на фоне четырехмерного пространства-времени. Законы, описывающие эти явления, выражаются в виде частных дифференциальных уравнений, в которых независимыми переменными являются одна временная и три пространственные координаты.

Эти законы подчиняются определенным принципам симметрии. Они симметричны в отношении пространства и времени, в частности, в том смысле, что в них не проявляются различия между правым и левым, прошлым и будущим. Законы классической физики допускают наряду с процессами, описываемыми в положительном направлении времени, существование *обращенных* процессов, описываемых в отрицательном направлении времени.

Однако, если с точки зрения повседневного опыта различие между левым и правым сугубо условно, различие между прошлым и будущим абсолютно. Это заставляет подозревать, что время на самом деле является *асимметричным*, хотя эта асимметрия и не проявляется в законах механики.

Ясно, что, если время обладает какими-то свойствами, которые не допускают существование обращенных процессов, можно говорить о необратимости времени — понятии, которое в данном случае совпадает с понятием асимметрии. Различают два разных смысла, в которых физические процессы интерпретируются как необратимые, — строгий и нестрогий, или, соответственно, номологический и фактуальный. Фактуальный смысл необратимости состоит в том, что обращение процессов во времени ни-

⁶ Г. Рейхенбах. Направление времени, с. 64—65 (курсив мой.—Л. А.)

когда не происходит и запрещается по следующим соображениям: некоторые частные условия де-факто (начальные или граничные), существующие во Вселенной независимо от какого-либо закона (или законов), совместно с соответствующим законом (или законами) делают обращение во времени де-факто невозможным, хотя никакой отдельный закон или комбинация разных законов сами по себе не запрещают такого обращения. Необратимость в номологическом смысле означает, что, наоборот, обращение во времени запрещается каким-то законом или комбинацией законов⁷.

С этой точки зрения время классической физики (механики) является номологически обратимым и необратимым в смысле де-факто.

Ссылка на начальные условия не всегда удовлетворительна, поскольку после нее еще остается необходимость объяснить сами начальные условия. В конечном итоге мы можем переместить начальные условия в условия образования нашей Вселенной, но и тогда остается без ответа вопрос: почему из всех возможных начальных условий оказались реализованными именно такие-то специфичные условия⁸. Это, естественно, вызывает неудовлетворенность, однако на подобный вопрос нельзя разумно ответить, не впадая в регресс, уводящий в бесконечность.

Как мы уже выше отмечали, отграничение начальных условий в состоянии Вселенной от ее развития во времени имело бы смысл только в том случае, если бы время было чем-то внешним по отношению ко Вселенной. В противном случае состояние Вселенной, равно как и космологическая стрела времени, о которой мы судим, наблюдая за движением космологических объектов изнутри Вселенной, не могут быть отделены друг от друга. Однако если постулируется существование космологической стрелы времени, можно исследовать, в какой корреляции она находится с другими возможными стрелами времени и, в частности, с электромагнитной.

Прежде чем перейти к анализу времени в электродинамике, следует уточнить понятие «стрела времени». Некоторые исследователи вообще отрицают правомерность этого понятия. Так, А. Грюнбаум сводит понятие необратимости времени к понятию его анизотропии и в связи с этим указывает, что следует проводить четкое различие между двумя следующими вопросами: 1) испытывают ли становление физические события независимо от какого-либо концептуального осознания их осуществления и 2) существуют ли какие-либо физические или биологические процессы, которые являются необратимыми в силу законов природы и (или) де-факто господствующих граничных условий?⁹

⁷ А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 265—266.

⁸ J. V. Narlikar. The Direction of Time.— «The British Journal for Philosophy of Science», 1965, v. XV, N 60.

⁹ А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 385.

На второй вопрос он попытается ответить положительно на основании (термодинамической) анизотропии времени. На первый же из них он отвечает отрицательно. «Ибо, — пишет Грюнбаум, — о стреле неверно говорят так, как будто она выражает «однонаправленное течение времени вперед», в таком случае существует и становление, ибо последнее понимается как «движение» вперед настоящего. И, опираясь на это ошибочное отождествление, обосновывают затем столь же неверное утверждение о том, что положительный ответ на вопрос о необратимости содержит и положительный ответ на вопрос о становлении»¹⁰.

Другими словами, Грюнбаум отождествляет понятие становления событий со скольжением в будущее «теперь», которое, как момент настоящего, не имеет независимого от сознания субъекта существования. Ниже мы скажем несколько слов в защиту понятия становления, которое вовсе не обязательно связывать с субъективным понятием «теперь». Здесь же ограничимся тем, что будем использовать понятие «становление» и соответственно «стрела времени» или «течение времени» без дополнительных разъяснений, ссылаясь на наблюдаемое состояние Вселенной, с которым соотносится космологическая стрела времени.

В электродинамике решение исходных уравнений приводит к уравнениям двух видов: с запаздывающими потенциалами и с опережающими потенциалами. Если исходить из того, что причина всегда предшествует действию, и тем самым отказаться от допущения, что причина того или иного явления, происходящего в настоящее время, может относиться к будущему времени, то неизбежен вывод: уравнения с опережающими потенциалами описывают обращенные во времени процессы. Примером обращенного процесса является электромагнитная сферическая волна, сходящаяся к точке, процесс, противоположный затуханию осциллирующего заряда, и т. п.

На каком основании отбрасываются, как не имеющие физического смысла, уравнения с опережающими потенциалами? На основании закона причинности. Закон причинности, как уже указывалось выше, кажется достаточно интуитивно ясным, чтобы его с успехом применять для упорядочивания временных событий на уровне макромира и руководствоваться выбором вполне определенных решений уравнений в классической электродинамике. Однако в *квантовой* электродинамике дело уже не обстоит столь просто: здесь нельзя с ходу отбросить решения уравнений с опережающими потенциалами. То, что обычно называется *условиями микропричинности* в квантовой теории поля, сводится к условиям *локальной коммутативности*, т. е. требованию отсутствия какой-либо причинной связи между значениями полей, взятых в областях, расположенных пространственноподобно по

¹⁰ А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 385.

отношению друг к другу¹¹, и не имеет отношения к асимметрии времени. В 1945 г. Дж. Уилер и Р. Фейнман поставили задачу выяснить в созданной квантовой теории взаимодействия частиц те трудности, которые имеют чисто классическое происхождение. В связи с этим они заново переформулировали классическую электродинамику в терминах «действия на расстоянии»¹². Точнее говоря, речь идет не о дальном действии, а о непосредственном взаимодействии частиц, при описании которого не требуется представления поля как самостоятельной сущности, могущей существовать в отрыве от частиц: заряженные частицы действуют непосредственно друг на друга лишь с учетом того, что это действие распространяется с конечной скоростью, равной скорости света.

«Самая большая концептуальная трудность,— пишут авторы,— которая возникает в теории непосредственного взаимодействия частиц, заключается в том обстоятельстве, что она неразрывно оперирует как с запаздывающими действиями, например a на b , так и с опережающими действиями b на a . Описание, использующее одни только запаздывающие силы, нарушило бы закон действия и противодействия, или, говоря языком математики, не могло бы быть выведено из единого принципа стационарного действия»¹³. В элементарной форме сказанное можно пояснить следующим образом. Допустим, что два электрических заряда a и b расположены на расстоянии друг от друга в один световой час. Тогда действие из a , которое начинается, например, в 5 часов, достигнет b в 6 часов. Поскольку данное действие должно иметь равное противодействие, подразумевается, что реакция в b начинается в 6 часов и достигает a в 5 часов. Действие a на b в таком случае называется запаздывающим эффектом, а действие b на a — опережающим. Оба эффекта равно необходимы в теории.

Допущение опережающего эффекта вступает в явный конфликт с концепцией причинности. Противоречие начинается с мысли: если на настоящее движение a влияет будущее движение b , тогда наблюдение a приписывает определенную неизбежность движению b . Не находится ли это заключение, спрашивают авторы, в противоречии с нашей признанной способностью влиять на будущее движение b ? Опережающие действия вступают, таким образом, в конфликт как с опытом, так и с элементарными понятиями причинности.

Однако опыт никогда не относится только к двум частицам. Исходя из того, что Вселенная не состоит только из двух частиц

¹¹ Д. И. Блохинцев. Пространство и время в микромире. М., 1970, с. 150.

¹² J. A. Wheeler and R. P. Feynman. Interaction with Absorber as the Mechanism of Radiation.— «Reviews of Modern Physics», 1945, v. 17, N 2 and 3; J. A. Wheeler and R. P. Feynman. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action.— «Reviews of Modern Physics», 1949, v. 21, N 3.

¹³ «Reviews of Modern Physics», 1949, v. 21, N 3, p. 427.

и что надо принимать во внимание эффекты опережения не только от частицы b , но и от всех других частиц $c, d, e, \dots$ во Вселенной, Уилер и Фейнман смогли показать, что в бесконечной статической Вселенной с однородным распределением зарядов суммарная реакция на a со стороны всех остальных зарядов такова, что она обеспечивает затухание движения заряда a . Таким образом, эффект, комбинированный от действия всех зарядов на заряд a , включая сам этот заряд, является эффектом чистого запоздания, что согласуется с опытом.

Важно обратить внимание на то обстоятельство, что здесь выбор запаздывающего решения перестает быть условным и диктуется видом Вселенной. Несмотря на то, что Уилер и Фейнман в своих расчетах исходили из неверной модели Вселенной, их идеи были подхвачены другими авторами, и в последующих работах Дж. Е. Хогарта, Ф. Хойла, Дж. В. Нарликара и др.¹⁴ связь фактора расширения Вселенной (т. е. космологической стрелы времени) с электромагнитной стрелой стала более ощутимой.

ФАКТОР ВРЕМЕНИ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОДИНАМИКИ

Хотя законы термодинамики до сих пор по традиции считаются основополагающими в проблеме необратимости времени, все же они оказываются недостаточными для обоснования стрелы времени. Они акцентируют внимание, по образному выражению Грюнбаума, на «хвостовой части стрелы», оставляясь безучастными к ее наконечнику. Чтобы пояснить, в чем тут дело, вернемся к понятию причинного порядка времени. Этот порядок мы обосновали с помощью концепции причинности, отражающей наш макроскопический опыт.

Представим теперь, что направление времени задается совершенно независимым от причинности образом, скажем, на основании понятия становления. В таком случае порядок следования моментов времени может быть определен по указанному внешним образом направлению временной линии совершенно независимо от причинного порядка. Более того, может оказаться, что с точки зрения заданного таким абсолютным образом временного порядка причинный порядок будет, по крайней мере, локально нарушаться. Это означает, что на некоторых отрезках времени причины могут следовать за своими действиями, а не наоборот.

Точно так же, если направление времени связать только с процессами возрастания энтропии в физических системах, придется считаться с отличной от нуля вероятностью того, что существуют системы, в которых энтропия спонтанно уменьшается, а время, следовательно, течет в обратном направлении. Только зада-

¹⁴ Краткую библиографию этих работ см. в «The British Journal for the Philosophy of Science», 1965, v. XV, N 60, p. 281—285.

ние стрелы времени независимым от свойств термодинамических систем способом позволяет избежать парадокса. Для более глубокого понимания этого результата рассмотрим полуэмпирические формулировки зависимости направления времени от необратимых процессов.

В одной из них проблема ставится следующим образом. Уравнения механики, которыми должны описываться все системы, в том числе статистические, обратимы во времени; решения уравнений тоже обратимы. Однако в статистических системах протекают необратимые процессы. Эти процессы описываются уже другими уравнениями (в частности уравнениями гидродинамики и термодинамики), содержащими явно неинвариантные по отношению к инверсии времени члены.

Каким же образом происходит столь необычная метаморфоза, т. е. как «выводятся» кинетические (необратимые) уравнения из механических (обратимых)? Оказывается, что при «выводе» первых из последних проводится процедура усреднения, которая заранее не содержится в постулатах механики. Усреднение, ведущее к необратимости, включает в себя один важный принципиальный момент, который обусловлен неустойчивостью исходных решений механики. Неустойчивость вызывается потерями (рассеянием) энергии в системе. Если в такой системе происходят многократные взаимодействия частиц и в момент t_0 произойдет случайное возмущение траектории частицы на величину Δx_0 , то затем это отклонение будет развиваться по закону

$$\Delta x(t) = \Delta x_0 e^{\lambda(t)}.$$

Динамическим характером обладают устойчивые или слабо неустойчивые системы, для которых $\text{Re} \lambda(t) \leq 1$. Сильно неустойчивые системы, для которых $\text{Re} \lambda(t)$ может принимать значения $\text{Re} \lambda(t) \gg 1$, относятся к статистическим системам¹⁵.

Итак, мы находим здесь объяснение временной необратимости в диссипации энергии. Такая точка зрения дает удовлетворительное объяснение феномену необратимости на уровне макромира (в рамках классической физики). Некоторые исследователи, однако, трактуют ее столь широко, что считают вообще необходимой и достаточной для объяснения асимметрии времени. Пример этого мы находим в статье Ф. Моррисона «Направление времени и внешние возмущения»¹⁶.

По мнению Моррисона, направление времени как объективный факт определяется не особыми, скажем, космологическими

¹⁵ И. Н. Сисакян, Е. Л. Фейнберг, Д. С. Чернавский. Статистическая теория взаимодействия адронов.— В кн.: Теория взаимодействия элементарных частиц при высоких энергиях.— «Труды Физического института АН СССР», 1972, т. 57, с. 229—231.

¹⁶ Ф. Моррисон. Направление времени и внешние возмущения.— «Успехи физических наук», 1967, т. 92, вып. 1.

или термодинамическими законами, а является неизбежным следствием *всех* физических законов. При этом автор, однако, апеллирует к *классическим* утверждениям о законах природы, когда говорит, что для любой системы подразумевается пренебрежение малыми физическими возмущениями (энергии), т. е. допускается пренебрежение каким-то количеством δE , которым нельзя пренебрегать для конечной системы и которое фактически всегда достаточно велико, чтобы нарушить идеальную конструкцию прошлого, симметричного по отношению к будущему¹⁷.

Концепция Моррисона не является столь неуязвимой, как это может показаться на первый взгляд. Дело в том, что, как только мы переходим от физики, описывающей процессы на макроуровне, к физике микромира, представленная картина плохо увязывается с фактами квантовой теории.

Один из таких любопытных фактов зафиксирован на заре возникновения квантовой механики. В своих ранних работах М. Планк вывел формулу для энтропии пучка света, которая недвусмысленно показывала, что распределение энергии одного луча между двумя лучами, подобными ему в геометрическом отношении (и, следовательно, например, равной длины), связано с увеличением энтропии: общая энтропия должна быть равной сумме энтропий каждого пучка в отдельности. Это казалось естественным следствием второго закона термодинамики, истолкованного с точки зрения диссипации энергии.

Однако, как вскоре выяснилось, имеют место случаи, когда энтропия двух лучей, образованных из одного путем, скажем, его отражения и преломления, в точности равна энтропии первоначального луча. Это происходит тогда, когда лучи сохраняют способность к интерференции, т. е. остаются когерентными. В таком случае разделение первоначального луча не сопровождается необратимым процессом¹⁸.

Впоследствии квантовая теория физики выявила на уровне микромира два принципиально различных физических процесса. Один из них акаузален (по терминологии И. фон Неймана), термодинамически необратим; он представляется как редукция волновой функции и выступает в качестве необходимой предпосылки всякого измерения, имеющего место в квантовой физике. Другой процесс имеет волновую природу, он каузален (описывается уравнением Шредингера), термодинамически обратим.

Дж. фон Нейман количественно определил энтропию, которая возникает в процессе квантовомеханического измерения, и констатировал фундаментальный характер различия между двумя процессами. «Хотя наше выражение для энтропии,— писал он,— является, как мы видели, образованием, совершенно аналогичным классической энтропии, представляется удивительным,

¹⁷ «Успехи физических наук», 1967, т. 92, вып. 1, с. 160.

¹⁸ М. Лауэ. История физики. М., 1956, с. 181—182.

что при временном развитии системы (процесс 2) она остается постоянной и увеличивается только при измерениях (процесс 1), — в классической теории (где измерения вообще не играют роли) она ведь, как правило, увеличивалась уже при обычном механическом развитии системы во времени. Поэтому этот кажущийся парадокс пуждается в разъяснении»¹⁹.

С тех пор, как фон Нейманом были написаны эти слова, прошло более сорока лет. За этот период «кажущийся парадокс» не только не был разрешен за счет сглаживания различий между процессом 1 и процессом 2, но скорее наоборот, сам стал основой для разрешения других парадоксов квантовой теории и, в первую очередь, позволил провести демаркационную линию между сводимыми и несводимыми вероятностями квантовой физики, имеющими соответственно субъективный и объективно-онтологический статус. Здесь нам достаточно констатировать следующее важное обстоятельство. Исходя из положений существующей квантовой теории, нельзя автоматически распространять на процессы микромира статус законов макроскопической физики, свидетельствующих, как представляется, о необратимости времени. Фактор времени имеет место и в процессах микромира; те процессы, которые кажутся необратимыми на уровне макромира, могут предстать совершенно в другом свете на уровне микромира.

И в самом деле, если мы посмотрим на концепцию необратимости времени в рамках феноменологической термодинамики, а затем перейдем к ее теоретическому обоснованию на вероятностной основе, получим совершенно разные выводы.

Действительно, понятие термодинамической необратимости времени возникло на основе второго начала термодинамики, или принципа возрастания энтропии. Второе начало термодинамики указывает на отличительную особенность наблюдаемых на макроуровне тепловых процессов физики: тепло самопроизвольно переходит от тел с более высокой температурой к телам с более низкой температурой; при этом никогда не осуществляется изотермическое превращение теплоты в работу, в то время как превращение работы в теплоту не обусловлено подобными рамками.

Эта качественная особенность тепловых процессов характеризуется некоторой количественной мерой, которую и называют энтропией. Удивительное свойство энтропии заключается в ее тенденции возрастания. Во всякой замкнутой системе энтропия в крайнем случае может лишь оставаться постоянной. А этот крайний случай — случай обратимого процесса. Во всех необратимых процессах энтропия в замкнутой системе возрастает.

¹⁹ Дж. фон Нейман. Математические основы квантовой механики. М., 1964, с. 293.

Чтобы понять, каким образом принцип возрастания энтропии может быть связан с необратимостью времени, необходимо учесть согласованность в поведении всех (или, возможно, большинства) замкнутых систем. Например, пусть даны любые две такие системы A и B , ни одна из которых не находится в состоянии термодинамического равновесия. Если энтропийное состояние S_{A_i} системы A одновременно с энтропийным состоянием S_{B_j} системы B , тогда состояние S_{A_k} ни в коем случае не может быть одновременным с некоторым S_{B_l} при условии, что $S_{A_k} > S_{A_j}$, в то время как $S_{B_l} < S_{B_j}$ ²⁰.

Таким образом можно выделить преимущественное направление времени — в направлении возрастания энтропии.

Немного, однако, найдется исследователей, которые удовлетворятся таким способом объяснения фактора необратимости времени и закроют глаза на то обстоятельство, что сам закон возрастания энтропии, как феноменологический принцип, требует своего собственного обоснования. А между тем он не только требует обоснования, но и находит такое вероятностно-статистическое обоснование, предложенное Л. Больцманом.

В частности, Н-теорема Больцмана утверждает, что если замкнутая система находится в неравновесном состоянии относительно низкой энтропии, то возрастание энтропии со временем имеет подавляющую вероятность благодаря переходу частиц в состояние с равновесным распределением.

Можно было бы удовлетвориться результатом этой теоремы, связав направление времени с асимметрией поведения системы, определяемого различными вероятностями перехода системы от одного состояния к другому. Однако ряду исследователей²¹ вскоре удалось показать, что замкнутая система опускается из состояния высокой энтропии в состояние с более низкой энтропией столь же часто, как и поднимается в противоположном направлении. Это делает равной *абсолютную* вероятность этих двух переходов противоположного типа, хотя и не противоречит утверждению о том, что *если* система находится в состоянии с низкой энтропией, то *относительно* этого состояния весьма вероятно, что система скоро перейдет в состояние с более высокой энтропией.

Поэтому, если ставится вопрос, существует ли *энтропийная* основа необратимости времени, опирающаяся на закономерности поведения замкнутых физических систем, на него должен быть дан отрицательный ответ.

То обоснование энтропийной необратимости времени, которое может считаться в настоящее время более удовлетворительным, было предложено Э. Шредингером, Г. Рейхенбахом и А. Грюнбаумом²². Здесь достаточно будет отметить, что предлагаемое

²⁰ См.: А. Грюнбаум. Философские проблемы пространства и времени, с. 279.

²¹ См.: там же, с. 301.

²² Там же; Г. Рейхенбах. Направление времени.

обоснование связано с переходом от рассмотрения замкнутых систем к квазизамкнутым, или «ответвляющимся», системам. Эта концепция ни в коей мере не обосновывает стрелу времени, поскольку она не исключает конечной вероятности движения времени в обратном направлении.

А что если вообще отказаться от понятий становления во времени и течения самого времени? Отказ наделять смыслом понятие «течение», «движение» времени сделал бы, возможно, менее уязвимой концепцию энтропийной анизотропии времени. Именно к такому решению проблемы склоняется Грюнбаум.

Мы полагаем, что критика Грюнбаумом понятия становления, понимаемого как «течение» мгновения «теперь», имеющего субъективно-психологический характер, вполне оправдана. Но дело в том, что нет никакой логической необходимости понимать концепцию становления в таком узкоантропоморфном плане. Напротив, в этой концепции, скорее, отражаются объективные свойства динамических процессов.

КОНЦЕПЦИЯ ВРЕМЕННОГО СТАНОВЛЕНИЯ

Эта концепция требует для своей защиты привлечения к анализу понятий о других свойствах времени, помимо свойства необратимости. Вообще логика исследования всякого предмета претендует на то, чтобы было дано определение предмета, внесена ясность в вопрос, о каком, собственно говоря, предмете идет речь. Что касается определения времени, то в этой проблеме достаточно ясен лишь один момент, который имеет негативное значение: в силу категориального значения понятия времени любое рациональное его определение оказывается непредикативным. Нельзя, например, определить время на основании концепции становления, не ссылаясь при этом на само время, так как становление *любых* событий (их приход в бытие и исчезновение) происходит именно во времени.

Все же некоторые пояснения кажутся нам важными, и, прежде всего, необходимо подчеркнуть, что сущность времени нельзя понять в отрыве от характеристик движения материальных объектов, в отрыве от исследования свойств динамических процессов. Уже Аристотель внес в эту проблему некоторую ясность, когда писал в «Физике»: «Так как время скорее всего представляется каким-то движением и изменением, то это и следует рассмотреть»²³. И далее: «Мы не только измеряем движение временем, но и время движением вследствие их взаимного определения, ибо время определяет движение, будучи его числом, а движение — время»²⁴.

²³ Аристотель. Физика. М., 1936, с. 77 (218 b).

²⁴ Там же, с. 81 (220 b).

В числе усматривал Аристотель меру времени. С позиций достижений науки и философии наших дней аристотелевское определение можно видоизменить и сказать: время в своей предельной абстракции есть безмерная (безразличная к качеству) мера всякого движения. Это, кажется, звучит несколько парадоксально, но, если данный тезис рассматривать как первое звено в восхождении от абстрактного к конкретному, сомнения постепенно рассеиваются.

Именно первое звено есть та предельная абстракция и идеализация времени, которая известна нам как «время» математическое и «время», используемое в классической механике. В самом деле, мы знаем, что любой конкретный процесс в природе имеет свою меру, в рамках которой он остается более или менее однородным до тех пор, пока количественные изменения не перейдут в качественные. Но классическая механика отвлекается от таких качественных изменений: материальные точки не подвержены никаким превращениям, и движутся они в однородных пространстве и времени.

Как же в таком случае согласовать динамические характеристики времени с тем, что оно безмерно? Выше мы видели, что Грюнбаум, столкнувшись с этим противоречием, элиминировал его, отказавшись от приписывания времени статуса становления: нужно говорить не о становлении и стреле времени, а только об анизотропии времени; время асимметрично в отношении направлений в прошлое и будущее в том смысле, что воображаемый наблюдатель, двигаясь в положительном направлении времени, будет регистрировать в подавляющем большинстве случаев термодинамические процессы, характеризующиеся возрастанием энтропии. Этого не было бы, если бы наблюдатель двигался в обратном направлении времени.

Однако возникающее противоречие можно разрешить и другим методом. Исследование реального способа измерения времени показывает, что этот способ предполагает сравнение мер различных естественных процессов и поиск столь обширной меры, которая перекрывала бы все другие меры известных физических процессов. *В абстракции* совершается предельный переход к такой мере, которая вообще лишена качественных границ, — время становится чистым количеством. Примером может служить абсолютное время Ньютона. Возможно, эту же специфику времени имел в виду Аристотель, когда высказал следующую мысль: «Так как быть во времени значит быть в числе, то можно взять время, большее всякого, в котором находится что-либо; поэтому все находящееся во времени необходимо объемлется временем, как и все другое, что находится в чем-нибудь, например, как находящееся в месте объемлется местом»²⁵. Это значит: всякий отрезок

²⁵ Аристотель. Физика, с. 82 (221 а).

времени есть мера некоторого процесса, которая перекрывается мерой другого процесса, и так далее до полной всеобъемлемости.

Что же следует сделать, чтобы иметь предпосылки для более реального исследования вопроса об однонаправленности времени? По-видимому, мы должны пойти по пути, обратном тому, на котором была получена столь неоправданная в данном вопросе абстракция времени как чистого количества. В таком случае первый обратный шаг от абстракции уже разрушит наше представление о времени как безмерной мере. Мы должны будем «поместить» само время в некоторые рамки на узловой линии мер и убедиться в том, что на границах этих рамок совершаются такие переходы количественных изменений в качественные, которые задают определенное направление.

Предельно допустимая экстраполяция в смысле поиска универсальной меры всякого физического процесса охватывает всю Вселенную. Граничные условия, определяющие развитие Вселенной, точнее, определяющие состояние ее расширения, могут быть приняты за исходный узловой пункт универсальной меры. Эту меру, открытую с одной стороны, возможно, и следует рассматривать как указатель направления времени.

Многие исследователи, такие, как О. Коста де Борегар²⁶, Г. Мельберг²⁷ и другие, считают, что время является только фактуально необратимым, а условия необратимости де-факто суть начальные или граничные условия на макроуровне. Если эти начальные (граничные) условия экстраполировать на всю Вселенную, то они окажутся детерминирующими характер ее эволюции (расширения). Этим определяется космологическая стрела времени. Но если мы исследуем асимметрию времени в других отношениях, например электромагнитную стрелу времени, то для нее вопрос о граничных условиях сводится фактически к вопросу о состоянии Вселенной. Отмеченные выше особенности корреляции этих двух стрел времени могут свидетельствовать о том, что в сжимающейся Вселенной наблюдались бы не расходящиеся, а сходящиеся электромагнитные волны.

Что касается термодинамической необратимости времени, характеризующей время в смысле анизотропии, то здесь более или менее уверенно можно сказать лишь, что процесс сжатия Вселенной не сделал бы время изотропным. Однако вопрос о корреляции космологической стрелы времени с условным направлением времени, определяемым его анизотропией, остается открытым.

²⁶ O. Costa de Beauregard. Information and Irreversibility Problems.— In: Time in Science and Philosophy. Prague, 1971.

²⁷ H. Mehlberg. Philosophical Aspects of Physical Time.— In: Time in Science and Philosophy.

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ И ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Второе начало термодинамики занимает в системе научного знания место своеобразное и, пожалуй, мало с чем сравнимое. С одной стороны, оно претендует на столь же фундаментальный статус, как, например, и первое начало (закон сохранения энергии). С другой стороны, оно неоднократно казалось в прошлом (да кажется многим и сейчас) каким-то «нежелательным» законом, который неплохо было бы как-то ограничить, «ущемить» (если уже нельзя опровергнуть).

Рассмотрение «трудной судьбы» второго начала представляется разумным начать с исторического экскурса. К 50-м годам XIX в. в физике возникла сложная ситуация. Поскольку теплород как носитель тепла был упразднен, то необходимость в разнице температур между телами для перевода тепловой энергии в механическую оказывалась теоретически необъяснимой и ненужной — ведь первое начало термодинамики говорит только о превращаемости разных видов энергии друг в друга в эквивалентных количествах, но никак не касается условий таких взаимопревращений. Практика же показывала, что без температурного градиента механическую работу получить нельзя.

Клаузиус первым понял, что переход тепла от более нагретого тела к менее нагретому (с учетом того, что часть тепла может теряться при переходе в механическую энергию) представляет фундаментальную закономерность, не выводимую из закона сохранения энергии, которая является поэтому совершенно независимым положением — вторым началом термодинамики.

Введение Клаузиусом важнейшего понятия энтропии являлось не более чем результатом формально-логического анализа положения, полностью основанного на втором начале. Обычно за основную формулировку второго начала принимают либо постулат Клаузиуса, либо, чаще, определение Томсона — Планка, либо сам принцип существования и увеличения энтропии. Несущественно, какую из них считать основной, ибо они равноправны, что заметили еще основоположники термодинамики¹. Можно любую из них или любое следствие, вытекающее из них, считать основной формулировкой второго начала, тогда все остальные будут являться следствиями. Равноправность этих положений основана на общем методе их доказательства, когда методом «от противного» приходят к противоречию с неопровержимыми опытными данными, на которых основана исходная аксиома. В более общем смысле различные формулировки второго начала эквивалентны

¹ См.: Второе начало термодинамики. М.— Л., 1934, с. 167.

потому, что они фактически описывают с разных сторон некое всеобщее свойство — необратимость всех реальных процессов.

Открытие второго начала термодинамики в качестве общего закона с необходимостью вело к определенной логике рассуждения.

Тепло не может самопроизвольно, без компенсации перейти от холодного тела к горячему (эти тела назовем системой *A*). Но такой процесс может произойти в случае «компенсации», т. е. за счет работы какой-то второй машины (система *B*). Сама же эта работа, в свою очередь, может быть получена лишь за счет «нормального» потока тепла в системе *B* (т. е. от горячего к холодному, что происходит, как известно, с ростом энтропии); причем энтропия системы *B* возрастет на большую величину по сравнению с ее уменьшением в системе *A*, так что суммарная энтропия систем *A* и *B* увеличится. Можно уменьшить энтропию систем *A* и *B* с помощью механической работы третьей системы *C*. Однако суммарная энтропия всех трех систем опять-таки увеличится и будет больше, чем начальная энтропия любой из них.

Мы можем продолжить этот мысленный эксперимент и дальше, вплоть до системы, включающей всю Землю и другие планеты. Факт монотонного увеличения энтропии позволил Томсону сделать заключение о необратимом изменении всех процессов в масштабах планеты и, в связи с этим, о появлении и затем уничтожении условий для жизни на Земле. «В прошлом, отстоящем на конечный промежуток времени от настоящего момента, — писал в 1852 г. Томсон, — Земля находилась и спустя конечный промежуток времени она снова очутится в состоянии, непригодном для обитания человека, если только... в будущем не будут предприняты такие меры, которые являются неосуществимыми при наличии законов, регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире»².

В этом отрывке, как можно видеть, нет никакого обоснования «тепловой смерти» Вселенной. Скорее эти слова переключаются с диалектической идеей о конечности всякой конкретной формы движения материи.

Позднее Клаузиус выразил универсальность обоих начал термодинамики таким образом: «Можно, — писал он, — оба главных положения механической теории теплоты сформулировать как основные законы Вселенной в следующей простой форме: 1. Энергия мира постоянна. 2. Энтропия мира стремится к максимуму»³.

Именно благодаря употреблению Клаузиусом выражения «энтропия мира стремится к максимуму» его, наряду с Томсоном, многие считают основоположником теории «тепловой смерти Вселенной».

² В. Томсон. О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии. — В кн.: Второе начало термодинамики, с. 182.

³ «Annalen der Physik und Chemie», 1865, Bd. 125, N 7, S. 410.

Конечно, уровень науки XIX в. не позволял решить проблему экстраполяции второго начала на Вселенную иначе, как признавая переход всех видов энергии в тепловую, прекращение после этого каких-либо энергетических взаимопереходов и, следовательно, «тепловую смерть» Вселенной⁴. Клаузиус, видимо, предполагал, какие далеко идущие выводы могут сделать люди, далекие от науки, из формулы «энтропия мира стремится к максимуму» и поэтому не решался опубликовать статью о необратимых процессах, в которой содержалась его «многострадальная» фраза, в течение восьми лет. Возможно, что объективно эта фраза и послужила в свое время «основанием» для псевдонаучных спекуляций (сам Клаузиус от них воздерживался).

Здесь заслуживает быть отмеченным следующий факт. Утверждение о постоянстве энергии в мире (первое начало термодинамики) и положение об увеличении энтропии (второе начало) в формулировке Клаузиуса имеют совершенно равную степень общности — и в том и в другом случае они действительны для всей Вселенной. Но если признание всеобщности закона сохранения энергии не только не ломало стихийно-материалистического мировоззрения большинства ученых, но и послужило для него естественнонаучным основанием, то признание всеобщности второго начала в то время казалось несовместимым со стихийно-материалистическим пониманием мира как существующего вечно в пространстве и времени в бесконечном круговороте материи.

Как видим, уже вскоре после установления второго начала его действие, а вернее, результат его действия начали связывать с возможностью существования Вселенной, но поскольку идея эволюции в космологию тогда не проникла, то проще было отрицать еще не окрепший закон, чем отречься от привычной картины мироздания.

На наш взгляд, в истории борьбы вокруг второго начала, во время которой оно «самоутверждалось», можно выделить, по крайней мере, три этапа. Вначале просто назовем их.

1. Отрицание второго начала *физическими средствами*.

2. Признание второго начала как частного физического закона, но отрицание его действия из философских соображений в масштабах Вселенной.

3. Признание неограниченного действия второго начала (но без «тепловой смерти»!) с соответствующими философскими выводами, что стало возможным лишь при определенном развитии теоретической физики.

Первый этап начался с попыток «доказать» несостоятельность второго начала как твердо установленного физического закона.

⁴ Очевидно, трудно именовать такое умозаключение физической теорией, и в этом смысле «теории тепловой смерти» вообще никогда не существовало. В данной статье этот термин применяется только потому, что он уже давно «прижился» в литературе.

Последовали многочисленные схемы идеальных и реальных установок (схема Ранкина, Гирна, Тэта, Престона и др.), которые должны были опровергнуть второе начало и несостоятельность или ошибочность большинства из которых доказал еще сам Клаузиус⁵. К этому же этапу относятся многочисленные, но безуспешные попытки вывести теорему о зависимости к. п. д. тепловой машины только от разности температур нагревателя и холодильника без какой-либо связи с постулатом Клаузиуса⁶. Когда все физические атаки на второе начало были отбиты, некоторые материалистически настроенные ученые (например, Тэт, который ранее сам весьма рьяно опровергал второе начало) начали поддерживать мрачные прогнозы о «тепловой смерти» мира. К этой же группе примкнули и известные русские ученые-материалисты А. И. Вышнеградский, А. Г. Столетов и другие. В какой-то мере происшедшую метаморфозу можно объяснить их доверием к точно установленным научным положениям — ведь до работ Л. Больцмана вообще невозможно было в рамках существующей физической теории оторвать второе начало от, как казалось, логически неизбежной «тепловой смерти».

Тем более важными в методологическом плане могут считать-ся идеи Энгельса о невозможности «тепловой смерти» Вселенной, о неисчерпаемости движения в качественном смысле, о бесконечной смене одних видов движения материи другими. Известно, что эти идеи были опубликованы впервые только в 1925 г. в «Диалектике природы»⁷. Но сам факт, что аналогичные идеи были распространены среди довольно широкой части естествоиспытателей того времени, говорит об их методологической роли, заставлявшей физиков искать научное решение проблемы.

Насколько был труден путь физического решения проблемы «тепловой смерти», можно видеть на примере создания «флуктуационной гипотезы» Л. Больцмана.

В докладе в Венской Академии наук, прочитанном Больцманом в 1886 г., т. е. уже почти через 10 лет после опубликования работ по интерпретации энтропии как вероятности состояния системы, он заявил: «Все попытки спасти Вселенную от этой тепловой смерти оказались безуспешными, и для того, чтобы не

⁵ См. подробнее в кн.: Б. И. Спасский. История физики, ч. II. М., 1964, с. 29—36.

⁶ В целом попытки «опровержения» второго начала оказались бесполезными, так как они привели к созданию аксиоматической термодинамики. Однако следует подчеркнуть, что в работах по аксиоматике критический анализ теории Клаузиуса сводился в итоге не к отрицанию второго начала, а к созданию более жесткого термодинамического формализма, не использующего в своих построениях каких-либо дополнительных посылок (метода циклов), кроме основного постулата. См., например: К. Каратеодори. Об основах термодинамики. — В кн.: Развитие современной физики. М., 1964.

⁷ См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 58, 360, 362—363, 551—552, 599.

возбуждений ожидания, которых я не в силах выполнить, я тут же отмечу, что я здесь не буду делать такого рода попытки»⁸.

И все же, руководствуясь диалектической идеей о невозможности «тепловой смерти», Больцман не оставил попыток дать естественнонаучное решение проблемы.

Только в 1895 г. он сумел применить вероятностный принцип ко Вселенной⁹ и сформулировать его в виде флуктуационной гипотезы, изложенной позднее в «Лекциях по теории газов» (1896—1898 гг.)¹⁰. Гипотеза эта хорошо известна, и здесь следует лишь кратко изложить ее суть.

Вселенная, по Больцману, существует вечно во времени, и в ее масштабах действительно второе начало. Поэтому уже в бесконечном прошлом Вселенная находилась в состоянии теплового равновесия, т. е. в состоянии «тепловой смерти». В этом состоянии она находится и в настоящее время и будет находиться всегда в будущем. Вселенная бесконечна в пространстве и состоит, по терминологии Больцмана, из бесчисленного количества «единичных миров», каждый из которых представляет собой галактику.

Из статистической формулы энтропии следует, что чем больше элементов в системе, тем менее вероятна ее флуктуация (самопроизвольное уменьшение энтропии), и для систем, подобных «единичному миру», она становится ничтожной, фактически невозможной ни за какие реальные сроки. Но поскольку число «единичных миров» бесконечно и существуют они бесконечно долгое время, то флуктуации оказываются время от времени все же возможными. Наша Галактика является как раз таким редчайшим миром. Когда-то в ней произошла гигантская флуктуация, и теперь она постепенно возвращается к нарушенному равновесию, благодаря чему существуют звезды, планеты и сама возможность жизни. Таким образом, Вселенная представлялась Больцману безбрежным мертвым морем, в котором лишь изредка возникают островки жизни.

Однако перед флуктуационной теорией вскоре встали непреодолимые препятствия физического и философского характера.

Во времена Больцмана наблюдаемой Вселенной, или «единичным миром», была Галактика. В ее масштабах возможность столь значительной флуктуации, которая привела бы к перепаду температур от миллионов градусов в центре звезд до почти абсолютного нуля космического пространства, была пренебрежимо малой. Казалось, гораздо вероятнее наблюдать флуктуации в меньших масштабах, чем Галактика, например в масштабах

⁸ Л. Больцман. Второй закон механической теории теплоты.— В кн.: Философия науки, ч. I. М.—Пг., 1927, с. 150.

⁹ L. Boltzmann. Wissenschaftliche Abhandlungen, Bd. II. Leipzig, 1909, S. 543—544.

¹⁰ Л. Больцман. Лекции по теории газов. М., 1956, с. 523—527.

Солнечной системы. Но и в Солнечной системе, и на Земле, и в любых иных частях Галактики наблюдалась только ликвидация гипотетической флуктуации — переход ко все более вероятным состояниям. Если даже и можно было допустить столь невероятную возможность, как гигантская флуктуация такой огромной системы, как Галактика, то с абсолютной уверенностью следовало ожидать, что в любых мыслимых расстояниях от нее не может быть больше никаких флуктуаций (Больцман определял ближайшее расстояние до следующей флуктуации как 10^{10} расстояний до Сириуса, что несравнимо больше размеров ныне известной части Вселенной) и что вся Вселенная «вокруг» Галактики должна представлять материю в состоянии «тепловой смерти». Это значит, что кроме хаотически движущихся атомов и молекул за пределами Галактики не может быть никаких других структурных образований.

Открытие других галактик, а затем систем галактик, сверхгалактик и, наконец, Метагалактики, в которой все процессы шли в соответствии со вторым началом, явно противоречило теории флуктуации.

С философской точки зрения эта теория также была уязвима. С одной стороны, возможность качественного энергообмена и локального существования различных материальных структур (в том числе и жизни) покупалась слишком дорогой ценой — Вселенная считалась находящейся вечно в состоянии «тепловой смерти». С другой стороны, существование такой Вселенной отрицает диалектический принцип развития, ибо она находится в стационарном состоянии, в котором время от времени за счет флуктуаций воспроизводятся одни и те же качества и формы движения материи.

К высказанным физическим и философским соображениям, не позволяющим признать флуктуационную гипотезу Больцмана за решение проблемы, следует добавить весьма важное замечание.

Громадные флуктуации, призванные поддерживать круговорот материи, не просто крайне маловероятны, но вообще не имеют физического смысла. Произведем простой мысленный эксперимент, показывающий, что флуктуация в макромасштабах невозможна. Флуктуация представляет собой случайное и кратковременное появление некоторой упорядоченности в хаотическом максвелл-больцмановском распределении молекул. Вероятностная статистика не запрещает в принципе появления, в результате случайной комбинации соударяющихся молекул, почти полной упорядоченности движения молекул и даже, как предельный случай, появления «максимальной флуктуации», т. е. движения всех молекул в одном направлении с одной скоростью.

Если применить это рассуждение к конкретному макрообъекту (камню, куску металла и т. д.), то мы будем иметь следующую

щую картину. В случае если флуктуация сводится к перемещению молекул или атомов тела с максвелл-больцмановским распределением (т. е. с разными скоростями) преимущественно в одном направлении, то внешне это выглядело бы как самопроизвольное испарение объекта в условиях, скажем, комнатной температуры.

Если же речь идет о «максимальной» флуктуации, во время которой все молекулы объекта начинают двигаться в одном направлении с одной скоростью, то внешне это выглядело бы как его компактное движение под действием только внутренних сил. Ясно, что и то и другое противоречит основным физическим законам, в частности закону сохранения импульса. Следовательно, очевидно, что физический смысл имеет отнюдь не всякая флуктуация, допустимая с точки зрения формальной вероятности, а только такая, которая представляет незначительное, притом сугубо локальное и кратковременное, отклонение малой части системы от равновесия. Здесь следует заметить, что понятие вероятности вообще представляет чрезвычайно «деликатную» вещь, неосторожное оперирование с которой может привести к серьезным осложнениям. Не имея возможности глубоко входить в суть дела, мы хотим лишь подчеркнуть существенную разницу между абстрактной вероятностью чистой математики и ее возможными физическими интерпретациями.

На это обстоятельство серьезное внимание обращал в свое время Э. Борель¹¹. Разбирая так называемое чудо Джинса (вода в сосуде, поставленная в печь, замерзнет, а печь станет еще горячее), Борель справедливо отмечает, что только с абстрактноматематической точки зрения это событие не невозможно, а лишь крайне маловероятно. С физической точки зрения «чудо Джинса» или гигантская флуктуация Больцмана есть именно невозможное (по всем разумным параметрам) событие. Борель писал: «...В предыдущих публикациях я пользовался оборотом речи некоторых физиков, в частности Джинса, а именно: что нарушение принципа Карно — Клаузиуса не является строго невозможным, а только в высшей степени невероятным. Теперь же я смотрю на дело так, что надо отбросить подобное словоупотребление, ибо оно, по моему мнению, может создать у читателя путаницу в представлениях и только применение слова достоверность может рассеять эту путаницу»¹². И чуть дальше: «Для всякого способного к размышлению человека успех опыта, состоящего в чисто случайном повторении одного из литературных шедевров (или, что эквивалентно, — макроскопически значимом самопроизвольном уменьшении энтропии. — Авторы), достоверно невозможен»¹³.

¹¹ Э. Борель. Вероятность и достоверность. М., 1969.

¹² Там же, с. 91—92.

¹³ Там же, с. 93.

Здесь мы встречаемся с частным случаем важнейшей общеметодологической проблемы: отношение создаваемых нами абстракций и идеализаций к реальности. Отметим, что в равной степени неправомерны как узкооперационалистская точка зрения, принципиально отвергающая достаточно сильные идеализации, так и платонистское оперирование ими, не считающееся ни с какими условиями эмпирической интерпретации. Числа — «монстры», появляющиеся в «чуде Джинса» и других аналогичных ситуациях, есть с точки зрения физики не что иное, как чистая фикция.

Физическая невозможность значительных флуктуаций находит свое выражение в том, что временные отрезки, которые требуются для их реализации, не имеют физического смысла. На первый взгляд кажется, что можно говорить о сколь угодно больших (или малых) отрезках времени. Однако это не так. Понятие времени имеет смысл лишь тогда, когда в распоряжении познающего субъекта имеется не только выделенный через практику квазициклический эталонный процесс, но и тот, который сопоставляется с эталонным. Очевидно, что в распоряжении познающего субъекта на современном этапе не может находиться процесс, превосходящий по длительности время «жизни» Метагалактики. Предположение о физической реальности сколь угодно больших отрезков времени явно противоречит принципу развития, ибо здесь вводится сильное допущение о том, что как Метагалактика, так и субъект познания всегда будут находиться в неизменном, известном сейчас состоянии и субъект всегда сумеет выделить процесс любой продолжительности. Но для флуктуации даже в небольшом объеме требуется промежуток времени, на много порядков превосходящий возможный «срок жизни» Метагалактики¹⁴. Еще Больцман подсчитал, что для самопроизвольного разделения двух газов в объеме 100 см^3 нужен временной интервал, значительно превосходящий $10^{10^{10}}$ лет. Флуктуация в больших объемах смогла бы произойти уже за совершенно невообразимые сроки. Временные величины таких порядков просто не имеют физического смысла¹⁵. Возвращаясь к флуктуационной гипотезе, отметим, что первая попытка разрешить термодинамический парадокс научными средствами не оказалась успешной. Тем не менее ряд философов до сих пор считают флуктуационную гипотезу Больцмана последним достижением

¹⁴ «Срок жизни» Метагалактики следует понимать как временной промежуток, за который осуществится переход, трансформация известных структурных образований Вселенной (галактик, звезд, туманностей и т. д.) в совершенно иные формы движущейся материи, к каковым, вероятно, будут неприменимы многие физические представления.

¹⁵ Подробнее о физическом смысле времени см.: В. П. Лебедев, В. С. Степин. Гносеологический аспект понятия времени. — «Вопросы философии», 1970, № 10.

науки в вопросе опровержения «тепловой смерти»¹⁶. На самом деле заслуга этой гипотезы не в том, конечно, что она окончательно решила проблему «тепловой смерти», а в том, что она в принципе показала возможность научного подхода к решению этой проблемы.

Психологически нетрудно объяснить признание второго начала как частного закона, но отрицание его действия в масштабах Вселенной как особого этапа в становлении второго начала. С одной стороны, его не удалось опровергнуть в рамках «земной» физики, но, с другой стороны, попытка считать закон возрастания энтропии действительным для Вселенной опять-таки приводила даже, как мы видели во флуктуационной гипотезе Больцмана, к признанию «тепловой смерти» как естественного состояния Вселенной.

Однако сама проблема решалась в рамках «философского» этапа многими авторами весьма умозрительным, если не сказать, — натурфилософским способом. Такого рода подход является глубоко ошибочным. Поисковая функция материалистической диалектики состоит не в том, чтобы от ее лица требовать непременной «реформы науки», а в том, чтобы ясно ставить нерешенный вопрос и тем содействовать его решению, не навязывая науке, как она должна его решать¹⁷.

Основной логический прием, применяемый «противниками» второго начала, заключается в следующем: раз экстраполяция второго начала приводит к тепловой смерти, значит оно недействительно в масштабах Вселенной. Иной раз логическая цепь удлинялась, и тогда говорилось, что наряду с увеличением энтропии во Вселенной действует некий «закон концентрации энергии», который не только нейтрализует второе начало, но даже как бы его пересиливает, обеспечивая постоянное возобновление жизни Вселенной. Вывод все тот же — второе начало во Вселенной не действует. Наконец, под эти умозрительные построения пытались подвести «физику». Один из основных аргументов, который при этом выдвигался, сводится к тому, что действие второго начала в масштабах Вселенной приводит к противоречию с законом сохранения энергии, а точнее, с его позитивной частью, говорящей о переходах энергии разных видов друг в друга в эквивалентных количествах — ведь «тепловая смерть» это и есть состояние полного равновесия, при котором отсутствуют какие-либо переходы энергии из одной формы в другую, так что в целом закон сохранения энергии теряет смысл. И далее, поскольку закон сохранения энергии интуитивно считался более общим, чем второе начало, то оно объявлялось частным законом, подчинен-

¹⁶ См., например: А. Поликаров. Относительность и кванты. М., 1966, с. 311—318.

¹⁷ О методологической роли философии в связи с анализом второго начала термодинамики см. в кн.: Философия естествознания. М., 1966, с. 122—136.

ным и зависящим от первого начала, так что «частным» вторым началом в крайних случаях можно и пожертвовать¹⁸.

Утверждение о том, что закон сохранения энергии (первое начало термодинамики) является «основным» по отношению ко второму началу, а оно, в свою очередь, является как бы частным проявлением первого начала (и потому следует «жертвовать» вторым началом, если кажется, что его действие противоречит закону сохранения энергии), не соответствует действительности. Между первым и вторым началами термодинамики нет отношения подчинения, субординации. Между ними существует лишь двусторонняя логическая связь, которую можно выявить только после того, когда эти начала уже установлены.

Анализ работ, связанных с открытием первого и второго начал термодинамики, а также анализ физической сущности этих законов ясно говорит о том, что оба эти начала были открыты независимо друг от друга и их нельзя формально-логическим путем вывести одно из другого. Эти законы подчеркивают две различные, фундаментальные стороны движения материи: первое начало говорит о сохраняемости и эквивалентности превращения такой общей характеристики материи, как энергия, а второе начало — о необратимости всех реальных превращений энергии, о чем свидетельствует увеличение другого общего свойства материи — энтропии. В плане сопоставления первого и второго начал термодинамики и выявления той роли, которую они играют в энергетических процессах, любопытна заметка Б. Эмдена «Зачем мы топим зимой», в которой автор так резюмирует суть дела: «В гигантской фабрике естественных процессов принцип энтропии занимает место директора, который предписывает вид и течение всех сделок. Закон сохранения энергии играет лишь роль бухгалтера, который приводит в равновесие дебет и кредит»¹⁹.

Нам представляется правомерной (и достаточно содержательной) аналогия между попытками ограничить второе начало введением неких «антиэнтропийных процессов» и попытками ограничить квантовую механику введением неких «скрытых параметров». Суть этой аналогии можно изложить примерно так.

Квантовая механика указывает лишь вероятность нахождения микрообъекта в данной точке пространства. Можно предположить, что квантовая механика просто неполна, что она не учитывает неких «тонких деталей» (скрытых параметров) в движении микрообъектов, и когда она их выяснит, то расчет местонахождения каждого микрообъекта будет точным. Конечно, каждая теория неполна в том смысле, что она не является абсолют-

¹⁸ См., например: А. Полицаров. Относительность и кванты, с. 307—308; М. Копецкий, И. Райхль, С. Кржиж. К некоторым философским вопросам астрономии. — В кн.: Философия и естествознание. М., 1965, с. 762.

¹⁹ См.: А. Зоммерфельд. Термодинамика и статистическая физика. М., 1955, с. 59—60.

пой истинной и в ее рамках нельзя доказать исходных аксиом, на которых эта теория строится. Но Нейман²⁰ как раз показал, что в сфере своей компетенции квантовая теория полна в смысле верного отражения описываемых явлений, а предположение о скрытых параметрах означало бы ее неполноту именно в сфере ее действия, т. е. это означало бы, что теория ложна. Нам кажется, что аналогично квантовой механике и в нашем случае, в рамках термодинамической аксиоматики, нет места гипотезам о каких-то неучтенных, «абсолютных антиэнтропийных явлениях», что допущение таких процессов означало бы объективную ложность термодинамики.

Рассматриваемый вопрос можно поставить шире. Если принять, что существует некий «закон концентрации энергии», выражающий фундаментальное свойство материи, то это свойство, из-за отсутствия экспериментального подтверждения, нужно считать нейтрализующимся в исследованных областях какими-то другими, тоже неизвестными свойствами. Это двойное предположение (существование неизвестного науке антиэнтропийного свойства, нейтрализующегося еще менее известным свойством) явно нарушает так называемую бритву Оккама (сущностей не следует умножать сверх необходимости) и ничего не дает в методологическом плане, ибо совершенно не ясно, каким образом можно было бы подтвердить (или опровергнуть) наличие у объекта любых фантастических свойств.

Неправомерны также попытки ограничить сферу действия второго начала термодинамики указанием на то, что оно установлено при изучении конечных замкнутых систем и потому его нельзя экстраполировать на бесконечную Вселенную.

Конечно, верно, что строгая формулировка второго начала обязательно включает указание на замкнутость системы. Но это же самое верно и в отношении первого начала, и тем не менее мы обычно не колеблясь говорим, что первое начало верно и в рамках бесконечной Вселенной. Очевидно, что мы имеем здесь дело с экстраполяцией не в обычном смысле, а с некоторого рода «философской» экстраполяцией. Смысл этой экстраполяции применительно к первому началу состоит в констатации того обстоятельства, что нигде во Вселенной энергия не возникает из ничего и в любой ее области либо остается постоянной (если область замкнута), либо увеличивается (уменьшается) за счет притока (оттока) энергии (если область открыта).

Совершенно аналогичны рассуждения и об экстраполяции второго начала на Вселенную. Это тоже «философская» экстраполяция, и означает она отрицание во Вселенной процессов, протекающих вопреки второму началу. Более того, чем шире рассматриваемая система, тем точнее выполняется «основное содер-

²⁰ Дж. фон Нейман. Математические основы квантовой механики. М., 1964, с. 158.

жание» второго начала, поскольку резко уменьшается возможность флуктуаций как самопроизвольных переходов системы в менее вероятное состояние (самопроизвольное уменьшение энтропии).

Итак, на наш взгляд, второе начало имеет ту же фундаментальность и степень экстраполируемости, что и закон сохранения энергии. А это ведет, в свою очередь, к новой трудной задаче — наряду с полной экстраполяцией второго начала физически обосновать невозможность «тепловой смерти».

Здесь намечилось два пути. Один — это попытка опереться на теоретико-множественные представления. Первым по этому пути в нашей литературе пошел К. П. Станюкович²¹ и несколько позже И. Р. Плоткин²².

Однако путь этот, на наш взгляд, навряд ли является перспективным.

Кратко соображения К. П. Станюковича заключаются в следующем. Вселенная предполагается состоящей из бесконечного множества (причем безразлично, счетного множества или несчетного) частиц одного или многих классов (под частицами имеются в виду структурные образования от элементарных объектов до систем галактик). Такая Вселенная будет обладать бесконечным количеством внутренних состояний, множество этих состояний будет иметь мощность континуума. Эти состояния не смогут быть реализованы ни за какое конечное время. Поэтому полное равновесие, т. е. состояние максимальной энтропии во Вселенной, не может быть достигнуто за любое, сколь угодно большое конечное время (хотя второе начало действует в масштабах Вселенной и энтропия все время растет).

Если внимательно приглядеться к вышеприведенному рассуждению, то легко увидеть, что автор вводит в него актуальную бесконечность. Конечно, в ситуации, предложенной К. П. Станюковичем, «тепловая смерть» невозможна, но достигается это «дезаурированием» понятия энтропии: любые физические утверждения относятся к конечной системе и теряют свой смысл при появлении актуальных бесконечностей. Известно, например, с каким трудом, с помощью весьма искусственного метода перенормировок, вынуждена квантовая электродинамика избавляться от появления расходимостей при расчете масс элементарных частиц (т. е. от появления актуальных бесконечностей). Появление расходимостей свидетельствует об определенной слабости теории квантовой электродинамики, а здесь, напротив, физическую задачу хотят решить с помощью актуальной бесконечности! Заметим, кстати, что даже в теоретической математике абстракция актуальной бесконечности является не единственно возмож-

²¹ К. П. Станюкович. О возрастании энтропии в бесконечной Вселенной.— «ДАН СССР», 1949, т. 69, с. 795.

²² И. Р. Плоткин. О возрастании энтропии в бесконечной Вселенной.— «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1950, вып. II, т. 20.

пой и ее применение всегда требует специальных допущений и специального анализа²³.

Принемлемое физическое решение термодинамического парадокса дает, на наш взгляд, идея Р. Толмена²⁴, развитая в работах Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица²⁵ и не связанная с тем или иным пониманием бесконечности Вселенной. Новизна этой идеи заключается в том, что достижение системой статистического равновесия рассматривается совместно с особенностями проявления гравитационного поля в общей теории относительности.

Оказывается, гравитационное поле статистической системы не может рассматриваться как ее составная часть, поскольку иначе законы сохранения, или интегралы движения (энергия, три компонента импульса и три компонента момента импульса), обращались бы в бессодержательные тождества типа $0=0$. Но при таком неопределенном тождестве уже ничего нельзя сказать о поведении статистической системы, ибо эти законы сохранения как раз и определяют распределение ее подсистем. Значит, гравитационное поле не может включаться в саму статистическую систему, а это означает, что поле должно считаться внешним по отношению к ней. Причем гравитационное поле не будет стационарным, поскольку в общем случае компоненты фундаментального метрического тензора, определяющие гравитационное поле, зависят не только от координат, но и от времени. В то же время известно, что любая замкнутая система может прийти в состояние равновесия, или, что то же самое, достичь максимума энтропии только при стационарных внешних условиях. Таким образом оказывается, что Вселенная или Метагалактика (независимо от конечной или бесконечной модели) находится в нестационарных, зависящих от времени внешних условиях, роль которых выполняет гравитационное поле (т. е. метрические свойства пространства-времени) и, несмотря на действие второго начала, Вселенная никогда не сможет достичь полного равновесия — «тепловой смерти».

Внешне эта ситуация выглядит несколько парадоксальной.

С одной стороны, признается действие второго начала в масштабах Вселенной, которое, казалось бы, должно привести к «тепловой смерти»; с другой стороны, доказываем, что тепловая смерть в принципе не может наступить. В физическом смысле, как мы видели, этот парадокс можно считать решенным, но из него следует сделать вывод еще и философского характера: поскольку принцип увеличения энтропии отражает необратимость всех реальных процессов и тем самым означает необратимое из-

²³ См.: Ю. А. Петров. Логические проблемы абстракций бесконечности и осуществимости. М., 1967.

²⁴ Р. Толмен. Относительность, термодинамика и космология. М., 1974, с. 290.

²⁵ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теоретическая физика, т. 2. Теория поля. М., 1967, с. 354—357; они же. Теоретическая физика, т. 5. Статистическая физика. М., 1964, с. 46.

менение всех известных форм материи (галактики, звезды, диффузная материя и т. д.), т. е. их переход в какие-то иные формы, для которых уже будут недействительны существующие законы, то его можно считать естественнонаучным выражением философского принципа развития.

Как параллель, поясняющую соотношение философской категории развития с физическим принципом увеличения энтропии, можно привести в качестве примера закон сохранения и превращения энергии, который является естественнонаучным выражением общеполитической идеи несотворимости и неуничтожимости материи.

Исходя из принципа развития, логично предположить, что Вселенная с теми состояниями и формами материи и их законами, которые известны сегодня, существует, образно говоря, «лишь один раз». До этого материя вышла из какого-то не известного сейчас состояния, а после теперешнего состояния перейдет в новое, пока что совершенно неизвестное состояние.

Можно сопоставить эволюцию представлений о развитии Вселенной с этапами становления второго начала.

Когда второе начало еще не было открыто и в первые годы после того, как оно было сформулировано, Вселенная в целом рассматривалась как нечто вечное и неизменное, в котором закон сохранения энергии обеспечивает лишь *status quo*. Закон, говорящий о необратимых изменениях, казался несовместимым с неизменной Вселенной и отвергался.

Затем укрепилось мнение, идущее еще от Канта, что во Вселенной в целом происходит круговорот материи. Это было крупное достижение, ибо Кантом по отношению к Вселенной уже вводился, хотя еще и в зачаточной, несовершенной форме, принцип развития. Отдельные объекты Вселенной (планеты, звезды, галактики) предполагались когда-то возникшими из диффузной материи под влиянием гравитационных сил. Затем, за счет излучения звезд и взаимного столкновения космических объектов, первоначальный диффузный состав материи восстанавливается, и снова начинается процесс конденсации тех же объектов²⁶. Именно отсюда была извлечена идея о существовании закона «концентрации энергии».

В этот период естественно было считать второе начало описывающим лишь конкретные локальные процессы и имеющим частный характер, ибо процессы конденсации звезд из диффузной материи, да и вообще постоянное восстановление одних и тех же условий не совмещались с принципом необратимых изменений.

И вот теперь оказывается, что второе начало термодинамики не только не угрожает Вселенной «тепловой смертью», но, напротив, его действие и приводит к смене одного состояния материи

²⁶ Полезно вспомнить, что и флуктуационная гипотеза Больцмана оставалась в рамках этих представлений.

Вселенной другим, качественно отличным от первого. Конечно, в самом широком смысле сегодняшняя физическая картина мира не позволяет считать развитие Вселенной ее переходом ко все более вероятным состояниям. Из изложенной концепции релятивистской термодинамики «наиболее вероятного» состояния в масштабах Вселенной не существует или, если можно так сказать, наиболее вероятное состояние «нашей» Вселенной будет «невероятным» состоянием для будущей Вселенной. С философской точки зрения это положение отражает отсутствие «привилегированных», выделенных качеств или состояний материи и бесконечность процесса развития как необратимых изменений во Вселенной.

Утверждение о необратимом изменении любого объекта во Вселенной, равно как и Метагалактики в целом, приводит к необходимости рассмотреть вопрос о существовании циклических обратимых процессов. В качестве примера таких процессов обычно приводят чисто механическое движение, электромагнитные процессы, квантовомеханическое движение на том основании, что уравнения, описывающие эти процессы, безразличны к знаку времени. В качестве примера необратимых процессов приводят механическое движение, связанное с трением и переходом части энергии в тепло, передачу тепла от горячего тела к холодному и процессы, связанные с изменением давления газа, горение и т. д.

«Циклические» виды движения можно считать обратимыми лишь при известной доле их идеализации, т. е. не учитывая некоторых связей между объектами. Для обратимости процессов недостаточно возвращения системы в исходное состояние, необходимо полное восстановление первоначального состояния всех условий, существовавших в природе в начале процесса. В общем случае второе начало говорит о том, что это невозможно. Вышеприведенные процессы лучше называть квазициклическими.

Уже сейчас хорошо известно, что Земля замедляет свое вращение вокруг оси из-за гравитационного взаимодействия системы Земля — Луна и в меньшей степени Солнца и других планет. Таким образом, движение планет (механическое движение) нельзя считать абсолютно циклическим. Спонтанный распад ядер также говорит о том, что в их недрах нет абсолютно циклических движений.

С философской точки зрения абсолютная цикличность неприемлема потому, что она означала бы абсолютизацию конкретного вида движения, что заставило бы считать этот вид движения вечным, ниоткуда не возникшим и ни во что не переходящим.

Идея циклических процессов нашла широкое отражение в космогонических гипотезах Канта и Лапласа, о чем уже говорилось. Однако и в 50-х годах XX в. все еще была распространена мысль о вечном круговороте материи (понимаемом механически)

во Вселенной. Если раньше круговорот был просто «чистой идеей», то теперь требовались для нее физические и астрономические доказательства. Но доказательств не было. Напротив, вопрос о том, какой физический механизм превращает всю массу звезды в диффузную материю (или какова судьба оставшихся от звезд холодных масс) остался совершенно открытым. Не было обнаружено также ни одного космического объекта, подтверждавшего идею гравитационной конденсации. Все сильнее осознавалось, что конденсация отдельных пылинок в массу звезды эквивалентна действию закона «концентрации энергии», т. е. закономерной гигантской флуктуации, самопроизвольному переходу системы из максимально вероятного состояния в крайне маловероятное.

Эволюцию мировоззрения астрономов вызвали такие успехи последних лет, как исследование ярко выраженных нестационарных звезд Вольф — Райе и сверхновых звезд, нестационарных планетарных туманностей и звездных ассоциаций, открытие галактик Сейферта и Аро, радиогалактик, квазаров, квазаров, пульсаров и т. д. Эти революционные открытия вынудили коренным образом пересмотреть многие из традиционных космогонических теорий.

После разработки новых космогонических идей стало ясно, что классические космогонические теории, исходящие из идеи гравитационной конденсации звезд и галактик из диффузной материи и их вечного круговорота, оказались весьма умозрительными и произвольными. Они не только не предсказали ни одного принципиально нового явления, но и не смогли удовлетворительно объяснить открытые явления.

Начиная с 1947 г. В. А. Амбарцумян выдвинул идею о происхождении звезд и галактик путем взрыва из дозвездной сверхплотной материи (в самом общем виде подобную идею относительно происхождения Метагалактики высказал еще в 1927 г. Ж. Леметр), обладающей колоссальными запасами энергии, несравнимой ни с какими ныне известными способами ее получения. Тогда же В. А. Амбарцумян ввел понятие о космогонической активности ядер галактик, состоящих из остатков дозвездной материи, взрывами которой объясняется происхождение звездных ассоциаций, двойных и кратных галактик, мощных выбросов из ядер галактик и т. д.²⁷

Эти необычные идеи с трудом находили признание, тем более что они не являются законченной теорией, в которой был бы разработан конкретный механизм взрывных процессов²⁸. Однако последние открытия подтверждают прогнозы и основные поло-

²⁷ В. А. Амбарцумян. Научные труды, т. 2. Ереван, 1960, с. 141—148.

²⁸ В последнее время уже появились работы, посвященные разработке теории дозвездной сверхплотной материи. См.: Г. С. Саакян. Теория сверхплотных небесных тел.— В кн.: Проблемы современной космогонии. М., 1972, с. 220—315.

жения гипотезы В. А. Амбарцумяна. В первую очередь к ним относится открытие в 1963 г. А. Сэндиджем и К. Линдсом мощных взрывных процессов в ядрах радиогалактик и открытие М. Шмидтом, Дж. Гринстейном и Т. Мэтьюсом квазаров, представляющих, по гипотезе В. А. Амбарцумяна, начало «взрывной эволюции» галактик (длящейся миллионы лет), т. е. начало перехода гипотетической сверхплотной материи в галактическо-звездную форму материи.

Все эти открытия позволяют считать, что неустойчивость, нестационарность, постоянное изменение являются характернейшей чертой процессов, происходящих в космосе. Причем, как отмечает В. А. Амбарцумян, эти изменения носят «...необратимый характер. Циклические изменения в них если и происходят, то лишь как элементы общего необратимого изменения структуры этих объектов»²⁹. И в другом месте добавляет: «Распад и рассеяние (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризует общую направленность процессов в нашей Галактике и, как оказалось впоследствии, также и в других галактиках»³⁰.

Сам факт наблюдения любого космического объекта говорит о том, что его термодинамика обязательно подчиняется второму началу, иначе он не излучал бы энергию, а поглощал ее и был бы ненаблюдаем. Уверенность в правомерности экстраполяции второго начала на космические объекты позволяет делать конструктивные прогнозы относительно даже весьма малоизученных объектов. Сейчас, по мнению некоторых физиков, устойчивость большой массы (например, звезды) в состоянии гравитационного коллапса представляется сомнительной³¹. Можно добавить, что такой гипотетический объект был бы только поглощающим, но не излучающим телом, что трудно согласовать со вторым началом. Термодинамический запрет на существование сколлапсированных объектов может быть снят только в том случае, если будет отвергнута геометрическая интерпретация гравитации, доказана материальность гравитационного поля в физическом смысле (ненулевые значения тензора энергии-импульса в любой системе координат) и, кроме того, установлена возможность трансформации всех видов излучения в гравитацию. Только в этом случае подобный объект смог бы поглощать все виды излучений, а эквивалентное или большее количество энергии излучать в виде гравитации. Показательно, что из сугубо математических соображений возможность стабильного коллапса также сомнительна. Сколлапсированный объект должен периодически

²⁹ В. А. Амбарцумян. Современное естествознание и философия.— «Успехи физических наук», 1968, т. 96, вып. 1, с. 18.

³⁰ В. А. Амбарцумян. Нестационарные объекты во Вселенной и их значение для космогонии.— «Земля и Вселенная», 1968, № 4, с. 5.

³¹ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1967, с. 544.

пульсировать, излучая энергию при выходе за пределы сферы Шварцшильда³².

Если вернуться на Землю, то и здесь непреложность действия второго начала сказывается в экологической проблеме, весьма остро стоящей сейчас перед человечеством. Цивилизация представляет собой относительно изолированную систему, гомеостат, который организует свое сложное и крайне неустойчивое, с точки зрения вероятности, состояние за счет повышения энтропии в окружающей среде («засорение окружающего пространства»). Цивилизация выстраивает свое «неорганическое тело», превращая маловероятное состояние природных объектов в гораздо более вероятное — например, превращая компактные куски угля в хаотическое состояние (максвелл-больцмановское распределение) молекул CO_2 . Отсюда следует, что хотя и нужно повышать, так сказать, «коэффициент полезного действия» потребления природы (беречь природу), все же магистральным путем развития цивилизации остается, как и раньше, ее распространение на «свежие» области с низкой энтропией, расширение ее экологической ниши — теперь это будет освоение шельфов морей и океанов, далее — Луны, планет и т. д.

Однако вернемся опять к проблемам космоса. Нам кажется (и в этом можно видеть проявление поисковой функции материалистической диалектики), что имеет право на существование (и как минимум на серьезное обсуждение) следующий тезис: согласие моделей Вселенной со вторым началом (или в более широком смысле — с принципом развития) столь же обязательно, как и с законом сохранения энергии.

Между тем любопытно заметить, что почти все релятивистские космологические модели, как правило, не требуют нарушения законов сохранения, или, в философском плане, принципа неуничтожимости и несотворимости материи, но весьма часто противоречат принципу развития (второму началу). Можно указать, например, на пульсирующие (с бесконечным числом циклов) однородные изотропные модели, предполагающие расширение Метагалактики до определенного радиуса, а затем ее сжатие до небольшого объема. Подобные бесконечные пульсации оставляют Вселенную в кругу повторения одних и тех же качеств, своеобразного издания «дурной бесконечности». Кроме того, Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков отмечают, что из сугубо физических соображений число циклов подобных пульсаций могло бы быть лишь конечным³³.

³² М. Е. Герценштейн. О возможности колебательного характера гравитационного коллапса. — «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1966, т. 51, вып. 1, с. 129—135; М. Е. Герценштейн, Ю. М. Айвазян. Пульсирующий коллапс с точки зрения внешнего наблюдателя. — «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1968, т. 51, вып. 5, с. 1415.

³³ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика, с. 556.

Нельзя считать вполне удачными модели, основанные на совершенном космологическом постулате, даже если постоянная плотность материи в любой точке Вселенной и в любое время ее существования поддерживается не за счет «ничего», а с помощью гипотетического «творящего поля», введенного *ad hoc* в такого рода модели³⁴, поскольку совершенный космологический постулат находится в противоречии с принципом развития. В физическом плане возникновение галактик и звезд здесь предполагается все по той же схеме конденсации диффузной материи, что требует действия неизвестного науке закона «концентрации энергии».

Весьма умозрительными представляются гипотезы о происхождении Метагалактики, лишь формально опирающиеся на закон пропорциональности массы и энергии ($E=Mc^2$). По одной из подобных гипотез Метагалактика произошла в результате столкновения или просто распада нескольких ультрарелятивистских микрочастиц. Энергия этих частиц была такова, что каждая имела массу порядка 10^{45} г (масса «нашей» Галактики примерно $2,5 \times 10^{44}$ г).

Наблюдаемое красное смещение есть следствие происшедшего около 10 миллиардов лет назад распада этих ультрарелятивистских частиц на «дочерние» элементарные частицы. Таким образом, если рассматривать развитие в масштабах Метагалактики, то никакого особого развития не произошло — было несколько известных элементарных частиц, а стало много тех же частиц.

Заслуживает внимания «горячая» однородная изотропная модель Я. Б. Зельдовича³⁵, созданная в рамках расширяющейся изотропной однородной Вселенной, но предполагающая анизотропию на ранних этапах развития Метагалактики.

В ней рассматривается расширение Метагалактики не с момента $t=0$ (при этом материя находится в состоянии, для описания которого сейчас нет адекватных теорий), а с некоторого момента времени, близкого к $t=1$ сек., с температурой исходной смеси квантов излучения и элементарных частиц 10^{10} К° и плотностью, значительно превышающей ядерную ($\sim 10^{93}$ г/см³). Это возможно сделать, поскольку дальнейшие ядерные реакции в рассматриваемой горячей смеси не зависят от предположения, что было при $t < 1$ сек.

Эта теория не исключает того, что до времени $t=0$ материя находилась в уже упоминавшемся сверхплотном состоянии.

³⁴ См.: Ф. Хойл. Проверка космологии наблюдениями.— В кн.: Дж. Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., 1962, с. 379—400. Кроме того, Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков критикуют подобные модели с физической точки зрения (см.: Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика, с. 588—591).

³⁵ Я. Б. Зельдович. «Горячая» модель Вселенной.— «Успехи физических наук», 1966, т. 89, вып. 4, с. 647—669. Идея «горячей» модели Вселенной была впервые выдвинута американским астрофизиком Г. Гамовым.

Вскоре после времени $t=0$ (начало расширения) равновесное состояние излучения и частиц вещества нарушается. Температура исходной смеси по мере расширения начинает резко падать, а взаимодействие между излучением и веществом почти прекращается. Часть вещества в силу происходящих весьма сложных физических процессов образует прагалактики (возможно, что это и есть квазары), которые с течением времени распадутся на отдельные звезды. Эти процессы протекли за время $3 \cdot 10^8$ лет, в течение которого средняя плотность уменьшилась до 10^{-27} г/см³.

Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков следующим образом согласовывают образование протогалактик из однородного изотермического состояния исходной смеси с принципом увеличения энтропии: «Вероятность состояния есть произведение вероятности пространственного распределения частиц на вероятность того, что частицы имеют данные скорости, данную кинетическую энергию. При собирании вещества в сгустки «пространственная» вероятность уменьшается, но зато растет «скоростная» вероятность, так что общее произведение растет. Образование звезд и галактик из равномерного вещества происходит с ростом энтропии, является естественным процессом, не требует нарушения термодинамики»³⁶.

Большой заслугой этой модели является объяснение увеличения количества квазаров по мере расширения наблюдений к границам Метагалактики. При переходе к еще более удаленным объектам, «соответствующим» начальному периоду расширения Метагалактики, напротив, квазары не должны наблюдаться, так как их тогда еще просто не было. Таким же экспериментальным подтверждением этой гипотезы служит открытие в 1965 г. Пензиасом и Вилсоном реликтового изотропного радиоизлучения. Модель «горячей» Вселенной, предложенная Я. Б. Зельдовичем, предсказывает наличие реликтового фона нейтрино и антинейтрино с $T=2^\circ$, обнаружение которого может сильно укрепить ее позиции.

Итак, резюмируя, можно отметить радикальное изменение общенаучного статуса второго начала термодинамики. Оно прошло путь от его полного отрицания к признанию его лишь частным законом, который в масштабах Вселенной не действует: он-де противоречит бесконечной жизни Вселенной, ее развитию (вспомним, что под развитием Вселенной понимался круговорот материи, т. е. возобновление одних и тех же ее состояний). Наконец, благодаря достижениям в разных областях науки оказалось возможным сделать неожиданный вывод — второе начало имеет тот же статус, что и закон сохранения энергии, и его действие не только не противоречит развитию Вселенной, но, напротив, сам принцип развития (понимаемый теперь уже диалекти-

³⁶ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика, с. 640.

чески) находит свое естественнонаучное обоснование во втором начале термодинамики.

Изложенные соображения об общенаучном статусе второго начала термодинамики не претендуют, разумеется, на некое безусловное описание «мира самого по себе». Как и все научные конструкции, второе начало описывает действительность в рамках определенных допущений и идеализаций, по отношению к которым «мир сам по себе» выступает лишь как объективный и неисчерпаемый источник наших знаний. Но вместе с тем не стоит забывать, что никакого другого знания о «мире самом по себе», кроме знания, даваемого наукой, у нас нет и быть не может, и поэтому тезис о втором начале термодинамики как предельно общем на сегодня естественнонаучном выражении принципа развития представляется достаточно разумным и обоснованным.

Ф. А. Цицин

ПОНЯТИЕ ВЕРОЯТНОСТИ И ТЕРМОДИНАМИКА ВСЕЛЕННОЙ

К ИСТОРИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАДОКСОВ КОСМОЛОГИИ

Как известно, космологический парадокс «тепловой смерти» Вселенной был обнаружен Кельвином и Клаузиусом при попытке распространить только что открытое второе начало термодинамики на весь физический мир. Любопытно, что по существу те же, термодинамического характера трудности были тем *естественнонаучным* материалом, который ранее вынудил Ньютона обратиться к гипотезе «Великого Часовщика», обязанного изредка заводить часы — Вселенную. Правда, Ньютон, не зная закона сохранения и превращения энергии, усматривал трудность в *уничтожении* энергии процессами трения и т. п. Однако существенно то, что он подметил именно необратимый характер данного процесса — суть явления! А то, что на деле здесь происходило не уничтожение, а «рассеяние» энергии, как сформулировал это позднее Кельвин, в данном случае было не столь важно.

Таким образом, космологический парадокс тепловой смерти Вселенной восходит, по существу, к Ньютону. Более того, представляется интересным вопрос, не отразился ли еще в космологических концепциях древних наблюдаемый факт «затухания любого огня» (отражающий, как стало известно лишь чуть бо-

лесе века назад, всеобщность действия второго начала термодинамики)? Колоссальные, но количественно не вполне ясно охарактеризованные периоды разрушения и восстановления мира в философии древнеиндийских мудрецов; идеи Анаксимандра и Гераклита... Между прочим, Гераклит пытался определить и величину периода «мерами угасающего и мерами вспыхивающего» огня — мира, «не созданного никем из богов или людей»... Однако древние не могли ощущать каких-либо «термодинамических трудностей космологии», которые впервые обратили на себя внимание Ньютона, а в наиболее яркой парадоксальной форме предстали перед основателями и классиками термодинамики. Древние решали проблему «возрождения мирового огня» просто, — очевидно, опираясь на аналогию с периодическим весенним возрождением природы или утренним возрождением огненного Солнца.

Отметим попутно, что термодинамические трудности и парадоксы космологии связаны не только со вторым началом, но и с первым началом термодинамики. А именно: известный фотометрический парадокс космологии по существу есть парадокс энергетический, на что, однако, не обращалось внимания. Между тем, обращение к закону сохранения энергии позволяло устранить фотометрический парадокс без каких-либо трудностей, простым учетом того обстоятельства, что время существования любой звезды должно быть конечным. Поэтому в рамках исходной модели бесконечной звездной Вселенной неизбежно должны быть потухшие звезды, и утверждение о необходимости свечения всей небесной сферы с поверхностной яркостью порядка солнечной лишалось самого основания.

На релятивистском этапе физики рассуждения могли быть еще проще: даже в предположении, что все звезды бесконечной звездной Вселенной целиком превращены в излучение, пространственная плотность последнего оказалась бы совершенно незначительной, так что поверхностная яркость небесной сферы была бы ничтожной в сравнении с поверхностной яркостью Солнца.

Стоит отметить, что живучесть фотометрического парадокса была обусловлена нечеткостью представлений об используемой модели Вселенной (или, в философском аспекте, — недialeктическим вычлениением, учетом и абсолютизацией лишь одного элемента картины мира — существования излучающих энергию звезд). Между тем, достаточно было в явном виде сформулировать основные свойства модели, чтобы парадокс либо был сразу решен, либо даже не возник, — ибо не оказалось бы самой почвы для вывода о солнечной и тем более о бесконечно большой поверхностной яркости небесной сферы. Живучесть парадокса, таким образом, была связана с философски неудовлетворительным, метафизическим подходом к нему естествоиспытателей.

Фундаментальная эвристическая роль четкой, максимально определенной (в рамках возможностей теории) модели изучаемой системы достаточно очевидна. Необходимо только подчеркнуть, что, несмотря на безусловное господство модельного подхода в космологии в последние десятилетия, термодинамические аспекты и трудности ее, за некоторыми исключениями (Р. Толмен), обычно обсуждались в рамках недостаточно четких моделей Вселенной. Впрочем, в некоторых случаях модель, явно не описываемая тем или иным автором, может неявно, но достаточно определенно присутствовать в его работе. В таких случаях удастся выявить основные черты модели и исследовать их на взаимонепротиворечивость и по такому нестрогому, но важному параметру, как правдоподобие.

Так, основной классический термодинамический парадокс космологии — вывод о неизбежности тепловой смерти Вселенной — был получен, как мы теперь ясно видим, в рамках модели Вселенной, астрономически бесконечной и макроскопически однородной, а в другом аспекте — физическом — в рамках обычной континуальной модели вещества классической феноменологической термодинамики.

В эту модель целиком укладывался первый, добольцмановский этап дискуссии, включая высказывания Энгельса по вопросу о тепловой смерти Вселенной¹. Но если в отношении фотометрического парадокса последовательное применение термодинамики (первое начало) ко всей Вселенной в принципе позволяло немедленно *устранить* противоречие, парадокс тепловой смерти как раз и был связан с, казалось бы, последовательным распространением на всю Вселенную другого — второго начала термодинамики! Несмотря на более чем двухтысячелетнюю историю проблемы бесконечности, в середине XIX в. еще не могло, видимо, возникнуть представление о возможной несправедливости для «Вселенной как целого» (как единого объекта) того, что справедливо для «всей Вселенной», — в каждом месте Вселенной (используем здесь весьма полезную терминологию, введенную А. Л. Зельмановым)². Единственным мыслимым вариантом объяснения парадокса тепловой смерти в рамках указанной модели материи и Вселенной в то время было предположение о несправедливости второго начала как общего положения, о возможности существования систем, процессов, явлений, для которых этот физический закон оказывается неверным. (Между прочим, достаточно явно на такую возможность намекал и сам Кельвин в известных оговорках относительно скрытых ресурсов природы.) Однако в наиболее яркой форме ситуация была охарактеризована Энгельсом, показавшим, что принятие

¹ См.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 359—363.

² А. Л. Зельманов. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной. — В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969, с. 277.

вывода о тепловой смерти Вселенной предполагает нарушение первого начала — закона сохранения энергии и создает основу для спекуляций теологического характера.

Заметим, что это заключение часто неправильно интерпретируется как опровержение вывода о тепловой смерти и т. п. Между тем для деиста, из двух альтернатив — «бог» и «физическая некорректность вывода о тепловой смерти Вселенной» — выбирающего первую (см., например, работу видного современного астрофизика Г. Занстры)³, вывод о тепловой смерти может представляться прямым доказательством необходимости «внефизического вмешательства».

Наиболее общими известными нам законами являются принципы материалистической диалектики. Они выведены на основе *всего* опыта науки и практики, касающегося всех сторон окружающего и включающего нас мира, — всех форм существования, движения и развития материи, всех сторон взаимодействия их.

Среди законов науки может быть выделен еще один тип также совершенно общих, но общих в несколько ином смысле законов природы. Это — самые общие законы *физики*, — поскольку физическая форма движения лежит в основе всех остальных, пронизывает их. Общие законы физики справедливы и существуют везде и всюду.

Имеется, по-видимому, даже определенное соответствие между некоторыми основными принципами философии и физики, указывающее на значительность вклада физической области познания в формулировку основных положений материалистической диалектики. Однако, поскольку основные положения философского материализма, как отмечено, выведены по неизмеримо более обширному и многостороннему материалу науки и практики, они мощнее и шире соответствующих неограниченно общих положений и законов физики. В случае если какое-либо самое общее, представляющееся неограниченно широким положением физики приходит в видимое противоречие с каким-либо общим принципом материалистической философии, априори можно быть уверенным, что гораздо более вероятным способом разрешения противоречия будет видоизменение и уточнение физического, а не философского положения.

Поэтому рассуждение Энгельса, предельно заострявшее проблему тепловой смерти Вселенной, поднимавшее ее до уровня наиболее разительного возможного для материалиста парадокса, объективно должно было иметь целью привлечь внимание материалистов-естественников к необходимости решения *поставленной* Энгельсом физической проблемы — найти и указать конкретные границы второго начала термодинамики, условия «за-

³ H. Zanstra. Is religion refuted by physics or astronomy. Thermodynamics, statistical mechanics and the universe.—«Vistas astronomy», 1968, v. 10. Oxford—London, p. 1—43.

мыкания» круговорота, в котором материя демонстрирует, по Энгельсу, бесконечное разнообразие своих форм «и в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов ее движения и изменения»⁴.

Энгельс не сомневался в характере разрешения этого парадокса, но считал это решение делом будущего. Конкретное решение вопроса, однако, настолько затянулось, что некоторые горе-материалисты стали, видимо, считать это «неприличным» для материализма... Этим, очевидно, и объясняются утверждения о том, что никакой проблемы тепловой смерти Вселенной давным-давно не существует и т. д. Это, собственно, и есть те самые «негодные отсрочки векселей и увиливание от ответа»⁵, от которых предостерегал Энгельс.

Разумеется, сам Энгельс не мог указать сколько-нибудь конкретно направление поисков,— лишь теперь, через сто лет мы имеем возможность хотя бы перечислить уже несколько мыслимых вариантов решения проблемы тепловой смерти. Это, например, учет флуктуаций в духе гипотезы Больцмана; неприменимость, по мнению ряда авторов, термодинамики и вывода о тепловой смерти к Вселенной из-за бесконечности ее; отсутствие, по Р. Толмену, тепловой смерти в релятивистской термодинамике; другие варианты моделей Вселенной с отсутствием тепловой смерти — иерархическая, например; гипотетическое существование конечных систем, для которых второе начало несправедливо (идеи об ограниченности области справедливости второго начала, логически допустимые из-за недоказанности в общем случае *H*-теоремы) и т. д., и т. п. В отношении же результатов Энгельса достаточно того, что он дал яркий классический образец теоретической мощи диалектико-материалистического философского подхода. Опираясь на *философский* базис, Энгельс указал на неполноту и, более того, внутреннюю противоречивость *естественнонаучной* (чисто физической в своей основе) концепции космологического размаха. Большого естественные науки не могут требовать от философии.

Идея круговорота, на которую указывал Энгельс как на возможную альтернативу вывода о тепловой смерти Вселенной (и соответствующая «картина Вселенной»), в его время была единственным построением, позволявшим избежать тупика тепловой смерти. Для естествоиспытателя-материалиста в эпоху Энгельса гипотеза круговорота материи во Вселенной была, пожалуй, последним редутом, куда науку парадоксальным образом неожиданно оттеснило одно из крупнейших достижений ее — создание колоссальной по широте и значимости новой научной теории — термодинамики. Недостатки концепции круговорота, по существу, были видны еще Энгельсу. Так, Вселенная, с точки

⁴ К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения, т. 20, с. 362—363.

⁵ Там же, с. 599.

зрения концепции круговорота, лишь демонстрирует (в пространственной и временной развертке) сколь ни редкое, но повторение в циклах восходящего и нисходящего развития одних и тех же форм и этапов существования и развития материи (возникновение и гибель звезд, планет, жизни и разума на планетах). Этим объясняется, видимо, двойственное отношение Энгельса к концепции круговорота. Энгельс определенно считал концепцию круговорота недостаточной и шел дальше ее. Вспомним, например, известное высказывание из «Анти-Дюринга», где Энгельс говорит, что Кантом «...впервые было поколеблено представление, будто природа не имеет никакой истории во времени... Было, конечно, очевидно для всех, что природа находится в постоянном движении, но это движение представлялось как непрестанное повторение одних и тех же процессов. В этом представлении, вполне соответствовавшем метафизическому способу мышления, Кант пробил первую брешь...»⁶, и далее: «...материя до... первоначальной туманности прошла через бесконечный ряд других форм»⁷.

КОНЦЕПЦИЯ Л. БОЛЬЦМАНА —
ПЕРВАЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ
НЕПРОТИВОРЕЧИВАЯ МОДЕЛЬ ВЕЧНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Больцман, как известно, был первым, кто рассмотрел «статистическую модель Вселенной». По существу, это та же, что и у Кельвина — Клаузиуса, ньютоновская бесконечная Вселенная (и так же, как у них, без учета гравитационных эффектов космологического масштаба, которые несколько позже привели Зеелигера к гравитационному парадоксу). Однако использовалась новая модель вещества (кстати, впервые предложенная материалистами античности) — вместо континуального вещества классической феноменологической термодинамики — дискретная модель, составившая основу молекулярно-кинетической теории. У этой «Вселенной Больцмана» обнаружился неожиданный, почти парадоксальный, до сих пор вызывающий естественные нарекания и подозрения, но принципиально достаточный способ преодоления парадокса тепловой смерти посредством учета эффекта флуктуаций. В методологическом плане интересно, что решение парадокса Больцман нашел, с формальной стороны, пойдя в «признании» тепловой смерти как бы даже дальше, чем Клаузиус и Кельвин: рассмотрев с помощью новой модели вещества вопрос о том, что будет, когда тепловая смерть наступит, и заключив, что, хотя тепловая смерть, собственно говоря, является неперменным состоянием его Вселенной, возник-

⁶ Там же, с. 56.

⁷ Там же, с. 58.

повение и существование редких, но сколь угодно больших неравновесных областей в ней необходимо и неизбежно.

Хорошо известны многочисленные критические высказывания в адрес флуктуационной гипотезы Больцмана, иногда весьма серьезные (например, в связи с парадоксальными картинками обратного хода времени, «обратного кино», в половине всех наличных флуктуаций). Впрочем, эта трудность была ясна самому Больцману, которому принадлежит и первая попытка преодоления ее.

К более сомнительным возражениям, нам кажется, можно отнести доводимые даже до числа выкладки, долженствующие показать ничтожно малую вероятность наблюдаемых размеров «окружающей нас флуктуации» (Метагалактика!), в сравнении с вероятностью флуктуации («достаточной для существования жизни»), охватывающей пространство в несколько кубических парсеков. (Вероятность флуктуации быстро уменьшается с ее размерами.) Впервые, по-видимому, подобные расчеты были проведены М. П. Бронштейном⁸. Затем принципиальная схема этих рассуждений воспроизводилась в известном курсе теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица, из которого в основном и заимствовалась более поздними авторами.

Однако, как заключил впервые Г. М. Идлис⁹, существование всего огромного «мира Эйнштейна — Фридмана» является необходимой предпосылкой появления составляющих его галактик, звезд, планет, — и, следовательно, жизни и мыслящих существ хотя бы около единственной звезды в этом мире. Поэтому острие аргументации М. П. Бронштейна поворачивается на 180°: как раз существование «мира» в виде единичной планетной системы представляется неизмеримо маловероятным в сравнении с существованием гораздо более обширного (частично наблюдаемого) мира Эйнштейна — Фридмана.

Дело в том, что *нельзя* рассчитывать относительную вероятность «достаточного для существования жизни и разума» мира диаметром в 1 парсек и наблюдаемой области Вселенной, считая тот и другой больцмановыми флуктуациями различного размера. С учетом динамических факторов явление большего масштаба может быть даже гораздо более вероятным, чем подобное явление меньшего масштаба. Например, «небольшой» ядерный взрыв докритической массы урана, как известно, куда менее вероятен, чем взрыв массы сверхкритической!..

Аналогично, допустив возникновение «Вселенной Фридмана» с массой порядка солнечной (т. е. принципиально достаточной для образования звезды с планетной системой и т. д.), мы вряд

⁸ М. П. Бронштейн. К вопросу о возможной теории мира как целого. — В кн.: Основные проблемы космической физики. Харьков — Киев, 1934, с. 186—215.

⁹ Г. М. Идлис. Структурная бесконечность Вселенной и Метагалактика как типичная обитаемая космическая система. — В кн.: Труды шестого совещания по вопросам космогонии. М., 1959, с. 270—271.

ли могли бы пасть на то, что эта масса в действительности сможет сформировать Солнце с планетной системой, с Землей — «колыбелью разума»...

Но и независимо от этих соображений, у нас нет каких-либо оснований считать, что наблюдаемая, развившаяся из «большого взрыва» Вселенная Фридмана — Хаббла менее вероятна, чем «похожая, но маленькая», — статистико-вероятностные характеристики гипотетического ансамбля «довзрывных Вселенных» нам абсолютно не известны!

КОНЦЕПЦИЯ Я. П. ТЕРЛЕЦКОГО — СОВРЕМЕННЫЙ ВАРИАНТ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ГИПОТЕЗЫ

Наиболее известная попытка развития и усовершенствования концепции Больцмана, принадлежащая Я. П. Терлецкому¹⁰, встречает возражения, возможно, потому, что является «недостаточно сумасшедшей». (Хотя она и кажется более «сумасшедшей», чем концепция Больцмана, поскольку смело принимает парадокс «обратного кино» чуть ли не для любых областей, где энтропия испытывает макроскопическое уменьшение.) Но, возможно, это впечатление обусловлено чрезмерной лаконичностью изложения у Я. П. Терлецкого. Получаемая Я. П. Терлецом картина Вселенной, сплошь заполненной гигантскими флуктуациями (назовем ее «Вселенной Терлецкого»), увлекательна и, несомненно, импонирует нам куда более исходной Вселенной Больцмана, почти всюду и почти всегда пребывающей в состоянии тепловой смерти. Все же, видимо, справедливы возражения против концепции Я. П. Терлецкого, указывающие на то, что хотя учет гравитации увеличивает вероятность флуктуации плотности, но вследствие адиабатичности соответствующих гравитационных флуктуаций энтропия у них не уменьшается.

Впрочем, концепция Я. П. Терлецкого теряет в убедительности, может быть, и за счет все же большей детализации, а то и большей ясности, чем, скажем, предельно лаконичная позиция Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица (один абзац): «Гравитационное поле не может быть ... включено в состав замкнутой системы ввиду того, что при этом обратились бы в тождество законы сохранения, являющиеся... основой статистики. Благодаря этому в общей теории относительности мир как целое должен рассматриваться не как замкнутая система, а как система, находящаяся в переменном гравитационном поле; в связи с этим применение закона возрастания энтропии не приводит к выводу о необходимости статистического равновесия»¹¹ (т. е. тепловой смерти релятивистской модели Вселенной).

¹⁰ Я. П. Терлецкий. Космологическая концепция Больцмана, ее значение и дальнейшее развитие. — В кн.: История и методология естественных наук, вып. 2. М., 1963, с. 114—120.

¹¹ Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. М., 1964, с. 46.

Возможно, «Вселенная Терлецкого» оказалась бы более приемлемой, если бы ее, так сказать, несколько «релятивизировать» — например, с отдельными флуктуациями сопоставлять нечто вроде индивидуальных релятивистских полу- (или менее) замкнутых «Вселенных» типа нашей «Вселенной Эйнштейна — Фридмана», погруженных в некое вмещающее «сверхпространство». В этой связи в качестве модели приходит на ум, например, «Вселенная Зельманова» — совокупность сосуществующих материализованных всех решений будущей единой физической теории, которая, как ожидается, обобщит, охватит и увяжет в единое целое современную квантовую механику, теорию относительности и теорию тяготения¹².

О СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ ГРАВИТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Здесь уместно сделать некоторые замечания относительно общих статистических свойств гравитирующих систем (с самосогласованным гравитационным полем). Статистическая термодинамика подобных систем не создана, и нет даже согласия в том, может ли она существовать как непротиворечивая замкнутая теория. (Наиболее детальное обсуждение проблемы проводилось пока в динамике звездных систем.) Характер потенциала (в достаточно широком приближении ньютоновского) определяет специфические трудности как при размерах системы $r \rightarrow \infty$ (при хотя бы грубой однородности системы), так и при $r \rightarrow 0$ (отсутствие минимума у потенциальной энергии). Трудности на бесконечности неприятны. Но даже в замкнутом ограниченном объеме существование статистического равновесия у системы гравитирующих частиц по меньшей мере не очевидно. И в резко упрощающем задачу приближении гравитационно взаимодействующих твердых шариков характер гипотетического статистически равновесного состояния из-за неизбежности существования «кратных звезд» оказывается весьма темным... В модели же точечных гравитирующих частиц статистические характеристики «предельного состояния» вообще совершенно неясны.

Более того, представляется правдоподобным, что у данной системы статистическая эволюция может идти в направлении ослабления статистических свойств системы, «динамизации» ее. Действительно, можно представить, что конечным, асимптотически устойчивым, чисто динамическим состоянием системы $N \gg 1$ гравитирующих материальных точек будет иерархически структурная «кратная звезда»: внешняя материальная точка обращается по примерно круговой орбите вокруг достаточно малого (в сравнении с радиусом указанной орбиты) массивного

¹² А. Л. Зельманов. Многообразие материального мира и проблема бесконечности Вселенной. — В кн.: Бесконечность и Вселенная, с. 301.

объекта, который состоит из одиночной «звезды», вращающейся по примерно круговой орбите вокруг массивного объекта достаточно малых размеров, и т. д., до завершающей весьма тесной «двойной звезды». При этом избыток кинетической энергии может быть вынесен из системы диссипировавшими из нее частями (принципиально достаточно одной).

Итак, отвлекаясь от степени реальности эволюции исходной статистической системы в указанном направлении, все же можно сказать, что такая эволюция принципиально не запрещена какими-либо постулированными свойствами системы. С учетом релятивистского приближения теории тяготения асимптотическая динамизация статистической системы оказывается, пожалуй, даже неизбежной.

Значит, «статистическая механика гравитирующих систем», по-видимому, в лучшем случае может быть приближенной теорией, описывающей сложный, но конечный переходный статистический процесс в исходной системе — процесс превращения системы статистической в систему чисто динамическую; процесс, сопровождающийся исчезновением у нее статистических свойств и выходом ее из сферы действия статистических законов. Этот вывод кажется правдоподобным в отношении любых статистических систем, у которых отсутствует состояние статистического равновесия. (При наличии у системы статистического равновесия эволюция ее оказывается, как известно, квазициклической, в соответствии с теоремой Пуанкаре,— своеобразный вариант круговорота.)

Возвратимся, однако, к незавершенному еще обсуждению перспектив и попыток преодоления термодинамических трудностей космологии в рамках «негравитационных» моделей Вселенной.

ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ И ТЕОРИЯ МНОЖЕСТВ: КОНЦЕПЦИИ К. П. СТАНЮКОВИЧА И И. Р. ПЛОТКИНА

Значительную известность получили во многом сходные по методу, но значительно различающиеся интерпретацией результатов концепции К. П. Станюковича¹³, с одной стороны, и И. Р. Плоткина¹⁴ — с другой. Оба эти автора рассматривают методами теории множеств статистико-термодинамические свойства бесконечной Вселенной, весьма сходной с Вселенной Больцмана. Однако К. П. Станюкович приходит к заключению, что при конечности числа классов «частиц» во Вселенной (например, в модели Вселенной, состоящей из молекул идеального газа) в ней

¹³ К. П. Станюкович. О возрастании энтропии в бесконечной Вселенной.— «ДАН СССР», 1949, т. 69, № 6, с. 793—796.

¹⁴ И. Р. Плоткин. О возрастании энтропии в бесконечной Вселенной.— «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1950, т. 20, вып. 2, с. 1051—1053.

непизбежно наступит состояние тепловой смерти (точнее, болыцмановской «не абсолютной» тепловой смерти).

В случае, представляющемся К. П. Станюковичу более реальным, Вселенная состоит из счетного (бесконечного) множества классов различных «частиц», «...причем каждая частица класса Λ_i может включать в себя частицы низших классов Λ_{i-1} ; Λ_{i-2} ...Под частицей можно подразумевать любое автономное образование (фотон, молекулу, звезду, систему звезд и т. д.». К. П. Станюкович заключает, что в такой модели, «...несмотря на возрастание энтропии каждой конечной подобласти... Вселенная... всегда неравновесна и никогда не может прийти в состояние равновесия.

Развитие может происходить неограниченно, без бесконечных «тавтологических» повторений; множество форм существования материи в процессе ее развития неисчерпаемо»¹⁵.

Однако можно заметить, что эта модель — «Вселенная Станюковича» — с бесконечной иерархией классов частиц («фотон, молекула, звезда, звездная система и т. д.»!) — не что иное, как вариант *классической иерархической модели* Вселенной. При этом, как в каждой иерархической модели, пространственное распределение «частиц» любого класса должно иметь нулевую среднюю «по всей Вселенной» плотность. В противном случае класс с конечной плотностью частиц (или совокупность таких классов) будет доминировать, определяя основные свойства Вселенной, а даже бесконечная последовательность классов, имеющих среднюю плотность $\rho_i = 0$, будет создавать лишь бесконечно легкий флер на общей картине распределения массы классов, имеющих плотность больше нулевой. Далее, количество этих последних должно быть конечно (в противном случае средняя пространственная плотность материи будет бесконечно велика). Но в этом случае, как показал сам К. П. Станюкович, неизбежно установление состояния тепловой смерти.

Итак, модель Вселенной у К. П. Станюковича иерархическая. Его анализ оказывается достаточно полным, чтобы мы получили некоторые исходные представления о термодинамике подобных систем. Во всяком случае, вывод К. П. Станюковича об отсутствии в его модели Вселенной предельного статистически равновесного состояния тепловой смерти убедителен.

Статистически наивероятнейшим процессом в некоторой произвольной подсистеме этой иерархической системы является «рассеяние энергии» и т. п. — процессы, идущие с увеличением энтропии. Однако в каждом конечном объекте может происходить и макроскопическое уменьшение энтропии — за счет, как отмечает К. П. Станюкович, взаимодействия «частиц». Полная энтропия взаимодействующих систем, конечно, при этом возра-

¹⁵ К. П. Станюкович. К вопросу о термодинамике Вселенной. — В кн.: Труды шестого совещания по вопросам космогонии, с. 222—223.

стает. Поскольку иерархическая структура предполагается бесконечной, понижения энтропии заданной конечной величины могут (и должны) повторяться в данном объеме неограниченное количество раз. Так что предельное состояние типа статистически равновесного состояния «Вселенной Больцмана» не достигается в иерархической модели, и заключение о тепловой смерти действительно отпадает. (Это очевидно также из того, что достижение предельного состояния означало бы осуществление предельного соотношения и для плотности — равенство ее нулю в *любом* конечном объеме, что, очевидно, невозможно просто хотя бы из-за сохранения материи.)

Но какой ценой этот результат получен? Несомненно, заданные величины понижения энтропии в данном объеме могут повторяться бесконечное число раз в будущем. Но с течением времени промежутки его между этими событиями в среднем должны неограниченно возрастать, ибо понижения энтропии достигаются за счет взаимодействия «частиц» в среднем все более высокого порядка. На каком-то этапе эволюции средние промежутки времени между понижениями энтропии заданной величины сравниваются, а затем неизбежно сколь угодно *превосходят* среднее время между понижениями энтропии того же масштаба, достигаемыми во Вселенной Больцмана в результате флуктуаций! А поскольку, по предположению, возраст Вселенной уже бесконечно велик, то, как бы ни была мала вероятность больших флуктуаций в бесструктурной Вселенной Больцмана, в иерархической модели Вселенной (т. е. и в модели К. П. Станюковича) такие минимумы энтропии в среднем *бесконечно менее вероятны*.

Концепция И. Р. Плоткина популярна еще более, чем концепция К. П. Станюковича. Можно подозревать, что это произошло отчасти из-за большей оптимистичности выводов автора, устраняющего, как утверждается, тепловую смерть и в приблизительно однородной модели Вселенной, эквивалентной больцмановой... Впрочем, несомненно, широкий интерес к концепции И. Р. Плоткина оправдан и некоторыми ее объективными достоинствами. И. Р. Плоткин, как мне представляется, действительно подметил важные черты статистических систем, ранее не привлекавшие достаточного внимания.

Отличие результата И. Р. Плоткина от результатов Больцмана и К. П. Станюковича, относящихся, по существу, к той же самой модели Вселенной, в основном состоит в утверждении *об отсутствии* у модели статистически равновесного состояния, соответствующего тепловой смерти, и при «однородности» Вселенной.

К сожалению, при ближайшем рассмотрении оказывается, что этот результат убедителен лишь в одном отношении: утверждение о максимальной энтропии бесконечной Вселенной в некотором состоянии действительно не имеет смысла. (Отметим в этой связи ошибочность одного частного примера, рассмотрен-

ного К. П. Станюковичем: «...Даже при предельно неравновесном распределении тепла в пространстве (например, когда все тепло сконцентрировано в малой зоне с бесконечной плотностью энергии) через актуальную бесконечность времени тепло всюду выравнивается, и состояние, в которое придет газ, будет сколь угодно мало отличаться от равновесного»¹⁶. Но, очевидно, в этом примере конечное состояние будет характеризоваться *всюду* бесконечной плотностью энергии. Даже единственная частица с бесконечной энергией наделит в конце концов (в пределе, выражаясь строже) бесконечной энергией все (счетное) множество частиц в больцмановой Вселенной.)

В остальном результаты И. Р. Плоткина, относящиеся к термодинамической характеристике модели Вселенной, представляются уязвимыми для критики, развитой в их отношении К. П. Станюковичем. Кажется несомненным, что состояние, которое И. Р. Плоткин принимает за предельное бесконечно неравновесное, просто *тождественно* тому самому, которое рассматривают и обоснованно характеризуют как статистически *равновесное* и Л. Больцман и К. П. Станюкович. Довольно обширное доказательство И. Р. Плоткиным существования «верхнего предела применимости закона возрастания энтропии», по существу, может быть заменено простым указанием на то, что для системы с актуально бесконечным числом частиц ($N=\infty$) и флуктуации бесконечно велики ($\sqrt{N}=\infty$).

Что же касается наличия множества мощности континуума возможных состояний этой системы, которые не могут быть реализованы даже за актуальную бесконечность времени, то это, конечно, верно. Но состояния эти, пожалуй, есть не что иное, как последовательные состояния Вселенной Больцмана. За актуальную бесконечность времени она также, конечно, не успеет пройти всех своих возможных состояний,— а состояния эти существенно различаются: в одном гигантская флуктуация происходит здесь, в другом на расстоянии $10^{10^{10}}$ км отсюда и т. д... Так что в каждый момент во Вселенной Больцмана действительно имеются сколь угодно большие флуктуации (и их даже бесконечно много!). Какое уж там равновесие! Однако локальное (во времени) или пространственное (в данный момент) рассмотрение приводит эту систему к классической больцмановой картине...

Используемый И. Р. Плоткиным для описания системы в пределе при $N=\infty$ аппарат (дающий основание для утверждения о непригодности в этом случае основных понятий статистической теории) дает недостаточно ясное представление о «деталях» структуры системы, ничего не позволяет сказать о конкретных проявлениях интегрального, устанавливаемого ав-

¹⁶ К. П. Станюкович. К вопросу о термодинамике Вселенной.— В кн.: Труды шестого совещания по вопросам космогонии, с. 222.

тором концепции свойства (неравновесности) в любом конечном объеме. Т. е., по терминологии А. Л. Зельманова, концепция И. Р. Плоткина содержит лишь некоторое утверждение о свойствах «Вселенной в целом», но не позволяет ничего определенного сказать о «всей Вселенной». «Раскрытие» же этой неопределенности приводит, как представляется, к заключению, что «вся Вселенная» у И. Р. Плоткина тождественно та же, что у Больцмана.

Наиболее интересным и сохраняющим свое значение элементом концепции И. Р. Плоткина является, пожалуй, подчеркнутая им неотделимость флуктуаций от состояния статистического равновесия¹⁷. Иначе, флуктуации являются не отклонениями от статистически равновесного состояния, а, как говорит И. Р. Плоткин, нормой поведения. Пожалуй, лучше и последовательнее было бы сказать, что в феноменологическом аспекте флуктуации являются *формой существования* статистически равновесного состояния. Однако такая, — видимо, логически неизбежная, — формулировка результата И. Р. Плоткина уже выводит за пределы его утверждений и начинает противоречить им, — а именно, утверждению, что флуктуации являются «формой перехода к новым состояниям»¹⁸. В действительности состояния эти новы лишь с «микроскопической» точки зрения, а интегрально система продолжает пребывать в одном и том же состоянии статистического равновесия, как бы ни менялось поле флуктуаций в ней.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ, ФЛУКТУАЦИИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

Более отчетливое представление о характере состояния и поведения системы с флуктуациями, чем это возможно в рамках стандартного аппарата статистической теории, можно получить лишь располагая каким-то способом более точного, чем обычное, статистического описания флуктуаций. И. Р. Плоткин использовал для этого более мелкое, в сравнении с обычным, деление пространства системы на ячейки, так что в каждой ячейке с подавляющей вероятностью оказывается не много частиц, а 0 или 1. Однако эта процедура, очевидно, *неоднозначна*, и существенным элементом ее является *субъективное* решение исследователя о выборе той или иной величины (а также формы и ориентации) ячеек объема.

Субъективный элемент в этой процедуре неизбежен вследствие того весьма общего обстоятельства, что в современной

¹⁷ И. Р. Плоткин. О верхнем пределе применимости второго начала термодинамики.—«Ученые записки Ленинградского гос. пед. института», 1956, т. XVII, вып. 2, с. 43—48.

¹⁸ Там же, с. 48.

статистической теории вообще не используется (отсутствует) какое-либо однозначное и не содержащее субъективного элемента определение объема, занимаемого системой частиц, выделенных заданием их координат. Точнее, обычное определение объема в современной теории *практически* однозначно при числе частиц в (под-) системе $n \gg 1$ ¹⁹. В большинстве задач, где достаточным является сглаживающее флуктуации использование метода «физически бесконечно малого объема», это допустимо и этого достаточно. (Хотя само определение фундаментального понятия «физически бесконечно малый объем», строго говоря, является внутренне противоречивым, поскольку к нему предъявляются одновременно требования, чтобы число частиц в нем $n \rightarrow \infty$ — для сглаживания флуктуаций и $n \rightarrow 0$ — для локальности описания системы, что отметил еще Дж. Джинс²⁰. Автором было предложено использовать в физической статистике некоторое однозначное, не содержащее субъективного элемента и в ряде отношений предпочтительное определение объема статистической системы (меропредопределение Вороного — Бернала²¹.) Оно сопоставляет с каждой частицей «элементарную ячейку объема», являющуюся геометрическим местом точек пространства, более близких к данной частице, чем к любой другой. При этом *каждому* распределению частиц *однозначно* соответствует система элементарных ячеек объема. Описание это гораздо более детально, чем опирающееся на метод «физически бесконечно малого объема», и позволяет сохранить существенно больше информации о системе, — в частности, и о деталях микроструктуры, феноменологически тождественных флуктуациям.

В то же время «объем элементарной ячейки» есть величина, существенно более коллективная, чем координаты одной центральной частицы ячейки. Объем этот зависит и от расположения соседних частиц. Так, в одномерном случае величина объема элементарной ячейки определяется взаимным расположением трех частиц (включая центральную); в двумерном — не менее четырех; в трехмерном случае — не менее пяти (а в среднем, конечно, большего числа, т. е. уже порядка десятка частиц). В этом последнем случае число независимых переменных (координат частиц, определяющих ориентацию, форму и размер ячейки объема) должно составлять что-нибудь около 15—20. Поэтому стохастика координат частиц существенно сглаживается в распределении величин объемов элементарных ячеек, хотя объем каждой ячейки остается *однозначной* функцией координат (нескольких соседних) частиц.

¹⁹ Ф. А. Цицин. Об определении понятия «объем» для систем корпускулярной природы. — «Вестник Московского университета», 1963, сер. III (физика, астрономия), № 5, с. 54—57.

²⁰ J. H. Jeans. — *Dynamical Theory of Gases*. Cambridge, 1925, p. 15.

²¹ J. D. Bernal. A geometrical approach to the structure of liquids. — «Nature», 1959, v. 183, N 4655, p. 141

Итак, введение этого способа описания распределения частиц в системе, с одной стороны, подобно заданию координат, оставляет описание строго однозначным. Каждому распределению частиц соответствует единственное распределение элементарных ячеек объема. Обычное же описание, сопоставляющее заданному распределению частиц пространственный ансамбль «физических точек», принципиально неоднозначно, так как элементы этого ансамбля зависят от неоднозначного и содержащего субъективный элемент выбора наблюдателем разбиения объема системы на «физически бесконечно малые объемы».

С другой стороны, объемы соседних элементарных ячеек должны быть в некоторой корреляции друг с другом, что необходимо придает элементы связности, непрерывности пространственному ансамблю элементарных ячеек в системе.

Этот аппарат позволяет столь же детализировать интегральное описание состояния системы в *структурном* аспекте, как использование функции распределения энергий частиц — в аспекте *энергетическом*. Аналогом функции распределения энергии является функция $f(v, t)$ распределения объемов v элементарных ячеек, в статистически равновесном случае не зависящая от времени t (с той же точностью, что и максвелловское распределение скоростей или энергий). Например, в математически простейшем, но физически, тем не менее, уже достаточно представлятельном случае одномерного идеального газа соответствующая функция есть, как можно показать²²,

$$f(v) = 4\alpha^2 v \cdot \exp(-2\alpha v), \quad (1)$$

где $1/\alpha = \bar{v}$.

Определив обычным образом для элементарной ячейки сглаженную континуальную плотность ρ ($\rho = m(v)/v$, где m — масса частицы), мы без труда получим статистически равновесную функцию распределения плотности $\phi(\rho)$ — интегрально описывающую равновесные флуктуации плотности в статистической системе («сколько какой плотности», с учетом равновесных флуктуаций ее, в статистически равновесной системе; а точнее — в континуальной модели дискретной системы)²³.

Аналогично вводится, на основании молекулярно-кинетического определения температуры T , функция распределения температуры $\tau(T)$. В этой модели легко может быть найдена и статистически равновесная функция $\sigma(s)$ распределения плотности s энтропии.

²² Ф. А. Цицин. Об определении понятия «объем» для систем корпускулярной природы. — «Вестник Московского университета», 1963, сер. III (физика, астрономия), № 5, с. 54—57.

²³ Ф. А. Цицин. К термодинамике Вселенной Больцмана (космологический, звездно-динамический и статистико-физический аспекты). — «Сообщения Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга», 1969, № 158, с. 3—13.

Итак, флуктуации, как правильно отметил И. Р. Плоткин, действительно есть неотъемлемая черта (форма существования!) статистически равновесного состояния, — но не форма перехода к состояниям, не укладывающимся в обычную статистическую формулировку второго начала. Вопреки результатам И. Р. Плоткина, основанным на разбиении объема на «очень мелкие» ячейки, размеры которых устанавливаются в сущности субъективно, принятие *однозначного* мероопределения объема ячеек, позволяющего точнее отразить систему в описании ее, приводит к виду функций $\varphi(\rho)$, $\tau(T)$, $\sigma(s)$, *не зависящему* от размера системы. Никакой тенденции к «расшатыванию» второго начала при $n \rightarrow \infty$ не оказывается!

Отклонением «от чего же» являются флуктуации? Изложенная методика позволяет дать вполне определенный (впрочем, достаточно тривиальный) ответ на этот вопрос: от состояния *термодинамического* равновесия... Дело в том, что хотя понятия «статистическое равновесие» и «термодинамическое равновесие», как правило, не различают, они не тождественны и различать их в некоторых случаях необходимо.

В термодинамическом равновесии система не содержит никаких, хотя бы сколь угодно малых, отклонений от термодинамически строго однородного состояния. Энтропия S системы при этом точно равна максимальному значению $S_{\max}$. При наличии же флуктуаций в замкнутой системе ее энтропия $S < S_{\max}$. Статистически равновесному состоянию (равновесным флуктуациям) соответствует некоторое постоянное значение энтропии $\bar{S}$. Параметр

$$\Delta S \equiv S_{\max} - \bar{S} \quad (2)$$

может служить количественной характеристикой различия состояний, соответствующих термодинамическому и статистическому равновесию системы.

Если известна статистически равновесная функция распределения плотности энтропии, то величина ΔS может быть найдена. Так, для рассматривавшейся выше простейшей системы находим (для 1 моля одномерного идеального газа)

$$\Delta S = \frac{1}{4} (4 + \ln 2 - 3C) R \approx 0,74R, \quad (3)$$

где $C \approx 0,58$ — постоянная Эйлера, R — газовая постоянная. Порядок величины $\Delta S_{\text{моль}}$, как можно убедиться, должен быть тот же и в общем случае.

Необходимо подчеркнуть, что суммарное флуктуационное отличие энтропии статистически равновесной системы от энтропии термодинамически равновесной для макроскопической системы, как показывает (3), в этом подходе *макроскопически не мало*.

В зоне состояний $(\bar{S}, S_{\max})$ флуктуации в среднем *менее* рав-

новесных и должны самопроизвольно нарастать до уровня равновесных. Это соответствует, в общем случае, самопроизвольно-му с подавляющей вероятностью происходящему убыванию энтропии²⁴ на макроскопически не малую величину²⁵. Тем не менее, соответствующие состояния и процессы практически ненаблюдаемы, поскольку в любой доступной экспериментатору системе равновесные флуктуации присутствуют до опыта. В макроскопическом эксперименте мы всегда наблюдаем переход системы из статистически неравновесных состояний, заведомо имеющих $S < \bar{S}$, в состояние с $S \approx \bar{S}$ (с точностью до величин порядка средней квадратичной флуктуации $\delta S \ll \Delta S$). Т. е., несмотря на макроскопическое расстояние от $\bar{S}$ до $S_{\max}$ на шкале энтропии S и принципиальную возможность процессов с макроскопическим убыванием энтропии замкнутой системы («процесс Смолуховского», C -процесс), на опыте они наблюдаться не могут. В теоретическом плане, однако, существование и макроскопический размер «зоны Смолуховского» приводят к небезыntересным следствиям, имеющим отношение и к нашей теме.

Согласно известному результату Планка, относящемуся к проблеме соотношения энтропии S и вероятности состояния W системы, если между S и W существует функциональная связь, то она выражается формулой Больцмана

$$S = k \ln W + \text{const}, \quad (4)$$

и только ею (здесь k — постоянная Больцмана).

Однако в «зоне Смолуховского» гипотетическая функциональная связь между S и W заведомо не выражается формулой Больцмана, — при возрастании вероятности состояния системы в C -процессе термодинамическая энтропия системы здесь даже убывает. Следовательно, и в полной области возможных состояний замкнутой системы ($-\infty, S_{\max}$) гипотетическая функциональная связь S и W не выражается формулой Больцмана, т. е. в общем случае

$$S \neq k \ln W + \text{const}. \quad (5)$$

Но это означает, в соответствии с результатом Планка, указанным выше, что функциональная связь между S и W вообще отсутствует, т. е.

$$S \neq F(W), \quad (6)$$

где F — символ произвольной функции.

²⁴ М. Смолуховский. Несколько примеров брауновского молекулярного движения под действием внешних сил. — В кн.: А. Эйнштейн, М. Смолуховский. Брауновское движение. Л., 1936, с. 205—225.

²⁵ Ф. А. Цицин. К физическим основам динамики звездных систем. — В кн.: Структура и динамика звездных систем. Труды Астрофизического института, т. XII. Алма-Ата, 1969, с. 3—16.

Чтобы несколько уменшить впечатление парадоксальности этого результата, на фоне известных успехов теорий, опирающейся на формулу Больцмана (4), заметим следующее. Связь между S и W , несомненно, все же существует в рамках развиваемого здесь варианта теории, но не функциональная, а статистическая, в следующем смысле. Каждому значению S энтропии системы (кроме $S_{\max}$) соответствует множество мощности континуума (классическая статистика) значений W , описываемое некоторой функцией распределения, и наоборот. В той области плоскости (S, W) , над которой двумерная функция распределения от аргументов S и W образует острый «хребет», зависимость между S и W может быть практически близка к функциональной. С развиваемой точки зрения в этом, видимо, и состоит физический смысл формулы Больцмана, причина ее удовлетворительности в широком круге задач статистической физики.

Но наличие или отсутствие функциональной зависимости между энтропией и вероятностью состояния системы как объективными физическими характеристиками ее — объективное свойство материального мира. Либо такая связь реально существует, либо нет. Полученное заключение об *отсутствии* такой связи в приближении принципиальной нетождественности состояний, соответствующих термодинамическому и статистическому равновесию, о функциональной независимости S от W означает, что свойства материального мира более богаты и разнообразны, чем мы обычно полагаем, получая в приближении $\Delta S=0$ существование функциональной связи между S и W , т. е. жесткой взаимной зависимости этих параметров, зависимости, при которой задание одного из них предопределяет и значение другого. Следовательно, существующий материальный мир (в котором все же, строго говоря, $\Delta S \neq 0$) более разнообразен и многокрасочен, чем его модель, в которой принимается $\Delta S=0$ и существует функциональная связь между S и W . Поэтому нельзя исключать возможности существования (и практической реализации, и использования) некоторых типов систем, процессов, явлений, невозможных при наличии функциональной связи между S и W .

В частности, отсутствие однозначной зависимости между термодинамической энтропией S и вероятностью состояния системы W позволяет формулировать второе начало, строго говоря, лишь как утверждение о возрастании *вероятности состояния*, но не обязательно о возрастании с подавляющей вероятностью *термодинамической энтропии* замкнутой системы.

Но характер и свойства системы в наименее вероятном состоянии существенно зависят от динамических свойств образующих ее частиц (тел). Возникает мысль, а не возможны ли такие процессы (например, циклическая динамическая эволюция статистико-динамической системы), в которых наименее вероятное состояние испытывает статистическую эволюцию, немонотонную по энтропии, и изменение состояния системы также оказывается

циклическим? В такой статистико-динамической модели системы осуществлялся бы круговорот без каких-либо парадоксальных эффектов типа «обратного кино» и т. п.

Космологическая роль подобного рода систем и процессов (в случае реальности их) как обеспечивающих механизм преодоления тепловой смерти в системах космологического масштаба (не обязательно бесконечных) не может быть переоценена.

Далее, вывод об отсутствии жесткой функциональной связи между S и W дает основу для предположения о возможности таких процессов в системах масштаба обычных макроскопических. Разумеется, было бы наивно ожидать, что окажется возможным вечный двигатель второго рода или эффективно функционирующий максвелловский демон в физически простых ситуациях, охватывающих подавляющее большинство изученных нами систем. Но помнить, что Н-теорема, как подчеркнул М. Борн (и его замечание сохраняет силу до сих пор), строго доказана лишь для систем типа идеального газа, все же не мешает. Необходимо также указать на необоснованность распространенного представления, будто еще Смолуховским строго доказана невозможность использования флуктуаций для макроскопического нарушения второго начала, а Бриллюэном и другими — невозможность существования эффективного демона Максвелла. Так, М. Смолуховский и его последователи в своих рассуждениях опирались на постулаты статистической механики, — порочный круг? Л. Бриллюэн не рассмотрел демона Максвелла наиболее «опасного» типа, в конечном счете эквивалентного «флуктуирующему микроклапану», и т. д. Так что проблема здесь не закрыта, во всяком случае, пока.

Тем более любопытно, а может быть и многозначительно, что в физически наиболее сложных и наименее исследованных системах — биологических структурах надмолекулярного уровня — давно известны и, насколько можно судить, до сих пор не объяснены в рамках второго начала некоторые очень характерные эффекты, вроде процессов «активного переноса». Прямых противоречий предписаниям второго начала здесь вроде бы не обнаружено, но ведь известно, что, если исследователь убежден в невозможности какого-либо эффекта, обнаружить такой эффект ему трудно... Подчеркнем, что существование противоречащих второму началу процессов в указанных системах (на которые справедливость второго начала сейчас просто экстраполируется) ни в коей мере не противоречило бы строгой справедливости второго начала для систем более простой структуры, охваченных нашим опытом.

В случае реальности существования выходящих за рамки второго начала процессов, скажем, в биоструктурах такие процессы, можно думать, могли бы быть смоделированы и воспроизведены на небиологических моделях. В конечном счете это позволило бы активно контролировать термодинамические пре-

образования энергии и восстанавливать «жизнеспособность» систем, достигших недействительного состояния «тепловой смерти». Принципиально подобный процесс может мыслиться в любом масштабе, вплоть до космических и даже космологических. Это означало бы, что принципиально существует механизм оживления даже бесконечной модели Вселенной, первоначально находящейся в состоянии тепловой смерти. Первый шаг, хотя бы в порядке сколь угодно маловероятной бoльцмановской флуктуации, совершает в этой модели сама природа—производит жизнь и разум; возникающая позже технологическая цивилизация инициирует неограниченно продолжающийся и расширяющийся процесс вывода системы из состояния тепловой смерти.

МАКСИМАЛЬНО НЕОДНОРОДНАЯ МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ КОСМОЛОГИИ

Наконец, еще один (но далеко не исчерпывающий тематику проблемы) аспект космологического парадокса тепловой смерти Вселенной.

Почти все предшествующие рассуждения (за исключением небольшого ответвления в сторону иерархических моделей) проводились в рамках, так сказать, однородной модели Вселенной. Однородность при этом может пониматься довольно широко. Это не обязательно «бесконечная Метагалактика» и т. д. Достаточно предположения, что всюду во Вселенной действуют одни и те же законы природы. Или, в несколько менее тривиальном случае, что, например, «вакуум Наана», производящий миры с временем, антивременем и даже «растрескавшимся временем»,—что этот вакуум во всей Вселенной одинаков. При таких, довольно либеральных условиях однородности однородна даже «Вселенная Зельманова» — нечто наиболее неоднородное, с точки зрения релятивистской (и даже «пострелятивистской», по А. Л. Зельманову) космологии.

Во всех моделях Вселенной этого рода, по-видимому, в какой-то форме неизбежно появление термодинамических трудностей типа вывода о тепловой смерти (даже если в автономной релятивистской космологической модели, как следует из результатов Р. Толмена, вывод о тепловой смерти и отсутствует)²⁶.

Однако, несмотря на преобладающее распространение концепции однородной Вселенной (в указанном широком смысле), с нею сосуществует и радикально иная «модель Вселенной». Правда, она далеко не всегда явно формулируется, или же не всегда использование ее осознается. Довольно типичным является представление, в рамках которого эклектически сочетаются элементы (свойства) этой модели и модели однородной Вселенной.

²⁶ Р. Толмен.— Относительность, термодинамика и космология. М., 1974, с. 335.

Имеется в виду представление о бесконечном разнообразии Вселенной. Выше приводились доводы в пользу утверждения, что модель круговорота, неотторжимая от концепции однородной Вселенной,— не очень-то подходящая база для представления о бесконечном, неповторяющемся развитии во Вселенной, о бесконечном разнообразии ее. Тем не менее, как сказано, представление о бесконечном разнообразии и развитии часто сочетается с принятием концепции круговорота.

Тем не менее, возможна последовательная модель Вселенной, где развитие не повторяется, где картина мира действительно бесконечно разнообразна, и чем дальше в пространстве и во времени от наблюдателя, тем более «дикий» формы материи, законы природы преобладают и являются определяющими... Зародыш этой картины можно обнаружить у Энгельса — в уже цитированном высказывании о «бесконечном ряде других форм», предшествовавших кантовской первоначальной туманности. Эта картина непосредственно и, пожалуй, с логической необходимостью распространяется на ряд форм, следующих за «первоначальной туманностью» или, скажем, за исходным для наблюдаемого мира сингулярным состоянием²⁷. Картина эта естественно переносится на пространственный аспект «в данный момент».

Перед последовательной концепцией подобного рода все рассматриваемые нами проблемы (вплоть до парадоксов космологических масштабов вроде вывода о тепловой смерти Вселенной) оказываются, очевидно, чисто локальными и не имеющими смысла парадоксов в общей картине бесконечного неповторяющегося в пространстве и времени развития материи в бесконечной Вселенной.

Развитию естественнонаучной концепции бесконечного разнообразия Вселенной уделяется несоразмерно мало внимания в современных исследованиях. Можно буквально по пальцам перечислить авторов, внесших лепту в попытки разработки этой картины Вселенной. Не могу не назвать в этой связи В. И. Свидерского²⁸. Укажу еще на статью В. П. Лебедева²⁹.

Мы привыкли думать, что познаем мир, постепенно приближаясь к абсолютной истине (чуть ли не асимптотически; хотя и никогда не достигая ее, но все же подходя сколь угодно близко); нам трудно избежать неудовольствия и неприязни, обнаружив, что в обрисованной «максимально неоднородной Вселенной» абсолютная истина находится от нас на очевидно бесконечном расстоянии. В этой максимально неоднородной

²⁷ Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Релятивистская астрофизика. М., 1967, с. 484.

²⁸ В. И. Свидерский. Понятие реальной бесконечности и его значение для космологии.— В кн.: Бесконечность и Вселенная, с. 251—264.

²⁹ В. П. Лебедев. Второе начало термодинамики и структура понятия «разнотия». — «Вестник общественных наук АН Армянской ССР», 1968, 9(304), с. 16—26.

Вселенной любые физические законы локальны в пространстве и эфемерны во времени, и естественно возникает вопрос: не оказывается ли познающий разум совершенно безоружным перед лицом такого объекта? Достаточно ли мы вооружены философски и математически, чтобы подступить к нему? Нам кажется, что в философском плане оружие у нас вполне достаточное и весьма совершенное — это диалектический материализм. Дело за самими исследователями, стоящими на позициях диалектического материализма, — использовать возможности, предоставляемые этим гигантской мощности методом.

Математический же аппарат как будто до сих пор всегда оказывался на высоте, в свете потребностей естествознания.

Именно в наше время математика уже осуществила гигантский прорыв, обнаруживший, в потенции, множественность самих математик. Вот ситуация, создавшаяся в результате открытия Коэна (решение проблемы континуума), ярко охарактеризованная Г. И. Нааном: «... Таким образом, в принципе могут существовать разные математики, основанные на разных теориях множеств... Одна математика — это математика упорядоченного мира, другая — мира, не поддающегося упорядочению. Последний нам только еще предстоит открыть? Или мы преувеличиваем упорядоченность известного нам мира?»³⁰

Это интересное высказывание Г. И. Наана рисует концепцию «максимально неоднородной Вселенной» в новом освещении, когда она предстает не как мрачная громада, к которой неизвестно как и подступить, а как захватывающая проблема. Проблема эта такого масштаба, что уже одна постановка и просто даже осознание наличия ее, видимо, обнаруживает незначительность, псевдоглубину и вообще «псевдопроблемность» некоторых наших в буквальном смысле вековых проблем. В частности, в «максимально неоднородной Вселенной» тепловая смерть просто немыслима. Состояния всеобщего равновесия в такой Вселенной не существует. Она по своей природе всюду и всегда неравновесна и полна жизни, движения, — как и непосредственно окружающая нас и наблюдаемая нами окрестность ее, о которой хорошо сказал В. А. Амбарцумян: «Вселенная в новых представлениях астрономов — это быстро и глубоко изменяющийся окружающий нас мир с богатейшим разнообразием жизненных процессов в космических телах»³¹.

³⁰ Г. И. Наан. Понятие бесконечности в математике и космологии. — В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969, с. 55.

³¹ В. А. Амбарцумян. Ядра галактик. — «Вестник Академии наук СССР», 1969, № 2, с. 35.

I. Астрономия и революция в естествознании XX века

В. А. Амбарцумян, В. В. Казютинский. Революция в астрономии и ее взаимосвязь с революцией в физике	9
В. Л. Гинзбург. Астрофизика и новые физические законы	57
Я. А. Смородинский. Астрофизика, релятивизм и картина мира	66
Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Проблемы релятивистской космологии	82
Н. В. Мицкевич. Космология, релятивистская астрофизика и физика элементарных частиц	95
Н. В. Мицкевич, Э. М. Чудинов. Релятивистская космология и неоперационализм Л. Бриллюэна	120
И. Б. Новик, А. Турсунов. Методологические аспекты взаимодействия астрономии и физики	134

II. Пути познания Вселенной

В. С. Степин. Взаимосвязь наблюдения, эксперимента и теории в познании Вселенной	151
А. Г. Масевич. Метод моделей в астрофизике, его эвристические возможности	188
А. Турсунов. Проблемы моделирования в космологии (гносеологические аспекты)	200
Ю. В. Сачков, Ф. А. Цицин. Статистический метод в астрономии	228

III. Знание и реальность в астрономии

Б. Н. Пановкин. Объективность знания и проблема обмена смысловой информацией с внеземными цивилизациями	240
И. С. Алексеев. Проблема существования в астрономии	265
Г. Ю. Тредер. Значение коперниканства для современной физической и астрономической картины мира	288

IV. Фундаментальные физические понятия в астрономии

Н. Н. Лисовой. Сингулярность, направление времени и развитие Вселенной	311
М. Д. Ахундов, Л. Б. Баженов, Э. М. Чудинов. Концепции пространства, времени, бесконечности и современная космология	341
А. М. Мостепаненко. Топологическая структура пространства-времени Вселенной	377
Ю. Б. Молчанов. Необратимые процессы и направление времени	397
Л. Г. Антипенко. Вселенная и «стрелы времени»	417
Л. Б. Баженов, В. П. Лебедев. Второе начало термодинамики и проблема развития Вселенной	436
Ф. А. Цицин. Понятие вероятности и термодинамика Вселенной	450

Философские проблемы астрономии XX века

Утверждено к печати Институтом философии АН СССР

Редактор **издательства** Я. А. Мильнер

Художник Э. Л. Эрман

Художественный редактор Н. Н. Власик

Технические редакторы О. М. Гуськова, Л. И. Курпиянова

Корректоры В. А. Гейшин, И. С. Княжицкая

Сдано в набор 13/X-1975 г. Подп. к печ. 31/III-1976 г.

Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 30. Уч.-изд. л. 32,9. Тираж 3400 экз.

Т-00680. Тип. зак. 4716

Цена 2 р. 21 к.

Издательство «Наука»

103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»,

121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10.

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

№ п/п	Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
1	32	1-я снизу	№ 3	№ 4
2	422	19 снизу	Пр ⁸ vv... v	Пр ⁸ vv... v

Философские проблемы астрономии