

**Шаги
за
горизонт**

В. ГЕЙЗЕНБЕРГ

W. HEISENBERG

Schritte über Grenzen

München
1973

Tradition in der Wissenschaft

Reden und Aufsätze

München
1977

В. ГЕЙЗЕНБЕРГ

Шаги за горизонт

Перевод с немецкого

Общая редакция и вступительная статья
доктора философских наук
Н. Ф. Овчинникова



Москва
«Прогресс»
1987

ББК 87.3 (4Ф)

Г 29

Редакторы А. С. Васильев, Н. В. Вербицкая

Гейзенберг В.

Г 29 Шаги за горизонт: Пер. с нем./Сост. А. В. Ахутин; Общ. ред. и вступ. ст. Н. Ф. Овчинникова. — М.: Прогресс, 1987. — 368 с.

В. Гейзенберг — один из пионеров современной теоретической физики, который закладывал основы атомной физики. С не меньшей смелостью и глубиной ставил и решал он связанные с нею философские, логические и гуманитарные проблемы.

Сборник составлен на основе двух книг В. Гейзенберга: «Шаги за горизонт» (1973) и «Традиция в науке» (1977). В нем дается теоретико-познавательное, гносеологическое осмысление новейших научных достижений, путей развития теоретической физики.

Издание рассчитано как на философов, так и на широкий круг ученых-естествоиспытателей.

Г $\frac{0301000000-665}{006(01)-87}$ 1-87

ББК 87.3 (4Ф)

В. Гейзенберг

Шаги за горизонт

Художник *И. А. Сапрыгина*

Художественный редактор *С. В. Красовский*

Технический редактор *В. Ю. Никитина*

Корректор *И. В. Леонтьева*

ИБ № 15226

Сдано в набор 10.04.87. Подписано в печать 24.09.87. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенно-новая. Печать высокая. Усл. печ. л. 19,32. Усл. кр.-отт. 19,32. Уч.-изд. л. 20,77. Тираж 11 000 экз. Заказ № 1103. Цена 2 р. 20 к. Изд. № 41626. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Прогресс» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 119841, ГСП, Москва, Г-21, Zubovskiy bulvar, 17. Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105. Нагатинская, 1.

Редакция литературы по философии и лингвистике

© Перевод на русский язык.

Вступительная статья и комментарии —
издательство «Прогресс», 1987

Ученый-мыслитель XX века

(Вступительная статья)

Вернер Гейзенберг (1901—1976) широко известен в мире как физик-теоретик, как один из тех ученых, кто внес решающий вклад в построение квантовой механики — физической теории XX века, радикально изменившей наши представления о микромире — мире молекул, атомов, элементарных частиц. Вместе с Максом Борном (1882—1970) и Паскуалем Йорданом (1902—1980) он разработал так называемый матричный вариант квантовой механики. Ему принадлежит честь открытия важнейшей формулы в науке XX века — соотношения неопределенностей.

Но теоретические интересы Гейзенберга и его творческая активность выходили далеко за пределы специально научной деятельности. Все те, кто знал его лично, подчеркивают его непреходящий интерес к философской мысли и ее истории, его пристальное внимание к проблемам художественного творчества, его серьезную озабоченность социальными событиями времени. Ученик и близкий друг Гейзенберга Карл Вейцеккер писал, что он был прежде всего внутренне активной личностью с широким кругом интеллектуальных интересов и только потом выдающимся ученым. Присущее ему чувство долга вынуждало его входить в обсуждение проблем социальной жизни и современных ему политических потрясений.

В последние десятилетия и в особенности в последние годы со все большей яркой определенностью открывалась перед нами полнота его творческой личности. Еще в 1932 году, вскоре после разрешения принципиальных трудностей квантовой физики и построения последовательно развитой квантовой теории, была переведена на русский язык книга Гейзенберга «Физические принципы квантовой теории». Это было первое систематическое изложение новых для того времени идей квантовой физики, в том числе и тех идей, которые внес сам Гейзенберг в современную науку. С присущей ему скромностью в предисловии к книге он исторически точно, как мы теперь можем

судить, и глубоко справедливо оценил роль Нильса Бора (1885—1962) в разработке новой теории. Гейзенберг писал: «...эта книга не заключает в себе ничего, чего нельзя было бы уже найти в прежних изложениях, и в особенности в известных исследованиях Бора. Цель книги покажется мне достигнутой, если она несколько будет способствовать распространению того «копенгагенского духа квантовой теории» (если я могу так выразиться), который дал направление всему развитию новой атомной физики»¹. В 1953 году был опубликован в русском переводе сборник статей Гейзенберга «Философские проблемы атомной физики», вышедший в США в 1952 году. В 1963 году вышла в русском переводе книга «Физика и философия», первое немецкое издание 1959 года. Наряду с книгами в журналах «Вопросы философии» и «Природа» публиковались статьи Гейзенберга философского характера².

В настоящей книге собраны статьи, в большинстве своем ранее не публиковавшиеся на русском языке. Гейзенберг предстает здесь перед нами как выдающийся ученый-мыслитель XX века. Среди обсуждаемых им проблем особое место занимает проблема природы науки и ее судеб.

В чем же он видит смысл и цели научной деятельности? Размышляя об абстрактном характере научного знания, Гейзенберг стремится подчеркнуть и развить ту мысль, что интеллектуальная сила науки заключается в особенном способе обобщения, позволяющем охватывать единым теоретическим взором разнородные явления и давать этим явлениям единое объяснение.

Убедительность механики Ньютона коренилась в свое время не в ее непосредственных практических результатах. Такие результаты несомненны, но их ценность проявилась значительно позднее, когда эта наука уже была принята научным сообществом. Убедительность научных

¹ Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории. Л.—М., 1932, с. 8.

² Открытие Планка и основные философские вопросы учения об атомах. — «Вопросы философии», 1958, № 11; О возможности единой теории поля материи. — «Вопросы философии», 1959, № 12; Развитие понятий в физике XX столетия. — «Вопросы философии», 1975, № 1; Замечания о возникновении соотношения неопределенностей. — «Вопросы философии», 1977, № 2; Смысл и значение красоты в точных науках. — «Вопросы философии», 1979, № 12; Беседы о взаимоотношении между биологией, физикой и химией. — «Природа», 1973, № 4; Атомная физика. — «Природа», 1974, № 9; Единая теория поля (1957—1958). — «Природа», 1976, № 6; Развитие квантовой теории (1918—1928). — «Природа», 1977, № 9.

достижений механики Ньютона коренилась в том, что эта научная теория позволяла дать единую картину крайне разнородных явлений природного мира — падение камня, которое мы можем наблюдать в повседневной жизни на Земле, движение Луны вокруг Земли представлялись лишь внешне различными формами действия одного и того же закона. Вместе с тем при построении самой теории идея единого объяснения разнородных явлений природы сыграла решающую роль.

Современная наука также движима стремлением к смысловому единству. Единство это часто открывается непреднамеренно, просто в силу того, что люди продолжают задавать вопросы природе, совершенствуя при этом технические средства и в особенности язык, на котором они ставят эти вопросы. Искусство экспериментального исследования состоит в том, чтобы найти такие способы вопрошания, которые позволяли бы получать ясные ответы. Наука о природе потеряла бы смысл, если бы ее утверждения не подтверждались прямым наблюдением в эксперименте. Но при этом необходимо иметь в виду, что научный эксперимент строится таким образом, чтобы выявить возможно более общие черты природных процессов.

С помощью науки человек определяет и строит свои отношения с окружающим миром и находит тем самым приемлемые формы жизни в этом мире. Если естествознание открывает нам смысловое единство природы, то искусство, замечает Гейзенберг, побуждает нас к прояснению смысла нашего существования. Как наука, так и искусство ставят человека перед невероятным многообразием явлений. Наука стремится понять все существующее, в том числе и жизнь, с единой точки зрения. В искусстве можно наблюдать стремление найти такое миропонимание, которое было бы общим всем людям на Земле.

Озабоченный прежде всего судьбой научного развития, Гейзенберг размышляет главным образом о путях, по которым движется та наука, которой он посвятил свою жизнь, — физическое знание. Несмотря на новые тенденции в оценке сравнительного вклада различных наук в познание природы и их значимости в человеческой жизни, он настаивает на том, что физика продолжает занимать среди них центральное положение.

Но в последние десятилетия все настойчивее осознается парадоксальность складывающейся ситуации — замечательные достижения физики элементарных частиц порождают в умах ученых тревожные сомнения в перспективах

развития физики вообще. Был поставлен вопрос: а не закончится ли в самое ближайшее время физика как наука? В самом деле, все природные вещества и все излучение состоят из элементарных частиц. Создается впечатление, что остается только описать и исследовать определяющие свойства частиц и найти общий закон их поведения. Если это будет сделано, то станут известны контуры всех физических процессов. Прикладная физика и разработка технических применений могут еще продолжаться. Но изучение фундаментальных физических явлений было бы в этом случае закончено.

Исследуя вопрос о возможном конце физической науки, Гейзенберг справедливо обращается к историческому опыту развития науки. Этот опыт показывает, что подобные идеи уже выдвигались в истории физики. Но каждый раз они отвергались самим ходом развития науки.

Конечно, в истории познания природы строились такие теории, которые можно назвать внутренне замкнутыми и в этом смысле окончательно завершенными. Механику Ньютона, например, можно рассматривать именно как такого рода теорию. Однако следует при этом учитывать общую структуру физического знания. Теории, подобные классической механике, действительно строятся как всеохватывающие теории. Но эта претензия на всеобщность, как показывает реальная история развития научного знания, неизбежно сталкивается с фактом построения других теорий, также претендующих на всеобщность.

При формулировке всеобъемлющих законов — а именно таковы законы ньютоновой механики — используется процедура идеализации, ведущая к выработке исходных понятий теории. Изучая историю науки, замечает Гейзенберг, мы не должны ограничиваться историей открытий и наблюдений, но обязаны включать в рассмотрение историю развития понятий. Такие понятия классической механики, как масса, сила, скорость, место и время, представляют собой отвлечение от многих реальных особенностей изучаемых процессов. Содержание этих и других понятий теории строго определено, и в силу этого теоретические утверждения, в которые входят эти понятия, оказываются верными вне зависимости от указанных особенностей, а значит, верными на все времена и в любых самых отдаленных звездных системах. В рамках своих понятий механика Ньютона окончательно и завершена.

Претензии на всеобщность продолжают действовать, но это не означает их реализации в том смысле, что все при-

родные явления могут быть объяснены на основе механики. И тем не менее большая сфера опыта вполне определенно описывается в понятиях механики и всегда может быть представлена этими понятиями. Мы можем заметить в этой связи, что общее и особенное сосуществуют в общей структуре знания и составляют существенную и необходимую особенность его развития.

Теория относительности и квантовая механика также замкнутые теории, опирающиеся на своеобразные идеализации. Для построения подобной замкнутой теории при исследовании элементарных частиц необходимо искать или строить более глубокую идеализацию, которая в предельном случае приводила бы к уже известным физическим теориям. Допустим, что такая идеализация найдена и построена замкнутая теория элементарных частиц. Можно ли в таком случае говорить, что физика пришла к своему завершению?

Гейзенберг обращает особое внимание читателя на процедуру идеализации и показывает, что любая идеализация охватывает ограниченный круг явлений. Все биологические объекты состоят из элементарных частиц. Однако понятие жизни не содержится в тех идеализациях, которые лежат в основании физических теорий. Необходимо осознать, что наука неоднородна, границы между различными областями науки неопределенны, расплывчаты, способы образования понятий существенно несходны. Но эти способы подвижны и не закреплены за какой-либо отдельной наукой. Такая подвижность, различие в способах формирования понятий требуют особого рода исследований, ведущих нас в пограничные сферы — в область математики, теории информации, философии. Эти области дают нам средства объединения и связи различных научных дисциплин. Дальнейшее развитие науки, ее судьба зависит от того, насколько успешно будут проходить процессы объединения, ведущие к преодолению исторически сложившихся границ.

В этом исторически необходимом процессе преодоления разобщенности между науками особая роль принадлежит философскому мышлению. Задача состоит в том, чтобы найти действительно плодотворные подходы к решению вопроса, опираясь на необходимую в данной проблеме философскую мысль. Обращаясь к трудностям в развитии науки, Гейзенберг замечает, что, к сожалению, приходится наблюдать множество бесплодных усилий в попытках преодолеть эти трудности. Безрезультатность такого рода

исследований обусловлена, по его мнению, нежеланием многих ученых обращаться к философскому мышлению. Но поскольку в силу духа научного мышления рождение подлинно новых научных достижений невозможно без взаимодействия с философскими идеями, исследователи-специалисты невольно, не осознавая того, исходят из дурной философии и под влиянием ее предрассудков приходят к путанице в самой постановке вопросов. «Дурная философия, — говорит Гейзенберг с необычной для его стиля резкостью, — исподволь губит хорошую физику» (с. 172). Как тут не вспомнить известное высказывание Ф. Энгельса: «...те, кто больше всего ругают философию, являются рабами как раз наихудших вульгаризированных остатков наихудших философских учений»¹.

Что же можно сказать о тех философских идеях, которые, по убеждению Гейзенберга, так необходимы для развития современных научных теорий? Если вдуматься в то, что пишет Гейзенберг, и попытаться проследить за ходом его мысли, то мы ясно увидим, что выдающийся ученый XX века всем содержанием своего философского анализа науки призывает к овладению диалектическим мышлением и сам в своем научном творчестве руководствуется принципами такого мышления. И хотя Гейзенберг в данной книге как бы мимоходом критически оценивает диалектический материализм как государственное верование, тем не менее его анализ закономерностей развития науки непреднамеренно ведет его самого к признанию диалектического способа разрешения возникающих в ходе научного развития проблем, способа, опирающегося на признание реальности исследуемого наукой физического мира. Диалектическое мышление поистине неизбежно диктуется всем ходом научного познания, всей его историей и современными достижениями.

В самом деле, вдумаясь в описание Гейзенбергом хода физического познания от Демокрита и Платона до наших дней. В одной из своих статей Гейзенберг следующим образом начинает это описание: «Вот уже 2,5 тысячи лет философы и естествоиспытатели обсуждают вопрос о том, что произойдет, если попытаться делить материю все дальше и дальше» (с. 170). Уже сама формулировка вопроса Гейзенбергом ясно указывает на исходный пункт его историко-методологического исследования: во всей истории человеческого познания прослеживается фундаментальная

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 525.

проблема, имеющая глубоко диалектический характер, а именно проблема структуры материи. Гейзенберг справедливо обращает внимание на непреходящий характер этой проблемы и вместе с тем на неоднозначные результаты ее решения, которые можно зафиксировать в истории научной и философской мысли.

Согласно Демокриту, при попытках неограниченно делить материю мы неизбежно натолкнемся на неделимые далее объекты — атомы. В противоположность этой концепции Аристотель, а вслед за ним и его последователи в средние века отстаивали мысль о возможности неограниченного деления вещества. Материя представлялась непрестанно делимым континуумом. На протяжении всей истории познания физического мира, включая и страстные дискуссии по проблемам квантовой физики в XX веке, мы наблюдаем взаимное противостояние и взаимодействие концепций дискретного и континуального.

Нет сомнения, что Платон развивал философскую концепцию, противоположную концепции Демокрита. И тем не менее в области исследования структуры материи концепции Платона и Демокрита не столь противоположны, как это представлено Гейзенбергом. Согласно воззрениям Платона, деление материи неизбежно наталкивается на математические формы — в конечном счете на симметричные треугольники, из которых образуются правильные геометрические тела. Эти формы столь же неделимы, сколь неделимы и атомы Демокрита.

Поскольку Гейзенберг в настоящей книге значительное место уделяет философским идеям Демокрита и Платона, в особенности сравнительной оценке исторической значимости их концепций, мы вынуждены чуть подробнее коснуться воззрений упомянутых античных мыслителей.

Гейзенберг подчеркивает коренное отличие атомистического учения Демокрита от атомистического учения Платона. Несомненно, эти физические концепции отличаются друг от друга, однако не настолько радикально, чтобы допустимо было отрицать их глубинное родство. Атомы Демокрита имеют наглядную телесную форму, атомы Платона — наглядную геометрическую форму. Но и те и другие составляют основание видимого материального мира в качестве далее неделимых элементов. Можно сказать, что в данном случае мы имеем дело с двумя модификациями одной и той же физической концепции.

Представление о радикальном различии и даже противоположности между концепциями Демокрита и Платона

возникает при философском подходе к их учениям. Такое представление естественно и оправданно, если при этом отвлечься от принципов построения научной теории и войти в круг собственно философской проблематики. Необходимо, однако, различать методологический подход в анализе научного знания и собственно философский подход в такого рода анализе.

Гейзенберг не проводит различия между методологическим и философским подходами, и в силу этого в его анализе научного знания возникают неоправданные переносы полученных оценок и результатов с одного подхода на другой. Указывая на радикальное различие между концепциями Демокрита и Платона, он, в сущности, имеет в виду их философские учения. Но тем самым Гейзенберг упускает из виду глубинное сходство их физических теорий, непосредственно перенося оценки их философских концепций на оценки принципов физических теорий.

А между тем необходимо учитывать, что методологический анализ имеет дело с научным знанием, исследует его структуру и принципы его построения, в то время как философский анализ направлен на значительно более широкую область исследования. В этой области существенное значение приобрела в свое время натурфилософия. Она интересуется сущностью мира природы и человеческого мира, решает задачу поиска той сущностной сферы, которая определяет само существование объектов исследуемой ею действительности.

В отождествлении двух подходов к научно-познавательным процессам Гейзенберг следует традиционным воззрениям, в которых методология науки не выделяется в особую область исследования, оставаясь полностью в системе философской проблематики. Но именно такое отождествление позволяет Гейзенбергу настолько развести две атомистические концепции античного мира, что они предстают как совершенно несовместимые. Методологический подход, однако, позволяет нам усмотреть, что и Демокрит и Платон решали одну и ту же научную задачу — задачу построения теоретического знания о структуре материи. Решая эту задачу, оба они, каждый по-своему, пришли к выводу, что теория структуры материи может быть построена лишь при условии, если мы найдем некоторые исходные, далее неделимые элементы.

Известно, что Демокрит говорит об атомах как об эйдосах, или как об идеях. Ясно также, что идеальные тела Платона, и в особенности правильные

треугольники, являются неделимыми элементами материи, в отношении неделимости совершенно подобными атомам Демокрита. Подчеркнем еще раз, что необходимо отличать теорию идей Платона, имеющую философски доктринальный характер, и его физическое учение о структуре материи. Что касается Демокрита, то Гейзенберг отдает дань его заслугам, указывая, что атомистическое учение античного мыслителя оказало сильнейшее воздействие на физику и химию позднейших столетий. Однако, противопоставляя друг другу учения двух античных мыслителей, он склонен оценивать состояние атомистической теории XX века как теории, развивающейся скорее под знаком Платона, чем под знаком Демокрита. Современная физика, полагает Гейзенберг, совершает переход от принципов Демокрита к принципам Платона. Именно это последнее утверждение и является прямым результатом отождествления методологического и собственно философского подходов в анализе историко-научных и историко-философских процессов.

Основная проблема, связанная с познанием структуры материи, заключается не в том, каковы именно те первичные элементы, которые составляют основание мира, — идеальны они или материальны. Проблема структуры материи — это поиски ее элементов, а затем и их связей. И заключается эта проблема прежде всего в вопросе, делима ли материя неограниченно или имеется предел ее делимости. Конечно, характер решения этой проблемы определенным образом зависит от исходных философских посылок о природе элементов. Но эта зависимость не так непосредственна, как может показаться. Современная наука в ходе познания структуры материи действительно в значительной мере использует математический язык. И конечно же, возникает потребность в интерпретации математического языка, и характер такой интерпретации зависит от определенных философских установок исследователя. Но та или иная интерпретация не определена однозначно, критерий ее правильности может быть найден лишь при апелляции к опыту исторического развития познания. Этот опыт указывает нам на ошибочность односторонних решений и напоминает о необходимости поисков синтеза.

В истории философской мысли проблема дискретного и континуального была осмыслена Кантом, который придал ей форму антиномии, указав тем самым на ее глубоко диалектический характер. Обсуждая эту антиномию, Гейзен-

берг стремится показать, что само противопоставление делимости и неделимости возникает в силу неразвитости теоретико-познавательных установок. «Причина возникновения антиномии, — пишет он, — заключается в конечном счете в нашем ошибочном убеждении, будто мы вправе прилагать свои наглядные представления к тому, что происходит в мире предельно малых объектов» (с. 171). Диалектика познания вынуждает нас изменять наши понятия, если мы хотим создать картину структуры мира и понять эту картину.

Идея неделимости структурных элементов материи в определенной мере действует и в современных физических теориях. Гейзенберг замечает, что в современной теории тепловых явлений атомы представляются точечными, то есть неделимыми массами. Атомы химиков делимы, но еще недавно считалось, что электрон, протон и нейтрон, составляющие атом, являются подлинно неделимыми частицами. Однако новейшие достижения физики элементарных частиц поистине вынуждают нас отказаться от привычного направления мысли. Это направление закрепилось в нашем языке и получило оправдание в традиционном философском мышлении. Новые данные физики элементарных частиц призывают к новому мышлению. Понятие «состоит из» уже не работает в новой ситуации. Если мы продолжаем применять это понятие, то получаем ответ, что каждая данная частица состоит из всех известных частиц. Физическое знание подошло к границам той области, где понятие «состоит из» оказывается уже не имеющим смысла. Антиномия делимости и неделимости тем самым получает неожиданное разрешение.

Гейзенберг сетует, что язык, в котором понятие «состоит из» все же сохраняет свой прежний смысл, продолжает применяться в настоящее время некоторыми физиками. Это ведет к таким направлениям исследования, которые могут создать в познании структуры материи еще большие трудности, привести к неразрешимым антиномиям. Именно неспособность усвоить новый способ мышления привела, согласно Гейзенбергу, некоторых физиков к гипотезе кварков. Вопрос был поставлен так: из чего состоят протоны? А между тем сама постановка вопроса имеет смысл «только тогда, когда соответствующую частицу удастся с малой затратой энергии разложить на составные части, масса которых заведомо больше затраты энергии» (с. 173). В случае с протонами ситуация совершенно иная. Гейзенберг решительно заявляет, что люди, выдвинувшие гипо-

тезу кварков, просто сами не принимают ее всерьез. Анализируя развитие понятий квантовой теории, Гейзенберг утверждает следующее. Некоторые физики «надеются, например, что кварки, если таковые существуют, возьмут на себя роль искомым частиц. Думаю, что это заблуждение» (с. 105).

Определенное неприятие Гейзенбергом гипотезы кварков обусловлено его методологическими принципами и его концепцией научного знания. Он прекрасно осознает сложность познавательных процедур и обращает внимание читателя на то, что современная физика подошла к таким исходным элементам природного мира, для которых все наши средства представить их в наглядных образах или привычных понятиях не только не дают нам нового понимания, но возвращают нас к прежним неразрешимым антиномиям.

Гейзенберг в рамках своей концепции вполне логично видит перспективы развития физики по пути платоновских идей, имея в виду, что элементарные частицы современной физики представляются посредством абстрактно-математической теории групп, теории симметрии. Согласно теоретическим построениям современной физики, конечные элементы материального мира — это вполне определенные математические формы, абстрактные симметрии, подобно тому как у Платона такими далее неразложимыми элементами были геометрические фигуры. Иначе говоря, Гейзенберг настаивает на необходимости поисков таких математических форм, которые позволили бы объединить многообразие частиц и различные типы взаимодействий в единую структурную картину фундамента материи.

В этой связи мы вынуждены подчеркнуть еще раз, что сформулированная Гейзенбергом исследовательская программа в области физики частиц не противоречит и методологической установке Демокрита, поскольку мы можем, интерпретируя воззрения античного философа, говорить о такой установке. Конечно, атомы Демокрита более наглядны, чем треугольники Платона. Но необходимо принять во внимание, что «Демокрит был последователем пифагорейцев»¹. И кроме того, в качестве элементов природного мира у Демокрита выступают не одни атомы, но атомы и пустота: «Элементами он считал полное и пустое»². Поскольку и у Демокрита, и у Платона мы, естественно, не находим различения методологической и философской установ-

¹ Лурье С. Я. Демокрит. М., 1970, с. 248.

² Там же, с. 247.

ки — результат правильного мышления и есть сама реальность, — поэтому не только треугольники Платона, но и атомы, и пустоту Демокрита вполне можно трактовать как исходные принципы теоретического знания о мире.

В философских построениях Демокрита и Платона мы усматриваем прозрение непреходящих особенностей теоретического знания, призванного объяснить природный мир. Фундаментальную общность их теоретических идей при всем различии их философских построений можно видеть в том, что они, пусть по-разному, продемонстрировали одну и ту же необходимость поисков инвариантных начал развивающегося знания, без которых невозможно построение теоретической системы. Сближение атомистических идей Демокрита и Платона тем более методологически оправдано, что сам Гейзенберг полагает недобрым «требовать, чтобы во избежание трудностей мы ограничивались математическим языком» (с. 121). Он справедливо подчеркивает, что мы не знаем, в какой мере математический язык применим к явлениям: Следовательно, невозможно при описании перспектив развития науки игнорировать неисчерпаемые возможности и естественного языка.

Намечая пути развития фундаментальной физики, Гейзенберг рисует оптимистическую картину этого развития. Он полагает, что все пополняющаяся таблица частиц представляет собой не просто набор данных, не имеющий внутреннего смысла, но являет некий аналог спектральных линий, позволяющий обнаружить глубинный закон природы, некую «динамику материи». Именно на пути поисков этой динамики он и видит возможность великого синтеза, ведущего к радикальному продвижению по пути познания природного мира.

Выдвигая задачу поисков динамики материи, Гейзенберг, к сожалению, не дает достаточно отчетливой характеристики самого понятия материи и ее динамики. Иногда он говорит о превращении материи в энергию, давая тем самым повод думать, что он в некотором смысле отождествляет эти понятия. Анализируя абстрактный характер современной науки, Гейзенберг говорит, что в экспериментах с элементарными частицами может быть обнаружено рождение новых частиц любого типа при условии обеспечения необходимой для их порождения энергии. Он дает здесь описание определенной ситуации в физике частиц на привычном физикам языке. При должном его понимании такое описание само по себе не вызывает сомнения. Но далее Гейзенберг замечает, что все элементарные частицы, так

сказать, изготовлены «из одного материала — его можно назвать просто энергией или материей» (с. 253).

В процитированных словах Гейзенберга содержится уже не просто информация о физических данных, но их определенная интерпретация философского характера, поскольку речь идет о понятии материи. Вдумываясь в сказанное, приходится заметить, что понятие материи оказывается у него настолько неопределенным, что утрачивает даже то содержание, которое первоначально неявно предполагалось. А именно — материя понималась как вещество, как субстрат элементарных частиц, из которых построены атомы обычных тел. Но если материя представляется в то же время и энергией, тогда остается совершенно неясным, какой смысл имеет утверждение «материя превращается в энергию». А между тем это утверждение повторяется как само собой разумеющееся в различных статьях настоящей книги.

Замечая в трудах Гейзенберга неопределенность содержания понятия материи и его отождествление с понятием энергии, читатель будет вынужден делать попытки как-то объяснить для себя указанную неопределенность для того, чтобы понять ход мысли автора. Нам остается только предложить одно из возможных объяснений такого рода. Мы думаем, что использование понятия материи представляло для Гейзенберга особые трудности. С одной стороны, он не может не оперировать этим понятием, поскольку исследование структуры материи со времен античности до наших дней составляет предмет его размышлений. В особенности это понятие, как ему представляется, было положено в основу концепции Демокрита. Но в то же время, с другой стороны, он хотел бы, как мы уже заметили, со всей определенностью подчеркнуть, что современная физика реализует скорее программу Платона, как бы отказываясь от понятия материи.

Ни одно из определений того или иного понятия не исчерпывает его содержания. Но мы можем давать пояснительные характеристики этого содержания. Понятие материи, как известно, можно определить как своего рода сокращение, в котором мы охватываем сообразно их общим свойствам множество различных чувственно воспринимаемых вещей. Поскольку микрообъекты предстают нам скорее как абстрактные образы, а не как чувственно воспринимаемые вещи, понятие материи охватывает эти образы, объединяя в себе все то общее, что мы считаем присутствующим.

При описании конкретных явлений на языке физической теории нет необходимости использовать объединяющее понятие. Можно, например, говорить о превращении электрона и позитрона в фотоны или описывать обратный процесс рождения пары частиц, совсем не обращаясь к понятию материи. Но если возникает необходимость описать общие черты тех многообразных процессов, с которыми имеет дело физика частиц, то мы вынуждены использовать понятие материи, которое позволяет выразить то, что объединяет все известное многообразие процессов, происходящих с частицами. Такое описание возможно при условии, если в этих процессах нечто сохраняется, обеспечивая непрестанное их воспроизведение.

Исследуя картину природы, как она рисуется современной физикой, Гейзенберг замечает, что материю считали «чем-то пребывающим в изменении явлений». Понятие материи и схватывает это пребывающее в изменяющемся. Как бы мы ни называли постоянное в изменениях, которые разворачиваются перед нашим чувственным или теоретическим взором, оно оказывается глубинной основой самих процессов, а его воспроизведение в понятии — основой нашего понимания этих процессов. Понятие материи в разные исторические эпохи по-разному схватывает это постоянное в изменениях и тем самым каждый раз по-своему обеспечивает условие теоретизации нашего знания. Атомы Демокрита дают нам исторически первый образ этого постоянного — они вечны и неизменны. В физике частиц XX века мы находим более глубокий образ этого постоянного в виде различного типа симметрий и соответствующих сохраняющихся величин, которые характерны для всех известных превращений. Понятие материи существенно изменилось со времен Демокрита. Но при всем изменении было бы методологическим упущением не замечать того исторического инварианта, который составляет непреходящий смысл этого понятия.

Когда Гейзенберг говорит, что все элементарные частицы как бы изготовлены из одного материала, то тем самым он и указывает на фундаментальный признак понятия материи. Сам этот материал, как полагает Гейзенберг, и можно назвать материей. И тогда мы сможем с полным основанием говорить, что современная физика выработала свое, более глубокое понятие материи в сравнении с понятием материи у Демокрита, но не отменила его. Гейзенберг верно схватывает существенный признак этого понятия, но выражает свою мысль непривычным для нас спосо-

бom: он говорит, что то общее, что лежит в основе всех превращений, можно назвать не только материей, но еще и энергией. Тем самым Гейзенберг указывает на самое существенное в содержании понятия материи, а именно на ее постоянство при всех превращениях, ибо то же самое можно сказать и об энергии.

Однако было бы ошибочным отождествлять эти понятия. Энергия — понятие физическое, материя — понятие философское. Здесь, в области физики, на почве теоретического познания они соприкасаются настолько, что возникает соблазн полностью отождествить их и тем самым устранить одно из них как излишнее в научном языке. И хотя Гейзенберг в явной форме не делает этого, тем не менее его стремление подчеркнуть приоритет методологической концепции Платона может создать у читателя впечатление, что он склонен заменить понятие материи понятием энергии. Но такая трактовка позиции Гейзенберга в его отношении к понятию материи была бы неточной. Если рассмотреть его концепцию в целом, то мы увидим, что глубокое осмысление всего хода научного познания, которое представлено, в частности, и в настоящей книге, вынуждает Гейзенберга не отменять, но углублять понятие материи. Философское предубеждение против этого понятия, которое можно почувствовать в некоторых его работах, вместе с тем снимается им самим при осмыслении исторического развития науки. Это осмысление, проведенное Гейзенбергом с такой основательностью, не позволяет развернуться указанному предубеждению в ошибочную позицию.

В XX веке произошли глубинные изменения в основаниях атомной физики. Научное познание встретилось с такой областью реальности, которую невозможно выразить в привычных понятиях. В классической науке само собою разумелось разделение природных объектов и нашего знания о них. Если мы хотим понять структурную картину материи на уровне элементарных частиц, то мы вынуждены принять во внимание и те физические процессы, с помощью которых мы получаем знание об этих частицах. В отличие от материальных объектов повседневного опыта вопрос о существовании микрообъектов современной физики принципиально опосредован нашими средствами познания. Вот почему современное знание о микромире не просто говорит нам о материи как таковой, но вынуждено обратиться к самому себе, так сказать, включить рефлексию в само содержание знания. Разделение природных

объектов и человеческого знания о них стало проблематичным. Гейзенберг замечает в этой связи, что современная атомная физика осознается теперь «всего лишь как звено в бесконечной цепи взаимоотношения человека и природы» (с. 295).

Вдумаемся в приведенное только что высказывание Гейзенберга. Если современная атомная физика может рассматриваться как звено в цепи взаимного отношения человека и природы, то мы вправе обратиться к началу этой цепи, а именно к непосредственному восприятию мира. Изучение процесса восприятия показывает, что наивная вера в объективное существование объектов природы имеет под собой основание в так называемой константности восприятия. Можно сослаться здесь и на результаты фундаментальных исследований французского психолога Жана Пиаже, который выявил некие операциональные структуры, то есть особого рода инварианты, характерные для процесса восприятия. В процессе эволюции органы чувств сформировались таким образом, чтобы схватывать те стороны или свойства воспринимаемых вещей, которые не зависят от непрерывно изменяющихся условий. Именно своеобразные структуры, свойственные процессу восприятия, и создают в нашем сознании образ вещей, существующих независимо от нашего восприятия.

Можно сказать, что следующим звеном во взаимоотношении человека и природы была классическая наука. Она теоретически развернула упомянутые особенности восприятия и ввела в явной форме принципы инвариантности, которые позволяют абстрактным образом представить объекты исследования как существующие во внешней природе. Новое звено в упомянутой Гейзенбергом цепи составляет наука XX века, которая привела к новой ситуации в отношении разделения мира на субъект и объективную реальность. Гейзенберг следующим образом описывает эту новую ситуацию: «...Те составные части материи, которые мы первоначально считали последней объективной реальностью, вообще нельзя рассматривать сами по себе» (с. 300). Целью исследования, поясняет он, уже не является познание атома и его движения вне зависимости от экспериментально поставленного вопроса.

Надо согласиться с Гейзенбергом, что современная наука, и не только физика, вынуждена с особым вниманием обратиться к средствам своего исследования для того, чтобы найти глубинные закономерности материи, скрытые от нас в отсутствии рефлексивного отношения к познанию.

Объектом исследования современной науки оказывается не просто объективная реальность, но и само знание о ней, поскольку оно является средством постижения мира. Утверждение об объективном существовании тех вещей, которые составляют результат исследования, оказывается само по себе серьезной проблемой. Во всяком случае, такова несомненная ситуация при исследовании ненаблюдаемого нами мира элементарных частиц. Именно для решения этой проблемы в современной науке и приходится включать в содержание исследований и знание о самом знании.

Основные трудности квантовой теории при ее построении коренились именно в этой проблеме. С описанной ситуацией в квантовой механике удалось справиться с помощью особого математического языка. Но мы не можем здесь входить в подробности острых и порою драматических дискуссий по интерпретации квантовой физики. Заметим только, что развитие математического формализма квантовой теории, а затем и физики элементарных частиц неизбежно привело, так сказать, на новом уровне к открытию своеобразной константности, то есть к выявлению и математической формулировке специфических инвариантов соответствующих преобразований, которые и позволяют нам говорить, что микрофизика посредством рефлексивного отношения к своему исследованию нашла новые критерии объективности, как бы возвращаясь к первому звену в истории взаимоотношения человека и природы. В анализе этих критериев мы входим в область интерпретации научного знания, неизбежно связанную с теми или иными философскими воззрениями.

Углубление понятия материи на основе данных современной науки связано не только с обращением научного знания к самому себе. Особенности микропроцессов таковы, что при их исследовании возникла не только проблема действительного существования этих объектов, но и проблема возможности их существования. Понятие материи предполагает не только необходимость поисков общего и сохраняющегося, устойчивого в исследуемых объектах, не только решение проблемы взаимоотношения человека и средств его познавательной деятельности к миру природы, но, оказывается, включает в себя еще и категорию возможности. Тем самым мы как бы возвращаемся не только к идеям Демокрита и Платона, но и к концепции материи Аристотеля, который впервые обратил внимание на значимость этой категории. Гейзенберг указывает на неизбеж-

ность и необходимость обращения к категории возможности для более глубокого осмысления данных современной физики. Обращение к этой категории выявляет такие грани и такие стороны понятия материи, на которые современная философская мысль не обращала до сих пор достаточного внимания.

В данной книге выдающийся ученый XX века в своих размышлениях выходит далеко за границы физической науки. Он стремится рассмотреть физику в системе развивающихся наук. Гейзенберг указывает, что сама наука органически вплетена в систему культуры. Он обращается к истории искусства и современным его формам, его волнуют проблемы взаимоотношения научной истины и религиозных воззрений. Читатель найдет здесь материал для глубоких размышлений и сможет с пользой для себя критически отнестись к тем оценкам и тем суждениям, которые покажутся ему неубедительными. Гейзенберга интересуют процессы революционного изменения не только в науке, но и во всех сферах жизни. Обращение к изучению роли традиций в науке приводит его к мысли, что подлинные революции в науке, да и не только в науке, происходят тогда, когда в трудных ситуациях стремятся как можно больше сохранить из интеллектуального наследия, как можно меньше изменить в уже сложившейся системе знания или способах жизни. Эта, казалось бы, парадоксальная характеристика революционного развития вполне отвечает глубинной картине исторических изменений в научном знании.

Автор книги рисует выразительную картину исторического развития научной мысли, в рамках которой явственно предстает перед нами и он сам, с его углубленным интересом ко всем разнообразным проявлениям жизни природы и человеческой жизни, с его стремлением понять не только природный мир, но и те явления социальной действительности, с которыми он невольно сталкивался на своем жизненном пути.

В книге читатель найдет тревожные мысли о судьбах человечества, о необходимости поисков нового мышления, которое стало бы средством взаимного понимания народов и личностей. В этом отношении и сама книга Гейзенберга может способствовать такому взаимопониманию, ибо она расширяет границы нашего видения мира и призывает к смелым шагам за горизонт.

*Доктор философских наук
Н. Ф. Овчинников*

Наука как средство взаимного понимания народов ^{1*}

Дорогие друзья!

Часто говорят, что наука является средством общения между народами и служит их взаимопониманию. Вполне справедливо всегда подчеркивается, что наука интернациональна и что она направляет мышление человека на вопросы, которые близки многим народам и в решении которых могут в равной мере принимать участие ученые самых различных наций, рас и религий. Однако, говоря сейчас об этой важной роли науки, нельзя слишком упрощать данный вопрос. Мы должны обсудить и противоположное утверждение, которое еще свежо в нашей памяти, — утверждение, что наука национальна, что мышление разных рас существенно различается, следовательно, различна и их наука. И далее. Считалось, что наука должна была прежде всего служить своему собственному народу и способствовать укреплению его политической власти. Во-первых, говорили сторонники этого взгляда, наука образует основу техники, а следовательно, основу всякого прогресса и военной мощи; во-вторых, задача чистой науки состоит в том, чтобы поддерживать то мировоззрение и ту веру, которые рассматривались как основа политической власти своего собственного народа. Какая же из этих точек зрения правильна и насколько убедительны аргументы, приводимые в пользу каждой из них?

1. Чтобы выяснить этот вопрос, нужно прежде всего знать, как развивается наука, каким образом у человека возникает интерес к той или иной научной проблеме и как человек сталкивается с другими людьми, которые, как и он, заинтересовались ею. Так как я хорошо знаю только свою специальную науку, то будет простительно, если я буду прежде всего говорить об атомной физике и расскажу

* Примечания, обозначенные цифрой, см. в конце книги. — *Прим. ред.*

вам о моих занятиях в этой области в студенческие годы.

Когда я в 1920 году окончил школу и поступил в Мюнхенский университет, положение молодежи в то время было очень сходным с теперешним. Поражение в первой мировой войне вызвало глубокое разочарование в тех идеалах, во имя которых велась война. Идеалы эти стали казаться бессодержательными, и мы сочли себя вправе самостоятельно искать ответ на вопрос о том, что в этом мире ценно и что не имеет никакой цены, не спрашивая об этом наших родителей и учителей. При этом наряду со многими другими ценностями мы как бы заново открыли науку. Изучив несколько популярных книг, я заинтересовался вопросом о природе атомов и захотел разобраться в тех необычайных утверждениях о пространстве и времени, которые выдвигались тогда теорией относительности. Я начал посещать лекции Зоммерфельда, впоследствии ставшего моим учителем, который еще больше усилил во мне этот интерес и от которого в течение семестра я узнал о новом, более глубоком понимании атомов, развитом благодаря исследованиям Рентгена и Планка, Резерфорда и Бора. Я узнал, что датчанин Нильс Бор и англичанин Резерфорд представляли себе строение атома в виде миниатюрной планетарной системы и предполагали, что все химические свойства элементов когда-нибудь удастся вывести с помощью теории Бора из планетарных орбит электронов, чего, однако, в то время достигнуть еще не удалось. Это, естественно, заинтересовало меня больше всего, и каждая новая работа Бора придирчиво и страстно обсуждалась на семинарах в Мюнхене. Можете себе представить, что для меня значило приглашение Зоммерфельда поехать летом 1921 года вместе с ним в Геттинген слушать цикл лекций Нильса Бора о его атомной теории, которые он собирался прочесть в этом университете. Цикл лекций в Геттингене, названный впоследствии «Фестивалем Бора», во многом определил мое отношение к науке, и особенно к атомной физике.

Прежде всего мы почувствовали в лекциях Бора всю силу мысли человека, который действительно глубоко овладел этими проблемами и понимал их так, как никто другой во всем мире. По некоторым пунктам я и раньше, еще в Мюнхене, имел определенное мнение, отличающееся от того, которое высказал по этому поводу Бор в своих докладах. Эти вопросы были основательно обсуждены с ним во время совместных прогулок в окрестностях Рона и Гейнберга.

Эти беседы произвели на меня сильное впечатление. Я тогда понял, что если кто-либо попытается выяснить строение атома, то совершенно безразлично, кто он — немец, датчанин или англичанин. Я усвоил также и нечто, быть может, еще более важное: в науке всегда можно в конце концов решить, что правильно и что ложно; она имеет дело не с верой, мировоззрением или гипотезой, но в конечном счете с теми или иными определенными утверждениями, из которых одни правильны, другие неправильны, причем вопрос о том, что правильно и что неправильно, решают не вера, не происхождение, не расовая принадлежность, а сама природа или, если хотите, Бог, но, во всяком случае, не люди.

Обогащенный всем этим, я вернулся в Мюнхен и под руководством Зоммерфельда продолжал заниматься своими экспериментами по исследованию строения атома. Сдав экзамен на ученую степень доктора я поехал осенью 1924 года в Копенгаген, для того чтобы на средства так называемого рокфеллеровского фонда работать у Бора. Здесь я вошел в круг молодых людей самых различных национальностей — англичан, американцев, шведов, норвежцев, датчан и японцев. Все они хотели работать над одной и той же проблемой — атомной теорией Бора. Они почти всегда собирались вместе, подобно большой семье, чтобы отправиться на экскурсию, организовать игры, товарищеские беседы или заняться спортом. В кругу этих физиков-атомщиков я имел возможность по-настоящему узнать людей других национальностей и их образ мышления. Необходимость изучать иностранные языки и разговаривать на них послужила толчком для знакомства с другим образом жизни, с иностранной литературой и искусством, благодаря чему я стал лучше понимать и отношения между людьми внутри своей страны. Для меня становилось все яснее, как мало значат национальные и расовые различия, когда общие усилия сосредоточиваются на трудной научной проблеме. Различие в образе мышления, которое так ясно сказывается в искусстве, казалось мне фактором, скорее обогащающим наши возможности, чем ослабляющим их.

Летом 1925 года я поехал в Кембридж и там в колледже, в лаборатории русского физика Капицы, сделал сообщение о своей тогдашней работе небольшому кружку теоретиков. Среди присутствовавших находился необычайно талантливый, едва достигший 23 лет студент, который взялся за мою проблему и в течение нескольких месяцев

разработал законченную квантовую теорию атомной оболочки. Это был Дирак — человек выдающихся математических способностей. Его образ мышления значительно отличался от моего, его математические методы были изящнее и оригинальнее по сравнению с теми, которыми мы пользовались в Геттингене. Однако в конечном счете он пришел в самых существенных пунктах к тем же результатам, к каким пришли здесь, в Геттингене, Борн, Йордан и я; иначе говоря, наши результаты взаимно дополняли друг друга самым превосходным образом. Этот факт служит новым доказательством объективности науки и ее независимости от языка, расы или веры ученого.

Геттинген наряду с Копенгагеном и Кембриджем оставался центром этой интернациональной семьи физиков-атомщиков, работавших здесь под руководством Франка, Борна, Паули. В то время в Геттингене учились многие из тех ученых, о которых вы теперь читаете в газетах в связи с атомной бомбой, например Оппенгеймер, Блэкет и Ферми.

Я привел эти личные воспоминания только для того, чтобы показать вам на примере истинную сущность и ценность интернациональной общности науки. Такая общность имела, конечно, место в течение столетий и во многих других отраслях науки; семья атомных физиков не является каким-то исключением. Можно было бы сослаться и на многие другие интернациональные группы ученых из истории науки, которые, преодолевая национальные различия, были связаны общей работой.

Вспоминая о Лейбнице, годовщина со дня рождения которого отмечается в текущем году *, и об основании академии наук, я мог бы указать на одну группу ученых, которая в XVII веке основала в Европе математическое естествознание. Я хотел бы привести несколько высказываний Дильтея, характеризующих ту эпоху.

«Среди тех немногих людей, которые посвятили свою жизнь этой новой науке, установились взаимоотношения, не ограниченные национальными или языковыми различиями. Они образовали новую аристократию и сознавали это, подобно тому как в эпоху Ренессанса гуманисты и художники чувствовали себя такой же аристократией. Латинский, а позднее французский языки облегчали взаимопонимание, и эти языки стали средством создания и разви-

* Имеется в виду исполнившееся в 1946 году 300-летие со дня рождения Лейбница. — *Прим. ред.*

тия мировой научной литературы. Уже около середины XVII века Париж стал центром совместной работы философов и естествоиспытателей. Гассенди, Мерсенн и Гоббс обменивались здесь своими идеями, и даже гордый затворник Декарт на время присоединился к этому кружку. Его присутствие оказало неизгладимое впечатление на Гоббса и позднее на Лейбница; именно здесь оба они прониклись духом математического естествознания. Позднее другим таким центром стал Лондон...»

Из всего сказанного можно уяснить, что наука шла по этому пути на протяжении всей истории и что «Республика ученых» всегда играла важную роль в жизни Европы. Казалось самоочевидным, что принадлежность к такому интернациональному кружку не лишает отдельного ученого возможности преданно служить своему народу и чувствовать себя представителем своего народа. Наоборот, такое расширение умственного кругозора часто заставляет нас особенно ценить лучшие стороны жизни своей собственной страны. Ученый начинает больше любить свою родину и сильнее чувствовать свой долг перед ней.

2. Теперь я должен перейти к вопросу о том, почему все это научное сотрудничество, все эти истинно человеческие взаимоотношения играют, по-видимому, такую незначительную роль, когда речь идет о преодолении вражды между народами и предотвращении войн.

Здесь прежде всего необходимо подчеркнуть, что наука представляет собой только незначительную частицу общественной жизни и что только очень небольшая группа людей в каждой стране действительно занята наукой. Политику же определяют более значительные силы: движение широких масс народа, их экономическое положение, борьба за власть небольших привилегированных групп, поддерживаемых традиций. Эти силы до сих пор всегда подавляли тех немногих людей, которые были готовы обсудить спорные вопросы научным путем, то есть объективно, беспристрастно, по существу и в духе взаимного понимания. Влияние науки на политику всегда было незначительно, и этот факт сам по себе вполне понятен. Однако он часто ставит ученого в такое положение, которое в известном смысле более трудно, чем положение любой другой группы людей. Наука благодаря своим практическим результатам оказывает очень большое влияние на жизнь народа. Благополучие народа и политическая власть зависят от состояния науки, и ученый не может игнорировать эти практические результаты, даже если его собственные интересы

в науке проистекают из другого, так сказать более возвышенного, источника. Таким образом, действия отдельного ученого часто оказывают гораздо большее влияние, чем ему хотелось бы, и он нередко вынужден решать в соответствии со своей совестью, что считать хорошим и что плохим. Когда разногласия между народами примирить невозможно, ученый вынужден, часто с болью в душе, делать выбор — отойти ему от своего народа или от друзей, с которыми он связан общей работой. Правда, в этом отношении положение в разных науках несколько различно. Врач, который просто лечит другого человека, безразлично какой нации, может более легко согласовать свою деятельность с требованиями государства и своей собственной совести, чем физик, открытия которого могут привести к производству орудий разрушения. Но в той или иной степени затруднение всегда остается. С одной стороны, государство обязывает науку служить прежде всего практическим потребностям своего собственного народа и, следовательно, помогать укреплению собственной политической власти. С другой стороны, в своей исследовательской работе он связан с людьми других национальностей.

В течение последних десятилетий положение ученого по отношению к государству сильно изменилось. В первой мировой войне ученые были так тесно связаны со своими государствами, что академии той или иной страны зачастую исключали из своих рядов ученых других стран, выносили решения в свою пользу против интересов другой нации. Положение значительно изменилось во время второй мировой войны. Международные связи ученых многих стран были настолько крепки, что на этой почве во многих странах возникали трения между учеными и их собственным правительством. С одной стороны, ученые требовали беспристрастного и независимого от идеологии права оценивать политику своего правительства. С другой стороны, в некоторых странах государство смотрело на интернациональные взаимосвязи ученых с глубоким недоверием, так что иногда ученый считался узником своей собственной страны и его интернациональные связи трактовались как нечто аморальное. Несмотря на это, теперь стало почти обычным, что ученые, где только возможно, помогают своим коллегам даже в том случае, если последние принадлежат к враждебной стране. Это развитие свидетельствует, может быть, о благоприятном усилении интернациональных взаимосвязей, но при этом необходимо позаботиться о том, чтобы оно не привело к опасной волне недоверия и

вражды широких масс народа по отношению к ученому миру.

Подобные трудности имели место и в предшествующие столетия, когда люди науки, в противоположность представителям политической власти, защищали принцип терпимости и независимости от догм. Достаточно вспомнить Галилея и Джордано Бруно. Но может быть, в наше время эти трудности приобретают еще большее значение, чем раньше, вследствие тех практических успехов науки, которые могут непосредственно решать судьбу миллионов людей.

Здесь я подошел к одной из самых мрачных сторон современной жизни, которую требуется тщательно изучить, для того чтобы правильно действовать. Я имею в виду не только новый, недавно открытый источник энергии, который может привести к невообразимым разрушениям. Новые возможности воздействовать на природу угрожают нам во многих других областях. Правда, химические средства разрушения жизни не употреблялись, например, в прошедшей войне. Но и в биологии мы добились такого глубокого проникновения в процессы наследственности, в структуру и химизм больших белковых молекул, что стало вполне возможным искусственное возбуждение опаснейших заразных болезней и даже воздействие на биологическое развитие человека путем некоторого, заранее предопределенного нами разведения. Наконец, люди могут подвергаться психическим воздействиям, которые, в случае если они осуществляются на основе научных данных, могут привести к серьезным душевным расстройствам большой массы народа. Создается впечатление, что наука, так сказать, широким фронтом подходит к той области и границе, в которой жизнь и смерть всего человечества самым ужасным образом могут оказаться в зависимости от небольшой группы людей. До сих пор журналистский сенсационный стиль, которым газеты сообщали обо всем этом, мешал тому, чтобы люди осознали величайшую опасность, которая угрожает им в связи с дальнейшим неизбежным развитием науки. Задача науки состоит, пожалуй, как раз в том, чтобы пробудить в людях чувство того, насколько опасным стал этот мир, показать им, как важно, чтобы все люди, независимо от их национальности и идеологии, объединились для отражения этой опасности. Конечно, об этом гораздо легче говорить, чем делать, но несомненно, что больше нельзя уклоняться от решения этой задачи.

Однако каждый отдельный ученый стоит перед горькой необходимостью решить наедине со своей совестью, что хорошо или — вернее даже — что менее вредно. Мы не можем игнорировать тот факт, что большие массы народа, а также те власть имущие, кто ими управляет, часто поступают неразумно, находясь под влиянием слепого предубеждения. Кто сообщает им научные знания, тот легко может попасть в положение, которое Шиллер выразил в следующих словах: «Горе тем, кто дарит небесный факел вечно слепым; он им не светит, но может только сжечь и испепелить города и страны».

Может ли наука при таком положении действительно содействовать достижению взаимопонимания между народами? Она способна привести в действие громадные силы, большие, чем когда-либо имелись в распоряжении человека, но эти силы приведут к хаосу, если они не будут разумно регулироваться.

3. Тем самым я подошел к подлинным задачам науки. Только что описанное мною развитие, при котором открытые человеком силы природы обращаются против него самого, вызывая колоссальные разрушения, несомненно, связано с некоторыми духовными явлениями нашего времени; о них я сейчас и буду говорить.

Вернемся на несколько столетий назад. В конце средних веков человечество установило, что, кроме христианской действительности, сердцевинной которой является божественное откровение, есть еще другая действительность, открываемая в материальном опыте, то есть «объективная» действительность, воспринимаемая нами посредством чувств или экспериментов в процессе исследования природы. Однако при этом проникновении в новую область действительности некоторые основные формы мышления остаются неизменными. Мир состоял из вещей, находившихся в пространстве и изменявшихся во времени в соответствии с законом причинно-следственной связи. Кроме этого, существовала еще духовная область, то есть действительность нашей собственной души, которая отражает внешний мир, подобно более или менее правильному зеркалу. Хотя эта действительность Нового времени, картина которой давалась естествознанием, и отличалась от христианской действительности, она тем не менее изображала божественный мировой порядок, в котором люди, с их делами и поступками, стояли на твердой почве и не сомневались относительно смысла своей жизни. Мир был бесконечен в пространстве и времени; в известной мере он заме-

нял Бога или благодаря своей бесконечности становился по крайней мере символом божественного.

Но и эта картина мира была отвергнута в нашем столетии. В той мере, в какой практическая деятельность выдвинулась на первый план в картине мира, основные формы мышления стали терять свое значение. Даже время и пространство стали предметом опыта и потеряли свое символическое значение. В науке все более и более приходили к выводу, что наше понимание мира не может начинаться с некоторого определенного знания, что оно не может быть построено на каком-то незыблемом основании и что все знание, так сказать, парит над бездонной пропастью.

Этому развитию в области науки, в жизни человека, вероятно, соответствует всевозрастающее ощущение относительности всех ценностей; такое ощущение, возникшее несколько десятилетий назад, в конце концов может легко привести к скептицизму, с его вечным вопросом отчаяния: «Зачем?» Так развивается нигилизм, вера в ничто. С этой точки зрения жизнь представляется бессмысленной или в лучшем случае приключением, которое с нами случается независимо от наших действий. Наихудшей формой нигилизма, с которой мы встречаемся в настоящее время во многих частях мира, является иллюзионистский нигилизм, как назвал его недавно Вейцеккер, нигилизм, полный иллюзий и самообмана.

Характерной чертой любого нигилистического направления является отсутствие твердой общей основы, которая направляла бы в каждом случае деятельность личности. В жизни отдельного человека это проявляется в том, что человек теряет инстинктивное чувство правильного и ложного, иллюзорного и реального. В жизни народов это приводит к странным явлениям, когда огромные силы, собранные для достижения определенной цели, неожиданно изменяют свое направление и в своем разрушительном действии приводят к результатам, совершенно противоположным поставленной цели. При этом люди бывают настолько ослеплены ненавистью, что они с цинизмом наблюдают за всем этим, равнодушно пожимая плечами.

Я уже сказал, что такое изменение воззрений людей, по-видимому, некоторым образом связано с развитием научного мышления. Поэтому уместно поставить вопрос: не утратила ли и наука своей регулирующей твердой основы, подобно тому как ее утратили другие области жизни? Необходимо совершенно определенно и ясно подчеркнуть, что

об этом не может быть и речи. Наоборот, состояние современной науки является, вероятно, самым сильным из имеющихся в нашем распоряжении аргументов в пользу более оптимистических взглядов перед лицом великих мировых проблем.

Даже в тех областях науки, в которых, как я уже сказал, мы обнаружили, что наше знание «парит над бездонной пропастью», достигнуто кристально ясное и окончательное упорядочение явлений. Это упорядочение так ясно и обладает такой силой убеждения, что ученые самых различных народов и рас воспринимают его как несомненную основу всего дальнейшего развития мышления и познания. Конечно, в науке также бывают ошибки, и может потребоваться много времени, чтобы обнаружить их и исправить. Но мы можем быть совершенно уверены, что в конце концов будет твердо установлено, что правильно и что ложно. Это решение не будет зависеть от веры, расы или национальности ученого; оно будет определяться высшей силой и будет принято всеми людьми и на все времена. Если в политической жизни людей нельзя избежать постоянной переоценки ценностей, борьбы одних иллюзий и ложных идеалов с другими иллюзиями и ложными идеалами, то в науке мы в конце концов всегда можем выяснить, что имеем дело либо с истинным, либо с ложным. Здесь имеется не зависящая от наших желаний высшая сила, которая решает и судит окончательно. Существо науки, по моему мнению, составляет область чистой науки, которая не связана с практическими применениями. В ней, если можно так выразиться, чистое мышление пытается познать скрытую гармонию мира. В этой сокровенной области, где наука и искусство едва ли могут разделяться, может быть, есть место и современному человечеству, которое найдет здесь чистую истину, не затемненную своей идеологией и своими желаниями.

Конечно, вы можете возразить, что эта область недоступна широким массам народа и что поэтому она может оказать незначительное влияние на его поведение. Но массы и прежде никогда не имели доступа к этой центральной области, и, может быть, теперь народ будет удовлетворен знанием того, что, хотя эти ворота открыты и не для каждого, тем не менее по ту сторону ворот *не может* быть никакого обмана; там все решает высшая сила, а не мы. В прежние времена люди по-разному говорили об этой центральной области; они употребляли понятия «смысл» или «Бог» или прибегали к сравнению, звукам, картинам.

Имеется много путей к этому центру и в наши дни, и наука — только один из них. Однако в настоящее время, может быть, вообще нет общепринятого языка, на котором мы могли бы понятно для всех говорить об этой области; поэтому-то многие о ней ничего не знают. Но от этого существо дела не меняется; мировой порядок, как и в прежние времена, может определяться только этой областью через посредство тех людей, для которых открыт доступ в нее.

Итак, если наука должна способствовать взаимопониманию народов, то этого она может достичь не своим практическим значением, не благодеянием, оказываемым ею, например больным, и не страхом, которым она вынуждает признать политическую власть, но лишь проникновением в эту центральную область, благодаря чему упорядочивается мир в целом, или, может быть, просто вследствие того, что мир прекрасен. Может показаться преувеличением придавать такое значение современной науке. Но разрешите заметить, что хотя мы и имеем основание во многих отношениях завидовать предшествующим эпохам, однако в научных достижениях, в чистом познании мира наше время не уступает ни одной эпохе человеческой истории.

Что бы ни случилось, человечество сохранит в ближайшие десятилетия живой интерес к познанию. Даже если этот интерес будет на некоторое время затемнен практическими результатами науки и борьбой за власть, тем не менее он должен в конечном счете опять восторжествовать и связать воедино народы всех наций и рас. Люди будут счастливы во всех частях земного шара, когда они достигнут нового знания, и они будут благодарны тому человеку, который впервые открыл его.

Дорогие друзья, вы собрались здесь для того, чтобы в своем кругу содействовать взаимопониманию между народами. Нет лучшего пути осуществить это, чем стремление с непринужденностью и непосредственностью молодости познакомиться с людьми других наций, с их мыслями и чувствами. Лучше всего вы осуществите это, если своими научными занятиями поможете распространению того серьезного и неподкупного образа мышления, без которого невозможно никакое понимание, и если вы будете и вне пределов науки чувствовать и ценить те вещи, от которых, собственно, все зависит и о которых так трудно говорить.

О соотношении гуманитарного образования, естествознания и западной культуры²

Дамы и господа!

Сегодня мы празднуем столетие школы. На протяжении столетия талантливые люди вложили в нее много добросовестного труда. Одни в качестве учителей посвятили нашей гимназии всю жизнь, другие, ученики вроде меня, впервые встретились здесь с миром духовной культуры. С интересом, а порою и без особого интереса, но, как правило, с прилежанием и усердием изучали они предметы, которые передает от поколения к поколению именно гуманитарная гимназия. В такой день естественно задаться вопросом, а были ли, в сущности, оправданны все эти труды и заботы, все это усердие учителей и учеников. Сразу ясно, что вопрос поставлен неверно, ибо усердие и добросовестный труд по сути своей всегда оправданны. Тем не менее часто задается вопрос, не слишком ли оторвано от жизни и умозрительно то знание, которое мы усваиваем в гимназии, не вернее ли подготавливает к жизни — в наш век техники и естественных наук — более практически ориентированное образование. Этим затрагивается многократно обсуждавшаяся проблема об отношении гуманитарного образования к современному естествознанию. Я не педагог и слишком мало размышлял над проблемами такого рода, чтобы ставить вопрос по существу. Но я могу попробовать осмыслить собственный опыт, ведь я прошел школу в этой гимназии и лишь позднее стал работать преимущественно в сфере естественных наук; столетний же юбилей, помимо всего прочего, — праздник воспоминания о тех, кто тут учился.

Какие же доводы постоянно приводят представители гуманитарной мысли в пользу занятия древними языками и древней историей? Прежде всего, они справедливо указывают на то, что вся наша культурная жизнь, наши поступки, мысли и чувства коренятся в духовной субстанции Запада, то есть связаны с тем типом духовности, который зародился в античности, у начала которой стоят греческое

искусство, греческая поэзия и греческая философия. Позже, в эпоху христианства, вместе с формированием церкви этот тип духовности претерпел глубокое изменение, чтобы наконец на исходе Средневековья, великолепно объединив христианское благочестие с духовной свободой античности, мысленно охватить весь мир как единый мир Божий и далее, в процессе географических открытий, развития естественных наук и техники, радикально изменить его облик. Иными словами, во всех сферах современной жизни, если только — систематически, исторически или философски — мы входим в суть дела, мы наталкиваемся на духовные структуры, восходящие к античности или христианству. Вот почему в защиту гуманитарных гимназий можно сказать, что такие структуры полезно знать, даже если в практической жизни не так уж часто возникает в них нужда.

Во-вторых, подчеркивается, что вся сила нашей западноевропейской культуры проистекает и всегда проистекала из тесной связи практической деятельности с постановкой принципиальных проблем. Другие народы и культуры были столь же искушенными в практической деятельности, как и греки, но что с самого начала отличало греческое мышление от мышления других народов — это способность обращать всякую проблему в принципиальную и тем самым занимать такую позицию, с точки зрения которой можно было бы упорядочить пестрое многообразие эмпирии и сделать его доступным человеческому разумению. Связь практической деятельности с постановкой принципиальных проблем — основное, что отличало греческую культуру, а когда Запад вступил в эпоху Ренессанса, эта связь оказалась в центре нашей исторической жизни и создала современное естествознание и технику. Кто занимается философией греков, на каждом шагу наталкивается на эту способность ставить принципиальные вопросы, и, следовательно, читая греков, он упражняется в умении владеть одним из наиболее мощных интеллектуальных орудий, выработанных западноевропейской мыслью. Вот почему можно сказать, что мы и в гуманитарной гимназии учимся чему-то весьма полезному.

Наконец, в-третьих, справедливо говорится, что занятие античностью формирует в человеке такую шкалу ценностей, в которой духовные ценности ставятся выше материальных. Ведь любой след, оставленный греками, непосредственно свидетельствует о примате духовного. Правда, как раз в этом пункте современный человек может возра-

зять, что-де наше время показало, будто все зависит именно от материального могущества, от запасов сырья и уровня индустрии, и материальное могущество сильнее любого духовного. Поэтому стремление научить детей ставить духовные ценности выше материальных, по сути дела, не отвечает духу нашего времени.

Мне вспоминается разговор, который 30 лет назад я вел в университетском дворе. В то время в Мюнхене шли революционные бои, и я, как и мои товарищи, семнадцатилетние школьники, был прикомандирован в качестве помощников к одному отряду, расквартированному в духовной семинарии, что напротив университета. Сейчас мне не совсем ясно, почему мы оказались там. В те недели игра в солдаты была для нас, по всей видимости, весьма приятным перерывом в гимназических занятиях. На Людвигштрассе постреливали, хотя и не очень сильно. В полдень мы получали еду в походной кухне, расположенной во дворе университета. Здесь мы однажды затеяли со студентом-геологом разговор о том, имеет ли в самом деле смысл эта борьба за Мюнхен, и один из нас энергично заявил, что одними только духовными средствами — речами и бумагами — вопрос о власти не решают, что действительного решения вопроса — «мы или они» — можно добиться только силой.

На это геолог возразил, что по меньшей мере один вопрос, а именно вопрос о том, как различить, кто будем «мы» и кто будут «они», со всей очевидностью требует чисто духовного решения и было бы много пользы уже только от того, что подобное решение принималось бы несколько более разумно, чем это обычно делается. На это нам, по существу, возразить было нечего. Когда стрела слетела с лука, она летит своим путем, с которого ее может сбить только более мощная сила; но до этого ее направление определяется только тем, кто целится, и без наделенного духом и выбирающего цель существа она вообще не может лететь. А поэтому, быть может, не так уж плохо, если мы учим молодежь не слишком принижать духовные ценности.

Впрочем, я слишком далеко отклонился от избранной темы и должен вернуться к тому моменту, когда в стенах мюнхенской Максимилиановской гимназии я впервые на деле столкнулся с естественной наукой; ведь я собираюсь говорить об отношении естествознания и гуманитарного образования. Большинство школьников приобщаются к технике и естественным наукам вследствие того, что начи-

нают играть с механизмами. Пример товарищей, какой-нибудь, скажем, рождественский подарок, а порою и школьный урок пробуждают желание повозиться с машинками и самому построить их. И я тоже с большим рвением предавался этому занятию в первые пять школьных лет. Впрочем, эта деятельность осталась бы, вероятно, всего лишь игрой и не привела бы меня к настоящей науке, если бы к ней не присоединилось другое переживание. В то время нам преподавали начала геометрии. Она сперва показалась мне изрядно сухой материей: треугольники и четырехугольники не так вдохновляют фантазию, как цветы и стихи. Но вот однажды из объяснений нашего замечательного преподавателя математики Вольфа я вдруг понял, что об этих фигурах можно высказывать общезначимые утверждения и не только получить определенные результаты путем наглядного анализа фигур, но и математически доказать эти результаты.

Мысль, что математика каким-то образом согласуется с формами нашего опыта, показалась мне до крайности любопытной и волнующей. Редко когда преподаваемые нам в школе знания открываются так, как мне открылось это. Когда в процессе обучения различные области духовного мира проплывают перед нашими глазами, мы, как правило, по-настоящему не приживаемся в них. В зависимости от способности учителя такая область озаряется для нас более или менее ясным светом, и образы ее на более или менее долгое время запоминаются нам. Но в некоторых редких случаях попавший в поле нашего зрения предмет внезапно начинает светиться собственным светом, поначалу смутным и неясным, затем все более ярким, и наконец излучаемый им свет заполняет все увеличивающееся мысленное пространство, распространяется на другие предметы и становится в конце концов важной частью нашей собственной жизни.

Именно так открылась мне тогда та истина, что математика согласуется с предметами нашего опыта, — истина, которая, как я узнал в школе, была добыта уже греками, Пифагором и Евклидом. Вдохновляемый в первую очередь уроками Вольфа, я сам попробовал применить математику и нашел эту игру — между математикой и непосредственным созерцанием — по меньшей мере столь же увлекательной, как и большинство других игр. Позже я уже не довольствовался геометрией в качестве сферы той математической игры, которая доставляла мне столько радости. Из какой-то книжки я узнал, что в физике можно с помощью

математики исследовать поведение и тех механизмов, которые мастерил я сам. Тогда я и начал изучать по томикам гешеновской серии и другим довольно простеньким учебникам подобного рода ту математику, которую используют для описания физических законов, прежде всего, стало быть, дифференциальное и интегральное исчисление. Достижения Нового времени, идеи Ньютона и его последователей я при этом воспринимал как непосредственное продолжение устремлений греческих математиков и философов, буквально как то же самое, и мне и в голову не могло бы прийти видеть в естествознании и технике нашего времени мир, принципиально отличный от философского мира Пифагора или Евклида.

Радуюсь математическому описанию природы, я наткнулся—не подозревая того в глубине своего ученического невежества,— по сути дела, на одну из основных особенностей западноевропейского мышления вообще, а именно на ту самую связь принципиальной постановки проблем с практической деятельностью, о которой говорилось выше. Математика— это, так сказать, язык, на котором можно ставить вопросы и отвечать на них принципиально, но сам вопрос вызревает в практическом материальном мире. Геометрия, к примеру, служила для измерения пахотной земли.

Переживание это привело к тому, что в течение многих школьных лет мои интересы были связаны в большей мере с математикой, чем с естествознанием или моими механизмами, и только в двух последних классах я опять стал склоняться к физике. Как ни странно, это произошло в результате довольно-таки случайной встречи с фрагментом из современной физики.

Мы пользовались тогда вполне приличным учебником физики. Естественно, что новейшая физика оставалась в нем своеобразной сиротой. Тем не менее на последних страницах можно было кое-что прочесть об атомах, и я ясно помню картинку, на которой было изображено большое число атомов. Картинка должна была, очевидно, изображать состояние газа на молекулярном уровне. Местами атомы были связаны в группы, они сцеплялись друг с другом с помощью крючков и петель, которые, вероятно, должны были представлять химические связи. Помимо этого, в тексте можно было прочесть, что, по воззрениям греческих философов, атомы представляют собой мельчайшие неделимые составные частицы материи. Эта картинка всегда вызывала во мне резкий протест, и я возмущался

тем, что подобная глупость может находиться в учебнике физики. Если атомы, думал я, представляют собой столь грубо наглядные образования, как хочет нас заставить верить учебник, если форма их столь сложна, что они имеют даже крюки и петли, тогда они никоим образом не могут быть мельчайшими неделимыми частицами материи.

В этой критике меня поддерживал друг, с которым я как участник молодежного движения³ много путешествовал. Он интересовался философией в гораздо большей степени, чем я. Этот товарищ, читавший некоторые изложения атомистического учения древних философов, натолкнулся однажды на учебник современной атомной физики (думаю, это была книга Зоммерфельда «Строение атома и спектры») и увидел там наглядные рисунки атомов. В результате он пришел к убеждению, что вся современная физика должна быть ложной, и пытался убедить в этом и меня. Как видите, суждения наши были тогда гораздо более скоропалительными и самоуверенными, чем сегодня. Я вынужден был согласиться с моим другом в том, что наглядные изображения атомов по необходимости должны быть ложными, но я оставлял за собой право вписать в ошибку авторов подобных рисунков. Желание ближе познакомиться с подлинными основами атомной физики все же оставалось, и тут мне на помощь пришел другой случай. Примерно в это время мы приступили к чтению одного платоновского диалога, но учеба в школе не была регулярной. Я уже рассказывал, что тогда, во время революционных боев в Мюнхене, мы какое-то время помогали отряду, располагавшемуся в духовной семинарии напротив университета. У нас не было там обязательной работы; наоборот, нам грозило не столько перенапряжение, сколько праздное шатание. Мы к тому же должны были оставаться в распоряжении отряда и ночью, словом, вели поистине веселую жизнь, не заботясь о завтрашнем дне, без какого бы то ни было контроля со стороны родителей или учителей.

Тогда, в июне 1919 года, стояло теплое лето, и ранними утрами у нас уже, по сути дела, не было никаких служебных обязанностей. Поэтому нередко вскоре после восхода солнца я забирался на крышу семинарии и с какой-нибудь книгой в руках располагался в кровельном лотке, чтобы погреться на солнышке, или усаживался на краю крыши, чтобы понаблюдать за пробуждающейся жизнью на Людвигштрассе.

И вот в очередной раз — быть может, под угрозой скорого возобновления занятий на Моравицкиптрассе — мне пришла в голову мысль взять с собой на крышу том Платона. Желая почитать что-либо выходящее за рамки школьной программы, я, невзирая на свое скромное знание греческого языка, погрузился в диалог «Тимей». Так я впервые по-настоящему узнал из первоисточника кое-что об атомистической философии греков. В результате основная идея учения об атомах стала мне значительно яснее. Я полагал, что понял хотя бы наполовину те основания, которые заставили греческих философов прийти к мысли о мельчайших неделимых составных частицах материи. Хотя выдвинутое Платоном в «Тимее» утверждение, что атомы представляют собой правильные тела, и не было мне вполне ясно, тем не менее хорошо было уже то, что у них не было «крючков и петель». Художнику, думал я, который рисовал те картинки атомов, можно было бы спокойно посоветовать, прежде чем рисовать, прилежно протудировать Платона. Ему следовало бы поучиться сначала в нашей гимназии! Во всяком случае, уже тогда у меня сложилось убеждение, что вряд ли возможно продвинуться в современной атомной физике, не зная греческой натурфилософии.

В результате, опять-таки неведомо как, я проникся великой идеей греческой натурфилософии — идеей, которая перебрасывает мост между древностью и Новым временем и которая развернулась во всю силу только начиная с эпохи Ренессанса. Это направление греческой философии — атомистическое учение Левкиппа и Демокрита — обычно характеризуют как материализм. Хотя с исторической точки зрения такая характеристика верна, но сегодня она легко может привести к недоразумению, потому что в XIX веке это слово получило столь одностороннее истолкование, что никоим образом не может быть согласовано с развитием греческой натурфилософии. Такого ложного истолкования древнего атомизма можно избежать, если вспомнить, что первым исследователем Нового времени, который в XVII столетии вновь обратился к учению об атомах, был богослов и философ Гассенди, который, безусловно, не собирался оспаривать с его помощью учения христианской религии, а также и то, что для Демокрита атомы были буквами, которыми обозначались события мира, а не само их содержание. Материализм же XIX века развивался, напротив, из идеи другого рода, идеи, характерной для Нового времени и коренящейся в проведенном впер-

вые Декартом расщеплении мира на материальную и духовную реальности.

Великий, наполняющий нашу эпоху поток науки и техники исходит, стало быть, из двух источников, лежащих в сфере античной философии. И хотя за это время он впитал в себя также и другие влияния, умножившие его плодотворные воды, истоки его все еще достаточно хорошо различимы. Вот почему и естественные науки могут извлечь пользу из гуманитарного образования. Разумеется, те, кто считает более важным практическую подготовку юношества к жизненной борьбе, всегда могут возразить, что знание этих духовных истоков все-таки не имеет большого значения для практической жизни. Чтобы успешно существовать, говорят они, надо овладевать навыками, практически необходимыми в современной жизни: новыми языками, технологическими методами, сноровкой в делах и расчетах, — а гуманитарное образование — только украшение, только роскошь, которой могут пользоваться лишь те немногие, кому судьба более, чем другим, облегчила борьбу за жизнь.

Возможно, для многих людей, которые всю жизнь занимаются практической деятельностью и не стремятся содействовать духовному формированию нашей эпохи, эти доводы являются вполне убедительными. Но тот, кто этим не довольствуется, кто хочет дойти до самой сути в том деле, которым он занимается, будь это техника или медицина, — тот рано или поздно придет к этим античным истокам и многое приобретет для своей собственной работы, если научится у греков радикальности мышления, постановке принципиальных проблем. Мне кажется, что, например, труды Макса Планка позволяют достаточно ясно увидеть, какое плодотворное влияние оказала на его мышление гуманитарная школа. Здесь можно, пожалуй, сослаться и на мой собственный опыт. Это было три года спустя после окончания школы. Я был студентом в Геттингене и обсуждал с одним из товарищей проблему наглядности атома. Она уже и в школе беспокоила меня, а теперь эта непонятная загадка со всей очевидностью вставала в связи с явлениями спектроскопии, в то время еще не поддававшимися истолкованию. Мой друг стоял за наглядный образ. Он считал, что нужно с помощью современной техники всего лишь сконструировать микроскоп с очень большой разрешающей способностью, работающий не на обычном свете, а, скажем, на гамма-лучах, и тогда можно было бы легко увидеть форму атома. В таком случае и мои сомнения,

связанные с наглядным образом атома, окончательно рассеялись бы.

Это возражение глубоко обеспокоило меня. Я боялся, как бы с помощью задуманного таким образом микроскопа мне снова не пришлось увидеть знакомые по учебнику крючки и петли, и я был вынужден задуматься над кажущимся противоречием между результатами этого мысленного эксперимента и основными представлениями греческой философии. В этой ситуации мне крайне помог привитый нам в школе навык принципиального мышления. Во всяком случае, это не позволило мне удовлетвориться половинчатым, мнимым решением проблемы. Большую пользу принесло мне также и некоторое знание древнегреческой натурфилософии, которую к тому времени я в какой-то мере усвоил.

Когда в наше время говорят о ценности гуманитарного образования, то утверждение о том, что контакт современной атомной физики с натурфилософией — это-де уникальный случай, а естественная наука в целом, техника и медицина практически не касаются таких принципиальных проблем, вряд ли можно считать убедительным возражением. Оно неверно уже потому, что многие естественнонаучные дисциплины в своих основаниях тесно связаны с атомной физикой и, следовательно, приводят в конечном счете к тем же принципиальным проблемам, что и сама атомная физика. Химия возводит свое здание на фундаменте атомной физики, современная астрономия теснейшим образом связана с ней, без атомной физики в ней едва ли возможен какой бы то ни было прогресс, и даже в биологии уже перебрасываются мосты к атомной физике. В последние десятилетия в гораздо большей степени, чем раньше, стали заметны связи между различными естественными науками. Повсюду распознают признаки их общего истока, а этот общий исток кроется в конечном счете в античном мышлении.

Это утверждение как бы возвращает меня к тому, с чего я начал. Западноевропейская культура начинается там, где возникает тесная связь между постановкой принципиальных проблем и практической деятельностью. Это было осуществлено греками. Вся сила нашей культуры и поныне покоится на этой связи. Еще и сегодня почти все наши достижения исходят из нее, и в этом смысле выступать за гуманитарное образование — значит просто выступать за Запад, за его культуuroобразующую силу.

Но может ли гуманитарная гимназия в принципе ре-

шить выдвигаемую нами здесь задачу? Может ли изучение древних языков и истории пробудить сознание этой сложной, бесконечно сложной связи: взаимообусловленности принципиального характера ставящихся проблем и практической деятельной жизни? Может ли гимназия сделать для нас эту связь по-настоящему жизненной? Да и много ли вообще остается из того, что мы изучаем в школе? По сравнению с затраченными трудами мы получаем невероятно мало, а потому не следует ли предпочесть более быстрое освоение практических навыков? Будем честными и посмотрим, какие картины сохранились в нашей памяти со школьных времен. Возможно, два-три расшевеливших нашу фантазию описания битв из «Bellum gallicum» Цезаря, утомительный поход Ксенофонта через Малую Азию⁴ да несколько картин из истории средних веков. Один из лучших наших учителей, Паур, сумел оживить для нас хронологию царствований, побед и поражений, рисуя картину жизни тех средневековых городов, в которых разворачивались события: как ходили и во что одевались люди, что они ели, о чем думали. Кроме того, несколько мест из греческой трагедии, тексты которой, к сожалению, столь трудно переводить, и, разумеется, сказания об Одиссее и греческих героях. Первые геометрические доказательства тоже глубоко запечатлелись в моей памяти. Что же касается действительных знаний, то, как правило, кое-что осталось лишь в том случае, если и после школы профессия заставляла нас продолжать изучение. Добыча более чем скромная, подумается иному. Но что такое гуманитарное образование и что такое образование вообще? Вы знаете: образование — это то, что остается, когда забыли все, чему учились. Образование, если угодно, — это яркое сияние, окутывающее в нашей памяти школьные годы и озаряющее всю нашу последующую жизнь. Это не только блеск юности, естественно присущий тем временам, но и свет, исходящий от занятия чем-то значительным.

Атмосфера бесед о греческих поэтах и римских кесарях, знакомства со статуями Фидия в книгах по истории, музыкальных занятий в школьном оркестре, благодаря которым Гайдн и Моцарт вошли в нашу жизнь, шиллеровских стихотворений, которые способнейшие ученики должны были декламировать с кафедры... Разумеется, все мы должны сознаться, что школьное преподавание зачастую бывает сухим и скучным; школьный учитель — вовсе не образец, а тем более ученик — не ангел. Но школьные годы образуют цельную эпоху нашей жизни, и все, что бы мы

ни делали в это время, так или иначе определено духовным миром, открывшимся нам в процессе обучения в школе. И если мы говорим о влиянии гуманитарной гимназии, не надо думать, что речь идет об одних только уроках, о наших учителях и о большом здании в Швабинге. Влияние это гораздо шире. Когда в эпоху молодежного движения мы отправлялись с друзьями на Остерзее и, сидя в палатке, читали вслух «Гипериона» Гёльдерлина, когда на одной из вершин Фихтельгебирге мы ставили «Битву Германна» фон Клейста, когда ночью у лагерного костра мы играли чакону Баха или менуэт Моцарта — каждый раз нас плотно обступал тот духовный воздух Запада, в который ввела нас школа и который стал для нас жизненно необходимым элементом.

Вера в гуманитарную гимназию есть, стало быть, вера в Запад, в его мышление, его религию, его историю. Но имеем ли мы еще право на это, после того как могуществу и авторитету Запада был нанесен в последние десятилетия столь ужасный урон? По этому поводу следует заметить, что прежде всего речь идет вовсе не о праве или о чем-либо подобном, а о том, чего мы *хотим*. Вся активность Запада проистекает ведь не из какой-то теории, на основании которой наши предки чувствовали бы себя вправе действовать. Все было совершенно не так. В подобных случаях все начиналось и начинается с веры. Я имею в виду не только христианскую веру в богоданное, осмысленное единство мира, а просто веру в нашу задачу в этом мире. Вера означает здесь, разумеется, не то, что нечто берется на веру; вера значит только одно: я решаюсь, я подчиняю этому всю свою жизнь. Когда Колумб пустился в свое первое путешествие на запад, он верил, что Земля кругла и достаточно мала, чтобы кругосветное путешествие было осуществлено. Но он не только считал это теоретически оправданным предположением, он подчинил этой вере всю свою жизнь.

Во «Всеобщей истории Европы», которую недавно опубликовал Фрайер, он обсуждает эти темы и использует применительно к ним старую формулу: «Credo, ut intelligam» («Верую, чтобы уразуметь»). Когда же Фрайер относит эту формулу к истории великих географических открытий, он расширяет ее и включает дополнительное звено: «Credo, ut agam; ago ut intelligam» («Верую, чтобы действовать; действую, чтобы уразуметь»). Эта формула подходит не только к первым кругосветным путешествиям, она подходит и ко всему западноевропейскому естество-

знанию, а может быть, и ко всей миссии Запада. Она охватывает и гуманитарное образование, и естественную науку. В этом отношении мы не хотим излишне скромничать: одна половина современного мира, Запад, достигла небывалого могущества благодаря тому, что неизвестным до сей поры образом претворила в жизнь некоторые идеи западноевропейской культуры, а именно овладела с помощью науки силами природы и поставила их на службу людям; другая же, восточная, половина нашего мира держится верностью научным тезисам некоторых европейских философов и политэкономов. Никто не знает, что принесет будущее и какие духовные силы будут управлять миром, но лучше что бы то ни было мы сможем лишь после того, как уверуем в это и устремим к нему нашу волю.

Мы хотим, чтобы здесь, в Европе, вновь процветала духовная жизнь, чтобы и впредь здесь рождались идеи, определяющие лицо мира. Внешние условия европейской жизни станут счастливее, чем в последние 15 лет, по мере того как мы будем глубже осознавать собственные истоки и обретать пути к устроению гармоничного сотрудничества на нашей части Земли. Этой задаче мы подчиняем всю нашу жизнь. Мы хотим, чтобы вопреки всей внешней смуте наша молодежь выростала в духовной атмосфере Запада, чтобы она достигла тех животворных истоков, которыми живет наш европейский мир вот уже более двух тысяч лет. Как именно это произойдет — не столь важно. Выступаем ли мы за гуманитарную гимназию или за другой вид школьного образования — суть не в этом. В любом случае и прежде всего мы выступаем за западноевропейскую культуру.

Воспоминания о Нильсе Боре, относящиеся к 1922—1927 годам ⁵

Моя первая встреча с Нильсом Бором состоялась летом 1922 года в Геттингене, где по приглашению тамошнего факультета математики и естественных наук Бор прочитал серию докладов, о которой мы позднее с удовольствием говорили как о «фестивале Бора». Меня захватил с собою в Геттинген мой мюнхенский учитель Зоммерфельд, хотя я был тогда всего лишь двадцатилетним студентом 4-го семестра. Зоммерфельд сердцем был всегда со своими студентами, и он почувствовал, как силен был мой интерес к Бору и его теории атома. Первое впечатление от личности Бора совершенно отчетливо сохраняется в моей памяти. Полный молодой силы, но при этом несколько смущенный и застенчивый, слегка склонив голову набок, датский физик стоял на ярко освещенном возвышении лекционного зала, в который через широко распахнутые окна вливалось щедрое сияние геттингенского лета. Он произносил фразы как бы запинаясь и негромко, но за каждым тщательно выби-
раемым словом ощущалась длинная мыслительная цепочка, терявшаяся где-то в глубине перспективы очень волновавшей меня философской позиции.

В конце второго или третьего доклада этой серии лекций Бор заговорил о расчете, проведенном его сотрудником, голландцем Крамерсом, в отношении так называемого квадратичного эффекта Штарка, наблюдаемого у атома водорода, и Бор заключил свою лекцию замечанием, что, несмотря на все внутренние трудности атомной теории в ее тогдашнем состоянии, результаты Крамерса, пожалуй, совершенно правильны, и следует ожидать для них позднее экспериментального подтверждения. Я неплохо знал работу Крамерса, потому что докладывал о ее содержании на зоммерфельдовском семинаре в Мюнхене. Поэтому я рискнул выступить в ходе дискуссии, последовавшей вскоре за докладом, с частным возражением. Я не могу поверить в полную правильность результатов Крамерса, сказал

я, потому что существует возможность понять квадратичный эффект Штарка просто как предельный случай рассеяния света очень большой длины волны. А поскольку уже известно, что расчет спектра рассеяния света на атоме водорода привычными методами классической физики необходимо ведет к ложным результатам — в таком случае характерный резонансный эффект вызывался бы частотой орбитального вращения электрона, а не наблюдаемой частотой излучения атома водорода, — то и расчеты Крамерса вряд ли могут дать правильный результат. Ответ Бора сводился первоначально к тому, что здесь следовало бы принять во внимание и обратное воздействие излучения на атом; но мое возражение явно озадачило его. По окончании дискуссии Бор обратился ко мне и предложил прогуляться вдвоем на геттингенский Хайнберг; я, естественно, с великим удовольствием согласился. Этот разговор, во время которого мы вдоль и поперек бродили по лесистым высотам Хайнберга, был первой, какую я могу вспомнить, напряженной беседой о физических и философских основаниях современной атомной теории; эта беседа в значительной мере определила весь мой позднейший жизненный путь. Я впервые понял, что Бор гораздо скептичнее относился к своей собственной теории, чем многие другие физики того времени, например Зоммерфельд, и что его знание атома шло не от математического анализа положенных в основу допущений, а от настойчивого осмысления феноменов, позволявшего ему скорее интуитивно ощутить их закономерности, чем рассудочно дедуцировать их. Вот как, подумал я, возникает познание природы; и лишь после этого, на второй ступени появляется возможность математически уточнить познанное и сделать его доступным для подробного рационального анализа. Бор был прежде всего философ, а не физик; но он знал, что в наше время натурфилософия обладает силой лишь тогда, когда она до последних мелочей подчиняется неумолимым экспериментальным критериям истинности.

Бор пригласил меня приехать в начале следующего года на несколько недель в Копенгаген, а позднее, возможно, поработать там и дольше, получая стипендию. Так начался для меня бесценный период дружеского сотрудничества, пришедшийся благодаря счастливому стечению обстоятельств как раз на тот момент, когда квантовая теория становилась все сложнее и непонятнее, ее внутренние противоречия все невыносимее, ускоряя тот ее кризис, когда в считанные годы почти драматический ряд поразительных

открытый привел к решению всех ее принципиальных проблем.

Моя поездка в Копенгаген, если мне не изменяет память, пришлось на пасхальные каникулы 1924 года. Первые мои дни в институте и среди молодых людей, окружавших тогда Бора, погрузили меня в глубокую депрессию. Мне было так далеко до этих молодых физиков, съехавшихся со всех концов света! Большинство из них владело несколькими иностранными языками, тогда как я не мог разумно изъясниться ни на одном; они видели мир, разбирались в культуре, поэзии многих народов, в совершенстве играли на музыкальных инструментах и, главное, намного лучше меня знали современную атомную физику. У меня не было ни малейшей надежды быть принятым в такой круг. Тем не менее дружеские отношения завязались быстро. Мне особенно приятно вспомнить о первых дискуссиях с Крамерсом из Голландии, Юри из США и Росселандом из Норвегии. Они, похоже, хорошо знали, уважали Бора и были полны оптимизма в отношении будущего развития его теории.

Великим приобретением тех недель были, естественно, беседы с самим Бором. Поскольку уже тогда Бор был перегружен в своем институте текущими делами, он предложил пойти в многодневный пеший поход по северной части острова Зеландия, чтобы мы имели время без помех обсудить вдвоем все наши научные вопросы. Бор к тому же был явно рад возможности показать мне свою родную Данию: гамлетовский замок Кронборг на северной оконечности пролива Зунд между Данией и Швецией, изящное ренессансное строение окруженного водой замка Фредериксборг, у Хиллереда, большой лес далее к северу, у озера Эзрум, и рыбацкие поселки на Каттегате, между Гиллелейе и Тисвильделейе. На краю Тисвильделейе у Бора был просторный загородный дом для его семьи. Бор много рассказывал мне по пути об истории своей страны и ее замков, об отношении ее древнего прошлого к циклу исландских саг, который он знал в подробностях, и так за два-три дня я узнал о Скандинавии больше, чем за все школьные годы. И я сам полюбил счастливую и мирную страну, в основном пощаженную страшными катастрофами нашего века, и должен был в свою очередь снова и снова рассказывать Бору о происшедших на моей памяти событиях в моей собственной стране, о войне, революции, голоде и нужде. Наши беседы, таким образом, захватывали гораздо более широкие области, чем просто сферу физики и естест-

вознания, и я был рад видеть, как близок был Бору юношеский задор во всех его проявлениях. На пляже мы часто соревновались, кто дальше бросит камень в море или точнее попадает в плывущее бревно. Бор рассказал, что однажды они с Крамерсом нашли у пляжа невзорванную, со времен войны, мину и попытались на спор попасть в ее детонатор камнем. После нескольких неудачных попыток они догадались, что им не удастся пережить радость от попадания, потому что взорвавшаяся мина прежде того лишит их жизни; тогда они обратились к другим целям. Склонность Бора к философским обобщениям проявлялась часто в простой игре. Когда однажды на пустынной полевой дороге я бросил камень в очень далеко стоящий телеграфный столб и против всякой вероятности попал в него, Бор заметил: «Попасть с прицела в столь далекий объект, разумеется, невозможно. Но если наберешься наглости, не целясь, бросить камнем в том направлении и одновременно вообразишь себе абсурдную возможность, что попасть все-таки можно, то пожалуй, что-нибудь и получится. Представление о возможности чего-либо может оказаться сильнее, чем упражнение и воля».

Разумеется, большое место в наших беседах занимали проблемы атомной физики; мною они были впервые осознаны во всей своей остроте, пожалуй, лишь благодаря разъяснениям Бора, а у Бора наши дискуссии, возможно, упрочили его давнее скептическое отношение к тогдашнему состоянию атомной теории. От какого-либо решения мы были еще очень далеки, и даже столь важные открытия, как эффект Комптона, ставший известным в том же году, на первых порах только обостряли трудности и противоречия. Когда мы возвратились из нашего пешего странствия в Копенгаген, у меня было ощущение, что благодаря Бору будущее атомной теории стало мне намного понятнее, чем прежде. Было похоже на то, как будто окружавший нас густой туман стал уже чуть более прозрачным; как будто уже смутно различались очертания гор, на которые мы должны были позднее подняться, чтобы оттуда разглядеть общие теоретические взаимосвязи атомных явлений.

За летний семестр 1923 года я написал в Мюнхене свою докторскую диссертацию, тема которой была взята из совсем другой области физики — из гидродинамики. Развитие событий в атомной физике я наблюдал как бы издалека. Осенью я получил ассистентское место при Борне в Геттингенском университете и с тех пор участвовал в тамошнем кружке в дискуссиях по проблемам атомной теории.

Лишь в зимний семестр 1924/25 учебного года, став по рекомендации Бора стипендиатом Фонда Рокфеллера, я смог снова перебраться в институт на Блегдамсвее в Копенгагене. Там почти с первого дня началось тесное научное сотрудничество между Бором, его ближайшим сотрудником Крамерсом и мною, и беседы, которые мы вели вдвоем или втроем, быстро приняли регулярный характер и превратились для меня в важнейшее событие каждого дня, более содержательное, чем семинары и лекции.

В центре наших дискуссий стояла тогда теория дисперсии, то есть рассеяния света на атомах, о которой Крамерс тогда только что опубликовал одну очень важную работу. Мы взялись совместно распространить соображения Крамерса на определенный случай так называемого эффекта Рамана (дисперсия с изменением цвета), и речь шла, собственно, о том, чтобы скорее угадать правильные математические формулы с помощью заключений по аналогии, чем вывести их, поскольку принципиальная основа для математического расчета пока еще отсутствовала. Мы с Крамерсом вначале не были вполне единодушны и в отдельных случаях полагались на разные формулы. Мне было чрезвычайно поучительно наблюдать, как Бор всегда пытался приблизиться к решению путем детальнейшей физической интерпретации формул, тогда как я был гораздо более склонен опираться на формальные математические структуры, то есть применять в известном смысле эстетические критерии. К счастью, в конечном счете наши разные критерии приводили к одному и тому же ответу, и я попытался убедить Бора в том, что так и должно быть, иначе теория никогда не достигнет простоты и прозрачности. Однако я заметил, что математическая прозрачность не была для Бора самоочевидной ценностью. Бор опасался, что формальная математическая структура завуалирует физическое ядро проблемы, и был, кроме того, убежден, что математической формулировке обязательно должно предшествовать полное прояснение физической картины. Возможно, я в то время был уже больше Бора готов отказаться от наглядных образов и сделать шаг в сторону математической абстракции. Во всяком случае, в формулах, выработанных мною совместно с Крамерсом, я угадывал математику такой силы, что она функционировала, так сказать, сама по себе, в отрыве от физических представлений. От этой математики исходила для меня магическая притягательность, и меня захватывала идея,

что здесь, возможно, проступают наружу первые нити громадной сети глубоких закономерностей.

Не менее повезло мне и с исходом одной дискуссии между мною, Бором и Крамерсом, касавшейся поляризации флюоресцентного света. Бор написал о нем короткую заметку в связи с экспериментами в Институте Франка, а я, пренебрегая наглядными образами, приложил к проблеме Бора свою более формальную точку зрения и получил количественные результаты, немного выходявшие за рамки работы Бора. Вначале мне удалось убедить Бора и Крамерса в правильности моих формул. Но когда после завтрака я снова пришел в кабинет к Бору, они с Крамерсом сказали мне, что оба считают мои формулы ложными, и попытались разъяснить мне свою позицию. Загорелась многочасовая, почти страстная дискуссия, в ходе которой, насколько я помню, требование «отрешиться от наглядных образов» было впервые высказано со всей остротой и объявлено лейтмотивом будущей работы. Образ мысли Бора, в истории физики всего лучше воплощенный, пожалуй, прежде всего такими фигурами, как Фарадей или Гиббс, был вполне пригоден для того, чтобы с бесподобной ясностью вышелушить зерно проблемы. Но Бор колебался, не решаясь сделать шаг к математической абстракции, хотя ничего не имел против него. В конце концов мы достигли единого мнения, что мои формулы правильны, и у меня осталось ощущение, что мы заметно приблизились к будущей атомной теории.

Бор, естественно, принимал живейшее участие и в работе многих других сотрудников института, а поскольку он все делал чрезвычайно основательно, то расходовал на нас так много сил, что это мешало его собственным исследованиям и исполнению им обязанностей руководителя института. Бор часто оказывался поэтому в состоянии некоторого стресса, отчего ему становилось еще труднее письменно формулировать свои мысли. Берясь за письмо, он, как правило, диктовал мне первый набросок, и я удивлялся тщательности, с какой он снова и снова обдумывал и уточнял каждое слово.

В научной жизни копенгагенцев важную роль играл и гостеприимный загородный дом Бора в Тисвильделее. Часто я имел честь сопровождать туда на несколько дней его семью. Мы вместе брели через лес к пляжу, наслаждались с высоких поросших соснами песчаных дюн видом на голубое Балтийское море, по которому еще ходили старомодные грузовые парусники, и часто заплывали далеко в

море. Однажды во время купания Бор оказался очень далеко от берега, и, догоняя его, я заметил, к своему немалому испугу, что течение быстро сносит нас в открытое море. Хотя мы с большим напряжением стремились к земле, Бор никак не мог приблизиться к берегу и явно начал уставать. Тут я пережил несколько тревожных минут, потому что мы были совершенно одни и я уже больше не знал, что, собственно, предпринять. К счастью, благодаря течению мы оказались поблизости от небольшой песчаной отмели, до которой сумели в конце концов добраться, и Бор там довольно долго отдыхал. Расстояние от отмели до берега было, правда, еще велико, но после отдыха мы смогли, плывя как можно быстрее, без больших трудностей приблизиться к берегу и наконец выйти на него. Бор и его семейство владели также небольшой лошадию с тележкой, и, поскольку я близко сдружился с детьми, мне время от времени разрешали самому с одним ребенком прокатиться по лесу. В Тисвильделее часто приезжали гости из Копенгагена или из-за рубежа с собственными соображениями или сообщениями о новых экспериментальных результатах, оживляя научную беседу о трудностях атомной теории, столь беспокоивших нас всех.

В летний семестр 1925 года я снова читал лекции в Геттингене, а, кроме того, во время краткого лечения на острове Гельголанд в июне разработал первый набросок квантовой механики, которая представляла собою для меня в известном смысле квинтэссенцию наших копенгагенских бесед, математическую формулировку «принципа соответствия» Бора. Я надеялся, что благодаря одной новой и мне самому еще очень непривычной математической структуре для меня открылся доступ к тем странным закономерностям, которые иногда вырисовывались перед мной в моих прежних беседах с Бором и Крамерсом. После поездки в Голландию и Англию и затем летних каникул я снова приехал на несколько недель в Копенгаген, чтобы обсудить с Бором сложившуюся ситуацию. Бор был крайне заинтригован и, во всяком случае, уже не высказывал теперь никаких возражений против радикального отхода от наглядных образов. Правда, в то время еще невозможно было установить, насколько новый математический подход годится для построения полноценной теории.

Особенно приятно для меня воспоминание о нескольких днях, проведенных мною в то лето, в загородном доме

Бора, у которого гостили тогда также три математика — Харальд Бор, Харди из Кембриджа и Бесикович из России. Бесикович был только что вынужден покинуть Россию из-за тамошних политических неурядиц и надеялся теперь найти новую работу в Англии. Разговор вскоре коснулся и новых событий в теории атома, и три математика крайне волнующим для меня образом обсуждали, какого рода математические взаимосвязи могут скрываться за моей формулой. К сожалению, я слишком мало разбирался в математике, чтобы по-настоящему следить за их мыслью. Но у меня осталось явственное ощущение, что здесь выплыли на свет части большой сети всеобъемлющих закономерностей. К вечеру мы, разделившись на две партии, играли перед домом в итальянскую лапту, и, поскольку Харальд Бор и Харди были страстными спортсменами, обе стороны вели ожесточенную борьбу. Только Бесикович, совершенно далекий от всякого спорта, к сожалению, редко достигал успеха. Игра закончилась очень неожиданно. Команда Бора отставала на несколько очков, но за ней был последний бросок, который должен был сделать Бесикович. Сознавая безвыходность ситуации, Бесикович нарочно отвернулся и бросил шар за спину в направлении игрового поля. К его изумлению, шар попал точно в нужное место и, при всеобщем ликовании, решил исход игры в пользу его команды. Я подумал о высказывании Бора на проселочной дороге у Гиллелейе, но без дальнейших философских выводов. На обратном пути поездом в Копенгаген Харди предложил мне «для упражнения» математическую задачу, теорию одной китайской игры, по его словам, разработанную с большой точностью. С крайним напряжением сил пытался я решить задачу, пока Харальд Бор вдруг не сказал Харди с упреком: «Не следует тратить математические способности молодого человека на такие игрушки». К тому моменту я уже разобрался с одной частью теории и рассказал об этом Харди. Он лишь сухо заметил: «Что ж, по крайней мере для атома водорода новая теория атома, пожалуй, окажется верной».

В зимний семестр 1925/26 учебного года я должен был исполнять свои преподавательские обязанности в Геттингене. Кроме того, вместе с Борном и Йорданом я работал над математическим оформлением квантовой механики. Борн и Йордан достигли решающих успехов в математическом анализе новой механики; независимо от них этой проблемой занялся Дирак в Кембридже, придя, по суще-

ству, к тем же результатам, что Борн и Йордан. Так что на протяжении всего зимнего семестра нам с головой хватало работы по освоению новооткрытой математической целины. Между тем Крамерс получил профессию на родине, в Голландии, и Бор предложил мне занимавшееся прежде Крамерсом место преподавателя теоретической физики в Копенгагенском университете. Таким образом, начиная с пасхи 1926 года я снова полностью принадлежал Копенгагену, и, как прежде, ежедневные беседы с Бором составляли самую важную часть моей научной жизни. Атомная теория находилась к тому времени вся в движении. Высказанные в 1924 году Луи де Бройлем идеи относительно дуализма, существующего между теорией волн и теорией частиц, были подхвачены Шрёдингером, который развернул на их основе свою волновую механику. Первые работы Шрёдингера тогда, к Пасхе 1926 года, только вышли из печати⁶, но мы уже отовсюду слышали, что Шрёдингеру вроде бы удалось доказать математическую эквивалентность между своей волновой механикой и новорожденной квантовой механикой. Эти новости стояли в центре наших копенгагенских дискуссий. Изыскания Шрёдингера представлялись Бору очень важными по двум причинам: с одной стороны, они упрочивали доверие к математической схеме, которую теперь с одинаковым основанием можно было называть как квантовой, так и волновой механикой; с другой стороны, они заставляли задуматься о том, не следует ли двигаться к наглядной интерпретации этой схемы какими-то совершенно новыми путями, которые не приходили нам до сих пор на ум в нашем копенгагенском кружке. Бор сразу же почувствовал, что дело близится к решению принципиальных проблем, неотступно преследовавших его с 1913 года, и он сосредоточил всю силу своей мысли на критической перепроверке, в свете новообретенных знаний, всего того хода рассуждения, который в свое время привел его к концепциям стационарного состояния, квантового скачка и т. д. В наших беседах мы постоянно возвращались поэтому к интерпретации квантовой механики. Со своей стороны я, собственно, не был склонен ставить истолкование квантовой теории в зависимость от шрёдингеровской теории. Я считал ее исключительно ценным инструментом для решения математических проблем квантовой механики, не более того. Наоборот, Бор был, похоже, расположен допустить дуализм волн и частиц на правах основополагающей теоретической предпосылки.

Соответственно своему взгляду на вещи я занимался пока лишь практическим применением формул квантовой механики к спектру гелия. Важную роль здесь сыграли отличные измерения эффекта Штарка для спектра гелия, осуществленные Фостером. Канадец Фостер приехал на некоторое время в Копенгаген, желая сопоставить данные своих измерений с новой теорией. Наши дискуссии развешивались большей частью в загородном доме госпожи Мар, расположенном высоко над утесами северной Зеландии в Альгарде, около Хельсингёра. Между клумбами роз на садовых скамейках, откуда мы часто, напрягая зрение, пытались разглядеть горы на шведском берегу Эрезунда, раскладывались увеличенные фотокопии спектральных снимков Фостера и данные измерений линий спектра сравнивались с теоретически вычисленными результатами. Совпадение оказалось полным, и мы с удовлетворением убеждались, что многие сложнейшие и на первый взгляд непредвиденные частности вытекают из формул квантовой механики, так сказать, сами собой. Бор тоже радовался тому, что снова, как и десятью годами ранее в случае атома водорода, эффект Штарка явился прекраснейшим подтверждением правильности наметившегося понимания атомов. Не раз говорили мы с Бором и об общей теории спектра гелия, за которую я взялся, свободно комбинируя шрёдингеровский и геттингенский методы. Нас обоих очень обнадеживала открывшаяся теперь возможность дедуцировать спектры как ортогелия, так и парагелия из общих принципов; а в сочетании с «принципом Паули» это обстоятельство открывало доступ к окончательному пониманию периодической системы элементов. В июне, взяв с собой доведенную лишь до середины работу, я уехал в Норвегию, провел там дней восемь в Лиллехаммере на озере Мьёса, чтобы закончить свою рукопись, после чего с рукописью в рюкзаке прошел один из Гудбрандсдаля через горы Йотунхейма в Согне-фьорд, откуда кораблем и поездом возвратился в Копенгаген. Бор одобрил работу, после чего ее можно было отдавать в печать.

В июле я навестил своих родителей в Мюнхене и благодаря этому попал на доклад Шрёдингера о его работах по волновой механике, прочитанный им перед мюнхенскими физиками. Так я впервые услышал об интерпретации, которую Шрёдингер собирался дать своей математической схеме волновой механики, и впал в совершенное отчаяние из-за смешения понятий, на мой взгляд, неминуемо гро-

жившего в таком случае атомной теории. К сожалению, моя попытка в ходе дискуссии по докладу снова навести порядок в понятиях не имела никакого успеха. Тот довод, что шрёдингеровская интерпретация не позволяет понять даже закон излучения Планка, никого не убедил, и Вильгельм Вин, физик-экспериментатор из Мюнхенского университета, довольно резко ответил мне, что с квантовыми скачками и всей атомистикой теперь решительно покончено, а трудности, о которых я твержу, будут Шрёдингером, по всей видимости, очень скоро преодолены. Сейчас я уже не упомяну, сообщил ли я Бору письмом об этих мюнхенских событиях. Но во всяком случае, Бор вскоре затем пригласил Шрёдингера в Копенгаген, попросив его не ограничиваться одним докладом о своей волновой механике, а пробыть в Копенгагене подольше, чтобы осталось достаточно времени для дискуссий об интерпретации квантовой теории.

Эти дискуссии, состоявшиеся в Копенгагене, если мне не изменяет память, в сентябре 1926 года, оставили у меня сильнейшее впечатление, относящееся особенно к личности Нильса Бора. Хотя Бор был вообще исключительно деликатным и уступчивым человеком, в этой дискуссии, задевавшей важнейшие для него проблемы познания, он проявил способность с фанатизмом и почти пугающей неумолимостью добиваться окончательной ясности во всех аргументах. Он не расслаблялся даже после многочасовых споров и не отступал от Шрёдингера до тех пор, пока тот не признал свою интерпретацию бессильной объяснить хотя бы закон Планка. В бесконечно трудных диалогах медленно, шаг за шагом опровергалась всякая попытка Шрёдингера как-то обойти это горькое для него заключение. Возможно, вследствие перенапряжения Шрёдингер через два-три дня заболел и в качестве гостя семьи Боров вынужден был лечь в постель. Но и тут Бор почти не отходил от больного, упрямо повторяя: «Нет, Шрёдингер, Вы обязаны все-таки согласиться, что...» Один раз Шрёдингер почти в отчаянии воскликнул: «Если никак нельзя обойтись без этих проклятых квантовых скачков, то я жалею о том, что связался с атомной теорией!» На что Бор спокойно отвечал: «А вот мы, напротив, очень благодарны вам за то, что вы с нею связались и тем ее заметно продвинули». В конце концов Шрёдингер уехал из Копенгагена несколько обескураженный, тогда как у нас, в институте Бора сложилось убеждение, что шрёдингеровская интерпретация квантовой теории, с несколько подозритель-

ной легкостью выстроенная по аналогии с классической теорией, теперь так или иначе опровергнута, хотя для полного понимания квантовой механики нам еще не хватает ясности в целом ряде аспектов.

С тех пор беседы между Бором и его копенгагенскими сотрудниками все чаще вращались вокруг центрального для квантовой теории вопроса о том, как применять математический формализм к единичным экспериментальным данным и какое можно при этом дать объяснение общеизвестным парадоксам, например кажущемуся противоречию между волновым и корпускулярным представлениями. Снова и снова мы выдумывали мысленные эксперименты, при которых парадоксы всплывали бы с особенной отчетливостью, пытаясь угадать вероятный ответ, который даст природа при подобном эксперименте. Мы с Бором тяготели при этом к различным решениям. Еще двумя годами ранее Бор в работе, написанной вместе с Крамерсом и Слэтером, попытался сделать дуализм волнового и корпускулярного представлений исходной точкой для истолкования квантовой теории. Волны, думал он, следует истолковывать в смысле поля вероятностей, хотя это ведет к отказу от закона о сохранении энергии для единичных процессов. Тем временем, однако, Бёте и Гейгер установили, что закон сохранения энергии имеет силу также и для единичных процессов. Несмотря ни на что, кажущийся дуализм волн и частиц продолжал представляться Бору — и он был здесь совершенно прав — достаточно центральным феноменом, чтобы видеть в нем как бы естественную исходную точку для всякой интерпретации. Что касается меня, то я целиком положился на наше недавнее достижение, формальную математическую схему теории. Поскольку основоположениями квантовой механики была уже обеспечена физическая интерпретация для известных величин, я верил в то, что простое последовательное развертывание этих принципов неизбежно приведет к верной общей интерпретации, а значит, нет надобности в заимствовании каких-либо добавочных наглядных представлений. Благодаря этому различию наших точек зрения спорные проблемы освещались и исследовались со всех сторон, но все равно устранить парадоксы никак не удавалось.

Я жил тогда на мансарде института Бора на Блегдамсвее, и Бор часто поздним вечером заглядывал ко мне в комнату, чтобы поговорить о мучивших нас обоих трудностях квантовой теории. С одной стороны, у нас было чувство, что решение где-то совсем близко, поскольку мы уже

располагали явно непротиворечивым математическим описанием; а с другой стороны, было совершенно неясно, как выразить на этом математическом языке даже самые простые экспериментальные ситуации, например траекторию электрона в камере Вильсона. В квантовой механике мы исходили из того, что подобных траекторий электронов просто не существует, а в рамках волновой механики было невозможно понять, почему определенным образом локализованный волновой процесс, как бы некий волновой пакет, не расплывается снова в течение короткого времени.

В те месяцы Дирак и Йордан разработали теорию преобразований, во многом подготовленную предшествующими исследованиями Борна и Йордана, и это усовершенствование математической схемы еще больше утвердило нас в уверенности, что формальный облик квантовой теории не подлежит дальнейшим перестройкам и теперь остается лишь непротиворечивым образом выразить связь математики с экспериментами. Но как именно это должно произойти, оставалось по-прежнему в тумане. Наши вечерние дискуссии затягивались поэтому нередко за полночь, и временами мы расставались без большого удовлетворения, потому что различие направлений, в которых шли наши поиски решения, зачастую казалось нам помехой для прояснения дела. После одного из таких поздних беседований, глубоко обеспокоенный, я вышел в расположенный позади института парк Феллед, чтобы прогулкой на свежем воздухе привести себя в порядок перед сном. И на дорожке парка под ночным звездным небом мне сама собой напросилась в голову мысль о возможности просто-напросто исходить из того постулата, что природа допускает лишь такие экспериментальные ситуации, которые могут быть описаны в математической схеме квантовой механики. Это значит — такой вывод вытекал из ее математического формализма, — что нельзя одновременно и в точности знать местоположение и скорость той или иной частицы. До детального обсуждения этой возможности с Бором дело тогда не дошло, потому что как раз в те дни (конец февраля 1927 года) Бор отправился в Норвегию, чтобы провести там отпуск на лыжах. Похоже, сам Бор был рад возможности в течение нескольких недель без помех продумывать свои собственные мысли относительно интерпретации квантовой теории. Да и я смог теперь, оставшись один в Копенгагене, дать больше простора своей мысли и решил сделать краеугольным камнем своей ин-

терпретации только что упомянутое соотношение неопределенности. Воспоминание об одной давней беседе в Геттингене с другом-студентом навело меня на мысль о том, чтобы исследовать возможность измерения местоположения частиц посредством микроскопа, работающего на гамма-лучах, и таким путем очень скоро возникла интерпретация квантовой теории, показавшаяся мне внутренне согласованной и непротиворечивой. Я сразу написал длинное письмо к Паули, как бы первый набросок новой работы, и ответ Паули был недвусмысленно позитивным и ободряющим. Когда Бор вернулся из Норвегии, я уже был в состоянии показать ему черновой вариант статьи и письмо Паули. Вначале Бор был порядком недоволен; он указал мне на неправильность обоснования некоторых положений в этом первом варианте, а поскольку он, как всегда, с полным правом настаивал на безоговорочной ясности во всем, вплоть до мельчайших деталей, эти неувязки ему очень мешали. Кроме того, за проведенные в Норвегии недели у него самого сложилась концепция дополнительности, позволявшая сделать дуализм, существующий между волновой и корпускулярной картинами, исходным пунктом интерпретации. Концепция дополнительности полностью соответствовала той философской позиции, на которой он, по существу, всегда стоял и в которой одной из центральных философских проблем выступала недостаточность наших выразительных средств. Его поэтому сбивало с толку мое нежелание исходить из дуализма между волнами и частицами. Впрочем, после нескольких недель дискуссий, которые не были лишены напряженных моментов, мы скоро поняли, в немалой мере благодаря сотрудничеству Оскара Клейна, что оба имеем в виду, по сути дела, одно и то же и что соотношение неопределенности само составляет лишь специфический случай более общей ситуации дополнительности. Тогда я послал свою исправленную работу в печать, а Бор подготовил подробную публикацию относительно понятия дополнительности.

До какой степени интерпретация посредством понятия дополнительности совпадала с прежними философскими ориентациями Бора, стало для меня особенно ясным после одного эпизода, случившегося, если я правильно помню, во время одного парусного путешествия от Копенгагена до Свендборга на острове Фюн. Бор владел тогда вместе с несколькими своими коллегами и друзьями парусной яхтой, капитаном которой был внушающий доверие и

по-человечески очень притягательный физикохимик Бьеррум. Чивиц, незаурядный хирург, обеспечивал всех юмором даже в штормовую погоду, остальные друзья тоже вносили каждый свой вклад в это счастливое и необременительное совместное существование. Бор был переполнен новой интерпретацией квантовой теории, и, пока яхта без больших забот с нашей стороны летела в солнечных лучах под полными парусами на юг, у него было достаточно времени для рассказов о том, какое событие совершилось в науке, и для философских соображений о сущности атомной теории. Бор начал говорить о трудностях, связанных с языком, о недостаточности всех наших выразительных средств, с которой заранее приходится считаться, если мы вообще собираемся заниматься наукой, и заметил, как его радует то, что эта недостаточность находит для себя математически ясное выражение уже в самых первоосновах атомной теории. В конце концов кто-то из круга его друзей сухо сказал: «Но ведь тут нет совершенно ничего нового, Нильс, десять лет назад ты излагал нам все точно таким же образом».

Завершением этой приключенческой эпохи в истории атомной теории стали Сольвеевские конгрессы в Брюсселе осенью 1927 и 1930 годов. Тут собрались Планк, Эйнштейн, Лоренц, Бор, Луи де Бройль, Борн, Шрёдингер а из молодого поколения — Крамерс, Паули, Дирак, и дискуссия вылилась вскоре в дуэль между Эйнштейном и Бором по вопросу о том, можно ли рассматривать квантовую теорию в ее сложившейся к тому времени форме как окончательное решение проблем, обсуждавшихся в течение нескольких десятилетий. Мы встречались большей частью уже за завтраком в отеле, и Эйнштейн начинал описывать мысленный эксперимент, призванный, как ему казалось, выявить внутренние противоречия копенгагенской интерпретации. Эйнштейн, Бор и я шли затем вместе из отеля в здание, где проходил конгресс, и я прислушивался к оживленным дискуссиям между этими двумя столь непохожими по своим философским установкам людьми, вставляя при случае то или иное замечание о структуре математического формализма. Во время заседания, а еще больше в перерывах мы, молодые, особенно Паули и я, тоже принимались за анализ эйнштейновского эксперимента; и происходили новые дискуссии между Бором и другими копенгагенцами. Как правило, к вечеру у Бора был готов исчерпывающий анализ мысленного эксперимента, преподносившийся Эйнштейну за ужином.

Эйнштейн не имел ничего возразить по существу против этого анализа, но убежденности в душе не чувствовал. Голландский друг Бора Эренфест сказал ему: «Эйнштейн, мне стыдно за тебя; ведь ты сейчас ведешь себя по отношению к квантовой теории точно так же, как противники теории относительности, когда они тщетно пытались опровергнуть твою теорию». В последний день Эйнштейн явился на завтрак со своим известным (разобранном в статье Бора к семидесятилетию Эйнштейна) мысленным экспериментом, предполагавшим определение цвета светового кванта посредством взвешивания источника света до и после излучения этого кванта. Поскольку дело здесь касалось силы тяготения, анализ должен был включать теорию гравитации, а тем самым и общую теорию относительности. Особенным триумфом было то, что к вечеру Бор сумел, используя как раз эйнштейновские формулы общей теории относительности, показать, что и при данном эксперименте соотношения неопределенности остаются в силе и, значит, возражение Эйнштейна необоснованно. Отныне копенгагенскую интерпретацию квантовой теории можно было считать утвердившейся.

Поздней осенью 1927 года мне пришлось покинуть Копенгаген, потому что я принял должность профессора в Лейпцигском университете. Правда, я еще приезжал почти каждый год снова на несколько недель в Копенгаген и говорил с Бором об интересовавших нас обоих вопросах, но эпоха тесного сотрудничества, до предела наполненная волнующими научными событиями, когда я научился бесконечно многому от Бора, к сожалению, подошла к концу.

Первые шаги квантовой механики в Геттингене *7

Полвека назад в Геттингене возникла квантовая механика, и этот ее юбилей служит хорошим поводом рассказать о начале ее истории здесь, в Геттингене, в традициях старого коллоквиума. Я не могу и не хочу брать на себя роль историка, пытающегося после основательного изучения источников очертить по возможности корректный, объективный образ отдельных событий; существуют очень хорошие исторические очерки, и я не мог бы создать лучший. Мне хотелось бы вместо этого набросать субъективную картину, воссоздать частности, не вошедшие в исторические исследования, и сказать, какие шаги мне лично казались наиболее важными, хотя с объективной точки зрения об их значении следовало бы судить, возможно, иначе. Однако, прежде чем приступить к делу, я должен, пожалуй, сказать еще пару слов о географическом положении Геттингена в ландшафте тогдашней физики, и особенно — тогдашней атомной физики. Квантовая теория Планка была в ту эпоху, собственно, вовсе не теорией, а занозой в ученых умах. В плотно сбитое строение классической физики она внесла идеи, во многих отношениях чреватые трудностями и противоречиями, а потому не много было университетов, где желали всерьез заниматься этой проблематикой. Теория Бора изучалась и развивалась, помимо Копенгагена, преимущественно Зоммерфельдом в Мюнхене, и геттингенцы окончательно решились разрабатывать это научное направление только в 1920 году, когда пригласили к себе Франка и Борна. Сравнивая три центра, в которых впоследствии преимущественно развивалась теоретическая физика, — Копенгаген, Мюнхен и Геттинген, — мы можем связать их с тремя направлениями в ее работе, которые еще и сегодня могут быть отчетливо разграничены между собой: фено-

* © Die Anfänge der Quantenmechanik in Göttingen. R. Piper und Co., Verlaq, München 1977.

менологическое направление стремится привести в осмысленную связь новые данные наблюдений, представить их взаимосвязь в математических формулах, которые казались бы более или менее приемлемыми в свете общепринятой физики; математическое направление трудится над описанием природных процессов посредством тщательно проработанного математического формализма, по возможности отвечающего требованиям чистой математики с ее строгостью; третье направление, которое можно назвать концептуальным, или философским, заботится прежде всего о прояснении понятий, позволяющих в конечном счете описывать природные процессы. Можно задним числом отнести зоммерфельдовскую школу в Мюнхене к феноменологическому методу, геттингенский центр — к математическому, а копенгагенский — к философскому направлениям, хотя границы между ними, естественно, расплывчаты. Мое сообщение по необходимости делится на три временных отрезка — подготовительные 1922—1924 годы, решающий 1925 год и годы разработки — 1926-й и 1927-й.

Если говорить о первых шагах квантовой механики в Геттингене, то начинать надо, несомненно, с «фестиваля Бора» летом 1922 года. По инициативе Гильберта и физиков Франка, Борна и Поля университет пригласил датчанина Нильса Бора прочесть серию обобщающих лекций о своей теории. Были приглашены гости из других городов, в том числе Зоммерфельд из Мюнхена, и все мероприятие, одно из первых подобного рода после суровой разрухи послевоенных лет, носило на себе печать бодрящего нового начинания, служившего как налаживанию международных научных связей, так и решению задач только что возникавшей атомной физики. Вдобавок Геттинген при великолепнейшей погоде того лета сиял садами и цветами, а настроение и волнение академической молодежи, заполнявшей большую часть аудитории, несмотря на трудную тематику, придавало докладам такую праздничность, что выражение «фестиваль Бора» сразу вошло в обиход — по образцу «фестиваля Генделя», как раз тогда начавшегося в Геттингенском городском театре. Зоммерфельд захватил меня с собою из Мюнхена; он дружески финансировал мою поездку, которая далеко выходила за мои тогдашние возможности, и я в полной мере наслаждался праздничными днями, хотя нередко и на пустой желудок, что для студента четвертого семестра было в те годы нормой.

Бор со всей подробностью развернул в серии лекций свою теорию, и мой интерес, как и многих других слушателей, привлекли с самого начала главным образом два круга проблем: во-первых, вопрос, можно ли в самом деле более или менее правильно определить энергии дискретных стационарных состояний, прилагая к механическим движениям электронов в атоме квантовые условия Бора—Зоммерфельда; во-вторых, вопрос о степени соответствия между боровской моделью атома со многими электронами, с одной стороны, и химическими и спектральными характеристиками элементов периодической системы — с другой.

Что касается первого круга проблем, то, как мне показалось, из формулировок Бора очень скоро стало ясно, что он не так твердо верил в применимость классической механики к движениям электронов внутри атома, как, скажем, Зоммерфельд. Тот факт, что при допущении этого движения частоты предполагаемого обращения электронов вокруг ядра никак не соответствовали частотам испускаемого атомом излучения, сам Бор воспринимал как почти невыносимое противоречие, которое он кое-как пытался преодолеть с помощью своего принципа соответствия. Спорный вопрос, с которым я в этой связи обратился к Бору, повлек за собой долгую беседу во время прогулки к вершине Хайнберга; тогда я впервые понял, сколь трудными, даже почти безнадежными представлялись ему в то время эти проблемы атомной динамики. Бор подчеркивал снова и снова, что человеческий язык явно недостаточен для описания внутриатомных процессов, коль скоро речь идет об области опыта, совершенно лишенной непосредственной наглядности; поскольку же всякое понимание и всякое общение между физиками опирается на язык, никакое решение здесь пока вообще немыслимо. Правда, Бор тогда еще думал, что затруднения коренятся прежде всего в теории излучения, т. е. в электродинамике, тогда как я, наоборот, выводил из нашей дискуссии все больше доводов в пользу того, что на роль козла отпущения как будто бы претендует механика или даже, пожалуй, прямо кинематика. О втором круге проблем—квантовании многоэлектронной системы и периодической системе элементов — мы в те дни говорили очень мало. Бор подтвердил мне, что, как мы с Паули уже давно догадывались в Мюнхене, он вывел свои сложные атомные модели не по законам классической механики, и что они скорее интуитивно, на основании его опыта возникли у

него в качестве наглядных образов, насколько вообще механические образы пригодны для представления атомных процессов.

Лекции Бора послужили решающим стимулом для дальнейшего развития атомной физики в Геттингене. Поскольку в зимний семестр 1922/23 учебного года я учился в Геттингене — Зоммерфельд уехал на это время в Америку, — события развертывались с самого начала у меня на глазах. Борн организовал семинар по проблемам теории Бора. Поскольку, как мне помнится, в нем приняло участие едва ли больше восьми физиков и математиков, семинар часто собирался вечерами в доме Борна. Госпожа Борн пирожками или фруктами подкрепляла силы участников. Их точный список я сейчас уже не смог бы привести, в него определенно входили Йордан, Хунд, Ферми, Паули, Нортхайм и математик Карекьярто, может быть не все одновременно; впрочем, и тут я лучше предоставил бы восстановление частных подробностей историку. Задания, которые давал нам в рамках этого семинара Борн, относились исключительно к области механики, и уже отсюда становилось ясно, что Борн тоже видел подлинный камень преткновения в механике и лишь во вторую очередь — в электродинамике или в теории излучения. Мне досталась в этой связи задача разобраться в теории возмущений из классической астрономии; ибо всем, кто работал в нашей области, уже тогда было ясно, что заниматься расчетом простого случая атома водорода с его единственным электроном недостаточно. Правила Бора—Зоммерфельда были с успехом приложимы к водороду даже при наличии возмущения в виде внешнего электромагнитного поля; но при разборе систем со многими электронами возникали непреодолимые трудности. От геттингенских математиков мы знали о головоломной трудности задачи трех тел в астрономии. Периодические и неперіодические решения располагаются там в сколь угодно тесном соседстве. А квантовые условия опирались исключительно на допущение периодических решений. Мы углубились поэтому прежде всего в общую теорию возмущений механики Гамильтона—Якоби, как она применяется астрономами. Потом перешли к изучению резонансных эффектов между различными планетными орбитами одной и той же системы; мне однажды пришлось выступить с рефератом о так называемом методе Болина⁸. Главная польза этих усилий заключалась в осознании того, что, хотя классическая механика заведомо неверна,

она содержит многие черты, обнаруживающиеся в эмпирических закономерностях квантовой теории, и что боровский принцип соответствия образует в некотором смысле мост между этими двумя столь различными представлениями. Так что если в Мюнхене точный расчет отдельных атомных состояний считали важнейшим достижением квантовой теории, а в принципе соответствия видели малоудовлетворительную «затычку» на худой конец, то в геттингенских дискуссиях принцип соответствия все определеннее выдвигался на центральное место. К тому же в феноменологических работах мюнхенской школы по аномальному эффекту Зеемана и по определению расстояния между спектральными линиями и интенсивностей в мультиплетах снова и снова всплывали формулы, очень похожие на те, которые можно было вывести из классической механики. Например, в таких формулах часто встречался квадрат орбитального момента. Однако если квантовое число орбитального момента системы принять за I , то его квадрат эмпирически оказывался равным не I^2 , а $I(I+1)$; в одной работе об эффекте Зеемана я охарактеризовал корень из этого последнего выражения как орбитальный импульс. Это дало повод Зоммерфельду, придававшему принципиальную важность целочисленным решениям, назвать введенную мною величину «размытым I ». Мало-помалу в ходе геттингенских дискуссий укоренилось ощущение, что классические формулы всегда лишь наполовину верны — однако все-таки наполовину они *верны* — и что при известной сноровке по ним можно угадать верные квантотеоретические формулы.

Естественно, тут же, в Геттингене, продолжалась работа и над другими темами, выдвинутыми «фестивалем Бора» и касавшимися многоэлектронной системы и периодической системы элементов. Вспоминаю, что этому были посвящены главным образом дискуссии между Бором и Хундом, в то время как я, хотя и занимался еще с мюнхенских времен аномальным эффектом Зеемана и мультиплетами, уделял больше внимания сущностным вопросам принципа соответствия. Другой важный стимул в том же направлении исходил из работ Ладенбурга и Крамерса по дисперсионной теории. Здесь Фурье-компоненты, описывающие движение в классической механике, были поставлены в связь с эйнштейновскими вероятностями перехода при рассеянии света. Принцип соответствия был тем самым конкретно проинтерпретирован через соотношения, взятые из классической теории дисперсии, так что опять

можно было признать классическую механику наполовину верной.

Тогдашнее состояние дискуссий очень точно изображено в летней (1924 года) работе Борна под заглавием «О квантовой механике». Здесь, таким образом, впервые был употреблен термин «квантовая механика», и я должен, пожалуй, воспроизвести резюме, стоявшее в начале работы Борна. Оно гласило: «В работе содержится попытка сделать первый шаг к квантовой механике внутри-атомной связи; для важнейших свойств атома — стабильности, резонанса на дискретных частотах, принципа соответствия — предлагаются объяснения, естественным образом вытекающие из законов классической физики. Теория включает дисперсионную формулу Крамерса и обнаруживает тем самым близкое родство с полученной в Мюнхене [Гейзенбергом] формулировкой правил аномального эффекта Зеемана»⁹. Как явствует из деталей работы, Борн имел совершенно отчетливое ощущение, что квантовая механика отличается от классической механики тем, что на место дифференциальных уравнений классической теории в квантовой теории должны выступить разностные уравнения. Он дал мне поэтому задание изучить теорию разностных уравнений, уже подробно разработанную математиками. Я выполнил задание с немалым эстетическим наслаждением, но также и с чувством, что физические проблемы никогда нельзя разрешить, исходя из чистой математики. Реальная преграда, о которой мы тогда догадывались, но которую еще не понимали, заключалась в том, что мы все еще продолжали говорить об орбитах электронов и не имели тут, собственно, никакой альтернативы; ведь была же видна траектория электрона в камере Вильсона, так, стало быть, и внутри атома должны были существовать орбиты электронов.

Прежде чем перейти теперь к событиям 1925 года, я хотел бы рассказать две небольшие истории, показывающие, как напряженно мы занимались тогда проблематикой квантовой теории. Группа молодых людей, учившихся у Борна и Франка, вообще не могла говорить ни о чем другом, кроме теории квантов, — до того мы были захвачены ее успехами и внутренними противоречиями. Мы брали тогда скромные обеды в одном частном заведении напротив аудиторного корпуса. Однажды, к моему изумлению, хозяйка попросила меня после обеда для частного разговора в свою комнату. Она объявила мне, что мы, физики, к сожалению, не сможем впредь обедать у нее,

потому что вечные профессиональные глупости за нашим столом до того надоели другим людям за другими столами, что она потеряет остальных клиентов, если не расстанется с нами. В другой раз мы вместе отправились на лыжную прогулку в Гарц, кажется, мы хотели подняться на Брокен, и на обратном пути в Андреасберг один из группы, по-моему Ханле, пропал. Мы искали и не могли найти его и уже боялись, как бы он не повредил себе ногу или не заблудился в лесу. Вдруг из порядком отдаленного лесочка мы услышали довольно-таки жалобный крик «hv!» (аш ню), и поняли, куда перенести свои поиски.

Но теперь вернемся к событиям 1925 года. В зимний семестр 1924/25 учебного года я снова работал в Копенгагене, пытаюсь построить вместе с Крамерсом теорию дисперсии. По ходу работы в формулах, описывающих эффект Рамана, появились определенные математические выражения, которые в классической теории были произведениями рядов Фурье, тогда как в квантовой теории они явно подлежали замене аналогично построенными произведениями рядов, относящихся к квантовотеоретическим амплитудам линий спектра испускания или поглощения. Закон умножения для этих рядов имел простой и убедительный вид. Когда в летний семестр 1925 учебного года я возобновил эту работу в Геттингене, одно из первых же обсуждений с Борном привело нас к выводу, что я должен попытаться угадать амплитуды и интенсивности для водорода, исходя из формул классической теории с учетом боровского принципа соответствия. Этот метод угадывания уже успел хорошо зарекомендовать себя. Нам казалось, что мы достаточно усвоили его в прошлых работах. Однако при более углубленном подходе задача оказалась чересчур сложной, по крайней мере для моих математических способностей, и я искал более простые механические системы, где метод угадывания обещал больший успех. При этом у меня возникло ощущение, что я должен отказаться от какого бы то ни было описания орбит электронов, должен даже сознательно изгонять подобные представления. Вместо этого мне хотелось целиком положиться на полуэмпирические правила умножения амплитудных рядов, которые оправдали себя в теории дисперсии. Искомой механической системой я избрал одномерный ангармонический осциллятор, который казался мне достаточно простой и вместе с тем не слишком тривиальной моделью.

Примерно в то же время, в конце мая или в начале июня, мне пришлось попросить у Борна двухнедельный отпуск, поскольку я заболел очень неприятной формой сенной лихорадки и хотел дождаться выздоровления на уединенном острове Гельголанд вдали от цветущих лугов. Там я смог без всяких внешних помех уйти с головой в свою проблему. Я заменил пространственные координаты таблицей амплитуд, которая предположительно должна была соответствовать классическому ряду Фурье, и написал для нее классическое уравнение движения, причем в нелинейном члене, выражавшем ангармоничность, применил умножение амплитудных рядов, оправдавшее себя в дисперсионной теории. Лишь гораздо позднее я узнал от Борна, что речь тут шла просто о матричном умножении — разделе математики, оставшемся мне до того времени неизвестным. Меня беспокоило то, что при такого рода умножении рядов $a \times b$ не обязательно оказывалось равным $b \times a$. При таком уравнении движения таблицы, выражавшие пространственное местоположение, не достигали еще однозначной определенности. Предстояло еще найти замену для квантового условия Бора—Зоммерфельда, ибо в нем применялось понятие электронных орбит, которое я намеренно сделал для себя запретным. Но отвечающее принципу соответствия преобразование вскоре привело меня к известному мне по Копенгагену правилу сумм, которое Томас и Кун вывели из дисперсионной теории¹⁰. Тем самым вроде бы вся математическая схема обретала законченный вид, и теперь оставалось исследовать, поддается ли она механической интерпретации. Для этого требовалось показать, что существует выражение для энергии, которое можно представить через таблицы координат и которое по принципу соответствия связано с классической формулой энергии; что это выражение постоянно во времени, то есть что закон сохранения энергии не нарушается; и что соответственно таблицы, выражающие энергию, представляют собою то, что мы сегодня называем диагональной матрицей. Наконец, предстояло доказать, что разности энергетических уровней различных атомных состояний с точностью до множителя h , то есть постоянной Планка, соответствуют частоте излучения, испускаемого при переходах. Таким образом, надо было удовлетворить сразу многим условиям; расчеты были элементарными, но именно поэтому довольно громоздкими. В конце концов оказалось, что все условия удовлетворены, что можно тем самым уверенно говорить о создании

основ квантовой механики. По возвращении в Геттинген я показал работу Борну, который нашел ее интересной, но несколько странной; странной потому, что понятие электронных орбит было полностью элиминировано. Он все равно послал ее для публикации в физический журнал. Борн и Йордан углубились в математические выводы из работы, на этот раз без меня, потому что Эренфест и Фаулер пригласили меня прочесть доклады в Голландии и в английском Кембридже. Буквально за несколько дней Борн и Йордан отыскивали решающее соотношение $pq - qp = 2\pi i/\hbar$, благодаря которому вся математическая схема стала сразу прозрачной; теперь можно было легко и изящно выводить такие важные законы, как закон сохранения энергии¹¹.

К моему возвращению из Англии в сентябре в Копенгаген уже была, как мне помнится, написана работа Борна—Йордана, содержащая убедительное математическое обоснование квантовой механики. Немного позднее, кажется где-то в конце октября, когда я снова был в Геттингене, я получил от Дирака из Кембриджа письмо, где он сообщал мне свою форму квантовой механики, построенную на основе моих кембриджских сообщений. Он не применял матричного исчисления, а вводил для динамических переменных p и q особую алгебру, в которой решающую роль играли, естественно, перестановочные отношения¹². Сразу было видно, что формулировка Дирака эквивалентна методу Борна—Йордана. Мы могли уже считать, что стоим со своей новой механикой на сравнительно надежном математическом основании, и решили втроем, то есть Борн, Йордан и я, написать подробную работу, в которой мы должны были рассмотреть системы со многими степенями свободы, теорию квантовомеханических возмущений и связь всего этого с теорией излучения. В этой работе нам в полной мере пригодилась математическая традиция Геттингенского университета. Борн был не только прекрасно знаком с математической теорией матриц, он знал также Гильбертову теорию интегральных уравнений и квадратичных форм бесконечного числа переменных. Он смог соответственно показать, что анализ квантовомеханической системы сводится к преобразованию бесконечных квадратичных форм относительно главной оси. Отсюда можно было легко вывести и теорию возмущений. Проведенные Йорданом расчеты явлений пульсации ясно показали прерывный характер квантовых переходов.

Но при написании работы были и трудности, упоминаемые Борном в своих мемуарах. Для меня было очень важно выдвинуть на передний план физическое содержание теории, особенно отсутствие электронных орбит в атоме, тогда как Борн считал сердцевиной теории преобразования относительно главных осей, определенный математический формализм. Было еще и внешнее затруднение в том, что в конце октября Борн уезжал в Америку; для совместных обсуждений в Геттингене оставалось поэтому лишь несколько дней, и нам с Йорданом пришлось закончить работу уже после отъезда Борна. Как видите, уже и тогда заграничные поездки, доклады и конгрессы мешали научному прогрессу, хотя, конечно, еще не в такой чудовищной мере, как сегодня. «Работа трех», как мы ее тогда называли, ибо название «коллективный труд» было еще непривычным, была отослана в физический журнал в середине ноября¹³.

Мы состояли тогда в регулярной переписке с Вольфгангом Паули в Гамбурге, который с самого начала входил в самый тесный круг мюнхенских геттингенских квантовых теоретиков. Паули предпринял разработку проблемы водорода, игравшего столь важную роль в истории квантовой теории, по схеме новой квантовой механики. С помощью методики, созданной гамбуржцем Ленцем, он достиг полного успеха, и уже до завершения в Геттингене «работы трех» Паули доказал, что новая теория позволяет правильно вычислить также и спектр атома водорода. Паули сумел точно рассчитать и более сложный случай водородного атома в пересекающихся электрическом и магнитном полях. Этот успех решающим образом повысил убедительность новой механики. Здесь кончается мое описание важнейших событий 1925 года в квантовой теории, насколько они непосредственно связаны с Геттингеном; остается, пожалуй, сказать еще только несколько слов о тех трудностях, на которые я намекнул выше и которые касались проблемы «физическое содержание — математическая форма».

Разумеется, для меня было совершенно ясно огромное значение замкнутой и красивой математической формы, которую Борн и Йордан придали новой теории. Ни в одном другом городе мира не удалось бы выработать эту математическую схему так же быстро, как в Геттингене. Однако с самого начала у меня было ощущение, что главная проблема заключается не в математике, а в точке приложения математики к природе. В конце концов мы

ведь собирались описывать природу, а не просто заниматься математикой, и я опасался, что эта главная задача «работы трех» еще отнюдь не решена. Да, рассчитать энергию стационарных состояний или интенсивность линий мы умели, но как описать, скажем, траекторию электрона в камере Вильсона, поддающуюся как-никак непосредственному наблюдению, — этого мы не знали. Мы условились не говорить об орбитах и траекториях, но ведь в конце концов они все же так или иначе обладают физической реальностью. После завершения «работы трех» я написал грустное письмо к Паули, с которым всегда делился своими заботами, и одно место из этого письма мне хотелось бы вам привести: «Я приложил все усилия, чтобы сделать работу более физической, чем она была, так что наполовину я ею удовлетворен. Но общий облик теории меня все еще удручает, и я был очень рад, что Вы в своих взглядах на математику и физику стоите целиком на моей стороне. Здесь я нахожусь в среде, которая думает и воспринимает вещи диаметрально противоположным образом, и уж не знаю, может быть, я просто слишком туп, чтобы понять математику. Геттинген распадается на два лагеря: одни, как Гильберт, да и Вейль в письме к Йордану, говорят об огромном успехе, достигнутом благодаря введению матричного исчисления в физику, а другие, например Франк, говорят, что «понять матрицы в принципе никогда не удастся»». По сути дела, тут столкнулись два метода работы в теоретической физике, которые я в начале своего выступления разграничил как понятийный и математический, приписав их соответственно Копенгагену и Геттингену. Математической формулировки еще недостаточно для понятийной формулировки. Об этом совершенно ясно свидетельствует и судьба теории относительности. Сформулировав свои правила преобразований, Лоренц, по существу, уже дал ее математическую формулировку, но только Эйнштейн нашел для нее понятийное объяснение. Лоренц, пожалуй, даже предвосхитил понятийное решение проблемы, введя мнимое время наряду с абсолютным временем прежней физики, но по-настоящему вся ситуация была понята лишь несколько лет спустя Эйнштейном.

Состояние наших знаний в Геттингене к концу 1925 года можно подытожить так: математический формализм квантовой механики прочно утвердился, хотя, как обнаружилось позднее, он еще не был окончательно разработан. Как надо применять этот формализм на опы-

те — на этот счет существовали некоторые конкретные предположения, но подлинное понятийное проявление еще не было достигнуто.

1926 год начался с сенсации. Сначала по слухам, а затем в виде корректурных листов мы получили сведения о первой работе Шрёдингера по волновой механике, где задача определения энергетических уровней в атоме водорода решалась просто как проблема отыскания собственных значений для трехмерных материальных волн. Физическая картина, из которой исходил Шрёдингер, принадлежала Луи де Бройлю и выглядела совершенно иначе, чем принятая нами за основу атомная модель Бора. Но результаты получались те же самые, и важные формальные аналогии были налицо. Понятие электронной орбиты у Шрёдингера отсутствовало точно так же, как и в геттингенской квантовой механике, и в обеих теориях определение энергетических уровней стационарных состояний сводилось к проблеме собственных значений в линейной алгебре. Подозрение, что обе теории математически эквивалентны, то есть допускают взаимное преобразование, возникло очень скоро и обсуждалось повсеместно — конечно, и в нашей переписке с Паули. Уже в конце 1925 года Борн вместе с Норбертом Винером создал в Америке новую математическую формулировку квантовой механики, включавшую понятие линейного оператора и, как можно констатировать задним числом, позволявшую легко перейти к шрёдингеровскому формализму волновой механики. Правда, Борн и Винер не сумели отыскать этот переход. Уже 18 марта 1926 года Шрёдингер оказался в состоянии направить искомое доказательство эквивалентности в ежегодник «Аннален дер физик». Но, как мне помнится, Паули тоже очень рано нашел это доказательство и сообщил мне о нем в письме, хотя не опубликовал его тогда. Впрочем, память может меня здесь подвести. Во всяком случае, весной 1926 года мы уже знали, что шрёдингеровская волновая механика и геттингенская квантовая механика математически эквивалентны. Поскольку шрёдингеровский метод дифференциальных уравнений в частных производных был привычнее для физиков, чем матрицы, его было удобно применять для вычисления матричных элементов. Мы в Геттингене потратили лето 1926 года на усвоение шрёдингеровской методики, для чего каждый из нас просто-напросто написал работы по одной специальной физической проблеме, в ходе которой можно было изучить оба метода в их взаимодействии.

Борн написал статью о процессах столкновений, Йордан разработал общую теорию преобразований, а я попытался рассчитать спектр гелия, причем натолкнулся на связь между симметрией волновой функции относительно перестановочной группы и существованием некомбинирующихся энергетических уровней ортогелия и парагелия. Надо сказать, что с летнего семестра 1926 учебного года я работал в Копенгагене, но сотрудничество между тремя центрами — Геттингеном, Копенгагеном и Мюнхеном — было уже тогда столь тесным, что мы регулярно обменивались письмами и от случая к случаю встречались в одном из трех городов.

Все три работы уже имели прямое или косвенное отношение к трудной проблеме понятийного прояснения. Но прежде чем говорить об этом подробнее, я должен упомянуть о двух дискуссиях, имевших место между Шрёдингером и специалистами по квантовой механике летом 1926 года. Шрёдингер получил от Зоммерфельда приглашение в Мюнхен сделать в июле в рамках тамошнего коллоквиума доклад о своей теории. Шрёдингер понимал тогда свои волны как настоящие трехмерные материальные волны — сравнимые, скажем, с электромагнитными волнами — и намеревался полностью изгнать из квантовой теории черты прерывности, в особенности так называемые квантовые переходы. Я протестовал против этого при обсуждении доклада, поскольку, как я понимал, на таком пути невозможно объяснить даже закон теплового излучения Планка. Но к согласию тогда прийти не удалось, и другие физики в своем большинстве надеялись вместе со Шрёдингером, что квантовых переходов можно как-нибудь избежать. Потом в сентябре в Копенгагене состоялась подробная дискуссия между Бором и Шрёдингером, растянувшаяся, насколько я помню, более чем на неделю; я участвовал в ней так долго, как было возможно. Споры были страстными, и разногласия доходили до обидных упреков. В конце концов мы, копенгагенцы, убедились, что шрёдингеровская интерпретация несостоятельна и что квантовые переходы являются существенной частью внутриатомных процессов; Шрёдингер тоже, кажется, понял, что он стоит перед неразрешимыми — по крайней мере на ближайшее время — трудностями.

Тем временем Борн достиг здесь, в Геттингене, существенного прогресса. Следуя шрёдингеровскому доказательству эквивалентности, он в рамках своей теории про-

цессов столкновений исследовал шрёдингеровские волны не в трехмерном, а в многомерном конфигурационном пространстве. Он высказал гипотезу, что квадрат волновой функции можно считать мерой вероятности существования соответствующей конфигурации. Это было равносильно тезису, что материальные волны в трехмерном пространстве не позволяют удовлетворительным образом описать природу и что квантовая теория содержит определенный статистический элемент. По следам копенгагенской дискуссии я в одной небольшой работе исследовал, прерывен или непрерывен процесс обмена энергии при резонансе между двумя атомами. Основоположения квантовой механики уже позволяли вывести это, и полученные мною результаты однозначно говорили опять-таки в пользу прерывности, то есть в пользу квантовых скачков. Наконец, разработанная Йорданом теория всеобщих унитарных преобразований, подтвержденная еще одним исследованием Дирака аналогичного содержания, показала, что квадраты элементов матрицы преобразований можно интерпретировать как вероятности перехода от одной конфигурации к другой. Но даже и после всего этого полное понятийное осмысление еще нельзя было считать достигнутым; ведь мы все еще не знали, как надо в квантовой механике описывать столь легко поддающийся наблюдению феномен, как траектория электрона в камере Вильсона.

Эта проблема почти непрерывно обсуждалась в Копенгагене в месяцы между октябрём 1926-го и февралём 1927 года. Уже в первой своей беседе со мной на Хайнберге геттингенским летом 1922 года Бор неоднократно подчеркивал, что обычный язык физики явно недостаточен для описания атомных процессов. Теперь предстояло выяснить, какие понятия этого языка следует сохранить, какие — отбросить. При этом Бор и я искали решения этой головоломки в несколько различных направлениях. К тому времени я был уже настолько перевоспитан геттингенской математической школой, что считал допустимым путем последовательного применения квантовомеханического формализма распространить его выводы также и на тот остаток старых понятий, который сохранился бы в новом языке. Бор со своей стороны хотел опереться на обе, на первый взгляд исключают друг друга, картины атома — волновую и корпускулярную — и, отталкиваясь от них, продвигаться к правильной системе понятий. Как известно, решению проблемы помогла перевернутая постановка

вопроса. Не имело смысла спрашивать: «Как представить траекторию электрона в камере Вильсона?» Необходимо было, наоборот, спросить: «Может быть, при наблюдении природы имеют место лишь такие экспериментальные ситуации, которые можно представить с помощью математического формализма квантовой теории?» Иначе говоря, следовало принять тезис Эйнштейна, высказанный им однажды в беседе со мной, что лишь теория решает, какие явления мы можем наблюдать. Ответ в таком случае напрашивался сам собой в форме принципа неопределенности. Понятие траектории надлежит применять лишь со степенью неточности, характеризующейся тем, что произведение неопределенности местоположения на неопределенность сопряженного импульса не может стать меньше кванта действия Планка. Бор пришел к аналогичным уточнениям языка благодаря сформулированному им понятию дополнителности, и лишь теперь впервые можно было ясно сказать, что следует понимать под ситуацией наблюдения и как представить ее в математических формулах. С этой интерпретацией согласился тогда даже Паули.

На этом я могу окончить свой рассказ о первых шагах квантовой механики в Геттингене. Новая теория уже в 1926—1927 годах нашла себе важные области приложения; к существеннейшим из них я мог бы причислить работы Хунда и Вигнера о подразделении термов на классы симметрии. Однако события очень быстро приобрели такой широкий размах, что их описание вышло бы далеко за рамки настоящего доклада. Я хотел бы поэтому, ограничившись этими первыми скромными шагами, буквально лишь в одной фразе сравнить сегодняшнюю физику с тогдашней. Сейчас так часто говорят, что то была блестящая эпоха физики, когда за краткое время сказались возможным сделать важнейшие открытия, а сегодня работа идет туго и часто рутиннообразно. Но я не сказал бы этого о современной физике элементарных частиц. Конечно, существуют серьезные различия, обусловленные, например, тем, что все теперешние эксперименты над элементарными частицами намного более громоздки, чем эксперименты 20-х годов с электронной оболочкой атома, а также тем, что математические формы, способные служить для описания происходящих с частицами процессов, по-видимому, еще не разработаны математиками с достаточной полнотой. Но в существеннейшем отношении оба круга проблем очень схожи между собой, а именно: в фи-

зике элементарных частиц тоже существует необходимость отойти от некоторых фундаментальных понятий прежней физики. Как в теории относительности пришлось пожертвовать старым понятием одновременности, а в квантовой механике — понятием электронных орбит, так в физике частиц надо пожертвовать понятием деления или понятием «состоит из». История физики в нашем веке учит, что отказ от прежних понятий дается с гораздо большим трудом, чем усвоение новых понятий. Это приходится всегда учитывать. Но я считаю, что только тот имеет шанс добиться полной ясности в физике элементарных частиц, кто, как тогда, окажется в состоянии — да будет мне здесь позволено прибегнуть к формулировке, звучащей несколько по-восточному, — принести эту жертву не только рассудком, но и сердцем. Эта задача сегодня не менее интересна и волнующа, чем полвека назад, и я надеюсь, что молодое поколение с не меньшим воодушевлением примет участие в происходящем.

Встречи и беседы с Альбертом Эйнштейном ^{*11}

Город Ульм, где родился Альберт Эйнштейн, и Дом Эйнштейна Ульмского народного университета являются, конечно, подходящим местом для рассказа о встречах и беседах с Эйнштейном. Слово «встречи» тут должно относиться не только к личным контактам, речь должна идти также и о встречах с трудами Эйнштейна, а они играли определенную роль в моей жизни, начиная еще с молодых лет.

Итак, позвольте мне начать с самого первого события такого рода, о котором я помню. Мне было тогда пятнадцать лет, я был учеником Максимилиановской гимназии в Мюнхене и питал большой интерес к математическим вопросам. Однажды мне в руки попался тоненький томик из серии научных монографий, в котором Эйнштейн излагал в популярной форме свою специальную теорию относительности. Фамилия Эйнштейна встречалась мне в газетах, слышал я и о теории относительности, знал также, что она чрезвычайно трудна для понимания. Все это, естественно, крайне увлекало меня, и я попытался основательно вникнуть в это небольшое сочинение. Через некоторое время я решил, что полностью понял его математическую сторону — она, в сущности, сводилась к особенно простому случаю преобразования Лоренца, — но скоро я увидел, что настоящие трудности эйнштейновской теории заключаются в чем-то ином. Требовалось признать, что понятие одновременности проблематично и что вопрос о том, являются ли одновременными два события в различных точках, зависит в конечном счете от состояния движения наблюдателя. Понять такую постановку проблемы мне было чрезвычайно трудно, и тот факт, что Эйнштейн при случае сдабривал свой текст обращениями вроде «дорогой читатель», нисколько не облегчало понимание.

* © Begegnungen und Gespräche mit Albert Einstein. R. Piper und Co., Verlag, München, 1977.

Все же у меня осталось отчетливое сознание того, куда клонил Эйнштейн, ощущение, что высказывания Эйнштейна явно не содержат внутренних противоречий, и, наконец, горячее желание впоследствии глубже вникнуть в теорию относительности. Я решил обязательно прослушать в ходе своих будущих университетских занятий лекции о теории относительности Эйнштейна.

Так мое первоначальное желание изучать математику незаметно отклонилось в направлении теоретической физики, с проблемами которой я был тогда едва знаком. На мою долю выпала большая удача в начале учебы попасть к выдающемуся учителю, Арнольду Зоммерфельду, в Мюнхене; и тот факт, что Зоммерфельд с энтузиазмом защищал теорию относительности и вдобавок поддерживал личные контакты с Эйнштейном, создавало наилучшие предпосылки для моего посвящения во все детали нового раздела науки. Нередко Зоммерфельд на семинаре зачитывал письма, незадолго до того полученные им от Эйнштейна, и приглашал весь семинар участвовать в их осмыслении и интерпретации. И поныне мне приятно вспомнить эти дискуссии, а из рассказов Зоммерфельда у меня возникало ощущение, будто я и сам лично уже знаком с Эйнштейном, хотя никогда его не видел. Прежде чем вспомнить о первой, правда неудачной, попытке лично познакомиться с Эйнштейном, следует упомянуть еще об одной области науки, которая привлекла меня тогда и в которой имя Эйнштейна также играло видную роль.

Основным интересом моего учителя Зоммерфельда и предметом его личной исследовательской работы была атомная теория, та форма квантовой теории и те представления об атоме, используя которые Нильс Бор сделал в 1913 году решающий шаг в современную атомную физику. Лекции и семинары Зоммерфельда по этому предмету я посещал с первых дней своей учебы, хотя подготовки мне еще заведомо не хватало. Но очарование, исходившее от горячего интереса Зоммерфельда к названным темам, компенсировало многие разочарования, которые возникали, когда мои усилия понять их оставались безрезультатными. В этой связи речь часто заходила об эйнштейновской гипотезе световых квантов, и мне следует пояснить, в чем была суть дела. В зоммерфельдовском курсе лекций мы сначала изучали общепринятую со времен Максвелла традиционную точку зрения, согласно которой свет можно понимать как электромагнитное волновое движение, отличающееся от радиоволн, с одной

стороны, и от рентгеновских лучей — с другой, только длиной волны. Наоборот, Эйнштейн в соответствии с квантовой теорией Планка и на основе известных экспериментов по фотоэлектрическому эффекту разработал гипотезу, согласно которой свет состоит из очень маленьких квантов энергии, световых квантов и, следовательно, его можно сравнить с градом множества маленьких снарядов¹⁵. Эти подходы так радикально различались, что я никак не мог понять уверения Зоммерфельда, будто оба представления обладают определенной долей истинности. Эйнштейн вновь выступил с тезисом, ставившим под вопрос фундаментальнейшие положения прежней физики; однако на этот раз доказательство того, что новая точка зрения не ведет к внутренним противоречиям, уже отсутствовало. Явления интерференции, столь часто наблюдаемые и хорошо изученные, находились в очевидном и непреодолимом противоречии с гипотезой световых квантов. Впрочем, в атомной физике было еще больше таких неразрешимых противоречий. Согласно Бору, атом состоял из относительно тяжелого атомного ядра, которое окружено электронами, как Солнце — вращающимися планетами. К такой планетной системе естественно было приложить те же математические законы, что и в астрономии, а именно законы ньютоновской механики. Но одновременно утверждалось, что могут существовать лишь строго определенные траектории электронов, определяемые квантовыми условиями. Подобное утверждение находилось в противоречии с ньютоновской механикой, так как, согласно последней, в результате внешнего возмущения ничто не мешает возникнуть орбите, недопустимой с квантотеоретической точки зрения. В действительности же все указывало на то, что электрон, например, под влиянием внешнего светового излучения скачком переходит с одной квантовой орбиты на другую. Здесь-то и выступал Эйнштейн со своей гипотезой световых квантов; он назвал процесс испускания или поглощения света статистическим событием, при котором атом с определенной вероятностью выбрасывает или поглощает квант света. Вероятности этих процессов определялись посредством так называемых вероятностей переходов, и в знаменитой работе 1918 года Эйнштейну удалось, исходя из своих представлений, вывести планковский закон теплового излучения.

Таким образом, в первые годы своей учебы, делая попытки глубже познакомиться с тогдашней физикой, я

снова и снова сталкивался с именем и творчеством Эйнштейна, и желание лично увидеть инициатора стольких новых идей росло год от года. Однако моя первая попытка осуществить свое желание не увенчалась успехом. Было лето 1922 года. Общество немецких естествоиспытателей и врачей сообщило, что на запланированном в Лейпциге большом собрании Эйнштейн сделает один из ведущих докладов, а именно об общей теории относительности. Зоммерфельд предложил мне посетить конференцию и выслушать доклад Эйнштейна; он хотел, чтобы я там лично познакомился с ним. Между тем время было политически беспокойное. Горечь от поражения Германии в первой мировой войне и от тяжелых условий, наложенных победителями, еще не прошла, и разногласия в понимании практических задач снова и снова приводила к ситуациям, похожим на гражданскую войну. Тогда проявились и первые признаки антисемитизма, разжигаемого кругами правых радикалов. Летом 1922 года, незадолго до конференции естествоиспытателей, в Лейпциге националистическими террористами был убит тогдашний министр иностранных дел Вальтер Ратенау. Речь шла о целенаправленной попытке затруднить все усилия, способные привести к соглашению. Вновь жарко разгорелись политические страсти, и ярость антисемитского движения начала направляться также и на Эйнштейна, ведь он был еврей и пользовался особенно высоким авторитетом в немецком образованном мире. Поэтому непосредственно перед лейпцигской конференцией по желанию Эйнштейна было решено, что он не будет выступать в Лейпциге, а прочтение его доклада возьмет на себя фон Лауэ. Я этого не знал, когда ехал в Лейпциг, и лишь поражался зловещему политическому возбуждению, которое было замтно у большинства участников заседания.

Когда я входил в большой зал заседаний, чтобы прослушать доклад Эйнштейна, какой-то молодой человек сунул мне в руку красную листовку, в которой можно было прочесть, что теория относительности — совершенно бездоказательное еврейское измышление, которое пользуется незаслуженным успехом только благодаря рекламе, созданной еврейскими газетами своему соплеменнику. Я сначала подумал, что это дело какого-то сумасшедшего, какие частенько появляются на подобных заседаниях. Когда же я узнал, что красную листовку раздавали ученики одного из самых уважаемых немецких физиков-экспериментаторов явно с его одобрения, то сразу же рух-

нула одна из моих заветных надежд. Стало быть, науку тоже можно отравить политическими страстями; стало быть, и здесь речь идет не всегда только об истине! Я пришел в такое расстройство, что уже не мог по-настоящему воспринимать доклад. Сидя в зале на большом удалении от трибуны, я даже не заметил, что вместо Эйнштейна говорил фон Лауэ. И после заседания я не сделал попытки познакомиться с Эйнштейном, а отправился с первым же поездом обратно в Мюнхен. До личной встречи с Эйнштейном пришлось ждать еще четыре года, за которые в физике произошли большие и решающие изменения.

Коротко об этих изменениях. Противоречия, возникшие в квантовой теории строения атома, — я упоминал о них раньше — со временем стали еще более вопиющими и неразрешимыми. Новые эксперименты, например так называемые эффект Комптона и эффект Штерна—Герлаха, показали, что без радикального изменения системы физических понятий объяснить подобные явления уже не удастся. В этой ситуации мне вспомнилась мысль, вычитанная мною у Эйнштейна, а именно требование, чтобы физическая теория содержала лишь величины, которые поддаются непосредственному наблюдению. Смысл требования был в том, чтобы обеспечить связь математических формул с явлениями. Следуя этой мысли, я пришел к математической структуре, которая, похоже, действительно соответствовала атомным явлениям. Она была затем развернута мною совместно с Борном, Йорданом и Дираком в замкнутую квантовую механику, выглядевшую столь убедительно, что, собственно, в ее правильности уже нельзя было сомневаться. Но мы еще не знали, как следует интерпретировать эту квантовую механику, как следует говорить о ее содержании. Тогда, а это было весной 1926 года, я был приглашен берлинскими физиками рассказать на тамошнем коллоквиуме о новой квантовой механике. Берлин был в те годы оплотом физики в Германии. Здесь преподавали Планк, фон Лауэ, Нернст и сам Эйнштейн. Здесь Планк открыл квантовую теорию и Рубенс подтвердил ее своими измерениями теплового излучения. И здесь же Эйнштейн сформулировал в 1916 году общую теорию относительности и теорию гравитации. Итак, Эйнштейн будет среди слушателей, я лично с ним познакомлюсь. Само собой разумеется, я готовил свой доклад с величайшей тщательностью, ведь я хотел, чтобы меня, во всяком случае, смогли понять, в особенности

же мне хотелось заинтересовать новооткрывшимися возможностями Эйнштейна. В некоторой степени доклад оправдал мои надежды, в последующей дискуссии были поставлены хорошие и полезные вопросы. То, что я возбудил интерес Эйнштейна, было заметно по тому, что он сам попросил меня сопровождать его домой, чтобы в спокойной обстановке обсудить у него подробнее проблемы квантовой теории. Так мне впервые довелось говорить с самим Эйнштейном. По пути домой он расспрашивал меня о моем становлении как физика, о моей учебе у Зоммерфельда. Но дома он тотчас приступил к центральному вопросу о философском обосновании новой квантовой механики. Он заметил мне, что в моем математическом описании вообще нет понятия «траектория электрона», хотя ведь путь электрона вроде бы непосредственно наблюдается в камере Вильсона. Ему казалось абсурдным предположение, что в камере Вильсона есть траектория электрона, а внутри атома — нет; ведь понятие траектории не должно зависеть от величины пространства, в котором происходит движение электронов. Я защищался прежде всего тем, что подробно обосновал необходимость отказаться от понятия траектории электрона внутри атома. Я подчеркнул, что такие траектории нельзя непосредственно наблюдать; реально регистрируются лишь частоты излучаемого атомом света, его интенсивности и вероятности переходов, но не траектория непосредственно. И поскольку разумно вводить в теорию лишь величины, поддающиеся непосредственному наблюдению, именно понятие траектории электрона непосредственно в теорию входит как раз и не должно. К моему изумлению, Эйнштейн далеко не удовлетворился таким обоснованием. Он возразил, что любая теория обязательно содержит и ненаблюдаемые величины и что требование применять лишь наблюдаемые величины вообще не может быть проведено последовательным образом. И когда я сказал, что всего лишь применяю ту философию, которую он положил в основу своей специальной теории относительности, он ответил просто: «Может быть, раньше я использовал и даже формулировал такую философию, но все равно она бессмысленна». Итак, Эйнштейн успел уже пересмотреть свою философскую позицию по данному вопросу. Затем он указал мне на то, что уже само по себе понятие наблюдения является проблематичным. Каждое наблюдение, аргументировал он, предполагает однозначно фиксируемую нами связь между рассматриваемым явлением и

возникающим в нашем сознании чувственным ощущением. Однако мы можем уверенно говорить об этой связи лишь при условии, что известны законы природы, которыми она определяется. Если же — что явно имеет место в современной атомной физике — сами законы ставятся под сомнение, то теряет свой ясный смысл также и понятие «наблюдение». В такой ситуации теория прежде всего должна определить, что поддается наблюдению. Этот довод был для меня абсолютно новым и произвел на меня тогда глубокое впечатление: позже он сыграл важную роль также и в моей собственной работе и оказался чрезвычайно плодотворным в процессе развития новой физики. Затем наш разговор перешел к специальному вопросу о том, что происходит при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое. Электрон то ли внезапно и скачком переходит с одной квантовой орбиты на другую, испуская квант света, то ли он, словно радиопередатчик, непрерывно излучает волны. В первом случае остаются непонятными достаточно часто наблюдаемые явления интерференции, во втором — факт наличия строго определенных частот линейчатых спектров. Здесь, отвечая на вопрос Эйнштейна, я вернулся к точке зрения Бора, согласно которой мы не вправе, имея дело с явлениями, выходящими далеко за пределы повседневного опыта, требовать, чтобы эти явления поддавались описанию в традиционных понятиях. Но Эйнштейн не вполне удовлетворился этой отговоркой; он хотел знать, в каком же квантовом состоянии должно тогда происходить непрерывное волновое излучение. Я привел в ответ сравнение с кинолентой, где подчас переход от одного кадра к другому происходит не внезапно, а так, что прежняя картина постепенно бледнеет, последующая постепенно усиливается, и в промежутке между ними неизвестно, с какой картиной мы имеем дело. Ведь и в атоме может возникнуть такая ситуация, когда мы некоторое время не знаем, в каком состоянии находится электрон. С такой интерпретацией Эйнштейн был еще менее готов согласиться. Наше знание об атоме, сказал он, совершенно ни при чем, ведь вполне может случиться, что два разных физика располагают разными знаниями об атоме, хотя речь идет об одном и том же объекте. Кажется, Эйнштейн тут же заметил, что таким путем мы приближаемся к интерпретации, принципиально признающей статистический характер законов природы. В самом деле, в статистике речь, по существу, идет о нашем неполном знании некоей си-

стемы. Однако на это он никак не хотел пойти, хотя сам в своей работе 1918 года ввел подобные статистические понятия. Придавать им принципиальное значение он не намеревался. Я тоже не знал тогда, как быть, и мы расстались во взаимной уверенности, что до полного понимания квантовой теории еще далеко.

До нашей новой встречи осенью 1927 года на Сольвеевском конгрессе в Брюсселе опять произошли большие изменения. Шрёдингер в 1926 году на основе предшествующих работ Луи де Бройля разработал свою волновую механику и доказал ее эквивалентность квантовой механике. Однако его попытка просто заменить электроны материальными волнами оказалась несостоятельной, и дело не пошло дальше той парадоксальной констатации, что электроны тоже могут быть как частицами, так и волнами. Затем весной 1927 года возникли так называемые соотношения неопределенностей, с появлением которых произошел окончательный переход к статистической интерпретации квантовой теории. Они-то и стали главным предметом дискуссий в Брюсселе. Эйнштейн, как я уже сказал, не хотел признавать статистическую интерпретацию; он снова и снова пытался поэтому опровергнуть соотношения неопределенностей. Эти соотношения сводятся к тому, что в квантовой системе не могут быть известны одновременно две определяющие систему величины, знание которых необходимо в классической физике для полного определения системы, и что, таким образом, между неопределенностями, или неточностями этих величин существуют математические соотношения, не допускающие точного знания одновременно обеих величин.

Итак, Эйнштейн многократно пытался в ходе конгресса опровергнуть соотношения неопределенностей с помощью контрпримеров, которые он формулировал в виде мысленных экспериментов. Мы все жили в одном отеле, и, как правило, к завтраку Эйнштейн приходил с каким-нибудь подобным предложением, которое предстояло проанализировать. Обыкновенно Эйнштейн, Бор и я проделывали путь до зала конгресса вместе, так что во время этой краткой прогулки удавалось начать анализ, прояснив исходные допущения. В течение дня, Бор, Паули и я постоянно обсуждали тезис Эйнштейна, так что к ужину мы, как правило, были уже в состоянии доказать, что мысленный эксперимент Эйнштейна находится в согласии с соотношениями неопределенностей и, следовательно, не может быть использован для их опровержения. Эйнштейн

уступал, но следующим утром приносил к завтраку новый мысленный эксперимент, обычно более сложный, чем раньше, и призванный на этот раз уж обязательно привести к опровержению. С новой попыткой дела складывались не лучше, чем с предыдущими, и к ужину ее тоже удавалось парировать. Так продолжалось несколько дней подряд. В конце концов мы, то есть Бор, Паули и я, еще больше уверились в правоте нашего пути, а Эйнштейн понял, что новую трактовку квантовой механики не так-то просто отклонить. Но он остался верен своей позиции, которую выразил словами: «Господь Бог не играет в кости». Бор на это мог лишь ответить: «Однако не наше дело предписывать Богу, как он должен управлять миром».

Тремя годами позже, в 1930 году, в Брюсселе снова состоялся Сольвеевский конгресс, где обсуждались те же вопросы и общий ход обсуждения был примерно таким же. Тщательно разбирая аргументацию Эйнштейна, Бор пытался убедить его в справедливости нового истолкования квантовой теории, но тщетно. Даже очень точный письменный анализ последнего мысленного эксперимента Эйнштейна, когда Бор применил в ходе своего доказательства общую теорию относительности, не смог убедить Эйнштейна. Поэтому пришлось сойтись на том, что мы согласились оставаться несогласными друг с другом. *We agreed to disagree* *, как говорят англичане.

Затем, к сожалению, я не встречался с Эйнштейном долгие годы. Политический горизонт все мрачнел, национал-социалисты пришли к власти в Германии, и Эйнштейну становилось ясно, что он не хочет и не может оставаться в Германии. Поэтому большую часть времени он проводил в заграничных поездках. Многие университеты мира почитали за честь добиться, чтобы Эйнштейн сделал у них доклад или остановился на более длительный срок. Национал-социалистский переворот 1933 года подвел окончательную черту пребыванию Эйнштейна в Германии. Сменив множество временных местопребываний, Эйнштейн наконец эмигрировал в Соединенные Штаты Америки, где принял профессию в Принстонском университете. Здесь он нашел постоянное пристанище на два последних десятилетия своей жизни, и здесь у него появился досуг для работы над философскими проблемами, с которыми он сталкивался как в физике, так и в поли-

* Мы согласились не соглашаться (англ.).

тической полемике. Впрочем, волнения времени докатились и до границ университетского городка в Принстоне; и с началом войны в 1939 году Эйнштейн — возможно, против собственной воли — оказался втянутым в политические события огромной важности. Для полноты образа Эйнштейна следует поэтому рассказать и о его отношении к политике и вообще к общественной жизни, хотя я никогда не говорил с ним на такие темы.

На первый взгляд его точка зрения по общим вопросам кажется очень противоречивой. Один из самых скрупулезных его биографов, англичанин Кларк, пишет о нем: «Личность Эйнштейна обнаруживает много противоречий. Он был немцем, который ненавидел немцев; пацифистом, который призывал своих сограждан к оружию и внес значительный вклад в создание атомной бомбы; сионистом, который желал примирения с арабами и который, следует заметить, эмигрировал не в Израиль, а в Америку». Однако не будем довольствоваться констатацией парадоксов; чтобы ближе подойти к пониманию его личности, постараемся лучше понять двигавшие им мотивы.

Эйнштейн издавна причислял себя к пацифистам. Он поддерживал движение пацифистов еще с начала первой мировой войны и, пожалуй, уже в 20-е годы был убежден в том, что главной причиной войны является национализм. Он надеялся поэтому, что с отступлением национализма будут созданы предпосылки для прочного мира. Он далеко не сразу осознал, что и молодые политические движения XX столетия, за которыми он следил со смесью симпатии и отвращения, ведут в конечном счете к возникновению гигантских тоталитарных комплексов власти, которые хотя уже и не являются национальными государствами старого типа, однако полны решимости осуществить свои притязания с помощью вооружений, намного превосходящих вооружения прежних национальных государств. Поэтому Эйнштейн, собственно, лишь с началом второй мировой войны в 1939 году понял ограниченность пацифизма. Еще в 1929 году он писал на страницах одной пражской газеты, что в случае новой войны отказался бы нести военную службу. Десятью годами позже ему пришлось задуматься над вопросом, оправдана ли такая позиция, когда на другой стороне фронта стоят Гитлер и национал-социалисты.

Чтобы понять здесь ответ Эйнштейна, надо вдуматься в саму идею пацифизма. Можно, пожалуй, различить две позиции, охарактеризовав их как экстремальный и реа-

листочный пацифизм. Экстремальный пацифизм отказывается от участия в военной службе в любой форме, даже тогда, когда группа людей, к которой он принадлежит или с которой он решил жить, подвергается самой крайней угрозе; тогда он либо готов сам тоже погибнуть, либо попытается бежать, до тех пор пока не найдет уголка Земли, способного дать ему убежище. Реалистичному пацифисту принять решение труднее. Он считает, что в случае конфликта надо первым делом составить свое независимое представление о правоте воюющих сторон; он знает, что обе стороны очень различно судят о справедливости, и попытается увидеть суть конфликта в беспристрастном свете. Он знает далее, что мир можно сохранить только в случае, если каждая из сторон готова пойти на болезненные уступки. И он соответственно пробует убедить своих соотечественников или людей, разделяющих его убеждения, умерить свои притязания, с меньшей уверенностью судить о собственной правоте и таким образом принести подлинную жертву для сохранения мира. Если, добросовестно взвесив факты, он придет все же к выводу, что противоположная сторона выставляет безрассудные претензии или что определенная группа людей безудержно предалась злу, то он сочтет не только своим правом, но и своей обязанностью оказать злу сопротивление даже оружием. Сложность такого понимания пацифизма в том, что здесь уже мало быть просто за мир. Требуется составить сначала независимое суждение о том, на чьей стороне право, и лишь потом решать, каких жертв можно требовать во имя мира.

Хотя Эйнштейн в своих ранних высказываниях часто выступал за экстремальный пацифизм, но с начала войны 1939 года — это видно из его биографии, написанной Кларком, — он своими поступками показал, что сделал выбор в пользу второго вида пацифизма. По настоянию своих друзей, особенно своего прежнего берлинского ассистента Сцилларда, он написал три письма президенту Рузвельту, которые решающим образом способствовали успеху проекта атомной бомбы в Соединенных Штатах Америки. И сам он при случае активно помогал работам по этому проекту. Он пришел к убеждению, что с Гитлером в мировую историю вошла такая злая сила, что и праведно, и должно было выступить против страшной угрозы, пусть даже с использованием самых губительных средств. Один французский писатель как-то сказал: «В критическую минуту поступить по справедливости не

самое трудное, самое трудное знать, в чем она заключается». Однако здесь я все же оставлю вопрос о политических воззрениях Эйнштейна, и прежде всего потому, что сам я никогда не говорил с ним о столь трудной проблеме.

Поскольку моя задача — рассказать о встречах с Эйнштейном, не могу не упомянуть об одном маленьком эпизоде, происшедшем во время войны в швабском городе Хехингене. Мой институт, то есть Институт физики кайзера Вильгельма в Берлине—Далеме, был занят во время войны работами по созданию атомного реактора. Из-за усилившихся воздушных налетов на Берлин институт в 1943 году пришлось перебазировать в Южную Германию, и он разместился в маленьком южнюртембергском городке Хехингене в помещении одной текстильной фабрики. Сотрудники были расквартированы среди хехингенских горожан, и случаю было угодно, чтобы я получил две комнаты в просторном доме текстильного фабриканта. Когда через несколько недель я ближе познакомился с хозяином, он как-то обратил мое внимание на маленький дом, стоявший наискосок напротив. Представьте себе, дом принадлежал семейству Эйнштейнов, хотя это были не прямые предки знаменитого физика, а другая ветвь фамилии, которая жила здесь, в Швабии, уже сотни лет. Таким образом, Эйнштейн, несмотря на свое нерасположение к Германии, был настоящим швабом. И пожалуй, можно предполагать, что незаурядная активность этой немецкой народности в области философии и искусства наложила свой отпечаток и на мысль Эйнштейна.

После войны я лишь раз повидался с Эйнштейном за несколько месяцев до его смерти. Осенью 1954 года я предпринял поездку с лекциями в Соединенные Штаты, и Эйнштейн пригласил меня к себе в Принстон. Он жил тогда в скромном приветливом особняке с маленьким садом на краю студенческого городка Принстонского университета, и в день моего визита высокие деревья и похожие на парки скверы городка сияли яркими желтыми и красными красками поздних октябрьских дней. Мне заранее дали понять, что мой визит должен быть кратким, потому что Эйнштейну надо беречься из-за болей в сердце. Правда, Эйнштейн этого не допустил, и мне пришлось провести у него за кофе и пирожными почти все послеобеденное время. О политике не говорили. Весь интерес Эйнштейна поглощала трактовка квантовой теории, волновавшей его все так же, как и 25 лет назад в Брюсселе. Я попытался

привлечь внимание Эйнштейна к своей точке зрения тем, что сообщил ему о предпринятых мною попытках создать единую теорию поля, на которой в течение многих лет была сосредоточена и его работа. Правда, я не верил, что квантовую механику можно вывести как следствие из теории поля, на что надеялся Эйнштейн; я считал наоборот, что единую теорию материального поля, а тем самым и элементарных частиц можно построить только на базе квантовой теории и что именно квантовая теория, с ее удивительными парадоксами, является основой современной физики. Эйнштейн не хотел отвести столь принципиальную роль теории, имеющей статистический характер. Считая ее лучшим, при данном состоянии знаний, описанием атомных явлений, он все же не был готов принять ее в качестве окончательной формулировки законов природы. Фраза «но не думаете же вы, что Бог играет в кости» вновь и вновь произносилась им почти как упрек. По существу, различия между нашими двумя подходами лежали еще глубже. Эйнштейн в своих моделях физики всегда исходил из представления об объективном, существующем в пространстве и времени мире, который мы в качестве физиков наблюдаем, так сказать, лишь извне и движение которого определяется законами природы. В квантовой теории подобная идеализация уже невозможна; устанавливаемые ею законы природы говорят о временных изменениях возможного и вероятного; но условия, определяющие переход от возможности к факту, здесь не поддаются предсказанию: их можно зарегистрировать лишь статистически. Тем самым у классической физики с ее представлением о реальности уходит почва из-под ног, а со столь радикальной переменой Эйнштейн не был готов согласиться. Потому-то за 25 лет, прошедших со времени Сольвеевского конгресса в Брюсселе, наши позиции не сблизились, и при расставании мы продолжали очень по-разному рисовать себе картину будущего развития физики. Впрочем, Эйнштейн был готов терпеть такое положение вещей без всякой горечи. Он знал, какой огромный сдвиг в науке совершил он сам за свою жизнь, и знал также, как трудно бывает — в науке, как и в жизни, — примириться со сдвигами столь больших масштабов.

Развитие понятий в истории квантовой механики ¹⁶

История физики — не просто накопление экспериментальных открытий и наблюдений, к которым подстраивается их математическое описание; это также и история понятий. Первая предпосылка познания явлений природы — введение адекватных понятий; лишь с помощью верных понятий мы в состоянии по-настоящему знать, что мы наблюдаем. При освоении новой области очень часто требуются новые понятия, и обычно эти новые понятия появляются на свет в довольно непроясненной и неразработанной форме. Со временем они модифицируются, иногда почти совершенно вытесняются и заменяются лучшими понятиями, которые рано или поздно достигают ясности и строгой определенности. Мне хотелось бы описать этот процесс на примере трех случаев, имевших важное значение в моей работе. Прежде всего — понятие дискретного стационарного состояния, то есть, собственно говоря, фундаментальное понятие квантовой теории. Затем — понятие состояния, не обязательно дискретного или стационарного; его удалось осмыслить лишь после разработки квантовой и волновой механики. И наконец — тесно связанное с обоими предыдущими понятие элементарной частицы, которое до сих пор вообще не подвергалось достаточному обсуждению. Две первые части моего доклада будут поэтому относиться к истории, хотя в мои намерения и не входит перечисление всех наших ошибок и заблуждений за 50 лет — разве что некоторых из них, — а последняя часть будет отведена проблемам нашей современности и, стало быть, возможным новым ошибкам.

Как вы знаете, понятие дискретных стационарных состояний было введено в 1913 году Нильсом Бором. Это было центральное понятие его теории атома, замысел которой был очерчен Бором в следующей фразе: «Необходимо отдать себе отчет в том, что эта теория призвана не объяснить феномены в том смысле, в каком слово «объяснение» понималось предшествующей физикой; она

призвана связать между собою различные феномены, на первый взгляд независимые друг от друга, показав, что зависимость между ними существует. Бор говорил, что лишь после установления такой зависимости можно будет надеяться на выработку объяснения в том смысле, в каком понимала объяснение традиционная физика. Существовало прежде всего три феномена, которые надлежало привести во взаимную связь. Первым был удивительный факт стабильности атома. Можно разрушить атом химическими процессами, столкновениями, излучением или еще другими способами, однако он снова и снова возвращается к своему изначальному — нормальному — состоянию. Это был факт, не поддававшийся удовлетворительному объяснению в рамках старой физики. Это во-первых. Во-вторых, не поддавались объяснению спектральные закономерности, особенно знаменитый закон Ритца, гласивший, что частота линий в том или ином спектре может быть выражена в виде разницы между термами и что эти термы следует считать характерными признаками атомов анализируемого вещества. И в-третьих, существовали эксперименты Резерфорда, приведшие его к построению своей модели атома.

Итак, эти три группы фактов надлежало связать между собой, и, как известно, идея дискретных стационарных состояний явилась отправной точкой в поисках такой связи. Сперва неизбежно должно было казаться, что поведение атома в дискретном стационарном состоянии можно объяснить методами механики. Это было неизбежно, так как иначе терялась всякая связь с резерфордовской моделью; ведь эксперименты Резерфорда опирались на классическую механику. Кроме того, предстояло как-то связать дискретные стационарные состояния с частотами спектра. Здесь надо было применить открытый Ритцем закон, формулировавшийся теперь уже так, что частота линий спектра, помноженная на коэффициент h , равна разнице между энергиями начального и конечного состояний атома. Закон этот, однако, всего лучше поддавался объяснению, исходя из эйнштейновской идеи светового кванта, не признававшегося Бором. Бор долгое время не был готов поверить в кванты света и соответственно считал свои стационарные состояния как бы некими станциями в движении электрона, который в своем движении вокруг ядра теряет энергию вследствие излучения. Бор предполагал, что в процессе этого излучения электрон в определенных позициях, которые Бор назвал дискретны-

ми стационарными состояниями, прекращает излучение. По какой-то непонятной причине электрон на этих станциях ничего не излучает, и последняя такая станция есть нормальное состояние атома. Если имеет место излучение, значит, электрон из одного своего стационарного состояния переходит в следующее по порядку.

Согласно такой картине атома, время пребывания электрона в стационарном состоянии представлялось более длительным, чем время, потребное для перехода от одного состояния к другому. Но разумеется, соотношение между этими периодами времени так и не получило отчетливого определения.

Что можно было сказать о самом излучении? Естественно было приложить к нему общие представления максвелловской теории. С этой точки зрения причиной всех трудностей оказывалось взаимодействие между атомом и излучением. В стационарном состоянии подобное взаимодействие прекращалось, так что представлялся, по-видимому, удобный случай для применения классической механики. Однако применима ли теория Максвелла к данному излучению? Сейчас я сказал бы, что задаваться этим вопросом, собственно, не было надобности. Следовало с большей серьезностью отнестись к световым квантам. Можно было бы считать, что наблюдаемая нами интерференция света возникает вследствие каких-то дополнительных условий движения световых квантов. Смутно вспоминаю об одной моей дискуссии с Вентцелем, когда он указал мне на то, что само движение световых квантов может быть квантованным и что именно этим, видимо, и объясняется интерференция. Бор, конечно, видел вещи иначе. С какой стороны ни подходи, везде мысль наталкивалась на множество трудностей. Мне хотелось бы коснуться этих проблем подробнее.

Начать с того, что в пользу механической модели стационарных состояний говорят веские доводы. Я упомянул об экспериментах Резерфорда. Они легко позволяли привести периодические орбиты электронов внутри атома в связь с квантовыми условиями. Так, идея стационарного состояния хорошо вязалась с идеей определенного рода эллиптической траектории электрона. В своих более ранних лекциях Бор часто приводил изображения электронов, движущихся по своим траекториям вокруг ядра.

В целом ряде важных случаев эта модель отлично функционировала. Прежде всего — в случае водородного спектра. Затем — в зоммерфельдовской теории реляти-

вистской тонкой структуры водородных линий и в так называемом эффекте Штарка, расщеплении спектральных линий в электрическом поле. Словом, имелся весьма обширный материал, из которого, похоже, вытекала правильность сопоставления квантованных электронных орбит с дискретными стационарными состояниями.

Другие доводы говорили за то, что подобная картина не может быть верной. Помню, в одной беседе Штерн рассказал мне, что в 1913 году после выхода в свет первой работы Бора он заявил одному своему другу: «Если эта бессмыслица, которую только что опубликовал Бор, верна, то я больше не хочу быть физиком».

Изложу поэтому теперь неувязки и промахи механической модели. Главная неувязка заключалась, пожалуй, в следующем. Согласно модели, определяемой квантовыми условиями, электрон описывает периодическое движение и, следовательно, с какой-то определенной частотой вращается вокруг ядра. В наблюдениях же эта частота никогда не проявлялась. Ее ни разу не удалось увидеть. Наблюдались лишь разнообразные частоты, определявшиеся перепадами энергий при переходах от одного стационарного состояния к другому. Кроме того, существовала неувязка с вырождением. Зоммерфельд ввел магнитное квантовое число. Если мы имеем магнитное поле определенной направленности, то вследствие этого квантового условия вращательный импульс атома в данном поле должен был бы оказаться равен 1, 0 или -1 . Но тогда при введении другого поля с другой направленностью нужно проводить квантование относительно этого другого направления. Однако можно приложить крайне слабое поле сначала в одном, а вскоре затем в другом направлении. Это поле слишком слабо, для того чтобы перевернуть атом. Противоречие с квантовыми условиями оказывается, таким образом, неизбежным¹⁷.

Моя первая дискуссия с Нильсом Бором, ровно 50 лет назад, вращалась вокруг этой трудности. Бор прочел в Геттингене лекцию, в которой заявил, что в постоянном электромагнитном поле можно вычислить энергию стационарных состояний в согласии с квантовыми условиями и что проведенное незадолго до того Крамерсом вычисление квадратичного эффекта Штарка содержит, по-видимому, правильные результаты, поскольку в других случаях тот же метод отлично зарекомендовал себя. С другой стороны, между постоянным электрическим полем и медленно изменяющимся электрическим полем различие очень мало.

При не слишком медленном изменении электрического поля, например, с частотой, приближающейся к частоте орбитального вращения, мы увидели бы, что резонанс наступает, разумеется, не тогда, когда частота внешнего электрического поля совпадает с частотой вращения, а тогда, когда она совпадает с частотой, задаваемой переходами электрона с одной орбиты на другую и наблюдаемой в спектре.

В ходе подробного разбора этой проблемы Бор попробовал объяснить дело так, что в момент временного изменения электрического поля начинают действовать силы излучения и что, вероятно, поэтому невозможно вычислить результат, пользуясь методами классической физики. Но, разумеется, он сразу осознал немалую искусственность апелляции в данном пункте к силам излучения. Мы поэтому вскоре склонились к тому мнению, что какая-то ошибка скрывается в самой механической модели дискретных стационарных состояний. Все решила одна работа, еще не упоминавшаяся мною. Это была работа Паули об ионе водорода H_2^+ . Паули считал, что правила квантования Бора—Зоммерфельда можно применять, имея дело с хорошо определенной моделью периодических орбит, как у водорода, но никак не с моделью такой сложности, как, скажем, у атома гелия, где вокруг ядра вращаются два электрона; ибо тогда мы потонем в чудовищных математических трудностях и осложнениях задачи трех тел. С одной стороны, если бы мы имели два фиксированных центра, а именно два ядра водорода и один электрон, то движение электрона оставалось бы однозначно-периодическим движением и поддавалось расчету. В остальном эта модель уже достаточно сложна; ее можно использовать поэтому для проверки приложимости старых правил к подобному промежуточному случаю. Работая с этой моделью, Паули установил, что расчеты действительно не приводят к истинной величине энергии для H_2^+ . В результате возникли сомнения в применимости классической механики для вычисления дискретных стационарных состояний, и внимание все прочнее приковывалось к переходам между ними. Стало ясно, что для полного объяснения явлений недостаточно только вычислить энергию, нужно было вычислить вероятности переходов. Из работы Эйнштейна 1918 года мы знали, что вероятности переходов определены как величины, зависящие от двух состояний, начального и конечного. В своем принципе соответствия Бор установил, что эти вероятности переходов:

можно оценить интенсивностями высших гармонических составляющих в Фурье-разложении электронной орбиты. Его идея сводилась к тому, что каждая линия соответствует одной Фурье-компоненте в разложении движения электрона; из квадрата этой амплитуды можно вычислить интенсивность. Эта интенсивность, естественно, не стоит ни в какой непосредственной связи с эйнштейновской вероятностью перехода, но определенное соотношение между ними все же существует, так что интенсивность позволяет приблизительно вычислить эйнштейновские величины. Итак, внимание все более смещалось с энергии стационарных состояний к вероятности перехода из одного стационарного состояния в другое, и Крамерс первым начал серьезно исследовать дисперсию атома, связывая поведение модели Бора под воздействием излучения с эйнштейновскими коэффициентами.

Составляя дисперсионную формулу, Крамерс руководствовался той идеей, что составляющим Фурье-разложения соответствуют виртуальные гармонические осцилляторы в атоме. Потом Крамерс обсудил со мной те явления рассеивания, при которых частота рассеиваемого света отличается от частоты падающего света. Квант рассеиваемого света здесь отличается от кванта падающего света потому, что в момент рассеяния атом переходит из одного состояния в другое. Подобные явления были только что открыты в линейчатых спектрах Раманом. При попытке сформулировать выражение для дисперсии в этих случаях приходилось говорить не только об Эйнштейновых вероятностях перехода, но еще и об амплитудах перехода; нужно было приписать этим амплитудам определенные фазы, помножить между собою две амплитуды — скажем, амплитуду, ведущую от состояния m к состоянию n , на амплитуду, ведущую от состояния n к состоянию k , — а потом суммировать n -ное число промежуточных состояний; только таким путем мы пришли к осмысленным формулам для дисперсии.

Вы видите, таким образом, что сосредоточение внимания не на энергии стационарных состояний, а на вероятности перехода и дисперсии в конце концов привело к новому способу рассмотрения; фактически только что упомянутые мною суммы произведений, приведенные Крамерсом и мною в нашей работе по дисперсии, были уже почти готовыми матричными произведениями. Отсюда требовался уже лишь очень маленький шаг, чтобы сказать: давайте-ка отбросим всю эту идею электронных

орбит и просто заменим Фурье-компоненты электронных орбит соответствующими матричными элементами. Должен сознаться, что я тогда не знал, что такое матрица, и не знал правил матричного умножения. Но подобные операции оказались возможным усвоить из физики, а позднее выяснилось, что речь идет о хорошо известном у математиков методе.

Как видите, представление об электронной орбите, связанное с идеей дискретного стационарного состояния, было по ходу дела практически отброшено. Понятие дискретных стационарных состояний, однако, осталось жить. Понятие это было необходимым. Оно имело свою основу в данных наблюдений. Наоборот, электронную орбиту не удалось согласовать с наблюдениями, поэтому от нее отказались, и от нее остались только матрицы для координат.

Следовало бы, пожалуй, упомянуть о том, что еще до 1925 года, когда это произошло, Борн в своем геттингенском семинаре 1924 года подчеркнул, что неправильно списывать трудности квантовой теории только на счет взаимодействия между излучением и механической системой. Он стоял за то, чтобы пересмотреть механику и заменить ее своеобразной квантовой механикой, создав тем самым базу для понимания атомных явлений. А потом было сформулировано матричное умножение. Борн и Йордан, как и независимо от них Дирак, открыли, что те дополнительные условия, которые в моей первой работе были присоединены к матричному умножению, могут быть записаны в форме изящного уравнения.

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i}$$

Им удалось тем самым создать простую математическую схему квантовой механики.

Но и после этого нельзя было сказать, что же, собственно говоря, такое это дискретное стационарное состояние; и тут я перехожу ко второй части моего доклада — к понятию «состояние». В 1925 году мы располагали методом для расчета дискретных значений энергии атома. Существовал также, по меньшей мере в принципе, и метод для расчета вероятностей перехода. Но в чем заключалось это состояние атома? Как его можно было описать? Описание не могло опереться на картину электронной орбиты. До сих пор стационарное состояние поддавалось описанию только через указание энергии и вероят-

ности перехода на другой энергетический уровень; но картины атома не существовало. Более того, было ясно, что в определенных случаях существуют и нестационарные состояния. Простейшим примером нестационарного состояния служил электрон, движущийся через камеру Вильсона. Вопрос заключался, по существу, в том, *как* трактовать подобное состояние, временами встречающееся в природе. Поддается ли такой феномен, как путь электрона через камеру с водяным туманом, описанию на абстрактном языке матричной механики?

К счастью, Шрёдингером была разработана в те годы волновая механика. А в волновой механике все выглядело совершенно иначе. Она позволяла определить волновую функцию для дискретного стационарного состояния. Какое-то время Шрёдингер думал, что дискретное стационарное состояние может быть наглядно представлено следующим образом. Мы имеем трехмерную стоячую волну — ее можно изобразить как произведение известной пространственной функции и периодической временной функции $e^{i\omega t}$, — и абсолютный квадрат этой волновой функции означает электрическую плотность. Частота этой стоячей волны сопоставима с термом в спектральном законе. В этом и заключался решающий новый момент шрёдингеровской идеи. Эти термы не обязательно должны были означать энергетические уровни; они означали просто частоты. Так Шрёдингер пришел к новой «классической» картине дискретных стационарных состояний, которую он вначале считал действительно пригодной для применения в атомной теории. Но потом очень скоро выяснилось, что и это в свою очередь невозможно. В Копенгагене летом 1926 года дело дошло до жарких споров. Шрёдингер надеялся, что волновая картина атома — с постоянным, описываемым волновой функцией, перераспределением материи вокруг его ядра — способна заменить старые модели квантовой теории. Дискуссия с Бором привела, однако, к тому заключению, что подобная картина непригодна даже для объяснения закона Планка. Крайне важным для истолкования явилось установление того, что собственные значения уравнения Шрёдингера — не просто частоты, они — действительно энергии.

Отсюда было естественно вернуться к идее квантовых скачков из одного стационарного состояния в другое, и Шрёдингер был крайне недоволен таким исходом наших споров. Но даже с учетом всего этого и после признания квантовых скачков мы все еще не знали, что может озна-

чать слово «состояние». Естественно, можно было попытаться — что довольно скоро и было сделано — установить, можно ли описать траекторию электрона в камере Вильсона с помощью шрёдингеровской волновой механики. Обнаружилось, что это невозможно. Начальное состояние электрона могло быть представлено в виде волнового пакета. Этот волновой пакет приходил затем в движение, и таким путем мы получали нечто вроде траектории электрона в камере Вильсона. Трудность, однако, заключалась в том, что этот волновой пакет должен был становиться все больше и больше и при достаточной продолжительности движения достигнуть диаметра в один сантиметр или более. Эксперименты говорили явно о другом, так что эту картину тоже пришлось отбросить. В такой ситуации было, естественно, много трудных дискуссий, ибо все мы были убеждены, что математическая схема квантовой, или волновой, механики уже приняла окончательный вид. Она не допускала изменений, и нам предстояло выполнять все свои вычисления по ее схеме. А с другой стороны, никто не знал, как представить по этой схеме такой простой случай, как прохождение электрона в камере Вильсона. Борн сделал первый шаг, рассчитав с помощью теории Шрёдингера вероятность процессов столкновения; он предложил считать, что квадрат волновой функции — это не плотность электрического заряда, как думал Шрёдингер, а показатель вероятности обнаружения электрона в данной точке.

Наконец, явились Дирак и Йордан со своей теорией преобразования. По их схеме можно было преобразовать $\psi(q)$, например, в $\psi(p)$, и само собой напрашивалось предположение, что квадрат $[\psi(p)]^2$ выражает вероятность обнаружения электрона с импульсом p . Так мы все ближе подходили к представлению, что квадрат волновой функции, которая, надо отметить, являлась волновой функцией не в трехмерном, а в конфигурационном пространстве, означал вероятность того или иного явления. Вооруженные этим новым знанием, мы снова обратились к электрону в камере Вильсона. Не могло ли случиться, что мы неверно поставили вопрос о нем? Я вспомнил, что Эйнштейн говорил мне: «Что поддается наблюдению, зависит всегда от теории». А это, по существу, означало, что нам не следовало спрашивать: «Как представить траекторию движения электрона в камере Вильсона?» Вместо этого мы должны были спросить: «Не обстоит ли дело так, что в природе имеют место лишь ситуации, поддаю-

щиеся представлению либо в квантовой механике, либо в волновой механике?»

Поставив вопрос таким образом, я сразу осознал то обстоятельство, что траектория движения электрона в камере с водяным туманом не является бесконечно тонкой линией со строго определенными положениями и скоростями движения; в действительности траектория его движения в камере — это ряд точек, не очень точно отмеченных капельками воды, и скорости здесь определены тоже не так уж хорошо. Я поставил тогда простой вопрос: «Если бы мы захотели знать как скорость, так и положение волнового пакета, то какой максимальной точности мы могли бы достичь, исходя из того принципа, что в природе встречаются лишь ситуации, поддающиеся представлению в математической схеме квантовой механики?» Это была несложная математическая задача, и результатом явился принцип неопределенности, похоже, отвечавший экспериментальной ситуации. Итак, мы наконец узнали, как описать феномен, подобный движению электрона, однако заплатили за это очень дорогой ценой, а именно: наше истолкование означало, что волновой пакет, представляющий электрон, изменяется в каждой точке наблюдения, то есть около каждой капельки воды в камере Вильсона. В каждом таком пункте мы получаем новую информацию о состоянии электрона и потому должны заменять исходный волновой пакет новым, соответствующим этой новой информации.

Такое представление электрона не позволяет приписать электрону на его траектории никаких определенных характеристик, как-то: координат, импульсов и т. д. Можно говорить лишь о том, с какой вероятностью в практических условиях эксперимента мы встретим электрон в определенной точке или установим определенную величину его скорости. Так мы приходим к определению состояния электрона, которое намного абстрактнее, чем первоначальная картина его траектории. Математически мы описываем его вектором в Гильбертовом пространстве, и этот вектор показывает вероятность результатов всех экспериментов, какие можно провести над электроном в данном состоянии. Состояние может измениться при получении любой новой информации.

Такое определение состояния частицы вело к очень большой перемене в описании природных явлений, и я спросил себя, имеем ли мы право говорить, что Эйнштейн, Планк, фон Лауэ и Шрёдингер, которые не проявляли

готовности принять такое определение, просто находятся в плену у предрассудков. Слово «предрассудок» в данной связи слишком негативно и не отражает сути дела. Верно, конечно, что Эйнштейн, например, твердо верил в возможность объективно описать состояние атома в точно таком же смысле, как в прежней физике. Но было поистине крайне трудно отбросить это представление, ибо весь наш язык связан с таким пониманием объективности. Все слова, применяемые нами в физике для описания экспериментов, — например, «измерение», «положение», «энергия», «температура» и так далее — опираются поэтому на классическую физику и ее представление об объективности. Тезис, что подобное объективное описание в мире атомов невозможно, что мы можем определять здесь состояние только через вектор в пространстве Гильберта¹⁸, — подобный тезис был действительно очень революционным; и, думаю, поистине не так уж удивительно, что многие физики того времени просто не были готовы его принять.

Я обсуждал эту проблему с Эйнштейном в 1954 году, за несколько месяцев до его смерти. Я провел с Эйнштейном очень приятные послеполуденные часы, и все же, когда дело коснулось интерпретации квантовой механики, ни я не мог убедить его, ни он — меня. Он все повторял: «Хорошо, я согласен, что каждый эксперимент, результаты которого поддаются расчету с помощью квантовой механики, кончится так, как вы говорите; тем не менее подобная схема не может служить окончательным описанием природы».

Перейдем теперь к третьему понятию, которое я хотел бы обсудить, к понятию элементарной частицы. До 1928 года каждый физик знал, что надо понимать под элементарной частицей. Ближайшими примерами были электрон и протон, и нам в то время очень хотелось представлять их просто как точечные заряды, бесконечно малые, определяемые только их зарядом и массой. Мы нехотя допускали, что у них должен быть какой-то радиус, поскольку их электромагнитная энергия должна быть конечной. Идея, что подобные объекты должны обладать такими характеристиками, как радиус, нам не очень нравилась, но мы утешали себя тем, что частицы казались по крайней мере совершенно симметричными, как шар. Открытие спина электронов, правда, ощутимо изменило эту картину. Электрон оказался несимметричным. Он имел ось, и это открытие наводило на мысль, что элемен-

тарные частицы, пожалуй, имеют более чем одно свойство и что они непросты, не так элементарны, как мы думали раньше. Ситуация еще раз полностью изменилась в 1928 году, когда Дирак разработал релятивистскую теорию электрона и открыл позитрон¹⁹. Ни одна новая идея не может быть с самого начала совершенно ясной. Дирак вначале думал, что «дыры» с отрицательной энергией в его теории можно отождествить с протонами; позже выяснилось, однако, что по массе они должны быть равны электрону; в конце концов они были обнаружены экспериментально и получили название позитронов. На мой взгляд, это открытие антиматерии есть, пожалуй, важнейший сдвиг из всех важных сдвигов в физике нашего столетия. Исключительное значение этого открытия объясняется тем, что оно изменило наше представление о материи. Мне хотелось бы в последней части своего доклада пояснить это чуть более подробно.

Сперва Дирак предположил, что подобные частицы возникают в процессе рождения пары. Квант света может перевести виртуальный электрон с одного из отрицательных энергетических состояний в вакууме на более высокий энергетический уровень, и это значит, что квант света образовал пару электрон—позитрон. Но вместе с тем это означало, что число частиц — уже не настоящее квантовое число, что закон сохранения не распространяется на число частиц. В согласии с новой идеей Дирака можно было сказать, например, что атом водорода не обязательно состоит из одного протона и одного электрона, в какие-то моменты он может состоять из одного протона, двух электронов и одного позитрона. И действительно, с учетом более тонких деталей квантовой электродинамики такая возможность играет определенную роль.

В каждом случае взаимодействия между излучением и электроном возможны такие явления, как образование пар. Но тогда естественно было предположить, что подобные процессы могут происходить в гораздо более обширных областях физики. С 1932 года мы знали, что в ядре нет электронов, ядро состоит из протонов и нейтронов. Но потом Паули высказал предположение, что бета-распад поддается описанию как процесс возникновения одного электрона и одного нейтрино. Эта возможность была сформулирована Ферми в его теории бета-распада. Вы видите, таким образом, что уже тогда закон сохранения числа элементарных частиц был полностью отброшен. Стало ясно, что имеют место процессы образования час-

тиц из энергии. Возможность подобных процессов была, разумеется, предсказана уже в специальной теории относительности, согласно которой энергия превращается в материю. Но их реальность впервые обнаружилась благодаря открытию Дираком антиматерии и образования пар.

Ферми опубликовал свою теорию бета-распада, если не ошибаюсь, в 1934 году. Спустя несколько лет в связи с космическим излучением мы поставили вопрос: «Что произойдет, если столкнутся две элементарные частицы очень высоких энергий?» Направивался ответ, что в таком случае вовсе не исключено возникновение большого числа частиц. И в самом деле, после открытия Дирака гипотеза множественного образования частиц при высокоэнергетических столкновениях была уже вполне естественным допущением. Экспериментально она была подтверждена лишь 15 лет спустя, когда стали исследовать явления очень высоких энергий на больших ускорителях и появилась возможность наблюдать подобные процессы. Когда же стало известно, что при высокоэнергетических столкновениях можно получить произвольное число частиц при том единственном условии, чтобы начальная симметрия была идентична конечной симметрии, то пришлось допустить также, что каждая частица есть, по существу, сложная система, коль скоро можно, не отступая от истины, считать любую частицу виртуально состоящей из произвольного числа других частиц. При всем том мы, разумеется, согласимся, что будет разумным приближением к истине считать π -мезон состоящим лишь из одного нуклона и одного антинуклона и что нет необходимости принимать во внимание составы высшего порядка. Опять же это лишь приближение, и если быть точным, то надо сказать, что в π -мезоне мы имеем дело с определенным множеством конфигураций нескольких частиц вплоть до сколь угодно большого числа частиц, лишь бы совокупная симметрия совпадала с симметрией π -мезона. Одним из сенсационнейших последствий открытия Дирака явилось, таким образом, полное крушение старого понятия элементарной частицы. Элементарная частица оказалась уже не элементарной. Это фактически сложная система, точнее, сложная система многих тел, и она обнаруживает в себе все те структурные взаимосвязи, какие характерны для молекулы или любого другого объекта подобного рода.

Теория Дирака имела еще одно важное следствие. В старой теории, скажем в нерелятивистской квантовой

теории, основное состояние было крайне простым состоянием. Оно было не чем иным, как вакуумом, пустым миром, и потому обладало максимальной симметрией. В теории Дирака основное состояние было иного рода. Это был объект, заполненный недоступными наблюдению частицами отрицательной энергии. Вдобавок при допущении процесса образования пар приходилось считаться с тем, что основное состояние должно заключать в себе, по всей видимости, бесконечное число виртуальных пар позитронов и электронов, то есть частиц и античастиц; сразу видно, что основное состояние есть сложная динамическая система. Она представляет собой одно из собственных решений, определяемых основополагающим законом природы. Далее, если так понимать основное состояние, то становится очевидным, что оно не обязательно должно быть симметричным относительно группы основополагающего закона. По сути дела, наиболее естественным объяснением электродинамики представляется то, что основополагающий закон природы полностью инвариантен относительно группы изоспина, а основное состояние — нет. В соответствии с этим из допущения, что основное состояние при вращениях в изопространстве²⁰ является вырожденным, вытекает, по теореме Голдстоуна, существование сил дальнего действия или частиц с нулевой массой покоя. Вероятно, кулоновское взаимодействие и фотоны следует интерпретировать в этом смысле.

Наконец, в своей бакинской лекции 1941 года Дирак высказал — как следствие из своей теории «дырок» — ту мысль, что в релятивистской теории поля с взаимодействием следует использовать пространство Гильберта с индефинитной метрикой. До сих пор идет спор о том, действительно ли необходимо такое расширение общепринятой квантовой теории. Но после многих дискуссий на протяжении последних десятилетий не приходится сомневаться, что непротиворечивое построение теорий с индефинитной метрикой возможно и что их разумная интерпретация в рамках физической науки вполне мыслима.

Итак, конечным результатом на сегодня представляется вывод, что предложенная Дираком теория электрона изменила весь облик атомной физики. После отказа от старого понятия элементарной частицы объекты, раньше называвшиеся элементарными частицами, должны сегодня рассматриваться как сложные многоэлементные системы, и рано или поздно мы будем рассчитывать их с помощью

основополагающего закона природы, так же как мы считываем стационарные состояния сложных молекул по законам квантовой или волновой механики. Мы узнали, что энергия становится материей, принимая форму элементарных частиц. Состояния, носившие название элементарных частиц, так же сложны, как состояния атомов и молекул. Или — в парадоксальной формулировке — каждая частица состоит из всех остальных частиц. Поэтому мы не можем надеяться, что физика элементарных частиц когда-либо сможет стать проще, чем квантовая химия. Это важная деталь, потому что еще и поныне многие физики надеются, что нам удастся в один прекрасный день отыскать какой-то очень простой путь к физике элементарных частиц — как в старые времена водородного спектра. На мой взгляд, это невозможно.

В заключение я хотел бы еще раз сказать несколько слов о том, что у нас было названо «предрассудками». Вы можете сказать, что наша вера в элементарные частицы была предрассудком. Но я все же считал бы, что это чересчур негативное суждение, поскольку весь язык, применяемый нами в атомной физике двух последних столетий, прямо или косвенно опирается на понятие элементарной частицы. Мы всегда спрашивали: «Из чего состоит такой-то объект и какова геометрическая или динамическая конфигурация меньших частиц в этом более крупном объекте?» По существу, мы каждый раз возвращались к этой демокритовской философии; думаю, однако, что Дирак уже доказал нам ложность такой постановки вопроса. При всем том крайне трудно удержаться от вопросов, заложенных в самом нашем языке. Понятно поэтому, что еще и сегодня многие физики-экспериментаторы — а то и некоторые теоретики — все еще заняты поисками «настоящих» элементарных частиц. Они надеются, например, что кварки, если таковые существуют, возьмут на себя роль искомым частиц.

Думаю, что это заблуждение. Заблуждение потому, что, даже если кварки окажутся реальностью, мы не сможем сказать, что протон состоит из трех кварков. Нам придется говорить, что иногда он, пожалуй, и состоит из трех кварков, но в другие моменты он может состоять из четырех кварков и одного антикварка или из пяти кварков и двух антикварков и т. д. Все эти конфигурации будут содержаться в протоне, и каждый кварк опять же будет состоять из кварка и антикварка и т. д. Нет никакого способа уйти от этой характерной ситуации; но

поскольку направленность наших вопросов определяется старыми понятиями, крайне трудно удержаться от их постановки. Очень многие физики до сих пор ищут кварки и будут, наверное, искать их и впредь. В последнее десятилетие существует очень сильная предрасположенность в пользу кварков, так что, мне думается, если бы они были, то их бы уже открыли. Но тут решать физикам-экспериментаторам.

Спрашивается, чем же тогда заменить понятие фундаментальной частицы. Полагаю, что нам следовало бы заменить его понятием фундаментальной симметрии. Фундаментальными симметриями определяется основополагающий закон, обуславливающий спектр элементарных частиц. Не буду здесь входить в подробное обсуждение этих симметрий. Тщательный анализ наблюдений дает мне основание заключить, что, помимо Лоренцевой группы, подлинными симметриями являются также SU_2 , принцип масштабной инвариантности и дискретные преобразования P.C.T.; но я не стал бы причислять к фундаментальным симметриям SU_3 или более высокие симметрии этого рода, поскольку они могут возникать благодаря динамике системы в качестве приближенных симметрий²¹.

Но это опять же вопрос, который должны решать экспериментаторы. Я хотел единственно сказать, что нам следовало бы отыскивать не фундаментальные частицы, а фундаментальные симметрии. И если мы действительно совершим этот переворот в понятиях, подготовленный Дираком и его открытием антиматерии, то, думаю, нам уже не понадобится еще одной научной революции, чтобы понять элементарные — или, вернее, «неэлементарные» — частицы. Мы должны сначала научиться обращению с этим новым и, к сожалению, очень абстрактным понятием — «фундаментальные симметрии»; но это дело наживное.

Здесь, в этом уголке мира, на побережье Эгейского моря, философы Левкипп и Демокрит размышляли о структуре материи; там, внизу, на рыночной площади, сейчас уже погружающейся в сумерки, Сократ обсуждал коренные трудности выбора средств выражения мысли; а Платон учил, что по ту сторону феноменов существует подлинная фундаментальная структура, образ, идея. Вопросы, которые две с половиной тысячи лет назад впервые были поставлены на этой земле, с тех пор почти непрерывно занимали человеческую мысль и в ходе истории вновь и вновь становились предметом обсуждения, по мере того как новые открытия являли в новом свете эти древние пути мысли.

Пытаясь сегодня снова затронуть некоторые поставленные древними проблемы, а именно вопрос о структуре материи и о понятии закона природы, я делаю это потому, что в наше время развитие атомной физики радикально изменило наши представления о природе и структуре материи. Не будет, вероятно, большим преувеличением сказать, что некоторые древние проблемы в недавнее время нашли ясное и окончательное решение. Вот почему сегодня уместно поговорить об этом новом и, по всей видимости, окончательном ответе на вопросы, поставленные здесь несколько тысячелетий назад.

Но есть еще и другая причина вернуться к рассмотрению этих проблем. Начиная с XVII века по мере становления естественных наук Нового времени философия материализма, развитая в древности Левкиппом и Демокритом, оказалась центральным пунктом множества дискуссий, а в форме диалектического материализма она стала одной из движущих сил политических изменений в XIX и XX веках. Если философские представления о структуре материи могут играть такую роль в человеческой жизни, если в социальной истории Европы они действовали подобно взрывчатому веществу, а в других частях мира, быть может, еще проявят свою взрывную силу — тем

более важно знать, что же можно сказать об этой философии на основании современного естественнонаучного знания. Или — говоря в несколько более общей и корректной форме — философский анализ последних событий в истории естественных наук сможет, надо надеяться, содействовать тому, что столкновение догматических мнений по поднятым здесь принципиальным вопросам уступит место трезвому освоению той новой ситуации, которая уже и сама по себе может считаться революцией в человеческой жизни на Земле. Впрочем, отвлекаясь от влияния, оказываемого естественной наукой на нашу эпоху, было бы интересно сопоставить философские дискуссии в Древней Греции с результатами экспериментального естествознания и современной атомной физики. Следует, пожалуй, забежав вперед, сразу сказать здесь и о результатах подобного сопоставления. Несмотря на колоссальный успех, который понятие атома имело в современном естествознании, в вопросе о структуре материи Платон был, по-видимому, гораздо ближе к истине, чем Левкипп или Демокрит. Но прежде чем анализировать результаты современной науки, нужно, наверное, сначала вспомнить некоторые наиболее важные аргументы, приводившиеся в античных дискуссиях о материи и жизни, о бытии и становлении.

1. Понятие материи в античной философии

В начале греческой философии стоит дилемма «единого» и «многого». Мы знаем: нашим чувствам открывается многообразный, постоянно изменяющийся мир явлений. Тем не менее мы уверены, что должна существовать по меньшей мере возможность каким-то образом свести его к единому принципу. Пытаясь понять явления, мы замечаем, что всякое понимание начинается с восприятия их сходных черт и закономерных связей. Отдельные закономерности познаются затем как особые случаи того, что является общим для различных явлений и что может быть поэтому названо основополагающим принципом. Таким образом, всякое стремление понять изменчивое многообразие явлений с необходимостью приводит к поискам основополагающего принципа. Характерной особенностью древнегреческого мышления было то, что первые философы искали «материальную причину» всех вещей. На первый взгляд это представляется совершенно есте-

ственной отправной точкой для объяснения нашего материального мира. Но, идя по этому пути, мы сразу же сталкиваемся с дилеммой, а именно с необходимостью ответить на вопрос, следует ли отождествить материальную причину всего происходящего с одной из существующих форм материи, например с «водой» в философии Фалеса или «огнем» в учении Гераклита, или же надо принять такую «первосубстанцию», по отношению к которой всякая реальная материя представляет собой только переходящую форму. В античной философии были разработаны оба направления, но здесь мы не станем их подробно обсуждать.

Двигаясь далее, мы связываем основополагающий принцип, т. е. нашу надежду на простоту, лежащую в основе явлений, с некой «первосубстанцией». Тогда возникает вопрос, в чем заключается простота первосубстанции или что в ее свойствах позволяет охарактеризовать ее как простую. Ведь ее простоту нельзя усмотреть непосредственно в явлениях. Вода может превратиться в лед или помочь прорастанию цветов из земли. Но мельчайшие частицы воды одинаковые, по-видимому, во льду, в паре или цветах — вот что, наверное, и есть простое. Их поведение, может быть, подчиняется простым законам, поддающимся определенной формулировке.

Таким образом, если внимание направлено в первую очередь на материю, на материальную причину вещей, естественным следствием стремления к простоте оказывается понятие мельчайших частиц материи.

С другой стороны, понятие мельчайших частиц материи, подчиняющихся простым для понимания законам, сразу же приводит к известным трудностям, связанным с понятием бесконечности. Кусок вещества можно разделить на части, эти части можно разделить на еще более мелкие кусочки, которые в свою очередь расщепляются на еще более мелкие, и т. д. Однако нам уже довольно трудно представить себе процесс деления, идущий до бесконечности. Нам более естественно предположить, что существуют самые малые, далее уже неделимые частицы. Хотя, с другой стороны, мы не можем представить себе и того, чтобы дальнейшее деление этих мельчайших частиц было принципиально невозможно. Мы можем — по крайней мере мысленно — вообразить еще более мелкие частицы, представив, что при сильном уменьшении масштабов отношения остаются теми же. Наша способность воображения, видимо, сбивает нас с толку, когда мы стре-

мимся представить процесс бесконечно продолжающегося деления. Греческая философия тоже осознала эту трудность и атомистическую гипотезу; представление о мельчайших, далее неделимых частицах можно считать первым и естественным выходом из подобных затруднений.

Основатели атомистического учения Левкипп и Демокрит попытались избежать этой трудности, допустив, что атом вечен и неразрушим, т. е. что он есть подлинно сущее. Все другие вещи существуют лишь постольку, поскольку они состоят из атомов. Принятая в философии Парменида антитеза «бытия» и «небытия» огрубляется здесь до антитезы «полного» и «пустого». Бытие не просто едино, оно может воспроизводиться до бесконечности. Бытие неразруσιμο, поэтому и атом неразрушим. Пустота, пустое пространство между атомами обуславливает расположение и движение атомов, обуславливает и индивидуальные свойства атомов, тогда как чистое бытие, так сказать, по определению не может иметь иных свойств, кроме самого существования.

Данная часть учения Левкиппа и Демокрита составляет одновременно его силу и его слабость. С одной стороны, здесь дается прямое объяснение различных агрегатных состояний материи, таких, как лед, вода, пар, ибо атомы могут быть плотно упакованы и располагаться в определенном порядке, или находиться в состоянии неупорядоченного движения, или, наконец, рассеиваться в пространстве на достаточно далеких друг от друга расстояниях. Именно эта часть атомистической гипотезы оказалась впоследствии весьма продуктивной. С другой стороны, атом оказывается в конце концов всего лишь составной частью материи. Его свойства, положение и движение в пространстве делают его чем-то совершенно иным по сравнению с тем, что первоначально обозначалось понятием «бытие». Атомы могут даже иметь конечную протяженность, в результате чего теряет силу единственно убедительный аргумент в пользу их неделимости. Если атом обладает пространственными характеристиками, то почему, собственно, его нельзя разделить? Свойство неделимости оказывается тогда всего лишь физическим, а не фундаментальным свойством. В таком случае можно вновь поставить вопрос о структуре атома, рискуя при этом утратить ту самую простоту, которую мы надеялись обрести с помощью понятия мельчайших частиц материи. Создается впечатление, что атомистическая гипотеза — в ее первоначальной форме — еще недостаточно тонка, чтобы

объяснить то, что в действительности стремились понять философы: простое начало в явлениях и материальных структурах.

Все же атомистическая гипотеза делает большой шаг в нужном направлении. Все многообразие различных явлений, множество наблюдаемых свойств материального мира можно свести к положению и движению атомов. Атомы не обладают такими свойствами, как запах или вкус. Эти свойства возникают как косвенные следствия положения и движения атомов. Положение и движение — понятия, как кажется, гораздо более простые, чем эмпирические качества вроде вкуса, запаха или цвета. Но остается неясным вопрос о том, чем же определяется положение и движение атомов. Греческие философы не пытались найти и сформулировать единый закон природы, и современное понятие такого закона не соответствует их образу мысли. Тем не менее они говорили о необходимости, причине и действии, некоторым образом, видимо, задумываясь все же над причинным описанием и детерминизмом.

Атомистическая гипотеза имела целью указать путь от «многого» к «единому», сформулировать основополагающий принцип, материальную причину, исходя из которой можно было бы понять все явления. В атомах можно было видеть материальную причину, но роль основополагающего принципа мог бы играть только общий закон, определяющий их положение и скорость. Вместе с тем, когда греческие философы говорили о закономерностях природы, они мысленно ориентировались на статичные формы, на геометрическую симметрию, а не на процессы, протекающие в пространстве и времени. Круговые орбиты планет, правильные геометрические тела казались им неизменными структурами мира. Новоевропейская идея о том, что положение и скорость атомов в данный момент времени могут быть однозначно, с помощью математически формулируемого закона определены, исходя из их положения и скорости в какой-то предшествующий момент времени, не соответствовала способу мышления античности, поскольку нуждалась в понятии времени, сложившемся лишь в гораздо более позднюю эпоху.

Когда Платон занялся проблемами, выдвинутыми Левкиппом и Демокритом, он заимствовал их представление о мельчайших частицах материи. Но он со всей определенностью противостоял тенденции атомистической философии считать атомы первоосновой сущего, единственным

реально существующим материальным объектом. Платоновские атомы, по существу, не были материальными, они мыслились им как геометрические формы, как правильные тела в математическом смысле. В полном согласии с исходным принципом его идеалистической философии тела эти были для него своего рода идеями, лежащими в основе материальных структур и характеризующими физические свойства тех элементов, которым они соответствуют. Куб, например, согласно Платону, — мельчайшая частица земли как элементарной стихии и символизирует стабильность земли. Тетраэдр, с его острыми вершинами, изображает мельчайшие частицы огненной стихии. Икосаэдр, из правильных тел наиболее близкий к шару, представляет собой подвижную водную стихию. Таким образом, правильные тела могли служить символами определенных особенностей физических характеристик материи.

Но по сути дела, это были уже не атомы, не неделимые первичные единицы в смысле материалистической философии. Платон считал их составленными из треугольников, образующих поверхности соответствующих элементарных тел. Путем перестройки треугольников эти мельчайшие частицы могли поэтому превращаться друг в друга. Например, два атома воздуха и один атом огня могли составить один атом воды. Так Платону удалось обойти проблему бесконечной делимости материи; ведь треугольники, двумерные поверхности — уже не тела, не материя, и можно было поэтому считать, что материя не делится до бесконечности. Это значило, что понятие материи на нижнем пределе, т. е. в сфере наименьших измерений пространства, трансформируется в понятие математической формы. Эта форма имеет решающее значение для характеристики прежде всего мельчайших частиц материи, а затем и материи как таковой. В известном смысле она заменяет закон природы позднейшей физики, потому что, хотя явно и не указывает на временное течение событий, но характеризует тенденции материальных процессов. Можно, пожалуй, сказать, что основные тенденции поведения представлены тут геометрическими формами мельчайших единиц, а более тонкие детали этих тенденций нашли свое выражение в понятиях взаиморасположения и скорости этих единиц.

Все это довольно точно соответствует главным представлениям идеалистической философии Платона. Лежащая в основе явлений структура дана не в материальных объектах, каковыми были атомы Демокрита, а в форме,

определяющей материальные объекты. Идеи фундаментальнее объектов. А поскольку мельчайшие части материи должны быть объектами, позволяющими понять простоту мира, приближающими нас к «единому», «единству» мира, идеи могут быть описаны математически, они попросту суть математические формы. Выражение «Бог — математик» связано именно с этим моментом платоновской философии, хотя в такой форме оно относится к более позднему периоду в истории философии.

Значение этого шага в философском мышлении вряд ли можно переоценить. Его можно считать бесспорным началом математического естествознания, и тем самым на него можно возложить также и ответственность за позднейшие технические применения, изменившие облик всего мира. Вместе с этим шагом впервые устанавливается и значение слова «понимание». Среди всех возможных форм понимания одна, а именно принятая в математике, избирается в качестве «подлинной» формы понимания. Хотя любой язык, любое искусство, любая поэзия несут с собой то или иное понимание, к истинному пониманию, говорит платоновская философия, можно прийти, только применяя точный, логически замкнутый язык, поддающийся настолько строгой формализации, что возникает возможность строгого доказательства как единственного пути к истинному пониманию. Легко вообразить, какое сильное впечатление произвела на греческую философию убедительность логических и математических аргументов. Она была просто подавлена силой этой убедительности, но капитулировала она, пожалуй, слишком рано.

2. Ответ современной науки на древние вопросы

Важнейшее различие между современным естествознанием и античной натурфилософией заключается в характере применяемых ими методов. Если в античной философии достаточно было обыденного знания природных явлений, чтобы делать заключения из основополагающего принципа, характерная особенность современной науки состоит в постановке экспериментов, т. е. конкретных вопросов природе, ответы на которые должны дать информацию о закономерностях. Следствием этого различия в методах является также и различие в самом воззрении на природу. Внимание сосредоточивается не столько на

основополагающих законах, сколько на частных закономерностях. Естествознание развивается, так сказать, с другого конца, начиная не с общих законов, а с отдельных групп явлений, в которых природа уже ответила на экспериментально поставленные вопросы. С того времени, как Галилей, чтобы изучить законы падения, бросал, как рассказывает легенда, камни с «падающей» башни в Пизе, наука занималась конкретным анализом самых различных явлений — падением камней, движением Луны вокруг Земли, волнами на воде, преломлением световых лучей в призме и т. д. Даже после того, как Исаак Ньютон в своем главном произведении «Principia mathematica» объяснил на основании единого закона разнообразнейшие механические процессы, внимание было направлено на те частные следствия, которые подлежали выведению из основополагающего математического принципа. Правильность выведенного таким путем частного результата, т. е. его согласование с опытом, считалась решающим критерием в пользу правильности теории.

Такое изменение самого способа подхода к природе имело и другие важные следствия. Точное знание деталей может быть полезным для практики. Человек получает возможность в известных пределах управлять явлениями по собственному желанию. Техническое применение современной естественной науки начинается со знания конкретных деталей. В результате и понятие «закон природы» постепенно меняет свое значение. Центр тяжести находится теперь не во всеобщности, а в возможности делать частные заключения. Закон превращается в программу технического применения. Важнейшей чертой закона природы считается теперь возможность делать на его основании предсказания о том, что получится в результате того или иного эксперимента.

Легко заметить, что понятие времени должно играть в таком естествознании совершенно другую роль, чем в античной философии. В законе природы выражается не вечная и неизменная структура — речь идет теперь о закономерности изменений во времени. Когда подобного рода закономерность формулируется на математическом языке, физик сразу же представляет себе бесчисленное множество экспериментов, которые он мог бы поставить, чтобы проверить правильность выдвигаемого закона. Единственное несоответствие теории с экспериментом могло бы опровергнуть теорию. В такой ситуации математической формулировке закона природы придается колос-

сальное значение. Если все известные экспериментальные факты согласуются с теми утверждениями, которые могут быть математически выведены из данного закона, сомневаться в общезначимости закона будет чрезвычайно трудно. Понятно поэтому, почему «Principia» Ньютона господствовала в физике более двух столетий.

Прослеживая историю физики от Ньютона до настоящего времени, мы заметим, что несколько раз — несмотря на интерес к конкретным деталям — формулировались весьма общие законы природы. В XIX веке была детально разработана статистическая теория теплоты. К группе законов природы весьма общего плана можно было бы присоединить теорию электромагнитного поля и специальную теорию относительности, включающие высказывания не только об электрических явлениях, но и о структуре пространства и времени. Математическая формулировка квантовой теории привела в нашем столетии к пониманию строения внешних электронных оболочек химических атомов, а тем самым и к познанию химических свойств материи. Отношения и связи между этими различными законами, в особенности между теорией относительности и квантовой механикой, еще не вполне ясны, но последние события в развитии физики элементарных частиц внушают надежду на то, что уже в относительно близком будущем эти отношения удастся проанализировать на удовлетворительном уровне. Вот почему уже сейчас можно подумать о том, какой ответ на вопросы древних философов позволяет дать новейшее развитие науки.

Развитие химии и учения о теплоте в течение XIX века в точности следовало представлениям, впервые высказанным Левкиппом и Демокритом. Возрождение материалистической философии в форме диалектического материализма вполне естественно сопровождало впечатляющий прогресс, который переживали в ту эпоху химия и физика. Понятие атома оказалось крайне продуктивным для объяснения химических соединений или физических свойств газов. Вскоре, правда, выяснилось, что те частицы, которые химики называли атомами, состоят из еще более мелких единиц. Но и эти более мелкие единицы — электроны, а затем атомное ядро, наконец, элементарные частицы, протоны и нейтроны, — на первый взгляд кажутся атомарными в том же самом материалистическом смысле. Тот факт, что отдельные элементарные частицы можно было реально увидеть хотя бы косвенно (в камере

Вильсона, или в пузырьковой камере) подтверждал представление о мельчайших единицах материи как о реальных физических объектах, существующих в том же самом смысле, что и камни или цветы.

Но трудности, внутренне присущие материалистическому учению об атомах, обнаружившиеся уже в античных дискуссиях о мельчайших частицах материи, проявились со всей определенностью и в развитии физики нашего столетия. Прежде всего они связаны с проблемой бесконечной делимости материи. Так называемые атомы химиков оказались составленными из ядра и электронов. Атомное ядро было расщеплено на протоны и нейтроны. Нельзя ли — неизбежно встает вопрос — подвергнуть дальнейшему делению и элементарные частицы? Если ответ на этот вопрос утвердительный, то элементарные частицы — не атомы в греческом смысле слова, не неделимые единицы. Если же отрицательный, то следует объяснить, почему элементарные частицы не поддаются дальнейшему делению. Ведь до сих пор всегда в конце концов удавалось расщепить даже те частицы, которые на протяжении долгого времени считались мельчайшими единицами; для этого требовалось только применить достаточно большие силы. Поэтому напрашивалось предположение, что, увеличивая силы, т. е. просто увеличивая энергию столкновения частиц, можно в конце концов расщепить также и протоны и нейтроны. А это, по всей видимости, означало бы, что до предела деления дойти вообще нельзя и что мельчайших единиц материи вовсе не существует. Но прежде чем приступить к обсуждению современного решения этой проблемы, я должен напомнить еще об одной трудности.

Эта трудность связана с вопросом: представляют ли собою мельчайшие единицы обыкновенные физические объекты, существуют ли они в том же смысле, что и камни или цветы? Возникновение квантовой механики примерно 40 лет назад создало здесь совершенно новую ситуацию. Математически сформулированные законы квантовой механики ясно показывают, что наши обычные наглядные понятия оказываются двусмысленными при описании мельчайших частиц. Все слова или понятия, с помощью которых мы описываем обыкновенные физические объекты, как, например, положение, скорость, цвет, величина и т. д., становятся неопределенными и проблематичными, как только мы пытаемся отнести их к мельчайшим частицам. Я не могу здесь вдаваться в детали

этой проблемы, столь часто обсуждавшейся в последние десятилетия. Важно только подчеркнуть, что обычный язык не позволяет однозначно описать поведение мельчайших единиц материи, тогда как математический язык способен недвусмысленно выполнить это.

Новейшие открытия в области физики элементарных частиц позволили решить также и первую из названных проблем — загадку бесконечной делимости материи. С целью дальнейшего расщепления элементарных частиц, насколько таковое возможно, в послевоенное время в разных частях Земли были построены большие ускорители. Для тех, кто еще не осознал непригодности наших обычных понятий для описания мельчайших частиц материи, результаты этих экспериментов казались поразительными. Когда сталкиваются две элементарные частицы с чрезвычайно высокой энергией, они, как правило, действительно распадаются на кусочки, иногда даже на много кусочков, однако эти кусочки оказываются не меньше распавшихся на них частиц. Независимо от имеющейся в наличии энергии (лишь бы она была достаточно высока) в результате подобного столкновения всегда возникают частицы давно уже известного вида. Даже в космическом излучении, в котором при некоторых обстоятельствах частицы могут обладать энергией, в тысячи раз превосходящей возможности самых больших из существующих ныне ускорителей, не было обнаружено иных или более мелких частиц. Например, можно легко измерить их заряд, и он всегда либо равен заряду электрона, либо представляет кратную ему величину.

Поэтому при описании процесса столкновения лучше говорить не о расщеплении сталкивающихся частиц, а о возникновении новых частиц из энергии столкновения, что находится в согласии с законами теории относительности. Можно сказать, что все частицы сделаны из одной первосубстанции, которую можно назвать энергией или материей. Можно сказать и так: первосубстанция «энергия», когда ей случается быть в форме элементарных частиц, становится «материей»²³. Таким образом, новые эксперименты научили нас тому, что два, по видимости противоречащих, друг другу утверждения: «материя бесконечно делима» и «существуют мельчайшие единицы материи» — можно совместить, не впадая в логическое противоречие. Этот поразительный результат еще раз подчеркивает тот факт, что нашими обычными понятиями не удается однозначно описать мельчайшие единицы.

В ближайшие годы ускорители высоких энергий раскроют множество интересных деталей в поведении элементарных частиц, но мне представляется, что тот ответ на вопросы древней философии, который мы только что обсудили, окажется окончательным. А если так, то чьи взгляды подтверждает этот ответ — Демокрита или Платона?

Мне думается, современная физика со всей определенностью решает вопрос в пользу Платона. Мельчайшие единицы материи в самом деле не физические объекты в обычном смысле слова, они суть формы, структуры или идеи в смысле Платона, о которых можно говорить однозначно только на языке математики. И Демокрит, и Платон надеялись с помощью мельчайших единиц материи приблизиться к «единому», к объединяющему принципу, которому подчиняется течение мировых событий. Платон был убежден, что такой принцип можно выразить и понять только в математической форме. Центральная проблема современной теоретической физики состоит в математической формулировке закона природы, определяющего поведение элементарных частиц. Экспериментальная ситуация заставляет сделать вывод, что удовлетворительная теория элементарных частиц должна быть одновременно и общей теорией физики, а стало быть, и всего относящегося к физике.

Таким путем можно было бы выполнить программу, выдвинутую в новейшее время впервые Эйнштейном: можно было бы сформулировать единую теорию материи, — что значит квантовую теорию материи, — которая служила бы общим основанием всей физики. Пока же мы еще не знаем, достаточно ли для выражения этого объединяющего принципа тех математических форм, которые уже были предложены, или же их потребуется заменить еще более абстрактными формами. Но того знания об элементарных частицах, которым мы располагаем уже сегодня, безусловно, достаточно, чтобы сказать, каким должно быть главное содержание этого закона. Суть его должна состоять в описании небольшого числа фундаментальных свойств симметрии природы, эмпирически найденных несколько десятилетий назад, и, помимо свойств симметрии, закон этот должен заключать в себе принцип причинности, интерпретированный в смысле теории относительности. Важнейшими свойствами симметрии являются так называемая Лоренцова группа специальной теории относительности, содержащая важнейшие утверждения относительно пространства и вре-

мени, и так называемая изоспиновая группа, которая связана с электрическим зарядом элементарных частиц. Существуют и другие симметрии, но я не стану здесь говорить о них. Релятивистская причинность связана с Лоренцовой группой, но ее следует считать независимым принципом²⁴.

Эта ситуация сразу же напоминает нам симметричные тела, введенные Платоном для изображения основополагающих структур материи. Платоновские симметрии еще не были правильными, но Платон был прав, когда верил, что в средоточии природы, где речь идет о мельчайших единицах материи, мы находим в конечном счете математические симметрии. Невероятным достижением было уже то, что античные философы поставили верные вопросы. Нельзя было ожидать, что при полном отсутствии эмпирических знаний они смогут найти также и ответы, верные вплоть до деталей.

3. Выводы, касающиеся развития человеческого мышления в наше время

Поиски «единого», глубочайшего источника всякого понимания были, надо думать, общим началом как религии, так и науки. Но научный метод, выработавшийся в XVI и XVII веках, интерес к экспериментально проверяемым конкретным фактам надолго предопределили другой путь развития науки. Нет ничего удивительного в том, что такая установка могла привести к конфликту между наукой и религией, коль скоро научная закономерность в отдельных, быть может, особенно важных деталях противоречила религии, с ее общей картиной мира и ее манерой говорить о фактах. Этот конфликт, начавшийся в Новое время знаменитым процессом против Галилея, обсуждался достаточно часто, и мне не хотелось бы здесь касаться этой дискуссии. Пожалуй, можно было бы напомнить лишь о том, что и в Древней Греции Сократ был осужден на смерть потому, что его учение казалось противоречащим традиционной религии. Этот конфликт достиг высшей точки в XIX веке, когда некоторые философы пытались заменить традиционную христианскую религию научной философией, опирающейся на материалистическую версию гегелевской диалектики. Можно было бы, наверное, сказать, что, сосредоточивая внимание на материалистической интерпретации «единого», ученые пы-

тались вновь обрести утраченный путь от многообразия частных к «единому». Но и здесь было не так-то легко преодолеть раскол между «единым» и «многим». Далеко не случайно, что в некоторых странах, где диалектический материализм был объявлен в нашем веке официальным вероучением, оказалось невозможным полностью избежать конфликта между наукой и одобренным учением. И здесь ведь какое-нибудь научное открытие, результат новых наблюдений могут вступить в кажущееся противоречие с официальным учением. Если верно, что гармония того или иного общества создается отношением к «единому» — как бы это «единое» ни понималось, — то легко понять, что кажущееся противоречие между отдельным научно удостоверенным результатом и принятым способом говорить о «едином» может стать серьезной проблемой. История недавних десятилетий знает много примеров политических затруднений, поводом к которым послужили такие ситуации. Отсюда можно извлечь тот урок, что дело не столько в борьбе двух противоречащих друг другу учений, например материализма и идеализма, сколько в споре между научным методом, а именно методом исследования единичности, с одной стороны, и общим отношением к «единому» — с другой. Большой успех научного метода проб и ошибок исключает в наше время любое определение истины, не выдерживающее строгих критериев этого метода. Вместе с тем общественными науками, похоже, доказано, что внутреннее равновесие общества, хотя бы до некоторой степени, покоится на общем отношении к «единому». Поэтому вряд ли можно предать забвению поиски «единого».

Если современная естественная наука способствует чем-то решению этой проблемы, то вовсе не тем, что она высказывается за или против одного из этих учений, например в пользу материализма и против христианской философии, как многие думали в XIX веке, или же, как я думаю теперь, в пользу платоновского идеализма и против материализма Демокрита. Напротив, при решении этих проблем прогресс современной науки полезен нам прежде всего тем, что мы начинаем понимать, сколь осторожно следует обращаться с языком, со значениями слов. Заключительную часть своей речи я поэтому посвятил бы некоторым замечаниям, касающимся проблемы языка в современной науке и в античной философии.

Если в этой связи обратиться к диалогам Платона, то мы увидим, что неизбежная ограниченность средств выра-

жения уже в философии Сократа была центральной темой; можно даже сказать, что вся его жизнь была непрестанной борьбой с этой ограниченностью. Сократ никогда не уставал объяснять своим соотечественникам здесь, на улицах Афин, что они в точности не знают, что имеют в виду, используя те или иные слова. Рассказывают, что один из оппонентов Сократа, софист, которого раздражало постоянное возвращение Сократа к недостаткам языка, заметил критически: «Но это ведь скучно, Сократ, ты все время говоришь одно и то же об одном и том же». На что Сократ ответил: «А вы, софисты, при всей вашей мудрости, кажется, никогда не говорите одного и того же об одном и том же»²⁵.

Сократ придавал столь большое значение проблеме языка потому, что он знал, с одной стороны, сколько недоразумений может вызвать легкомысленное обращение с языком, насколько важно пользоваться точными выражениями и разъяснять понятия, прежде чем применять их, а с другой — отдавал себе отчет в том, что в последнем счете это, наверное, задача неразрешимая. Ситуация, с которой мы сталкиваемся в наших попытках «понять», может привести к мысли, что существующие у нас средства выражения вообще не допускают ясного и недвусмысленного описания положения вещей.

В современной науке отличие между требованием полной ясности и неизбежной недостаточностью существующих понятий особенно разительно. В атомной физике мы используем весьма развитый математический язык, удовлетворяющий всем требованиям ясности и точности. Вместе с тем мы знаем, что ни на одном обычном языке не можем однозначно описать атомные явления, например мы не можем однозначно говорить о поведении электрона в атоме. Было бы, однако, слишком преждевременным требовать, чтобы во избежание трудностей мы ограничились математическим языком. Это не выход, так как мы не знаем, насколько математический язык применим к явлениям. Наука тоже вынуждена в конце концовложиться на естественный язык, ибо это единственный язык, способный дать нам уверенность, что мы действительно постигаем явления²⁶.

Описанная ситуация проливает некий свет на вышеупомянутый конфликт между научным методом, с одной стороны, и отношением общества к «единому», к основополагающим принципам, кроющимся за феноменами, — с другой. Кажется очевидным, что это последнее отношение

не может или не должно выражаться рафинированно точным языком, применимость которого к действительности может оказаться весьма ограниченной. Для этой цели подходит только естественный язык, который каждому понятен, а надежные научные результаты можно получить только с помощью однозначных определений; здесь мы не можем обойтись без точности и ясности абстрактного математического языка.

Эта необходимость все время переходить с одного языка на другой и обратно является, к несчастью, постоянным источником недоразумений, так как зачастую одни и те же слова применяются в обоих языках. Трудности этой избежать нельзя²⁷. Впрочем, было бы полезно постоянно помнить о том, что современная наука должна использовать оба языка, что одно и то же слово на обоих языках может иметь весьма различные значения, что по отношению к ним применяются разные критерии истинности и что поэтому не следует спешить с выводом о противоречиях.

Если подходить к «единому» в понятиях точного научного языка, то следует сосредоточить внимание на том, уже Платоном указанном, средоточии естественной науки, в котором обнаруживаются основополагающие математические симметрии. Если держаться образа мыслей, свойственного такому языку, приходится довольствоваться утверждением «Бог — математик», ибо мы намеренно обратили взор лишь к той области бытия, которую можно понять в математическом смысле слова «понять», т. е. которую надо описывать рационально.

Сам Платон не довольствовался таким ограничением. После того как он с предельной ясностью указал возможности и границы точного языка, он перешел к языку поэтов, языку образов, связанному с совершенно иным видом понимания. Я не стану здесь выяснять, что, собственно, может значить этот вид понимания. Поэтические образы связаны, вероятно, с бессознательными формами мышления, которые психологи называют архетипами²⁸. Насыщенные сильным эмоциональным содержанием, они своеобразно отражают внутренние структуры мира. Но как бы ни объясняли мы эти иные формы понимания, язык образов и уподоблений — вероятно, единственный способ приблизиться к «единому» на общепонятных путях. Если гармония общества покоится на общепринятом истолковании «единого», того объединяющего принципа, который таится в многообразии явлений, то язык поэтов должен быть здесь важнее языка науки.

Исследование атома и закон причинности ²⁹

К числу наиболее интересных общих последствий современной атомной физики относятся те изменения, которым подверглось под ее влиянием понятие закономерности природы.

В последние годы много говорили о том, что современная атомная физика упразднила закон о связи причины и действия или по меньшей мере частично лишила его силы, что, по существу, нельзя уже более говорить о законосообразной *детерминированности* процессов природы. Иногда же прямо говорится, что принцип причинности несовместим с современным атомистическим учением. Вместе с тем, пока понятия причинности и закономерности недостаточно ясны, страдают неясностью и подобные формулировки. Поэтому мне хотелось бы вкратце сказать сейчас об историческом развитии этих понятий. Затем я коснусь отношений между атомной физикой и принципом причинности, возникшим задолго до квантовой механики. В заключение я рассмотрю следствия, вытекающие из квантовой механики, и расскажу о событиях в атомной физике самых последних лет. До сих пор общественность была мало осведомлена об этом, между тем можно, по-видимому, ожидать, что философия в свою очередь испытает воздействие со стороны атомной физики.

Понятие причинности было связано с отношением причины и действия исторически относительно недавно. В более ранней философии слово «causa» имело гораздо более широкий смысл, чем теперь. В схоластике, например, говорили, вслед за Аристотелем, о четырех типах «причин». То, что сегодня назвали бы структурой или идеальной сутью вещи, называлось тогда «causa formalis»; «causa materialis» — это вещество, из которого вещь состоит; «causa finalis» — цель, ради которой вещь создана; наконец, «causa efficiens». Только она приблизительно соответствует тому, что мы теперь подразумеваем под словом «причина».

Преобразование понятия «causa» в нынешнее понятие причины заняло несколько столетий и было внутренне

связано с изменением отношения человека к действительности в целом и с возникновением в начале Нового времени естественных наук. По мере того как материальный процесс приобретал статус реальности, слово «causa» тоже стали применять к тем материальным событиям, которые предшествовали объясняемым событиям и каким-то образом воздействовали на них. Вот почему Кант, во многом просто делающий философские выводы из развития естественных наук со времен Ньютона, формулирует понятие причинности так, как мы привыкли его понимать с XIX века. «Узнавая, что произошло некоторое событие, мы всегда предполагаем, что ему предшествовало другое событие, из которого первое следует по некоторому правилу»³⁰.

Так смысл тезиса о причинности постепенно сузился, пока наконец не отождествился с презумпцией однозначной детерминированности событий в природе, а это в свою очередь означало, что точного знания природы или определенной ее области было бы — по меньшей мере в принципе — достаточно для предсказания будущего. Ньютонская физика была устроена так, что позволяла, исходя из состояния системы в определенный момент времени, заранее рассчитать будущее движение системы. Представление о том, что природа в принципе устроена именно таким образом, в наиболее общей и наиболее понятной форме выразил Лаплас: если вообразить некое божественное существо, которое знает положение и движение всех атомов в данный момент времени, то оно должно было бы быть в состоянии вычислить заранее все будущее мира³¹. Столь узкую интерпретацию понятия причинности называют также детерминизмом, имея в виду, что существуют неколебимые законы природы, согласно которым настоящее состояние системы однозначно предопределяет ее будущее состояние.

Атомная физика с самого начала выработала представления, по сути дела *не* соответствующие такой картине. Противоречие было непринципиальным, но свойственный атомистическому учению образ мышления с самого начала неизбежно отличается от детерминистского. Уже в древнем атомизме Левкиппа и Демокрита предполагается, что процессы на макроуровне осуществляются как результат множества нерегулярных процессов на микроуровне. В пользу принципиальной возможности этого говорят бесчисленные примеры из повседневной жизни. Земледельцу, к примеру, довольно знать, что прошел дождь и почва

увлажнилась, и нет нужды знать, кроме того, как упала каждая капля. Или другой пример: мы точно знаем, что разумеем под словом «гранит», даже если нам в точности и неизвестны форма и химический состав отдельных кристалликов, пропорция их смеси и цвет. Словом, мы то и дело пользуемся понятиями, связанными с макрохарактеристиками событий, не интересуясь отдельными микропроцессами.

Идея статистического взаимодействия множества отдельных микрособытий уже в античном атомизме служила основой объяснения мира, и в виде ее обобщения возникло представление о том, что все чувственные качества материи суть вторичные следствия расположения и движения атомов. Уже у Демокрита есть такое утверждение: «Только по видимости нечто сладко или горько, только по видимости оно имеет цвет, в действительности же существуют только атомы и пустота»³². Если мы объясняем чувственно воспринимаемые процессы таким способом, а именно взаимодействием очень многих единичных микропроцессов, мы почти с необходимостью должны считать и закономерности природы только статистическими закономерностями. Хотя статистические закономерности и могут привести к утверждениям, степень вероятности которых столь высока, что она граничит с достоверностью, тем не менее принципиально всегда возможны исключения.

Понятие статистической закономерности часто кажется противоречивым. Можно, говорят, представить себе, что в природе процессы закономерно определены или же что они совершенно неупорядочены, но нельзя представить себе, что такое статистическая закономерность. В ответ на это следует напомнить, что в повседневной жизни мы сталкиваемся со статистическими закономерностями на каждом шагу и кладем их в основание нашей практической деятельности. Когда инженер, например, строит электростанцию, он учитывает среднегодовое количество осадков, не имея ни малейшего представления о том, когда именно пойдет дождь и сколько выпадет осадков.

Статистические закономерности, как правило, означают, что знание соответствующей физической системы неполно. Самый известный пример — игральная кость. Поскольку ни одна из ее граней не отличается от других и мы никоим образом не можем предсказать, на какую грань она упадет, можно принять, что в случае очень большого числа бросаний выпадение, например, пятерки как раз составит шестую их часть.

В эпоху Нового времени с самого начала делались попытки объяснить — не только качественно, но и количественно — поведение веществ как статистический результат поведения их атомов. Уже Роберт Бойль показал, что можно понять отношение между давлением и объемом газа, если считать давление результатом множества ударов отдельных атомов о стенку сосуда. Подобным же образом допущение, что в горячем теле атомы движутся интенсивнее, чем в холодном, позволило объяснить термодинамические явления. Этим представлениям удалось придать количественную математическую форму, прояснив тем самым смысл законов учения о теплоте.

Такое применение статистических закономерностей обрело окончательную форму во второй половине предыдущего столетия в так называемой статистической механике. В этой теории, основоположения которой представляют собой, конечно же, простые следствия ньютоновской механики, исследовались те выводы, которые можно сделать из неполного знания сложной механической системы. В принципе, следовательно, никто не отказывался от чистого детерминизма. Считалось, что каждое единичное событие полностью определено законами ньютоновской механики. Но кроме того, принимали во внимание, что механические свойства системы известны не полностью. Выразить такого рода неполное знание в надлежащих математических формулах удалось Дж. Гиббсу и Л. Больцману. Гиббс, в частности, показал, что понятие температуры тесно связано как раз с неполнотой знания.

Если мы знаем температуру некоторой системы, это значит, что наша система является одной из множества равноправных систем. Такое множество систем можно описать математически точно, чего нельзя сделать с выбранной нами единичной системой. Тем самым Гиббс — не вполне осознанно, — по существу, уже сделал шаг, который позже повлек за собой крайне важные следствия. Гиббс впервые ввел такое физическое понятие, которое может быть отнесено к некоему предмету в природе лишь в том случае, если наше знание этого предмета неполно. Если бы, например, были известны движение и положение всех молекул газа, не было бы уже смысла говорить о температуре газа. Понятие температуры может использоваться только при условии, если система известна нам не полностью и из этого неполного знания мы хотим сделать статистические выводы.

Хотя после исследований Гиббса и Больцмана в фор-

мулировку физических законов стали аналогичным образом включать понятия, связанные с неполным знанием системы, тем не менее в принципиальных вопросах придерживались детерминизма. Так было до знаменитого открытия Макса Планка, с которого началась квантовая механика. Занимаясь теорией излучения, Планк обнаружил в явлениях излучения сначала только один элемент прерывности. Он показал, что излучающий атом теряет свою энергию не равномерно, а прерывно, толчками³³. Этот прерывный, скачкообразный характер излучения энергии, как и все прочие представления атомной теории, приводит к предположению, что излучение представляет собой статистический феномен. Но прошло два с половиной десятилетия, прежде чем обнаружилось, что квантовая теория фактически вынуждает даже законы формулировать как статистические законы и принципиально отойти от детерминизма.

После работ Эйнштейна, Бора и Зоммерфельда³⁴ теория Планка оказалась ключом, которым открывались ворота, ведущие в мир атомной физики. С помощью модели атома Резерфорда — Бора удалось объяснить химические процессы, и с тех пор химия, физика и астрофизика образуют тесно спаянное единство. Однако в процессе математической формулировки квантовомеханических законов стало ясно, что нужно отойти от чистого детерминизма. Поскольку я не могу здесь говорить об этих математических подходах, я просто приведу некоторые положения, выразившие ту странную ситуацию, в которой оказались атомные физики.

Первое, в чем сказывается отклонение от прежней физики, — это так называемые соотношения неопределенностей. Выясняется, что невозможно одновременно с произвольной точностью определить место и скорость атомной частицы. Можно либо с высокой точностью измерить местоположение, и тогда вмешательство измерительного инструмента в известной мере исключает точное знание скорости, либо же, наоборот, возможность точного знания местоположения уничтожается точным измерением скорости, так что произведение обеих неточностей не может быть меньше величины постоянной Планка. Эта формула делает, во всяком случае, ясным, что понятия ньютоновской механики не могут применяться без ограничений: ведь для вычисления механического процесса необходимо знать одновременно и с одинаковой точностью местоположение и скорость в определенный момент времени, но

именно это, согласно квантовой теории, и невозможно.

Другая формула была выработана Нильсом Бором, который ввел понятие «дополнительность»³⁵. Он имеет в виду, что разные наглядные образы, с помощью которых мы описываем атомные системы, вполне согласуясь с определенным экспериментом, тем не менее исключают друг друга. К примеру, боровский атом можно описать как планетную микросистему: в центре атомное ядро, а на периферии — вращающиеся вокруг него электроны. Но для других экспериментов было бы целесообразно представить себе, что атомное ядро окружено системой стоячих волн и частота волн имеет определяющее значение для характеристики испускаемого атомом излучения. Наконец, атом можно рассматривать также как предмет химии, можно посчитать тепловые характеристики реакций его соединения с другими атомами, но в таком случае уже нельзя ничего сказать о движении электронов. Следовательно, эти различные образы правильны в каждом случае, когда применение их уместно, но они противоречат друг другу, и поэтому их называют дополнительными друг другу. Неопределенность, которой отмечен каждый из этих образов и которая выражается соотношением неопределенностей, позволяет избежать логического противоречия между ними.

Этих замечаний вполне достаточно, чтобы, даже не вдаваясь в математический аппарат квантовой механики, понять, что неполнота знания о системе неизбежно оказывается неотъемлемой частью всякого квантовомеханического утверждения. Законы квантовой механики по необходимости имеют статистический характер. Приведу один пример. Мы знаем, что атом радия может испускать α -лучи. Квантовая механика позволяет определить, с какой вероятностью в единицу времени α -частица покидает ядро. Но момент времени, когда это произойдет, она предсказать не может, он остается принципиально неопределенным. Нельзя также предполагать, что впоследствии будут найдены новые закономерности, которые позволят точно определить этот момент времени: если бы это произошло, нельзя было бы понять, каким же образом α -частицу можно рассматривать еще и как волну, испускаемую атомным ядром, а это ведь можно доказать экспериментально.

Парадоксальность того обстоятельства, что различные эксперименты выявляют то волновую, то корпускулярную природу атомной материи, заставляет формулировать статистические закономерности. В макропроцессах статистический элемент атомной физики, вообще говоря, не играет

роли, поскольку статистические законы дают для этих процессов столь большую степень вероятности, что их можно считать практически детерминированными. Тем не менее существуют такие случаи, когда макроскопическое событие зависит от поведения одного или нескольких атомов. В таком случае и макропроцесс можно предсказать лишь статистически. Поясню это на одном известном, но малоутешительном примере, а именно на примере атомной бомбы.

В случае обычной бомбы вес взрывчатого вещества и его химический состав позволяют заранее рассчитать силу взрыва. Для атомной бомбы, хотя и можно указать верхнюю и нижнюю границы силы взрыва, точный расчет принципиально невозможен, поскольку она зависит от поведения нескольких атомов в момент детонации. Подобным же образом и в биологии существуют процессы — на них особо указывал Йордан³⁶, — развитие которых направляется событиями в отдельных атомах. В частности, это, по-видимому, имеет место в случае генетических мутаций в процессе наследования. Приведенные примеры должны были пояснить практические следствия статистического характера квантовой механики. Причем ее развитие в этом аспекте завершилось более двадцати лет назад, и будущее вряд ли сможет здесь что-либо существенно изменить.

Тем не менее в самые последние годы круг проблем, связанных с темой причинности, обогатился новой точкой зрения, возникшей, как я уже говорил, в связи с новейшими открытиями в атомной физике. Проблемы, стоящие теперь в центре внимания атомной физики, представляют собой логическое следствие развития физики за последние 200 лет. Я должен поэтому еще раз кратко остановиться на истории атомной физики в Новое время.

В начале Нового времени понятие атома было связано с понятием химического элемента. Вещество характеризовалось как первичное, если его нельзя было больше разложить химическими средствами. Поэтому каждому элементу сопоставляется определенный сорт атомов. Например, кусок элементарного углерода состоит из одних только атомов углерода, кусок элементарного железа — из одних только атомов железа. Поэтому необходимо было принять столько же видов атомов, сколько существовало химических элементов. Поскольку же было известно 92 разных химических элемента³⁷, нужно было предположить существование 92 различных видов атомов. Но подобное представление весьма неудовлетворительно с точки зрения основ-

ной предпосылки атомистического учения. Ведь первоначально качества веществ должны были объясняться расположением и движением атомов. А такое представление имеет разумную объяснительную силу, собственно говоря, лишь в том случае, если все атомы одинаковы или же если число их видов весьма невелико. Если же необходимо допустить 92 качественно различных атома, мы выиграем не слишком много по сравнению с утверждением, что существуют просто качественно разные вещи.

Вот почему допущение 92 принципиально разных мельчайших частиц издавна казалось неудовлетворительным. Предполагалось, что должна существовать возможность свести эти 92 вида атомов к меньшему числу составляющих их элементарных частей. Давно уже пытались поэтому рассматривать химические атомы как состоящие из многих первичных единиц. Древнейшие попытки превращения химических веществ друг в друга всегда исходили из той предпосылки, что в основе своей материя едина. За прошедшие 50 лет в самом деле обнаружилось, что химические атомы составлены, причем составлены только из трех первичных единиц, которые мы называем протонами, нейтронами и электронами.

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов и окружено некоторым числом электронов. Так, например, ядро атома углерода состоит из шести протонов и шести нейтронов и вокруг него на относительно большом расстоянии вращаются шесть электронов. Итак, развитие ядерной физики в 30-е годы привело к тому, что вместо 92 различных видов атомов появилось три разных типа мельчайших частиц. В результате атомистическое учение вступило на тот самый путь, который предписывали ему его фундаментальные предпосылки. После того как было установлено, что химические атомы состоят из трех основных единиц, должна была возникнуть возможность практически превращать химические элементы друг в друга. Как известно, за этим физическим объяснением вскоре последовала и техническая реализация. После того как в 1938 году Отто Ган открыл расщепление урана, последующее развитие техники позволило осуществлять превращение элементов в больших масштабах.

За последние 20 лет картина, впрочем, опять несколько запуталась. Уже в 30-е годы, помимо названных элементарных частиц — протонов, нейтронов и электронов, — были открыты новые, а за последние годы число этих новых частиц ужасающе разрослось. В противоположность трем

основным эти новые элементарные частицы нестабильны, т. е. способны существовать лишь весьма краткое время. Одни из этих частиц, которые мы называем мезонами, имеют продолжительность жизни около одной миллионной секунды, другие живут в течение сотой части этого времени, третий же сорт частиц, лишенных электрического заряда, живет в течение стобиллионной части секунды. За исключением нестабильности, новые элементарные частицы ведут себя совершенно так же, как и три стабильные первичные единицы материи.

На первый взгляд возникает впечатление, будто мы опять-таки оказались вынужденными допустить большое число качественно различных элементарных частиц, а это было бы крайне нежелательно в связи с основными предпосылками атомной физики. Но в экспериментах, проведенных в последние годы, выяснилось, что элементарные частицы могут превращаться друг в друга при соударении с затратой больших энергий. Когда встречаются две элементарные частицы с большой кинетической энергией, при их соударении возникают новые элементарные частицы — исходные частицы и их энергия превращаются в новую материю. Это обстоятельство можно проще всего описать, если мы скажем, что все частицы в принципе состоят из одного вещества, представляя собой лишь разные стационарные состояния одной и той же материи. В результате число 3, число первоэлементов, вновь сводится к числу 1. Существует одна-единственная материя, но она может находиться в различных дискретных стационарных состояниях. Одни из этих состояний стабильны — это протоны, нейтроны и электроны; множество же других нестабильны³⁸.

Хотя экспериментальные результаты последних лет вряд ли дают повод сомневаться в том, что атомная физика будет развиваться в этом направлении, до сих пор еще не удалось определить математически закономерности образования элементарных частиц. В настоящий момент атомная физика как раз занимается этой проблемой. Она решает ее как экспериментально — путем открытия новых частиц и исследования их свойств, — так и теоретически, стараясь законосообразно связать свойства элементарных частиц и записать их в математических формулах.

В этих попытках и всплыли те трудности с понятием времени, о которых я говорил выше. Изучая соударения элементарных частиц предельно высоких энергий, следует принимать в расчет пространственно-временную структуру

специальной теории относительности. В квантовой теории атомных оболочек эта пространственно-временная структура не играет существенной роли, потому что электроны атомных оболочек движутся относительно медленно. Здесь же имеют дело с элементарными частицами, движущимися почти со скоростью света. Их поведение можно, следовательно, описать только с помощью теории относительности. Эйнштейн пятьдесят лет назад обнаружил, что структура пространства и времени не столь проста, как мы представляем ее на основании повседневного опыта. Если мы называем прошлыми все те события, о которых мы можем, хотя бы в принципе, что-либо узнать на опыте, а будущими — те, на которые мы еще можем, хотя бы в принципе, воздействовать, то мы полагаем — в соответствии с нашим наивным представлением, — что между этими двумя группами находится бесконечно краткий момент, который можно назвать настоящим. Именно такое представление Ньютон и положил в основу своей механики.

После того открытия, которое Эйнштейн сделал в 1905 году, мы знаем, что между событием, названным мной будущим, и событием, названным мной прошлым, лежит конечный временной промежуток, величина которого зависит от пространственного расстояния между событием и наблюдателем³⁹. Сфера настоящего не ограничивается, следовательно, бесконечно малым моментом времени. Теория относительности исходит из предпосылки, что действия в принципе не могут распространяться со скоростью, превышающей скорость света. Эта особенность теории относительности, взятая в связи с соотношениями неопределенностей квантовой механики, приводит к затруднениям. Согласно теории относительности, действия могут распространяться только в строго ограниченной пространственно-временной области, в так называемом световом конусе, образованном теми пространственно-временными точками, которых достигает световая волна, исходящая из некоторого излучающего центра. Следует особо подчеркнуть, что эта пространственно-временная область имеет строго определенные границы. Квантовая механика выяснила, с другой стороны, что результатом строгого установления местоположения, а значит, и строгого пространственного ограничения является бесконечная неопределенность скорости, а стало быть, и импульса, и энергии. Практически это обстоятельство сказывается в том, что попытка математической формулировки взаимодействия элементарных частиц всегда приводит к бесконечным значениям энергии и

импульса, а это препятствует удовлетворительному математическому описанию ⁴⁰.

В последние годы в связи с этими трудностями было предпринято немало исследований, однако вполне удовлетворительного решения дать не удалось. Единственной опорой кажется пока следующее допущение: в предельно малых пространственно-временных областях, порядок величины которых тот же, что и у элементарных частиц, пространство и время странным образом исчезают, а именно: для столь малых времен уже нельзя правильно определить сами понятия «раньше» и «позже». Разумеется, пространственно-временная структура в целом несколько не меняется, однако приходится считаться с возможностью, что в экспериментах с процессами, протекающими в крайне малых пространственно-временных областях, обнаружится, что некоторые из них протекают в направлении времени, как бы обратном тому, которое соответствует их каузальной последовательности.

Здесь, таким образом, новейшие результаты атомной физики вновь оказываются связанными с проблемой закона причинности. В настоящий момент, правда, нельзя решить, сталкиваемся ли мы тут опять с новыми парадоксами и отклонениями от закона причинности. Может случиться, что при попытках математической формулировки законов физики элементарных частиц откроются другие возможности избежать названных трудностей. Но уже сейчас вряд ли можно сомневаться в том, что развитие новейшей атомной физики в этом пункте еще раз вторгнется в сферу философии. Окончательный ответ на поставленные только что вопросы можно будет дать только в том случае, если удастся установить действующие в сфере элементарных частиц математические законы — если, к примеру, мы узнаем, почему протон именно в 1836 раз тяжелее электрона ⁴¹.

Отсюда явствует, что атомная физика все больше отделяется от детерминистских представлений. Во-первых, потому, что атомистическое учение с первых шагов рассматривает законы, определяющие макроскопические процессы, как статистические. Во-вторых, потому, что в первой половине нашего столетия неполнота знания атомных систем была признана принципиальным элементом теории. В-третьих, потому, что в самые последние годы понятие временной последовательности оказалось проблематичным в применении к пространствам и временам предельно малых масштабов, хотя мы пока не можем сказать, как же будет решена эта загадка.

Роль физики элементарных частиц в развитии современного естествознания ⁴²

Нет необходимости говорить о том, что физика элементарных частиц играет в современной науке очень важную роль. Свидетельством тому — и большое количество физиков, занятых исследованиями в данной области, и огромные бюджеты национальных и международных учреждений, предоставляющих испытательные установки для физических исследований. В сегодняшнем докладе я поэтому ставлю перед собой следующие цели: подробнее проанализировать эту роль; проследить конкретные связи между физикой частиц и другими ветвями физики или другими науками; выяснить причины и следствия появления данной сферы деятельности в рамках так называемой большой науки; наконец, бросить взгляд на результаты, достигнутые за последние десятилетия, и сделать из них выводы, касающиеся понятийной структуры нашей науки.

Когда в начале нашего столетия работы Резерфорда и Бора впервые позволили заглянуть в строение атома, было нетрудно догадаться, что достижение понимания электронных оболочек атома будет иметь крайне важные последствия для многих областей физики и для науки вообще. Выявилась основа, на базе которой удалось объяснить поведение материи в ее различных формах (твердое тело, жидкость, газ), осмыслить такие специфические свойства, как кристалличность, электропроводность, упругость твердых тел или сверхтекучесть жидкостей, и дедуцировать цвет газов в разрядных трубках из траекторий электронов внутри атома. Обширный материал, собранный химиками в процессе изучения молекул, свойств химических соединений и механизмов их реакций, ожидал анализа и интерпретации в свете этих новых знаний об атоме. На повестке дня стояло их широкое практическое применение, и действительно, после 1930 года, когда мы поняли поведение

* © Die Rolle der Elementarteilchenphysik in der gegenwärtigen Entwicklung der Naturwissenschaft. R. Piper und Co., Verlag, München 1977.

внешних частей атома, эти познания принесли богатые плоды в физике твердого тела, при исследовании низких температур и в астрофизике.

Первые шаги ядерной физики *не* сопровождались подобными ожиданиями. В большинстве своих проявлений — если не считать радиоактивности — ядро атома предстает неизменной единицей, и даже в середине 30-х годов многие сомневались в возможностях технического применения ядерной физики. Лишь когда Вейцзеккер и Бёте доказали, что звезды — это гигантские атомные печи, а Отто Ган открыл расщепление урана⁴³, расчистился путь для последовавшего затем невероятно ускоренного технического развития.

Можно ли ожидать аналогичных последствий в случае физики элементарных частиц? По причинам, относящимся к истории науки, мы пользуемся термином «элементарные частицы» — насколько вообще им пользуемся — применительно к объектам с барионным числом 1 или 0, с зарядом 1 или 0 и с лептонным числом 1 или 0⁴⁴; поведение именно этих частиц всесторонне исследовалось за последние 20 лет. В большинстве природных феноменов эти частицы выступают, подобно ядру, как неизменные единицы, и лишь с помощью гигантских ускорителей мы можем деформировать их, превратив в весьма нестабильные объекты, которые распадаются в конце концов на небольшое число стабильных объектов, известных нам как электроны, протоны, фотоны и нейтрино. Диапазон их технического применения кажется небольшим. Естественно, мы в состоянии комбинировать эти объекты друг с другом, получая более крупные соединения, вызывать таким путем реакции, добывать энергию, однако все эти процессы уже хорошо известны в ядерной или атомной физике.

Прежде всего поставим вопрос о том, какие взаимосвязи существуют между основательным изучением физики элементарных частиц и другими отраслями нашей науки. Эксперименты двух последних десятилетий привели к созданию довольно-таки непротиворечивой картины мира элементарных частиц. Когда на большом ускорителе сталкиваются две частицы очень высоких энергий, результат их столкновения не следовало бы называть делением столкнувшихся частиц. В действительности тут происходит рождение новых (большей частью нестабильных) частиц из кинетической энергии сталкивающихся объектов согласно законам специальной теории относительности. Энергия превращается в материю, принимая форму частиц.

Спектр частиц, которые здесь могут возникнуть, столь же сложен, как спектр стационарных состояний атомов, молекул или ядер. Частицы, точно так же, как атомы или молекулы, характеризуются квантовыми числами, иначе говоря, характеризуются своей симметрией, своим поведением при фундаментальных преобразованиях. Поэтому область физики частиц уместно сравнить с областью химических реакций в газах. И там, и здесь требуется знание об очень многих отдельных объектах — в одном случае о молекулах, в другом о частицах — и о том, какая реакция происходит при их столкновении. За последние 20 лет собрано множество данных об элементарных частицах; попробуем осмыслить значимость этих данных для других областей науки.

Начнем с теоретической стороны картины. Как методы, так и результаты здесь потенциально важны для других научных областей. Методы анализа процессов, наблюдаемых в физике частиц, аналогичны методам, применяемым при изучении реакций между атомами, молекулами или электронами, скажем, в квантовой химии. Методы эти принадлежат к теоретической области, которую называют физикой многих тел, и каждый успех, достигаемый в физике частиц, может оказаться полезным в данной области, например при изучении химических реакций или при исследовании поведения твердых тел в возбужденных состояниях. И наоборот: эти возбужденные состояния, именуемые поляронами или экситонами, являют в нерелятивистской теории поля наилучший аналог процессов, которыми занята физика частиц. Между двумя этими областями происходит поэтому плодотворный обмен идеями⁴⁵.

Что касается результатов, то важнейших приложений наших познаний физики частиц следует, по-видимому, ожидать в области ядерной физики. Силы взаимодействия между протоном и нейтроном как составными частями ядра пока еще недостаточно изучены. Существуют феноменологические описания этих сил, в какой-то мере соответствующие расчетам стационарных состояний ядер; но уже определить силы взаимодействия между тремя телами удастся лишь с гораздо меньшей точностью. Эти силы, по-видимому, в значительной степени возникают вследствие обмена частицами, прежде всего бозонами (π -мезонами, ρ -мезонами и т. д.)⁴⁶, так что изучение частиц и их взаимодействия расширяет наше знание внутриядерных сил.

В этой связи представляется вероятным будущее влия-

ние физики частиц на астрофизику. Как известно, новейшие наблюдения показали, что существуют звезды чрезвычайно высокой плотности, вещество которых на величину порядка 10^{15} плотнее материи в ее нормальном состоянии. Эти звезды, так называемые пульсары или нейтронные звезды, состоят, по-видимому, из нейтральной ядерной материи. Взаимодействия, обуславливающие физические свойства материи таких звезд, должны быть аналогичны взаимодействиям внутри атомных ядер, если отвлечься от гравитации, которая играет решающую роль внутри звезд, но не внутри ядер. У звезд с массой, значительно превышающей массу Солнца, следует ожидать более сильного сжатия вследствие гравитации, а это значит, что ядерная физика не может дать никакой информации о внутренней структуре материи такой плотности. Но если полностью проявятся законы природы, на которых основывается существование элементарных частиц, то знание этих законов предоставит, возможно, достаточную информацию об условиях внутри таких астрофизических объектов, включая и знаменитые черные дыры.

Итак, физика частиц имеет интересные области применения в физике твердого тела, в ядерной физике и в астрофизике, и все же применений этих недостаточно, чтобы объяснить огромный интерес людей к физике частиц и затрачиваемые на нее огромные усилия. Как раз в последние годы поднят вопрос о том, не могут ли законы природы, с помощью которых интерпретируется поведение частиц, служить универсальной базой для всех ветвей физики, т. е. не идет ли здесь речь о фундаментальном законе. Собственно говоря, атомная физика, или учение об атоме, с самого начала ставила себе целью выявление фундаментальных законов, которые позволили бы достичь понимания природы. К данному аспекту проблемы я хотел бы вернуться в последней части своего доклада, а пока остановлюсь на грандиозной экспериментальной и технической работе в области физики элементарных частиц.

С экспериментальной точки зрения физика частиц есть естественное продолжение или расширение физики атома и физики ядра. На другие части атома, на его электронные оболочки, стоявшие в центре внимания физиков в начале 20-х годов, можно воздействовать с помощью незначительных сил. Электрические и магнитные поля позволяли вызвать изменения, зримо отражавшиеся в спектре атомов. Электроны, ускоренные в разрядной трубке при напряжении в несколько вольт, могли приводить атом в

возбужденное состояние, и излучавшийся таким атомом свет предоставлял ученому ценную информацию о динамической структуре оболочки. Соответственно тогдашние опыты проводились в небольших лабораториях с помощью оборудования, крайне дешевого в сравнении с инструментарием современных исследовательских институтов. Изучение атомного ядра с помощью такого оборудования оказалось невозможным. Чтобы привести ядро в возбужденное состояние, необходима энергия, примерно в миллион раз большая, чем та, которая используется для возбуждения электронных оболочек.

Поэтому Кокрофт и Уолтон сконструировали высоковольтную установку, или каскадный генератор, Лоуренс⁴⁷ построил циклотрон, и с помощью протонов, ускорявшихся под напряжением порядка миллиона вольт, удалось приводить атомные ядра в возбужденное состояние, превращать их в другие ядра и образовывать из них многие новые, нестабильные радиоактивные ядра. Параллельно изобретались новые инструменты для фиксации фрагментов ядра — разнообразные счетчики, камеры Вильсона, автоматически начинавшие действовать в начале процесса; разрабатывались новые методики замера столкновений. Таким путем ядерная физика стала важной отраслью науки в 30-е годы еще прежде того, как Отто Ган открыл расщепление урана, проторив дорогу неслыханному техническому развитию. Практические применения и их политические последствия смогли теперь, по крайней мере задним числом, послужить оправданием для крупных ассигнований, в которых нуждались ядерные исследования. Нет ничего удивительного в том, что ассигнования на ядерные исследования в США за годы войны возросли до миллиардов долларов и отношение общества к современной технологии радикально изменилось. Оставалась, правда, еще третья ступень, которую физики предвидели еще до войны.

В космическом излучении иногда обнаруживаются частицы с энергией, в тысячу и более раз превышающей энергии, потребные для превращения ядра. Столкновение подобных частиц могло привести к превращению или расщеплению даже тех объектов, которые считались элементарными частицами, последними неделимыми единицами материи, а именно протонов и электронов. Теоретические соображения позволяли предположить, что при столкновении двух элементарных частиц очень высоких энергий могут возникнуть новые частицы, а при известных обстоятельствах множество частиц, причем подобные процессы

не следует рассматривать как деление, расщепление или возбуждение частиц; здесь надо говорить о превращении энергии в материю. В предвоенных экспериментах с космическим излучением были получены некоторые результаты, ориентировавшие мысль ученых в этом направлении, но ни один эксперимент не дал недвусмысленных свидетельств в пользу возможности образования многих частиц.

В послевоенное время физики рассмотрели поэтому возможность постройки гигантских ускорителей в целях систематического исследования названных процессов. Для осуществления подобных планов требовались такие технические усилия и такие ассигнования, которые выходили далеко за рамки всего того, что запрашивалось ранее для финансирования фундаментальных исследований. Но, с одной стороны, американское правительство привыкло за годы войны ассигновывать очень большие суммы на ядерное исследование, а с другой — проблема мельчайших единиц материи представлялась столь важной и столь захватывающей, что работы в данной области начались без промедления. Известно, что в последующие два десятилетия строились все более крупные ускорители. Первым был космотрон в Брукхейвене с энергией ускоренных протонов на 3 ГэВ, затем вступили в строй беватрон в Беркли на 6 и новый ускоритель в Брукхейвене на 30 ГэВ, а также ускоритель Европейского центра ядерных исследований в Женеве; к ним присоединились русские машины в Дубне на 10 и в Серпухове на 70 ГэВ⁴⁸. В настоящее время наибольшие энергии достигаются на ускорителе «Батавия» и на накопительных кольцах в Женеве. Не берусь описывать почти невероятную точность и надежность, необходимую для обеспечения функционирования подобных установок, а также громадные технические мощности, потребные для их постройки. Можно только удивляться подвигу инженеров и физиков, решивших эти задачи.

По мере своего развития физика элементарных частиц стала составной частью того, что носит имя большой науки; и поскольку в нашем мире за все нужно платить, стиль экспериментальной физики в ходе этой экспансии поневоле должен был круто измениться. Признаться, перед лицом происшедших изменений я постоянно испытываю несколько беспокойное чувство, и мне поэтому хотелось бы подробнее разобраться в нем. Проблема не только в том, что стоимость большого ускорителя достигает миллиардов долларов и что его строительство растягивается на долгие годы. Для столь большого инженерного проекта тут нет

ничего необычного, и к изменению характера фундаментального исследования в физике это почти не имеет отношения. Подлинная проблема в том, что даже один-единственный эксперимент с таким ускорителем требует длительной фазы планирования, больших ассигнований и долгих лет работы большого количества участников. Лишь тогда есть шанс довести его до конца.

А теперь возвратимся ненадолго к прежним временам. Вспоминая об одном из ранних экспериментов лорда Резерфорда в Монреале в Университете Макгилла, Нильс Бор описал его следующим образом. Однажды, занятый исследованием поведения радиоактивных веществ, Резерфорд подумал, что при распаде радия должен возникать инертный газ, получивший позднее название радона, или эманации радия, и предположил, что удастся довести этот газ при очень низких температурах до жидкого состояния, сконцентрировать его таким путем и исследовать его свойства. Резерфорд заказал в Европе низкотемпературное оборудование, и, когда оно пришло морем в Монреаль, ни одному сотруднику института не было разрешено покидать здание до окончания эксперимента. Каждый был обязан помогать в монтаже установки, при подготовке счетчиков к работе и т. д., ассистентам велели работать всю ночь, и действительно, через 36 часов сжижение удалось, существование радона было доказано. Можете представить себе радость Резерфорда, когда он убедился, что его догадка верна, и удовлетворение ассистентов, сумевших ее непосредственно подтвердить.

Возьмем теперь для сравнения ситуацию в современной физике элементарных частиц. Семь лет назад один толковый молодой физик из нашего института нашел, что ускорительная установка одной из наших исследовательских групп в рамках ЦЕРН* обладает достаточными параметрами для замеров одной любопытной величины, соединения эта-мезонов с нуклонами. Важность этой величины объяснялась тем, что теоретики давали ей очень разную оценку, а потому она имела значение при выборе той или иной теоретической интерпретации. Докладной записке, составленной молодым физиком в октябре 1967 года, был дан ход, сам он вошел в состав исследовательской группы, и высказывалась надежда, что эксперимент удастся осуществить в течение года. Но прежде, как и полагается,

* CERN—Conseil Européen des recherches nucleaires, Европейский центр ядерных исследований.

надо было завершить другой эксперимент, начатый ранее.

Для этого эксперимента понадобилось гораздо больше времени, чем думали. Установка нуждалась в усовершенствовании, в монтаже новых счетчиков, без чего нельзя было положиться на надежность данных, и фактически прошло много лет, прежде чем эксперимент был завершен. Опыт, приобретенный за эти годы исследовательской группой, показывал, что для проведения предложенного молодым физиком нового эксперимента необходимо дальнейшее усовершенствование счетчиков. Сложилось мнение, что приступить к эксперименту немедленно было бы слишком рискованно. Более целесообразным признали пока видоизмененное продолжение прежнего эксперимента с целью испытания новой установки; этот план к тому же более соответствовал генеральной программе ЦЕРН. Распиренное повторение старого эксперимента опять-таки растянулось на несколько лет. В прошлом году предложение о новом эксперименте было подано наконец руководству ЦЕРН; существует определенная надежда, что в текущем году будет достигнуто положительное решение и эксперимент удастся провести в следующем году. Промежуток в восемь лет между возникновением идеи эксперимента и его завершением, пожалуй, превышает средний уровень, но шесть лет для большого ускорителя нужно, наверное, считать нормой. Само собой разумеется, что затраты времени на такого рода исследование вырастают для молодого и деятельного ученого в серьезнейшую проблему.

Другой проблемой является необходимость специализации. Проведение эксперимента на большом ускорителе требует разнообразнейшего оборудования, для создания и эксплуатации которого требуется каждый раз особый специалист. Физик, отвечающий за свой узел, полностью занят своей частью аппаратуры и почти не имеет времени задуматься об эксперименте и его цели, не говоря уже о теоретических вопросах физики частиц.

И наконец, решение об осуществлении или отвержении того или иного проекта никогда не принимается каким-то одним физиком. Поскольку за время доступа к одному из лучей ускорителя соперничают каждый раз несколько исследовательских групп, вопрос о приоритете вносится на разные комиссии. Но ведь идеи исходят от конкретных физиков, у комиссий идей нет. Ответственная комиссия всегда будет тяготеть к продолжению линии, зарекомендовавшей себя в прошлом, избегая новшеств и риска, связанного с новыми идеями.

Все это совершенно неизбежно, таковы непреложные последствия того факта, что физика элементарных частиц стала составной частью большой науки. Приходится мириться с создавшимся положением вещей. Но обо всем этом нам следовало бы помнить, когда мы, скажем, в качестве советников нашего правительства даем оценку бюджетных ассигнований на различные области науки. Организация научного исследования — важная задача в любом современном государстве, и видным физикам очень часто приходится давать советы своим правительствам в деле вынесения решений о приоритетах. Финансовые средства на постройку и эксплуатацию большого ускорителя сопоставимы со средствами, требующимися для основания и поддержания жизнедеятельности нового университета. Само собой разумеется поэтому, что, прежде чем выносить решение, надо взвесить многие факторы отчасти политического, отчасти научного свойства. Рассмотрю некоторые из них.

Прежде всего — интернациональный характер физики элементарных частиц. Вряд ли в какой-либо другой научной области международное сотрудничество было столь необходимым и столь успешным. Отсутствие прямого технического применения защищает эту область от примеси экономических или национальных интересов. Поэтому распределение высокой стоимости ускорительной лаборатории между целым рядом государств оказывается нетрудным делом, и научная жизнь в международном учреждении весьма способствует взаимопониманию между физиками, инженерами и управленческими служащими из разных стран. Европейский центр ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве представляется мне наиболее плодотворной международной организацией этого рода.

Подобная интернациональная лаборатория может одновременно действенно способствовать прогрессу в специальных областях науки и техники, стимулируя этот прогресс в каждой из стран-участниц. Экспериментирование в физике элементарных частиц невозможно без самой усовершенствованной технологии, и тем самым оно косвенно служит делу разработки этой технологии. Но не нужно только преувеличивать эту пользу, технический «побочный эффект» крупных ускорителей. Всякая отрасль «большой науки» даст аналогичный результат, только, может быть, в других областях техники; так что это не аргумент в пользу высокого приоритета физики частиц.

Тенденция к концентрации исследований физики час-

тиц в крупных международных центрах влечет за собой, конечно, свои неудобства, связанные с продолжительностью экспериментов. Сотрудничество между университетами и исследовательскими институтами стран-участниц, с одной стороны, и международным центром — с другой, в нормальном случае должно было бы предполагать, что физики или исследовательские группы того или иного из национальных институтов систематически приезжают в этот центр для работы в течение одного-двух лет, проводят там свой эксперимент и возвращаются в свой институт, обогащенные опытом и научно-техническими знаниями. Но поскольку для проведения эксперимента обычно требуется шесть и более лет, то ситуация оказывается значительно сложнее. Физик, проживший с семьей шесть лет при международном центре, как правило, не хочет возвращаться домой. Он чувствует себя как дома в своем новом окружении, его дети ходят там в школу, возможности для научной работы в центре лучше, чем в его старом университете. Современный уровень научной жизни центра поэтому часто не становится достоянием стран-участниц. Наоборот, страны-участницы нередко теряют своих одареннейших молодых ученых, уходящих в международный центр. Противодействовать такой утечке умов способна только высокая активность самих стран-участниц в деле развития физики частиц. В случае, когда национальный институт, располагающий пусть даже небольшим специализированным ускорителем, способствует повышению интереса к физике частиц, между этим институтом и международным центром начинается систематический обмен информацией, и зарубежные публикации института служат повышению престижа его страны. Однако подобный национальный институт опять-таки требует для себя обширных ассигнований.

Словом, в конечном счете мы опять возвращаемся к вопросу о том, действительно ли физика частиц является столь фундаментальной областью науки, что можно считать оправданными те большие материальные жертвы, которых она требует. О фундаментальном характере физики частиц я буду говорить в последнем разделе доклада; а сейчас я хочу рассмотреть лишь частный практический аспект проблемы, поставив вопрос: действительно ли мы получаем более фундаментальную, более существенную информацию, когда переходим ко все большим энергиям сталкивающихся частиц, то есть когда мы строим все более крупные ускорители? Почти всеми признается, что так

оно и должно быть. В прошлом переход к более высоким энергиям неизменно сопровождался раскрытием новых перспектив; почему же и в будущем не должно происходить то же самое? В заключение своего доклада я приведу некоторые аргументы в пользу того, что такой взгляд не обязательно верен. Впрочем, даже если этот взгляд будет разделяться всеми, экономические и социальные проблемы современного мира чрезвычайно затрудняют финансирование намного более крупных ускорителей, чем те, которые строятся сейчас. Мы можем поэтому исходить из того, что в ближайшее десятилетие физика частиц будет вынуждена целиком опираться на существующие и строящиеся в настоящее время машины; процессы с наиболее высокими энергиями будут создавать на накопительных кольцах женеvского ускорителя. Если результаты новых экспериментов пробудят интерес к еще более высоким энергиям, то материалом для исследований может пока служить космическое излучение, как это было в начале 50-х годов. Подобные эксперименты, по всей видимости, обойдутся дешевле, чем постройка еще более крупных ускорителей, хотя результаты, возможно, окажутся не столь надежными⁴⁹.

Некоторые физики вопреки всем экономическим, политическим и социальным препятствиям выступают за более крупные ускорители, сравнивая эти машины как характерную черту современного мира с египетскими пирамидами или со средневековыми соборами. Они утверждают, что гигантские монументы прошлого были воздвигнуты с целью выразить глубочайшую суть жизни общества, символизировать его отношение к высшей силе. Основополагающее для всякого общества истолкование мира, говорят они, достигало зримого присутствия в виде величественного символа. Точно так же и крупные ускорители нашего времени могут считаться символами нашего научного истолкования мира.

Можно ли вполне согласиться с аргументацией подобного рода? Разумеется, есть свидетельства того, что в наше время человеческое доверие начинает сосредоточиваться именно на науке. В медицине, сельском хозяйстве, технических областях мы вверяем себя науке, с ее объективностью и строгостью. Но вместе с тем мы ощущаем чрезмерную узость научного истолкования мира. Здесь упущены многие существенные элементы, составлявшие главное содержание старых религий. Наука проходит мимо них столь решительно, что становится трудно даже говорить

о них. Но беспокойство молодого поколения и многочисленные другие признаки внутренней тревоги явно указывают на присутствие какого-то пробела, подлежащего заполнению. Я не могу поэтому убедить себя в том, что рядовой человек станет воспринимать ускорительную установку, которая выглядит снаружи как еще один завод, в качестве символа своего истолкования мира; впрочем, может быть, я ошибаюсь.

Наверное, мы должны оставить эти вопросы открытыми и подумать лучше о том, в каком смысле физика элементарных частиц может считаться фундаментальной областью научного исследования. Атомная физика с самого начала поставила перед собою цель проникнуть сквозь наблюдаемые феномены к лежащим в их основе фундаментальным структурам, к пониманию природы. Исторический путь науки вел от химии к модели атома Бора — Резерфорда, от этого образа атома — к гипотезе, что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, и к той идее, что вся материя состоит из трех элементарных частиц — протона, нейтрона и электрона, наконец — к описанию спектра частиц, могущих возникнуть при превращении энергии в материю. На этом пути встречались свои неожиданности, приведшие к существенным изменениям в системе физических понятий, и мимо этих изменений нельзя пройти при обсуждении вопроса о том, добрались ли мы в физике частиц до фундаментальных структур и каковы эти структуры.

Первой ошеломляющей неожиданностью было ограничение применимости ньютоновской механики. До открытия Планком кванта действия все механические процессы описывались в понятиях классической механики и всегда понимались в ее духе. Однако объяснить по этой теоретической схеме невероятную стабильность атома было невозможно. Атом, строение которого нарушено внешними силами химической реакции, столкновениями в разрядной трубке или электромагнитным полем, рано или поздно всегда возвращается к одному и тому же нормальному состоянию. Планетная система электронов, вращающихся вокруг ядра, не могла бы быть способна к такому поведению. Этот факт явился отправной точкой для гипотезы Бора о дискретных стационарных состояниях; благодаря этой гипотезе квант действия Планка вошел составной частью в механику. После того как квантовая механика получила математическое оформление, слово «состояние» стало означать нечто иное, чем в прежней классической

механике. В прежней физике реакция системы на действие внешних сил, например в процессе наблюдения, однозначно определялась тем, что называли состоянием этой системы. В квантовой механике знание состояния системы позволяло вычислить лишь вероятность ее реакции. Изменение состояния во времени, как и в ньютоновской механике, описывалось с помощью динамического закона. Известные состояния при константных внешних условиях не подвержены изменениям во времени и называются поэтому стационарными состояниями; эти состояния характеризуются дискретными значениями энергии и определяются математически как собственные решения системы линейных уравнений. Понятие дискретных стационарных состояний весьма существенно изменило прежнее представление об атоме.

Согласно прежней концепции, атом представлял собой неизменяющуюся фундаментальную единицу материи. Но атом Бора в качестве дискретного стационарного состояния той или иной механической системы оказывался уже не неизменным. Внешние силы, столкновения, химические реакции разрушали его, хотя он восстанавливался с прекращением нарушающего воздействия. В ходе материальных взаимодействий атомы постоянно разрушаются и постоянно восстанавливаются. Это характерное поведение дискретных стационарных состояний связано в его математическом описании с их поведением при определенных симметрических преобразованиях. Если динамический закон, лежащий в основании системы, остается инвариантным при определенном преобразовании, например при вращении в пространстве, то математическое представление ее дискретного стационарного состояния будет равным образом представлением группы вращения и тем самым не будет предусматривать, в рамках данного динамического закона, изменений во времени. Эта взаимосвязь между дискретными стационарными состояниями и симметриями системы в годы, когда Бор формулировал свою гипотезу, не была, разумеется, столь же ясной, как теперь; она была открыта позднее в результате основательных исследований в области квантовой механики Вигнером⁵⁰ и математиками.

Из понимания этой особенности дискретных стационарных состояний был вначале сделан тот несколько скороспелый вывод, что химический атом есть не атом, а некая система из протонов, нейтронов и электронов и что именно эти элементарные частицы являются подлинно не-

изменными фундаментальными единицами материи. В отношении нейтронов это было не вполне справедливо, поскольку они распадаются на протоны, электроны и нейтрино, однако протоны и электроны казались настоящими элементарными частицами, и в течение определенного времени таким был всеобщий взгляд на вещи.

Следующей удивительной неожиданностью явилась электронная теория Дирака и открытие позитрона. В релятивистской теории квадрат энергии связан с квадратом импульса, и это квадратичное соотношение ведет к удвоению стационарных состояний; электрон дополняется позитроном. Поэтому под действием излучения могут образовываться пары электрон-позитрон. Позднее обнаружилось, что при радиоактивном распаде могут образовываться также пары электрон-нейтрино. Эти факты указывали на то, что даже электроны не являются неизменными единицами материи: они могут возникать и уничтожаться. Энергия может превращаться в материю, принимая форму частиц. Этот общий тезис подтвердился вскоре в ходе исследования высокоэнергетических столкновений между частицами. Сегодня мы знаем из многочисленных экспериментов с космическим излучением и из опытов, проведенных на крупных ускорителях, что при подобных столкновениях, как правило, возникает множество частиц, из которых большинство нестабильно, как, например, π -мезоны, K -мезоны или гипероны. Эти процессы не следует называть делением или распадом частиц; они демонстрируют превращение энергии в материю. Помимо стабильных частиц — протона и электрона, — эксперименты выявили очень сложный спектр нестабильных частиц, явно обладающих всеми признаками дискретных стационарных состояний в согласии с теорией Бора. Они характеризуются квантовыми числами, а это значит — симметриями; и точно так же, как возбужденное состояние атома водорода может распадаться на фотон в нормальное состояние атома водорода, π -мезон может распадаться на μ -мезон и нейтрино. В результате понятие неизменных единиц материи стало беспредметным; процесс деления утратил свой смысл, и каждую частицу мы вправе, если нам угодно, понимать как сложную систему. Протон можно считать состоящим из K -мезона и λ -гиперона, электрон — из π -мезона и нейтрино; они не более элементарны, чем атом водорода.

Вернемся же теперь с учетом всех этих сведений к нашему первоначальному вопросу о том, привела ли нас фи-

зика частиц к фундаментальным структурам, к подлинному пониманию природы. Ясно одно: к фундаментальным частицам она нас не привела. Спектр частиц столь же сложен, как таблица химических элементов. Конечно, можно сказать, что протоны и электроны в нашей части Вселенной играют по сравнению с прочими частицами доминирующую роль; точно так же можно сказать, что молекулы воды важнее, чем многочисленные другие молекулы. Но никакого фундаментального различия тут выявить не удастся. Обсуждалась еще и другая возможность, а именно та, что будущие эксперименты с еще более высокими энергиями позволят обнаружить новые частицы, например кварк с зарядом $\frac{1}{3}$, которые окажутся более фундаментальными, чем остальные. Но ведь и эти частицы тоже будут подвержены превращениям материи в энергию и наоборот, так что неясно, в каком смысле их можно будет считать более фундаментальными⁵¹.

Здесь, как мне кажется, следует ненадолго возвратиться к вопросу о том, должны ли мы строить все более крупные ускорители. Разумеется, нельзя исключить той возможности, что при экспериментировании с более высокими энергиями нас встретят новые неожиданности, например обнаружится новый тип каскадов или частиц. Следует, впрочем, иметь в виду, что наши сегодняшние знания не дают ни малейших оснований ожидать чего-либо подобного. Наоборот, имеющиеся факты вполне позволяют заключить, что на накопительных кольцах Женевского ускорителя уже достигнута асимптотическая область; и даже в космическом излучении, энергия которого достигает 10^5 ГэВ, не наблюдается никаких необычных явлений⁵². Из наших сегодняшних экспериментальных знаний вытекает непротиворечивая картина, и эта картина, похоже, допускает единую, без натяжек, теоретическую интерпретацию связей, существующих между различными силами и частицами, между сильными, электромагнитными и слабыми взаимодействиями и гравитацией.

И снова зададимся вопросом о том, сумела ли физика частиц открыть фундаментальные структуры природы. Мне кажется, мы вправе сказать, что были открыты фундаментальные симметрии. Под этим выражением, «фундаментальные симметрии», имеется в виду, что закон природы, от которого зависят спектр частиц и их взаимодействие, является инвариантным при известных группах преобразований. Этими группами определяется все пространство, в котором разворачивается реальный мир. Важнейшие

группы — это, по-видимому, Лоренцова группа, определяющая пространство и время, группа SU_2 , относящаяся к электромагнитным явлениям, и масштабная группа, описывающая асимптотические явления при очень высоких энергиях. В физике частиц мы фактически исследуем структуру этих групп, и ее следует считать фундаментальной. Столь радикальное изменение понятийной системы науки — от фундаментальных частиц к фундаментальным симметриям — не всем приходится по душе; люди слишком привязаны к вопросам типа «Из чего же в конце концов состоит материя?» или «Можно ли расщепить протон при столкновении частиц очень высоких энергий?». Я считаю, однако, что эксперименты окончательно выявили бессмысленность подобных вопросов. В отличие от этого поиски фундаментальных симметрий — вполне осмысленная задача, хотя она и кажется чересчур абстрактной. Окончательные ответы мы получим только после экспериментального и теоретического изучения многочисленных конкретных подробностей явлений; и эта работа ведется в крупных физических лабораториях.

Что касается роли данной отрасли физики в рамках современной науки, то итоговый вывод из всего сказанного должен звучать, по-видимому, следующим образом: физика частиц информирует нас, строго говоря, о фундаментальных структурах природы, а не о фундаментальных частицах. Эти структуры намного более абстрактны, чем нам казалось 50 лет назад, однако понять их возможно. В грандиозном напряжении, с каким наша эпоха работает в этой области, позволительно видеть выражение человеческого порыва проникнуть в интимнейшую суть вещей. Я не виноват, если эта суть не материальной природы, если нам приходится иметь тут дело скорее с идеями, чем с их материальным отображением. Во всяком случае, нам следовало бы попытаться понять эту суть.

Космическое излучение и фундаментальные проблемы физики ^{53*}

Исследование космических лучей расширило наше понимание фундаментальных вопросов физики, поскольку обнаружилось, что ранее употреблявшиеся понятия имеют лишь ограниченную область применения. Предоставляя сведения о поведении материи в самых малых (элементарные частицы) и в самых больших масштабах (Вселенная), они как нельзя лучше способствовали переосмыслению повседневных понятий, применяющихся в физике, и подтолкнули физиков к поискам новых понятий.

С самого своего открытия примерно 60 лет назад космическое излучение играет очень заметную роль в развитии физики. От первых известий о лучах, приходящих на Землю из космического пространства, захватывающе интересная история вела к обнаружению в их составе высокоэнергетических частиц, новых частиц с неожиданными свойствами, новых фундаментальных симметрий в законах природы, в конечном счете — к обогащению наших знаний об остаточной материи и магнитных полях в межзвездном пространстве, а также о возможных источниках космического излучения. Не стану, однако, проследживать здесь исторический ход событий. Ограничусь в своем докладе теми фундаментальными проблемами физики, на которых более или менее существенно сказался рост наших сведений о космических лучах. Какова связь между этим весьма специальным разделом физики и фундаментальной проблематикой, затрагивающей первые основания всей нашей науки? Взаимодействие между ними впервые наметилось в начале 30-х годов, когда космическое излучение сыграло видную роль в одном из значительнейших физических открытий нашего века, открытии позитрона. Само по себе это открытие было сделано, собственно говоря, не в ходе работы над космическим излучением; создавая свою теорию электрона, Дирак предсказал существование поло-

* © Kosmische Strahlung und fundamentale Probleme in der Physik. R. Piper und Co., Verlag, München 1977.

жительно заряженного антипода электрона. Однако первые убедительные факты, подтверждающие это, были установлены Андерсоном, а также Блэкетом и Оккиалини именно на материале космического излучения⁵⁴. Первые снимки каскадов в камере Вильсона, в которой фотоны порождали пары «электрон-позитрон», а эти частицы при прохождении через материю снова порождали фотоны, предоставили несомненное доказательство существования позитронов и правильности теории Дирака. Вскоре затем удалось наблюдать позитроны и в ядерных процессах; я имею в виду бета-распад.

Следовало бы, пожалуй, добавить несколько слов о принципиальном значении этого открытия. Вплоть до того времени физики придерживались — можно сказать, более или менее бессознательно — взглядов древнегреческого философа Демокрита. Считалось, что если без конца делить материю, то мы в конечном счете остановимся на ее мельчайших частицах, уже не поддающихся дальнейшему делению, почему им и дали название «атомы». Атомы трактовались как неделимые, неизменные единицы материи, как кирпичики, из которых вся она построена; что касается ощутимых свойств разных видов материи, считалось, что они обусловлены относительным положением и движением атомов, или, как мы теперь сказали бы, элементарных частиц. Вся эта картина, какою бы правдоподобной она ни казалась, была полностью разрушена теорией Дирака и ее последствием — открытием позитрона. Суть дела заключалась не столько в существовании новой, дотоле неизвестной частицы — позднее была обнаружена масса новых частиц без каких-либо серьезных последствий для оснований физики, — сколько *в открытии нового типа симметрии*, сочетания частицы с античастицей, что было тесно связано с Лоренцовой группой специальной теории относительности и с превращением энергии в материю и наоборот. В нерелятивистской физике число частиц любого рода являлось константой движения, подобно энергии или импульсу. В релятивистской физике число это уже нельзя было считать надежным квантовым числом. Атом водорода, к примеру, не обязательно состоит из протона и электрона; его можно считать состоящим из одного протона, двух электронов и одного позитрона, хотя эта последняя конфигурация вносит лишь незначительную релятивистскую поправку в полную волновую функцию водорода. Одним из следствий этой ситуации явилось предположение, что при высокоэнергетическом столкновении двух

частиц может возникнуть большее число новых частиц, в принципе любое, ограниченное лишь законом сохранения энергии, импульса, изоспина и т. д. Это предположение также удалось подтвердить на космическом излучении.

Собственно говоря, уже в конце 30-х годов Блэй и Вамбахер обнаружили на фотографических пластинках, засвеченных космическим излучением высоко над поверхностью Земли, так называемые «звёзды» — процессы, при которых из определенной точки пластины исходило большое число следов. По-видимому, то или иное атомное ядро подвергалось удару частицы с очень высокой энергией и под ее напором излучало целый ряд различных частиц. Интерпретировать эти «звёзды» было непросто, поскольку началом процесса мог оказаться род каскада в ядре наподобие хорошо известного электронно-позитронного каскада, сопровождающегося испарением ядра. Полученные результаты не являлись поэтому прямым доказательством порождения многих частиц при столкновении всего лишь двух частиц; догадка оставалась пока догадкой. Но с течением времени эксперименты с космическими лучами удалось усовершенствовать, и спустя 15 лет факт порождения многих частиц был определенно доказан.

Эти данные означали, что понятия «делится» и «состоит из» имеют ограниченную область применения. Как в теории относительности понятие «одновременно» или в квантовой механике понятия «положение» и «скорость» применяются лишь с характерными ограничениями, утрачивая свой смысл при некритическом употреблении не в том контексте, точно так же и понятия «деление» и «состав» имеют корректный смысл только в строго определенных ситуациях. Лишь когда элементарная частица распадается вследствие воздействия на нее малых энергий на две или более части, масса покоя которых в сравнении с этими малыми энергиями очень велика, мы имеем право говорить, что данная элементарная частица состоит из этих частей, может распадаться на них. Во всех прочих случаях слова «делится» или «состоит из» не имеют четкого смысла. При столкновении двух частиц высоких энергий происходит, по сути дела, создание новых частиц из кинетической энергии. Энергия становится материей, принимая форму элементарной частицы. Впрочем, различие между элементарной частицей и составленной из частиц системой опять-таки лишено четкого смысла. Частицы суть стационарные состояния физической системы «материя». Все эти очень важные и принципиальные выводы

были получены на экспериментальной базе исследования космических лучей.

Другим интересным результатом исследования космических лучей было открытие мюонов, или мю-мезонов, Неддермайером и Андерсоном в 1937 году. Вначале этот объект был ошибочно принят за частицу, которую Юкава предсказал как материальный носитель сильного взаимодействия между нуклонами. Но вскоре выяснилось, что взаимодействие мю-мезонов с тяжелыми частицами — протоном и нейтроном — слишком невелико, что мю-мезон не может считаться причиной сильного взаимодействия внутри ядра. Мю-мезон оказался чем-то вроде более тяжелого родственника электрона, отличаясь от этого последнего только своей более крупной массой. Открытие мю-мезонов не привело к столь же фундаментальному изменению в основаниях физики, как открытие позитрона. Однако оно выявило один интересный факт, касающийся спектра частиц. Этот спектр распадается на *две очень слабо связанные системы термов* — адроны и лептоны. Подобные слабо связанные системы термов хорошо известны из наблюдения оптических спектров атомов. Аналогичны ли причины такого распределения в обоих случаях, остается пока еще открытым вопросом. Мю-мезоны наряду с нейтрино представляют собой наиболее проникающую часть космического излучения и играют поэтому важную роль при определении интенсивности космического излучения в зависимости от высоты в атмосфере.

Стоило бы упомянуть еще и о другом, поистине примечательном случае, когда мю-мезоны способствовали прояснению фундаментальнейших вопросов. Незадолго перед войной теория относительности не признавалась политическими правителями в нашей стране, причем идея замедления времени при движении тел критиковалась как абсурд и как чисто теоретическая спекуляция. Проходили даже специальные разбирательства по вопросу о том, следует ли преподавать теорию относительности в университетах. На одном из таких обсуждений я выступил с предположением, что время распада мю-мезонов должно зависеть от скорости этих последних; мю-мезоны, скорость движения которых приближается к скорости света, распадаются медленнее тех, чья скорость меньше, — такое предсказание позволяла сделать теория относительности. Предсказание экспериментально подтвердилось; замедление времени удалось непосредственно пронаблюдать, и тем самым путь для университетских лекций о теории относительности был

расчищен. Я остался навсегда благодарен мю-мезонам за эту поддержку.

Вскоре после войны Пауэлл в Бристоле открыл пи-мезон, играющий очень важную роль в большинстве феноменов космического излучения. Этот объект удовлетворяет всем условиям, которые Юкава сформулировал для материального носителя сильного взаимодействия; как выяснилось позднее, он был не единственной частицей этого рода, но в качестве адрона с наименьшей массой он был вскоре обнаружен почти во всех процессах очень высоких энергий. К тому же пи-мезон распадается на один мю-мезон и одно нейтрино, так что попутно было прояснено возникновение мю-мезонов.

Подобно мю-мезонам, пи-мезон тоже не привел к фундаментальным сдвигам в основаниях физики. Он подтвердил лишь, что разнообразные частицы являются стационарными состояниями системы «материя», отличающимися друг от друга разным поведением при преобразовании основной группы. Группы более фундаментальны, чем частицы.

В те годы помимо Лоренцевой группы теории относительности из фундаментальных групп была известна только изоспиновая. Она была открыта в 1932 году в связи с исследованиями по ядерной физике; но лишь пи-мезоны позволили вполне понять ее фундаментальный характер. Эксперименты над пи-мезоном в космическом излучении показали, что изоспиновая группа дает точную симметрию для сильного взаимодействия, и лишь электромагнитное взаимодействие, а также более слабые взаимодействия нарушают эту симметрию. Для истолкования этих данных послужила гипотеза о том, что закон природы, лежащий в основе спектра частиц, строго инвариантен при изоспиновом преобразовании и что отклонения от этой симметрии вызываются асимметрическим, вырожденным основным состоянием. Аналогичные ситуации хорошо известны в квантовой механике твердых тел.

Почти одновременно с пи-мезонами в космическом излучении были открыты другие частицы — тяжелее пи-мезонов и немного «странные» в своем поведении. У них была довольно-таки большая продолжительность жизни — порядка 10^{-10} сек, и поэтому их следы можно было наблюдать в камере Вильсона или в эмульсиях. Однако эту большую продолжительность жизни было невозможно понять, учитывая лишь уже известные к тому времени симметрии и соответствующие квантовые числа

(барионное число, изоспин, орбитальный момент); они заставляли ожидать намного более краткую продолжительность жизни, и потому поведение новых частиц было странным. Верную интерпретацию дал Пайс в 1952 году; он ввел новое квантовое число, так называемую странность, и соответствующую симметрию, или свойство преобразований. Таким образом, исследование космических лучей привело к открытию новой группы симметрии; а поскольку, как я уже упомянул выше, группы важнее, чем частицы, это стало еще одним очень существенным вкладом в фундаментальные проблемы физики.

В то время большинство физиков считали, что можно обнаружить гораздо большее число элементарных частиц, если удастся сделать наблюдаемыми объекты с очень краткой продолжительностью жизни. Частицы суть не что иное, как стационарные состояния системы «материя», а потому следовало считаться с существованием многочисленных разнородных частиц с очень краткой продолжительностью жизни у большинства из них. Подобные объекты поддаются наблюдению лишь в качестве так называемых *резонансных состояний*, а для их выявления требовалась более совершенная статистическая база, чем та, которую могло предоставить наблюдение космических лучей. Физикам — специалистам по элементарным частицам посчастливилось, потому что как раз тогда были сооружены и введены в действие первые большие ускорители — космотрон в Брукхейвене, беватрон в Беркли и протонный синхротрон ЦЕРН в Женеве. Соответственно физика элементарных частиц для получения своих важнейших результатов была вынуждена надолго переключиться на эти большие ускорители, тогда как исследованием космических лучей занялись астрофизики. Этот сдвиг был неизбежным, но он не всегда отвечал желаниям физиков — специалистов по элементарным частицам; произошла прискорбная перемена.

Ушли в прошлое романтические времена, когда изучение снимков камеры Вильсона в какой-нибудь высокогорной лаборатории можно было сочетать с лыжными походами и альпинизмом или когда экспериментальные аэростаты нужно было, как это приходилось делать нашим итальянским друзьям, запускать с помощью самолета или судна итальянского военно-морского флота на берегу одного из прекрасных средиземноморских островов. Теплое средиземноморское солнце, несомненно, содействовало научному успеху экспериментов. Но те счастливые времена те-

перь кончились, и исследования элементарных частиц предстояло теперь проводить в «деловой» атмосфере гигантских ускорительных устройств.

В астрофизике космическое излучение стало новым ценным инструментом, обещавшим расширение познаний за пределы той информации, которую давало наблюдение видимого или инфракрасного свечения звезд. Ближайшей проблемой являлось, естественно, происхождение космических лучей. Уже Форбуш установил, что низкоэнергетическая часть космического излучения иногда посылается Солнцем, имея источником известные турбулентные явления на его поверхности. Но очень скоро стало ясно, что окончательный ответ на вопрос о возникновении космического излучения предполагает основательное знание природы электромагнитных полей в звездной плазме, внутри нашей планетной системы — здесь я могу напомнить о солнечном ветре, впервые изученном Бирманом, — внутри нашей Галактики и, наконец, во внегалактическом пространстве. Исследования в этой области стали за последние годы главной составной частью астрофизики, и с помощью космических лучей было получено очень много информации. Что касается их происхождения, то сейчас, похоже, все считают главным источником высокоэнергетического космического излучения сверхновые звезды и их реликты, пульсары. Но не буду входить в детали астрофизики, а вернусь к своему первоначальному вопросу: в каком плане космическое излучение касается фундаментальных проблем физики?

Я только что упомянул о *пульсарах*, которые принадлежат к числу звезд с наибольшей наблюдавшейся до сих пор плотностью. Плотность их материи сравнима с плотностью атомного ядра. Их сплачивают силы тяготения. Существование подобных звезд выдвигает две фундаментальные проблемы; одна касается отношения гравитации к прочим силам взаимодействия внутри материи, другая — того, каким должно быть уравнение состояния для материи с такой или с еще большей плотностью. Однако прежде чем перейти к названным проблемам, я хотел бы перечислить несколько примеров высокой ценности исследования космических лучей для физики элементарных частиц даже *после* появления больших ускорителей.

Частицы космического излучения имеют энергии вплоть до 10^{19} электронвольт, и само собой ясно, что столь высокие энергии не могут быть достигнуты на ускорителях, по крайней мере в ближайшем будущем. Поэтому

столкновения частиц с такими огромными энергиями могут исследоваться лишь в космическом излучении. И вот, хотя малая интенсивность и малая статистическая частота ограничивают здесь точность получаемых данных, все же был поднят вопрос о том, как в области крайне высоких энергий изменяются в зависимости от энергии поперечное сечение или другие характеристики каскадов. Существует ли за пределами энергий обычных частиц или резонансных состояний такая область асимптотического приближения, где уже невозможно обнаружить и нельзя ожидать никаких новых процессов или драстических изменений? Полученная на материале космического излучения информация по этому вопросу едва выходила за пределы туманного намека; тем не менее она стимулировала теоретические исследования, более 20 лет назад приведшие к предположению, что в диапазоне высоких энергий величина полного сечения для столкновений между адронами должна возрастать пропорционально квадрату логарифма энергии. Соответственно следовало ожидать, что область асимптотического приближения существует; хотя общие сечения в этой области не могли быть константными, они должны были возрастать логарифмически. Эта догадка подтвердилась в новейших экспериментах с накопительными кольцами протонного синхротрона в Женеве и с ускорителем «Батавия»⁵⁵.

Асимптотическая область начинается, по-видимому, при энергии около 10 ГэВ в системе центра масс и в случае столкновений между протонами; она исследовалась на аккумулирующих кольцах женевского циклотрона вплоть до энергии 50 ГэВ. Существенным вкладом исследований на установке «Батавия» явился тот результат, что логарифмическое приращение может наблюдаться и при столкновении пи-мезонов или К-мезонов с протонами. Это стало сильным аргументом в пользу предположения, что общая асимптотическая область существует и что она достигнута в названных экспериментах. Для интерпретации этой асимптотической области вполне достаточно понимать частицы просто как почти сферические облака непрерывной материи, не касаясь того, из каких именно частиц могли бы состоять эти облака. Такая картина вполне приемлема, поскольку выражение «состоит из», собственно говоря, утратило свой смысл в физике элементарных частиц.

Существует еще одна проблема, занимающая в течение последних десяти лет умы ядерных физиков. Мы знаем, что группа SU₃ в спектре частиц играет определенную

роль в качестве приближенной симметрии. Простейшее представление группы SU_3 — трехмерное, и соответственно такому представлению можно было бы ожидать триплета частиц; электрический заряд этих частиц должен бы был составлять $1/3$ или $2/3$ элементарного заряда, и им дали название «кварки». Однако в экспериментах с большими установками эти частицы до сих пор не удавалось наблюдать. Поэтому сложилось мнение, что кварки обладают большой массой и сцепляются между собою очень большими энергиями связи, так что даже большие ускорители недостаточны для их разделения. Космическое излучение и тут сослужило хорошую службу, поскольку энергия первичных космических лучей может в тысячу и более раз превышать максимальную энергию частиц на большой ускорительной установке. Тот факт, что даже в космическом излучении кварки не были обнаружены, является очень сильным доводом в пользу их несуществования. Это можно было бы считать теперь уже окончательно установленным, и мне представляется поэтому крайне трудным придать сколько-нибудь определенный смысл высказыванию «протон состоит из трех кварков», коль скоро ни выражение «состоит из», ни слово «кварки» не обладают сами достаточно определенным смыслом. Как же тогда следует толковать подобное высказывание? Аналогичный скепсис оправдан и в отношении других частиц, которые были предсказаны, но не были обнаружены; W -мезоны, партоны, глюоны, магнитные полюса, «очарованные» частицы. Поскольку их нельзя наблюдать ни на больших ускорительных установках, ни в космическом излучении, то эти понятия едва ли могут считаться полноценными инструментами феноменологического описания. Мы сталкиваемся здесь с ситуацией, уже хорошо известной нам из квантовой механики. Наш повседневный язык провоцирует нас на постановку вопросов, не имеющих никакого смысла, например: «Какова орбита электрона, движущегося вокруг атомного ядра?» Из-за соотношений неточности ни слово «орбита», ни слово «движется» не имеют тут строгого определения; следовательно, вопрос не имеет смысла.

Так мы подходим к центральной проблеме, тесно связанной с уроками, которые нам дает космическое излучение. Но сначала я скажу об эмпирическом аспекте. Мне хотелось бы пояснить его основополагающее значение в физике элементарных частиц и в физической науке вообще.

Из экспериментов последних десятилетий мы узнали, что различные частицы суть лишь различные стационарные состояния системы «материя». Их характеристиками служат квантовые числа, или, если угодно, параметры преобразований, соответствующих фундаментальным группам. Теоретическое понимание физики элементарных частиц может означать только одно: понимание спектра частиц. Отдельную линию в оптическом спектре железа понять невозможно; но спектр понять можно, его можно связать со шрёдингеровским уравнением системы, состоящей из 26 электронов и ядра атома железа.

Существенные элементы теоретической интерпретации спектра хорошо известны, их можно извлечь как из классической физики, так и из квантовой механики. Мы можем здесь иметь в виду упругие колебания струны, электромагнитные колебания в пространственной полости или стационарные состояния атома, например атома железа. В любом случае нам прежде всего требуется точная формулировка динамических свойств системы, которую мы должны затем дополнить граничными условиями данного специфического случая. В случае колеблющейся струны первый шаг сводится к точной математической формулировке упругих и динамических свойств струны; затем, установив, где закреплена струна, мы можем вычислить спектр ее колебаний. Для электромагнитных колебаний в пространственной полости динамические свойства системы определяются уравнениями Максвелла; граничные условия задаются формой пространственной полости. Из-за сложности проблемы точный расчет всего спектра часто оказывается неосуществимым, однако ничто не мешает получить хорошие приближения для колебаний низшей частоты. Динамические свойства атома железа определяются квантовой механикой, то есть уравнением Шрёдингера. То дополнительное условие, что волновая функция должна обратиться в нуль на бесконечности, служит для установления стационарных состояний. Если бы атом был заключен в малом сосуде, его стационарные состояния были бы иными.

Из этих аналогий ясно, что первое условие для понимания спектра частиц есть *точная математическая формулировка динамики материи*. Само собой ясно, что слово «частица» не может встретиться в такой формулировке. В самом деле, частица получает свое определение лишь позднее, при сочетании динамики материальной системы с граничными условиями; частицы — вторичные структу-

ры. В нашем уголке Вселенной спектр частиц может оказаться совершенно иным, чем в недрах какой-нибудь очень плотной нейтронной звезды, поскольку граничные условия там и здесь вряд ли одинаковы. Этим объясняется фундаментальное значение динамики материи, и остается спросить, каким же образом получить ее математическую формулировку.

В нейтронной звезде вещество имеет плотность примерно такого же порядка, что и в атомном ядре. При подобной плотности все-таки еще имеет смысл говорить, что ядро состоит из определенного числа нуклонов, потому что небольшого количества энергии — небольшого в сравнении с массой покоя ядра — достаточно, чтобы вывести из ядра протон или нейтрон. Нуклоны в ядре находятся еще на достаточном расстоянии друг от друга; энергия их взаимодействия поэтому незначительна в сравнении с их массой покоя. То же относится к нейтронной звезде, почему и оказалось возможным приблизительно охарактеризовать уравнение состояния подобной звездной материи. Но если плотность значительно выше — например, в звезде большой массы, связанной силами гравитации, — то вопрос, из каких частиц состоит звезда, уже не имеет четко определенного смысла. Имеющееся для каждой частицы пространство окажется тут меньше, чем ее нормальная величина, так что частица не будет иметь своей нормальной массы; из-за большой силы взаимодействия частицы, как правило, утратят разграничивающую их массы оболочку. Иными словами, здесь можно говорить лишь о какой-то смеси всех частиц, а такую смесь было бы разумнее называть континуумом материи. Фундаментальная проблема физики элементарных частиц заключается в динамическом поведении этой непрерывной материи.

Окажись возможным получить больше информации об уравнении состояния не только в нейтронных звездах, но, главное, в звездах с еще большей плотностью, это было бы крайне важным для понимания динамического поведения материи. Я не могу предрептать, следует ли здесь опереться на исследование космических лучей или на более обширные астрофизические изыскания. Мне хотелось лишь подчеркнуть значение проблемы.

Коль скоро понятие частицы в данном контексте не имеет смысла, решающую роль должны играть групповые характеристики динамического закона. Динамический закон колеблющейся струны, например, инвариантен при переносах во времени и при параллельных переносах вдоль

струны, равно как и при вращениях вокруг струны. Вторая инвариантность нарушается граничными условиями, третья, как правило, не нарушается. Что касается электромагнитных колебаний в пространственной полости, динамический закон здесь инвариантен относительно полной Лоренцовой группы; инвариантность будет частично нарушаться краевыми условиями.

Известны некоторые существенные инварианты динамики материи: Лоренцова группа и изоспиновая группа SU_2 . Масштабную группу тоже, пожалуй, следовало бы причислить к фундаментальным инвариантам. Но я не хотел бы подробно обсуждать симметрии динамического закона. Вернусь вместо этого к космическому излучению. Как исследование космического излучения, или, говоря шире, астрофизическое исследование, может способствовать нашему познанию динамики материи?

Сперва два слова о причинности. Из дисперсионных соотношений мы знаем, что взаимодействие в материи следует закону причинности. Точная математическая формулировка этого положения, возможно, неизвестна нам в окончательном виде, но у нас есть неплохие основания предполагать, что взаимодействие может быть определено локально, как, скажем, в квантовой электродинамике. Нелокальность кулоновской силы этому не противоречит. С учетом данной ситуации можно сделать правдоподобное допущение, что исследование материи чрезвычайно высокой плотности предоставит нам прямую информацию об этом локальном взаимодействии и тем самым о динамике материи.

В космическом излучении есть другая специальная область, где в той же проблеме динамики материи можно приступить с совершенно иной стороны. Когда две частицы крайне высоких энергий сталкиваются между собой, то в первый момент столкновения мы имеем маленький диск чрезвычайно плотной материи, который затем взрывается и, теряя свою плотность, распадается в конечном счете на многочисленные частицы. Этот хорошо известный процесс множественного образования частиц, естественно, тем более интересен, чем выше была энергия сталкивающихся частиц. Если первичная частица космического излучения имеет энергию 10^6 ГэВ, то плотность возникающего при столкновении диска может вначале в тысячу раз превысить плотность нейтронной звезды.

Изучение поведения ливня таких космических лучей крайне высоких энергий должно поэтому дать ценнейшую

информацию о динамике материи. В данной связи обнадеживающим является то, что на накопительных кольцах протонного синхротрона Европейского центра по ядерным исследованиям (ЦЕРН) и на ускорителе «Батавия» асимптотическая область уже достигнута или по крайней мере к ней уже приблизились. Для начальной фазы столкновений в этой области первичные частицы можно представлять себе просто как облака непрерывной материи, плотность которой на поверхности уменьшается по экспоненте. Такая модель объясняет логарифмическое возрастание полного сечения в зависимости от приращения энергии. Следовало бы только указать на характерное различие, существующее между [мысленными] экспериментами со звездами предельно высокой плотности и экспериментами с дисками, получающимися при столкновении высокоэнергетических частиц. В первом случае гравитация играет важную роль, во втором она несущественна. Так что эти два вида экспериментов могут дать нам два разных типа важной информации.

Возвращаясь в заключение к общим вопросам, упомянутым мною в начале моего доклада, я должен, по-видимому, сказать, что особая роль космического излучения внутри физики как целого покоится на двух обстоятельствах. Космическое излучение предоставляет информацию о поведении материи в наименьших масштабах; и оно же расширяет наше знание о строении Вселенной, о мире в широчайших масштабах. Оба эти крайних полюса недоступны прямому наблюдению, их можно изучать лишь посредством косвенных дедукций, по необходимости заменяя наши повседневные понятия другими, чрезвычайно абстрактными новыми понятиями; и лишь затем мы начинаем понимать, что могут означать в применении к природе такие выражения, как «последняя граница» или «бесконечность». В этом смысле исследование космических лучей — несмотря на все изменения в стиле экспериментов — все еще может быть названо очень романтической, очень вдохновляющей наукой.

Что такое элементарная частица? *56

Ответ на вопрос «Что такое элементарная частица?» должны дать, естественно, прежде всего эксперименты. Я поэтому первым делом кратко подытожу важнейшие итоги физики элементарных частиц за последние полвека и попытаюсь доказать, что если мы непредвзято рассмотрим данные экспериментов, то ответ на вышеназванный вопрос будет в основном уже получен и теоретику останется не так уж много прибавить от себя. Во второй части своего доклада я затрону также и философские проблемы, связанные с понятием элементарных частиц. Дело в том, что, по-моему, известные тупики теории элементарных частиц — заставляющие тратить много усилий на бесполезные поиски — обусловлены подчеркнутым нежеланием многих исследователей вдаваться в философию, тогда как в действительности эти люди бессознательно исходят из дурной философии и под влиянием ее предрасудков запутываются в неразумной постановке вопроса. Несколько утрируя, можно, пожалуй, сказать, что дурная философия исподволь губит хорошую физику. В заключение я поговорю об этих спорных попытках, сравню их с аналогичными блужданиями в развитии квантовой механики, известной мне по личному опыту, и предложу некоторые свои соображения о том, как можно избегать подобных тупиков. Так что конец доклада снова окажется более оптимистичным.

Итак, сначала — экспериментальные данные. Менее полувека назад Дирак в своей теории электрона предсказал, что, помимо электрона, должны существовать соответствующие ему античастицы — позитроны; и через несколько лет К. Андерсен и П. Блэкет экспериментально подтвердили существование позитронов, их возникновение при образовании пар, а тем самым и существование так называемой антиматерии. Это было открытие величайшей важности.

* © Was ist ein Elementarteilchen? R. Piper und Co., Verlag, München 1977.

Ведь до того времени большей частью считалось, что имеются два вида фундаментальных частиц, электроны и протоны, отличающиеся от всех других тем, что они никогда не изменяются и что, следовательно, их число всегда постоянно, и по этой причине они и получили название элементарных частиц. Вся материю можно было считать состоящей в конечном счете из электронов и протонов. Экспериментальное доказательство образования пар — электронов и позитронов — показало ложность такого представления. Электроны могут возникать и снова исчезать; число их поэтому никоим образом не постоянно; они не элементарны в том смысле, какой раньше придавался этому слову.

Следующим важным шагом было открытие искусственной радиоактивности Ферми⁵⁷. Многочисленные опыты показали, что атомное ядро, излучая частицы, способно превращаться в другое атомное ядро, если того допускают законы сохранения энергии, орбитального момента, электрического заряда и т. д. Превращение энергии в материю, предсказанное уже Эйнштейновой теорией относительности, представляет собой, таким образом, очень часто наблюдаемый феномен. О постоянстве числа частиц тут нет и речи. Существуют, однако, физические свойства, характеризующиеся определенным квантовым числом — я имею в виду, скажем, орбитальный момент или электрический заряд, — причем квантовые числа могут принимать положительные и отрицательные значения и подчиняются закону сохранения энергии.

В 30-е годы было сделано еще одно важное экспериментальное открытие. Оказалось, что в космическом излучении встречаются частицы очень высоких энергий, которые при столкновении с другими частицами, например с протоном фотоземлюльсии, могут породить ливень из множества вторичных частиц. Некоторое время многие физики думали, что причиной подобных ливней могут быть лишь некие каскадные механизмы в атомном ядре; но позднее было выяснено, что предположенное теорией множественное образование вторичных частиц происходит в действительности также и при столкновении всего лишь двух высокоэнергетических частиц. В конце 40-х годов С. Пауэллом были открыты пионы, играющие главную роль в этих ливнях. Тем самым было установлено, что при столкновении частиц очень высоких энергий происходит превращение энергии в материю — важнейший, сплошь и рядом встречающийся процесс, вследствие чего уже явно не имеет никакого смысла говорить о делении исходных частиц.

Понятие «деление» под напором экспериментальных данных утратило свой смысл.

Это новое положение вещей снова и снова подтвердилось в ходе экспериментов 50-х и 60-х годов; было открыто много новых частиц, короткоживущих и долгоживущих, и на вопрос, из чего они состоят, уже нельзя было дать определенного ответа, потому что сам вопрос тем временем утратил смысл. Протон, например, может состоять из нейтрона и пиона, или из λ -гиперона и каона, или из двух нуклонов и одного антинуклона; всего проще было бы сказать, что протон состоит из материального континуума. Все эти высказывания одинаково истинны или одинаково ложны. Различие между элементарными и сложными частицами в принципе исчезло. В этом, пожалуй, важнейшее экспериментальное достижение последних 15 лет.

В ходе этих событий эксперименты все отчетливее приводили к одной важной аналогии: элементарные частицы есть нечто подобное стационарным состояниям атома или молекулы. Существует целый спектр частиц, подобно тому как существует спектр состояний, например атома железа или молекул; тут можно вспомнить о различных стационарных состояниях молекулы или о множестве различных химических молекул. В случае частиц можно говорить о спектре материи. Эксперименты на больших ускорителях в 60-е и 70-е годы показали, что эта аналогия распространяется на все известные нам до сих пор факты. Характеристикой как для стационарных состояний атомов, так и для частиц могут служить квантовые числа, то есть свойства симметрии и правила преобразования; возможность же превращений определяется соответствующими им — точными или приближенными — законами сохранения. Скажем, подобно тому, как преобразовательные свойства возбужденного атома водорода при пространственном вращении определяют, может ли он, испустив световой квант, перейти в более низкое состояние, аналогичные свойства симметрии определяют, может ли, например, ϕ -бозон, излучив один пион, превратиться в ρ -бозон. Как у стационарных состояний атома, так и у частиц продолжительность жизни очень различна. Основное состояние атома стабильно, он имеет бесконечную продолжительность жизни, и то же справедливо в отношении таких частиц, как электрон, протон, дейтрон (Deuteron) и т. д. Эти стабильные частицы, однако, ничуть не более элементарны, чем нестабильные. Основное состояние атома водорода вытекает из того же уравнения Шрёдингера, из которого вы-

текают и возбужденные состояния. Электрон и световой квант тоже ничуть не элементарнее, чем, допустим, λ -гиперон.

Можно сказать, что экспериментальная физика частиц в ходе своего развития за последние годы выполняла те же функции, что спектроскопия в начале 20-х годов. Как тогда возникло большое собрание таблиц, так называемый справочник Пашен — Гётце, отражавший стационарные состояния всех атомных оболочек, так теперь существуют ежегодно уточняемые «Reviews of Particle Properties», где регистрируются стационарные состояния материи и их преобразовательные свойства. Работа по составлению столь объемных таблиц примерно соответствует так называемому прощупыванию неба у астрономов; и каждый наблюдатель, естественно, надеется, что он в своей сфере однажды найдет какой-нибудь очень интересный объект.

Но существуют и характерные различия между физикой атомной оболочки и физикой элементарных частиц. В атомной оболочке мы имеем дело со столь низкими энергиями, что можно пренебречь характерными чертами теории относительности и воспользоваться для описания нерелятивистской квантовой механикой. Это означает, что в физике оболочки, с одной стороны, и в физике частиц — с другой, определяющие группы симметрии могут быть различными. Галилеева группа в физике оболочки заменяется в физике частиц Лоренцевой группой; к ней в физике частиц прибавляются такие новые группы, как изоспиновая группа, которая изоморфна группе SU_2 , затем группа SU_3 , калибровочная группа и др. Выявление фундаментальных групп физики частиц — важная экспериментальная задача, и за прошедшее двадцатилетие она в значительной мере уже решена.

Физика атомных оболочек говорит нам, что именно среди групп, описывающих, по-видимому, лишь приближенные симметрии, различаются два принципиально несхожих типа. Возьмем, например, такие группы оптических спектров, как группу O_3 пространственных вращений и группу $O_3 \times O_3$, которая определяет мультиплетную структуру в спектрах. Основные уравнения квантовой механики строго инвариантны по отношению к группе пространственного вращения. Поэтому стационарные состояния атомов с высокими моментами импульса сильно вырождены, то есть имеется много состояний совершенно одинакового энергетического уровня. Лишь при помещении атома во внешнее электромагнитное поле стационарные состояния расщеп-

ляются и возникает известная, например, по эффекту Зеемана или Штарка тонкая структура. Это выражение может и не иметь места, если основное состояние системы не инвариантно при вращении, каковы, например, основные состояния кристалла или ферромагнита. В таком случае происходит расщепление энергетических уровней; два направления спина электрона в ферромагните уже не относятся в точности к одному и тому же энергетическому уровню. Кроме того, согласно известной теореме Голдстоуна, существуют бозоны, энергия которых при возрастании длины волны стремится к нулю; в случае ферромагнита им соответствуют спин-волны Блоха, или магноны.

Иное положение с группой $O_3 \times O_3$, из которой следуют известные мультиплеты оптического спектра. Тут имеет место приближительная симметрия, возникающая благодаря тому, что в определенной области спин-орбитальные взаимодействия незначительны, и поэтому можно перевернуть относительно друг друга спины и орбиты электронов, мало что изменив в их взаимодействии. Симметрия $O_3 \times O_3$ есть поэтому следствие динамики системы, и ею можно приближенно пользоваться лишь в определенных частях спектра. Эмпирически два этих типа нарушения симметрии всего отчетливее различимы следующим образом: в фундаментальных симметриях, нарушенных основным состоянием, по теореме Голдстоуна, должны существовать бозоны с нулевой массой покоя, или дальнедействующие силы, и их обнаружение дает повод считать, что в данном случае вырождение основного состояния играет важную роль.

Если перенести эти наблюдения из физики атомных оболочек в физику частиц, то эксперименты дают хорошее основание интерпретировать Лоренцову группу и группу SU_2 , то есть изоспиновую группу, в качестве фундаментальных симметрий основополагающего закона природы. В таком случае электромагнетизм и гравитация оказываются дальнедействующими силами, зависящими от нарушения симметрии основного состояния. Более высокие группы SU_3 , SU_4 , SU_6 или $SU_2 \times SU_2$, $SU_3 \times SU_3$ и т. д. придется тогда считать динамическими симметриями, подобно группе $O_3 \times O_3$ в физике оболочки. Относительно расширенной, или калибровочной, группы допустимо сомневаться, следует ли причислить ее к числу фундаментальных симметрий; она нарушается существованием частиц с конечной массой и зависимостью гравитации от массы вещества во вселенной. Пожалуй, ее следует все-таки при-

числить к фундаментальным симметриям ввиду ее тесной связи с Лоренцовой группой. Намеченное выше разделение нарушения симметрии на два основных типа напрашивается, как я уже сказал, из экспериментальных данных, хотя пока, может быть, и рано говорить об окончательной фиксации этого разделения. Важно, главное, то, что группы симметрии, встречающиеся при наблюдении спектров, заставляют поднять и по возможности решить вопрос о том, к какому из двух основных типов они принадлежат.

Укажем еще на одну особенность физики атомных оболочек: в оптических спектрах существуют некомбинирующиеся или, вернее, слабо комбинирующиеся системы термов, как, например, спектр парагелия и ортогелия. В физике частиц с этой особенностью нужно, наверное, сравнивать распадение спектра фермионов на барионы и лептоны.

Аналогия между стационарными состояниями атома или молекулы и частицами в физике элементарных частиц оказывается, таким образом, почти полной, и тем самым с качественной стороны я тоже уже дал, как мне кажется, полный ответ на исходный вопрос: «Что такое элементарная частица?» Но только с качественной! Перед теоретиком встает затем следующий вопрос, как подкрепить это понимание качественной стороны явлений количественными расчетами. Здесь нужно прежде всего разрешить предварительный вопрос: что это вообще значит — понять тот или иной спектр с количественной стороны?

И классическая физика, и квантовая механика дают нам ряд примеров такого понимания. Представим себе, например, спектр упругих колебаний стальной пластины. Если мы не хотим удовлетвориться качественным пониманием, то мы будем исходить из того, что стальная пластина характеризуется определенными свойствами упругости, поддающимися математическому представлению. Коль скоро это удалось, остается лишь добавить краевые условия, то есть указать дополнительно, имеет ли пластина круглую или квадратную форму, зажата она или нет, и отсюда по крайней мере в принципе можно рассчитать спектр упругих, или акустических, колебаний. Правда, степень сложности задачи едва ли позволит в точности рассчитать все колебания, но по крайней мере колебания низшей частоты с минимальным количеством пучностей вычислить удастся.

Итак, для количественного понимания нужны два элемента: математически точно сформулированное знание

динамического поведения пластины и краевые условия, которые можно считать «контингентными», то есть определяющимися более конкретными обстоятельствами данного случая; в самом деле, стальная пластина могла бы быть вырезана и иначе. То же самое и с электродинамическими колебаниями полого резонатора. Уравнения Максвелла определяют его динамическое поведение, а форма пространственной полости задает краевые условия. Аналогичный случай, далее, — оптический спектр атома железа. Уравнение Шрёдингера для системы, состоящей из одного ядра и 26 электронов, определяет динамическое поведение системы; сюда добавляются еще краевые условия, говорящие в данном случае об обращении волновой функции в нуль на бесконечности. Если бы атом был заключен в тесной коробке, спектр получился бы несколько видоизмененным.

Если перенести все эти соображения на физику элементарных частиц, то и здесь дело будет прежде всего заключаться в экспериментальном выявлении и математическом описании динамических свойств системы материи. Затем нужно в качестве вышеупомянутого контингентного элемента задать краевые условия, которые в данном случае будут содержать главным образом утверждения о так называемом пустом пространстве, то есть о космосе и свойствах его симметрии. Так или иначе, прежде всего следует попытаться математически сформулировать закон природы, фиксирующий динамику материи. Вторым шагом следует определить краевые условия. Ведь без них невозможно даже знать, о каком спектре идет речь. Например, я вправе предполагать, что в «черной дыре», как ее понимает сегодняшняя астрофизика, спектр элементарных частиц будет выглядеть совсем иначе, чем у нас. К сожалению, эксперименты тут невозможны.

Теперь еще два слова о первом решающем шаге, а именно о формулировке динамического закона. Среди физиков, занимающихся частицами, есть пессимисты, думающие, что такого закона природы, который определял бы динамические свойства материи, вообще не существует. В подобном воззрении, честно признаться, я не вижу ровно никакого смысла. Ведь какая-то динамика у материи все-таки должна быть, иначе спектры не существовали бы; а значит, эта динамика должна поддаваться и математическому описанию. Пессимисты явно хотят сказать, что вся физика элементарных частиц кончится просто-напросто составлением гигантской таблицы максимально возможно-

го числа стационарных состояний материи, вероятностей перехода и т. д. — некоего «суперсвода свойств частиц», то есть набора данных, в которых уже нечего понимать и в который поэтому никто уже никогда не будет заглядывать. Однако для подобного пессимизма нет ни малейшего повода, и для меня особенно важно это подчеркнуть. Мы ведь в самом деле наблюдаем спектр частиц с четкими линиями; за ним, стало быть, стоит какая-то четко определенная динамика материи. Экспериментальные данные, вкратце описанные мною выше, содержат также и вполне определенные указания на фундаментальные инвариантные свойства основополагающего закона природы, а из дисперсионных соотношений мы знаем очень многое о том, в какой степени формулировка этого закона содержит определение причинности. Словом, существенные узлы закона природы уже у нас в руках, а после того, как столь многие другие спектры в физике поддались в конце концов тому или иному количественному осмыслению, то же самое, несмотря на высокую степень сложности, может произойти и здесь. Не стану сейчас — именно из-за этой сложности — обсуждать давно уже выдвинутое мною вместе с Паули конкретное предложение, касающееся математической формулировки основополагающего закона и до сих пор, на мой взгляд, имеющее всего больше шансов оказаться правильным. Мне хотелось бы, однако, со всей ясностью подчеркнуть, что формулировка подобного закона является непременным условием для понимания спектра элементарных частиц. Все прочее не имеет ничего общего с пониманием и едва ли пойдет дальше разметки таблицы, чем мы, по крайней мере в качестве теоретиков, не можем довольствоваться.

Перейду теперь к философии, которой сознательно или неосознанно руководствуется физика элементарных частиц. Вот уже две с половиной тысячи лет философы и естествоиспытатели обсуждают вопрос о том, что произойдет, если попытаться делить материю все дальше и дальше. Каковы минимальные составные части материи? Разные философы давали на этот вопрос разноречивые ответы, каждый из которых оказал свое влияние на историю науки о природе. Самый известный ответ принадлежит философу Демокриту. При попытке делить вещество все дальше и дальше, утверждает он, мы в конечном счете натолкнемся на неделимые, неизменные объекты — атомы, и все вещества состоят из таких атомов. Взаиморасположение и движения атомов определяют качество вещества. У Ари-

стотеля и его средневековых продолжателей минимальная частица вещества понимается не в столь узком смысле. Здесь для каждого вида вещества, правда, есть свои наименьшие частицы — при дальнейшем делении эти частицы уже не будут обладать характерными свойствами данного вещества, — однако аристотелевские наименьшие частицы подвержены непрерывному изменению, подобно самим веществам. Таким образом, в математическом смысле вещество делимо до бесконечности; материя представляется континуумом.

В наиболее явную оппозицию Демокриту встал Платон. Пытаясь продолжать деление дальше и дальше, мы, по мнению Платона, в конце концов натолкнемся на математические формы: правильные стереометрические тела, определяемые своими свойствами симметрии, и треугольники, из которых их можно составить. Эти формы не сама по себе материя, но они формируют материю. В основе стихии Земли лежит форма куба, стихии огня — форма тетраэдра. Всем этим философам присуще стремление как-то преодолеть ту антиномию бесконечно малых величин, которую, как известно, подробно разбирает Кант⁵⁸.

Предпринимались и предпринимаются, естественно, и более наивные попытки рационализировать эту антиномию. Некоторые биологи, скажем, приходят к представлению о том, что в зернышке яблока содержится маленькая невидимая яблоня, она тоже цветет и плодоносит, в ее плодах опять-таки содержатся семена, в которых таится еще меньшая яблоня, и так далее до бесконечности. Аналогичным образом, когда появилась гипотеза Бора — Резерфорда об атоме как планетной системе в миниатюре, мы не без увлечения развивали тезис, согласно которому на планетах этой системы, то есть на электронах, тоже живут крошечные существа, строят дома, папсут поля и занимаются атомной физикой, в свою очередь приходят к теории атома как миниатюрной планетной системы и так далее до бесконечности. Здесь всякого подстерегает, как я уже сказал, Кантова антиномия, гласящая, что, с одной стороны, очень трудно представить себе материю бесконечно делимой, но, с другой, — не менее трудно и представить себе какой-то убедительный конец такому делению. Как мы теперь знаем, причина возникновения антиномии заключается в конечном счете в нашем ошибочном убеждении, будто мы вправе прилагать свои наглядные представления к тому, что происходит в мире предельно малых объектов. Атомистическое учение Демокрита, несомненно, оказало

сильнейшее воздействие на физику и химию последнего столетия. Оно позволяет давать наглядное описание элементарных химических процессов. Атомы можно сравнивать с точечными массами ньютоновской механики, а подобное сравнение позволяет построить удовлетворительную статистическую теорию теплоты. Атомы химиков, правда, отнюдь не были точечными массами, они были крошечными планетными системами с ядром, состоящим из протонов и нейтронов, но считалось, что электрон, протон и обнаруженный позднее нейтрон все же являются в подлинном смысле атомами, то есть последними неделимыми строительными кирпичиками материи. Таким образом, за последние 100 лет демокритовская атомистика служила для физиков общей основной их материалистической картины мира; она легко поддавалась интерпретации, была до известной степени наглядной и определяла образ мысли даже тех физиков, которые не желали иметь ничего общего с философией. Здесь-то я и хотел бы обосновать свое критическое замечание о том, что в сегодняшней физике элементарных частиц дурная философия исподволь губит хорошую физику.

Нам неминуемо приходится пользоваться языком, коренящимся в традиционной философии. Мы спрашиваем: из чего состоит протон? Можно ли разделить электрон или он неделим? Прост или составен квант света? И так далее. Но все эти вопросы поставлены неправильно, потому что слова «делить» и «состоит из» в значительной мере утратили свой смысл. Нам следовало бы, соответственно, приспособить наш язык и наше мышление, а значит, и нашу философию природы к этой новой ситуации, вытекающей из экспериментальных данных. К сожалению, это крайне трудно. И вот в физику элементарных частиц снова и снова просачиваются ложные вопросы и ложные представления, заводя ее в те тупики, о которых я сейчас буду говорить. Сперва, однако, краткое замечание относительно требования наглядности.

Существовали философы, считавшие наглядность предпосылкой всякого подлинного понимания. Так, например, философ Г. Динглер здесь, в Мюнхене, выдвигал против теории относительности то соображение, что наглядная евклидова геометрия — это единственная верная геометрия, потому что мы исходим из нее при постройке наших измерительных аппаратов; и в этом Динглер, между прочим, совершенно прав⁵⁹. Поэтому, продолжает он, те экспериментальные реалии, которые лежат в основе теории

относительности, должны описываться с помощью евклидовой, а не с помощью отличающейся от нее римановой геометрии, ибо иначе мы запутаемся в противоречиях. Но подобное требование явно заходит слишком далеко. Для обоснования того, что мы делаем при экспериментах, достаточно, чтобы в пределах размеров наших аппаратов евклидова геометрия «работала» с достаточно хорошим приближением. Мы вынуждены поэтому примириться с тем, что наши эксперименты в области самых малых и самых крупных явлений уже не предоставляют нам никаких наглядных образов, и нам надо научиться выходить тут из положения, не опираясь на наглядность. Тогда перед нами откроются новые перспективы; мы поймем, например, что неразрешимая антиномия бесконечно малых частиц разрешается очень изящным образом, не приходившим в голову ни Канту, ни античным философам, — а именно за счет того, что слово «делить» утрачивает свой смысл.

Если постижения современной физики элементарных частиц сравнивать с какой-либо из философий прошлого, то речь может идти лишь о платоновской философии; в самом деле, частицы современной физики суть представления групп симметрии — этому нас учит квантовая теория, — и стало быть, частицы аналогичны симметрическим телам платоновского учения.

Однако будем все-таки заниматься не философией, а физикой, и поэтому я хочу перейти теперь к тем направлениям в теоретической физике частиц, которые, на мой взгляд, исходят из ложной постановки вопроса. Прежде всего мы имеем тезис о том, что наблюдаемые частицы, как-то: протоны, пионы, гипероны и многие другие — состоят из меньших по величине, не наблюдаемых частиц, кварков, или же из партонов, глюонов, очарованных частиц или других воображаемых частиц, как бы их ни именовали. Вопрос был здесь явно поставлен так: «Из чего состоят протоны?» Люди при этом забыли, что слово «состоит» обладает сколько-нибудь отчетливым смыслом только тогда, когда соответствующую частицу удастся с малой затратой энергии разложить на составные части, масса которых заведомо больше этой затраты энергии; иначе слово «состоит» не имеет смысла. Именно такова ситуация с протонами. Чтобы продемонстрировать подобное обесмысливание, казалось бы, вполне определенного слова, рискну рассказать вам одну историю, которую любил приводить в подобных случаях Нильс Бор. Ребенок входит в бакалей-

ную лавку с двухгрошовой монетой в руках и говорит продавцу, что хотел бы на два гроша конфетной смеси. Продавец протягивает ему две конфеты со словами: «А смесь из них ты можешь сделать сам». Понятие «состоит из» имеет в отношении протона ровно столько же смысла, сколько понятие «смешивать» в истории с маленьким покупателем.

Многие тут возразят: но ведь гипотеза о кварках возникла все-таки из экспериментальных данных, а именно из констатации эмпирической релевантности группы SU_3 , и, кроме того, она хорошо зарекомендовала себя при истолковании многих экспериментов также и за пределами применения группы SU_3 . Не стану спорить. Но мне хотелось бы привести в свою пользу пример из хорошо мне известной истории квантовой механики — пример, ясно показывающий слабость аргументации подобного рода. До теории Бора многие физики утверждали, что атом непременно должен состоять из гармонических осцилляторов; ведь оптический спектр содержит четкие линии, а они могут излучаться только гармоническими осцилляторами. Заряды в этих осцилляторах должны соответствовать иным значениям e/m , чем в случае электрона, а, кроме того, осцилляторов должно быть очень много, потому что в спектре имеется очень много линий.

Не обращая внимания на эту сложность, Вольдемар Фогт построил в Геттингене в 1912 году теорию аномального эффекта Зеемана для D-линий в оптическом спектре натрия, поступив следующим образом. Он взял два связанных осциллятора, которые при отсутствии внешнего магнитного поля воспроизводили частоты обеих D-линий. Ему удалось связать осцилляторы друг с другом и с внешним полем таким образом, что в слабых магнитных полях он получил без отклонений аномальный эффект Зеемана, а в очень сильных магнитных полях правильно воспроизводился также и эффект Пашена — Бака. Для промежуточной области средних полей частоты и интенсивности выражались длинными и сложными квадратными корнями — словом, получились прямо-таки необъятные формулы, очень точно соответствовавшие, однако, экспериментальным данным. Пятнадцатью годами позже мы с Йорданом взяли на себя труд просчитать ту же задачу методами квантовомеханической теории возмущений. К нашему величайшему изумлению мы получили в точности старые фогтовские формулы как для частот, так и для интенсивностей, причем также и в сложной области средних полей.

Впоследствии нам удалось вполне понять причину такого совпадения; все дело было в математической формулировке. Квантовомеханическая теория возмущений дает систему связанных линейных уравнений, частоты определяются из собственных значений системы. Система связанных гармонических осцилляторов в классической теории тоже дает аналогичную систему связанных линейных уравнений. Поскольку важнейшие параметры в теории Фогта были приведены в соответствие с экспериментальными данными, не было ничего удивительного в том, что получился правильный результат. Но для понимания строения атома теория Фогта ничего не дала.

Почему попытка Фогта оказалась, с одной стороны, столь успешной, а с другой — столь бесполезной? Потому, что Фогт рассматривал только D-линии, не принимая во внимание всего спектра линий. Ограничиваясь феноменологией, Фогт использовал один определенный аспект гипотезы осцилляторов и не учел или сознательно оставил в тумане все прочие несообразности этой модели. Иначе говоря, он просто не принял свою гипотезу по-настоящему всерьез. Боюсь, что и люди, выдвинувшие гипотезу о кварках, тоже сами не принимают ее всерьез. Вопросы о статистике кварков, о сцепляющих их силах, о частицах, соответствующих этим силам, о том, почему кварки не обнаруживаются в качестве свободных частиц, об образовании пар кварков внутри элементарной частицы — все эти вопросы более или менее оставлены в тумане. Если уж подходить к кварковой гипотезе по-настоящему всерьез, то следовало бы произвести точную математическую оценку динамики кварков и сцепляющих их сил, показав, что эта оценка по меньшей мере качественно способна правильно соответствовать многим установленным к настоящему времени чертам физики частиц. Не должно быть ни одного вопроса физики частиц, к которому было бы невозможно применить такой метод. Попытки в этом направлении мне неизвестны, и боюсь, что любая подобная попытка, описанная точным математическим языком, будет очень скоро опровергнута. Сформулирую свои возражения в форме вопроса: «В большей ли мере гипотеза кварков помогает понять спектр элементарных частиц, чем в свое время осцилляторная гипотеза Фогта помогала понять строение атомных оболочек? Не прячется ли за гипотезой о кварках все то же давно опровергнутое экспериментами представление, будто есть возможность отличить друг от друга простые и составные частицы?»

Вкратце коснусь еще нескольких частных вопросов. Если группа SU_3 имеет большое значение для структуры спектра частиц — а на основании экспериментов мы обязаны так считать, — то важно решить, идет ли тут речь о фундаментальной симметрии основополагающего закона природы или о динамической симметрии, заведомо имеющей лишь приблизительную приложимость. Если не дать здесь четкого ответа, то и все последующие допущения относительно динамики, лежащей в основе спектров, останутся шаткими, не давая никакой пищи для понимания. Высшие симметрии, например, SU_4 , SU_6 , SU_{12} , $SU_2 \times SU_2$ и т. д., можно с большой вероятностью считать динамическими симметриями, и они могут оказаться полезными при феноменологическом описании; но их эвристическую ценность, на мой взгляд, можно было бы сравнить с эвристической ценностью циклов и эпициклов в астрономии Птолемея. Они позволяют строить лишь очень косвенные догадки о структуре основополагающего закона природы⁶⁰.

В заключение пару слов о важнейших экспериментальных достижениях последних лет. Недавно открыты бозоны относительно большой массы порядка 3—4 ГэВ и с большой продолжительностью жизни. Наличие подобных стационарных состояний в принципе вполне следовало ожидать, как это подчеркивал в особенности Г.-П. Дюрр. Можно ли на основании той их особенности, что они имеют большую продолжительность жизни, считать их предположительно состоящими из других, уже известных долгоживущих частиц — это, естественно, трудный вопрос, затрагивающий всю сложнейшую динамику физики многих частиц. Но тем не менее мне показалась бы совершенно излишней спекуляцией попытка ввести *ad hoc* какие-то новые частицы, из которых должны якобы состоять названные объекты. Фактически это была бы все та же ложная постановка вопроса, ничего не дающая для понимания спектра.

Далее, аккумулирующие кольца женеvского ускорителя и ускоритель «Батавия» позволили замерить все полные эффективные сечения для столкновений протонов с протонами при очень высоких энергиях. При этом оказалось, что эффективные сечения возрастают примерно пропорционально квадрату логарифма энергии — явление, давно уже теоретически предсказанное для асимптотической области. Эти данные, полученные также и при столкновении других частиц, позволяют предположить, что на больших ускорителях асимптотическая область уже до

стигнута, и поэтому там тоже не приходится ожидать никаких сенсаций.

Да и вообще во всех этих новых экспериментах не нужно уповать на появление *Deus ex machina*, который вдруг сделает понятным спектр частиц. Ведь эксперименты последних 50 лет уже дают вполне удовлетворительный с качественной стороны, непротиворечивый и окончательный ответ на вопрос: «Что такое элементарная частица?» А количественная сторона частных деталей — как, скажем, в квантовой химии — может проясниться лишь в ходе многолетней кропотливой работы физиков и математиков, но не вдруг.

Я вправе поэтому закончить свой доклад оптимистическим предвкусением будущих достижений физики элементарных частиц, которая, на мой взгляд, обещает сделать большие успехи. Новые экспериментальные данные всегда обладают большой ценностью, даже если вначале они лишь пополняют графы наших таблиц; но особенно интересны они тогда, когда отвечают на критические вопросы теории. В теории надлежит попытаться без всяких полуфилософских предрассудков построить точные гипотезы относительно основополагающей динамики материи. И нужно принять эти гипотезы всерьез, то есть не довольствоваться смутными догадками, когда главное плавает в тумане. Ибо спектр частиц удастся понять лишь тогда, когда станет известна лежащая в его основе динамика материи; в этой динамике вся суть дела. Все прочее останется лишь своего рода словесной иллюстрацией к своду таблиц, да и тогда таблицы будут более содержательными, чем такая словесная иллюстрация

Понятие замкнутой теории в современной естественной науке⁶¹

Физическое истолкование современной квантовой теории поставило некоторые фундаментальные теоретико-познавательные проблемы, затрагивающие понятие истинности естественнонаучных теорий вообще. Чтобы понять критерии, которыми мы руководствуемся, рассматривая сегодня притязания таких теорий на истинность, имеет смысл обратиться к истории и проследить, как с течением времени в ходе развития естественных наук менялись их цели и устремления. Поэтому, прежде чем переходить к обсуждению принципиальных вопросов, начнем с краткого исторического обзора.

1. Вспомним о первых шагах современного естествознания в XVI и XVII столетиях. Изучая движения звезд как феноменов, обладающих особой важностью и возвышенностью, Кеплер стремился познать гармонию сфер. Он полагал, что тем самым непосредственно приближается к познанию планов божественного творения. Мысль о том, что каждый процесс на Земле пронизан математическими связями, была ему совершенно чужда.

Ньютон не довольствовался формулировкой отдельных законов исключительной математической красоты. Он хотел дать простое объяснение механическим процессам — задача, как он понимал, практически необъятная. Но он надеялся установить основные понятия и законы, с помощью которых такое объяснение окажется возможным хотя бы в будущем. Ньютон связал основные понятия посредством ряда аксиом, поддававшихся непосредственному переводу на язык математики, и таким образом впервые создал возможность отобразить в математическом формализме бесконечное множество явлений. Отдельные сложные процессы могли быть таким путем поняты и «объяснены» как следствие основных законов. Даже если сам процесс еще не наблюдался, его исход можно было «предсказать», зная начальные условия и физические законы.

Разработка механики последующими поколениями ученых привела к таким успехам, что возникло мнение о

принципиальной сводимости всех процессов в мире к механическим, например к тем, которые происходят на уровне мельчайших частей материи. Правильность ньютоновской механики представлялась несомненной. Поскольку же эта механика позволяла, исходя из знания начальных условий, рассчитать будущее поведение системы, делался вывод, что знание всех механических характеристик мира в принципе обеспечивает полную вычисляемость будущего. Идея эта, наиболее ясно выраженная Лапласом, показывает, что к началу XIX века созданный Ньютоном тип математически формулируемого закона природы уже глубоко преобразовал естественнонаучное мышление.

Поэтому в XIX веке механика прямо отождествлялась с точным естествознанием. Ее задачи и сфера ее применимости казались безграничными. Еще Больцман утверждал, что мы можем понять физический процесс лишь в том случае, если объясним его механически.

Первую брешь в мире подобных представлений пробила максвелловская теория электромагнитных явлений, дававшая математическое описание процессов, не сводя их к механике. Вполне естественно, что сразу же разгорелся горячий спор о том, понятна ли теория Максвелла без механики. Делались попытки механически интерпретировать эту теорию, вводя гипотетическую субстанцию, эфир. Борьба эта достигла критической точки после открытия Эйнштейном в 1905 году так называемой специальной теории относительности, когда было установлено, что уже в силу тех допущений относительно пространства и времени, которые имплицитно содержались в максвелловской теории, ее нельзя свести к процессам, подчиняющимся ньютоновским законам. Вывод о том, что либо ньютоновская механика, либо максвелловская теория должна быть ложной, казался неизбежным.

Впоследствии некоторые естествоиспытатели и философы еще несколько десятилетий ожесточенно защищали позиции ньютоновской механики, опираясь на механическую модель эфира. В конце концов этот спор, как и многие другие мировоззренческие дискуссии, был перенесен даже на политическую арену. Но большинство физиков, опираясь на экспериментальные данные, признали правильными и специальную теорию относительности, и максвелловскую теорию. Ньютоновской теории отводилась роль хорошего приближения к правильной релятивистской механике, справедливого для таких процессов, в которых все скорости малы по сравнению со скоростью света.

Релятивистская механика и в самом деле переходит в ньютоновскую в предельном случае малых скоростей.

Но именно допущение, что ньютоновская теория «ложна» в строгом смысле слова, соблазнило некоторых естествоиспытателей на бессознательное перенесение в новую физику одной из фундаментальных гипотез физики XIX века. И хотя зарождавшаяся в то время квантовая механика уже исподволь угрожала внутренней замкнутости классической физики, однако формирование теории поля — прежде всего в рамках общей теории относительности — предвещало такие успехи, что некоторые физики признали задачей будущей науки описание мировых явлений в понятиях теории поля, то есть в одной-единственной системе понятий. Даже атомистические характеристики природы они стремились истолковать математически как сингулярности в решениях уравнений поля. И в первую очередь волновая механика де Бройля—Шрёдингера, казалось, соответствовала искомой картине всеобщей полевой физики. Хотя основные понятия релятивистской теории поля были абстрактнее понятий ньютоновской механики, хотя их было труднее представить в наглядной форме, они тем не менее вполне отвечали нашей потребности в объективном и каузальном описании процессов и воспринимались поэтому как универсальные.

2. Квантовая механика разрушила и эту иллюзию. Ее формальный математический аппарат никоим образом не мог быть непосредственно соотнесен с объективными событиями в пространстве и времени. То, что мы устанавливаем математически, лишь в малой части представляет собой «объективный факт», большей же частью это перечень возможностей. Например, фраза «Перед нами атом водорода в основном состоянии» заключает в себе не точное указание траектории электрона, а следующее высказывание: если наблюдать траекторию электрона с помощью соответствующего прибора, то электрон с определенной вероятностью $w(x)$ окажется в точке x . Классические понятия могут осмысленно применяться, лишь если заранее учитывать, что соотношения неопределенностей ставят их применению нерушимые пределы.

Ситуация, сложившаяся, таким образом, в квантовой механике, в двух весьма характерных отношениях отличается от ситуации в теории относительности, во-первых, невозможностью прямо объективировать математически описанные обстоятельства, с чем непосредственно связана и невозможность представить их в наглядной форме; во-

вторых — и это отличіе, пожалуй, даже более важно, — вытекающей отсюда необходимостью продолжать использование понятий классической физики. При описании атома мы можем и должны использовать такие понятия, как траектория электрона, плотность волн материи в определенной точке пространства, теплота диссоциации, цвет и т. д. — все это понятия, относящиеся к классической физике, поскольку они отображают объективные процессы в пространстве и времени. Мы описываем в них результаты наблюдения. Разные понятия часто находятся друг к другу в отношении «дополнительности», но мы не можем заменить их, скажем, другими наглядными понятиями, применение которых не было бы ограничено соотношениями неопределенностей или дополнительностью.

Поэтому мы уже не говорим, что ньютоновская механика ложна и должна быть заменена правильной квантовой механикой. Скорее уж мы воспользуемся такой формулировкой: «Классическая механика является замкнутой научной теорией. Везде, где могут быть применены ее понятия, она дает в строгом смысле слова «правильное» описание природы». Мы, стало быть, и сегодня признаем истинность ньютоновской механики, даже ее строгость и общезначимость, но, добавляя «везде, где могут быть применены ее понятия», мы указываем, что считаем область применимости ньютоновской теории ограниченной. Понятие «замкнутая научная теория» возникло впервые в такой форме в квантовой механике. В современной физике мы знаем, по сути дела, четыре крупные дисциплины, которые можем в таком смысле назвать замкнутыми теориями: помимо ньютоновской механики, это теория Максвелла вместе со специальной теорией относительности, затем учение о теплоте — со статистической механикой, наконец, (нерелятивистская) квантовая механика вместе с атомной физикой и химией. Теперь следует несколько уточнить, какие особенности характеризуют «замкнутую теорию» и в чем может заключаться истинность такой теории.

3. Первым критерием замкнутой теории является ее внутренняя непротиворечивость. С помощью дефиниций и аксиом она должна допускать столь точное определение понятий, первоначально почерпнутых из опыта, и устанавливать между ними столь строгие отношения, чтобы им можно было сопоставить соответствующие математические символы, связанные системой непротиворечивых уравнений. Знаменитый пример подобной аксиоматизации

понятий представляет собой первая глава ньютоновских «Principia». Множество возможных явлений соответствующей сферы опыта отражается здесь во множестве возможных решений указанной системы уравнений.

Вместе с тем замкнутая теория должна быть в известном смысле «изобразительной», то есть, как говорилось выше, понятия теории должны быть укоренены непосредственно в опыте, они должны что-то «означать» в мире явлений. Пожалуй, проблемы, связанные именно с этим требованием, до сих пор не получили достаточного освещения. Пока понятия исходят непосредственно из опыта, как, например, понятия повседневной жизни, они остаются прочно связанными с явлениями и изменяются вместе с ними; они как бы прилегают к природе. Как только их аксиоматизируют, они становятся жесткими и отрываются от опыта. Хотя аксиоматическая система точных понятий все еще хорошо согласуется с обширной сферой опыта, тем не менее относительно понятия, установленного с помощью дефиниций и включенного в систему понятийных отношений, никогда нельзя заранее знать, как далеко можно с его помощью проникать в нашем общении с природой. Поэтому аксиоматизация понятий одновременно решительно ограничивает область их применимости.

Никогда нельзя точно знать границы этой области. Только убедившись на опыте, что некое новое множество явлений уже нельзя упорядочить с помощью старых понятий, мы понимаем, что достигли здесь границ. Например, первые признаки границ ньютоновской механики можно, по-видимому, заметить в работе Фарадея, который почувствовал, что понятие силового поля более подходит к описанию электромагнитных явлений, чем понятия механики. По-настоящему же границы эти были впервые достигнуты в результате открытия специальной теории относительности, стало быть, почти на 100 лет позже.

Но и после того как границы замкнутой теории преодолены, то есть после того как новая сфера опыта упорядочена с помощью новых понятий, система понятий замкнутой теории остается неотъемлемой частью того языка, на котором мы говорим о природе. Замкнутая теория составляет одну из предпосылок дальнейшего исследования. Результат эксперимента мы можем выразить только в понятиях прежних замкнутых теорий. Иногда поэтому делались попытки причислить понятия старых замкнутых теорий к априорным предпосылкам точного естествознания и тем самым придать им еще более абсо-

лютный характер. Тем не менее здесь необходимо допустить по меньшей мере различие в степени. Такие фундаментальные формы человеческой способности представления или мышления, как пространство и время или закон причинности, которые использовались на протяжении тысячелетий, следует считать априорными в более высокой степени, чем относительно сложные формы мышления, свойственные замкнутым теориям последних столетий. Если считать априорные формы созерцания «врожденными схемами», как пытался делать биолог Лоренц, то понятия, установленные замкнутыми теориями последних столетий, явно не могут или еще не могут быть априорными.

Все до сих пор сказанное можно кратко суммировать в следующих тезисах:

а) замкнутая теория справедлива на все времена; везде и всегда, в сколь угодно далеком будущем, если только опытные данные могут быть описаны в понятиях этой теории, ее законы окажутся правильными;

б) замкнутая теория не содержит вполне достоверных утверждений о мире опыта. Как далеко позволяют понятия этой теории продвинуться в познании явлений, в строгом смысле остается неопределенным и попросту делом случая;

в) несмотря на эту ненадежность, замкнутая теория остается частью нашего естественнонаучного языка и поэтому составляет интегральную часть действующего понимания мира.

Завершая анализ, вернемся еще раз к тем историческим процессам, которые — в результате изменившегося на исходе средневековья представления о реальности — привели в конечном счете к возникновению всей физики нового времени. Эти процессы выступают как последовательность мыслительных структур, замкнутых теорий, которые сформировались как бы из кристаллического зародыша некоторых опытных проблем и впоследствии, когда кристалл полностью вырос, вновь отделились от опыта на правах чисто интеллектуальных образований; но мир отныне был освещен ими для нас на все века. Историческое развитие физики кажется поэтому при всех различиях не лишенным сходства с историей становления других духовных сфер, например искусства; ибо цели, которыми в конечном счете вдохновляются другие сферы духовной жизни, состоят именно в том, чтобы раскрыть мир — в том числе и наш внутренний мир — посредством творений человеческого духа.

Критерии правильности замкнутой теории в физике ⁶²

На одном из коллоквиумов, некоторое время назад состоявшихся в Институте Макса Планка в рамках изучения условий жизни научно-технического мира и посвященных обсуждению философских основ квантовой теории, для осмысления которых так много сделал К. фон Вейцзеккер, этот последний поднял вопрос об источнике убедительной силы замкнутых, или завершенных, теорий в физике ⁶³. Какие критерии дают право заключить, что дальнейшие частичные усовершенствования таких теорий уже невозможны, т. е. что они в известном смысле окончательны?

Прежде чем пытаться ответить на данный вопрос, следует еще раз кратко пояснить понятие завершенной теории. Под завершенной теорией мы понимаем систему аксиом, определений и законов, с помощью которых становится возможным правильно и непротиворечиво описать, т. е. представить в математической форме, большой круг феноменов. Слово «непротиворечиво» относится здесь к математической связности и замкнутости выстраиваемого из основных допущений формализма, слово «правильно» — к эмпирии; оно означает, что прогнозы, вытекающие из математического формализма, должны подтверждаться экспериментами. В этом смысле ньютоновская механика, например, — прототип завершенной теории. Другие, более поздние примеры: статистическая теория теплоты — прежде всего в том виде, какой ей придал Гиббс, — специальная теория относительности (включая электродинамику) и, наконец, квантовая и волновая механика, особенно ее математическая аксиоматизация, осуществленная Нейманом ⁶⁴. Каждая из этих теорий обладает ограниченной областью применения, в существенных чертах своих очерченной уже понятийной структурой теории. Вне этой области теория неспособна отражать явления, потому что ее понятия уже не охватывают происходящих там природных процессов.

Каков же источник нашего убеждения в окончательной правильности теории? Почему мы уверены, что никакие малые изменения уже не смогут улучшить теорию? Здесь можно прежде всего обратиться к историческим доводам и указать на то, что даже старейшая из завершённых теорий, ньютоновская механика, никогда не подвергалась усовершенствованию путем малых изменений. Там, где можно без оговорок применять понятия «масса», «сила», «ускорение», до сих пор без всяких ограничений действует закон «масса \times ускорение = сила». Если мы слышим возражение, что квантовую механику можно считать усовершенствованием ньютоновской механики, то следует заявить, что речь тут идет не о второстепенном усовершенствовании, но о радикальной перестройке понятийных оснований. Поведение электрона в атоме, например, невозможно понять с помощью мыслительного инструментария ньютоновской механики, здесь необходим совершенно иной понятийный аппарат квантовой механики.

Второй, пожалуй еще более сильный, аргумент в пользу окончательности завершённой теории — ее компактность и многократное экспериментальное подтверждение. Из относительно немногочисленных и простых основополагающих допущений получается бесконечное множество решений, среди которых выбирается какое-то одно в зависимости от внешних условий изучаемого природного процесса. До сих пор теория подтверждалась экспериментами в каждом отдельном случае, причем было проведено уже очень много экспериментов. Видеть тут строгое доказательство теории, конечно, нельзя: ведь в каком-то будущем эксперименте всегда может обнаружиться противоречие с теорией. Этим обстоятельством Поппер⁶⁵ надеется даже обосновать свое утверждение, что теория поддается лишь фальсификации, но никогда не верификации; правда, согласно Вейцзеккеру, здесь следует возразить, что в каждый эксперимент, по видимости противоречащий теории, входят предпосылки, считающиеся заведомо данными, тогда как реальность может оказаться иной, так что фактически таким экспериментом фальсифицируется не теория, а одна из ее предпосылок. Решение о правильности теории оказывается, таким образом, длительным историческим процессом, за которым стоит не доказательность цепочки математических выводов, а убедительность исторического факта. Завершённая теория так или иначе ведь никогда не является точным отображением природы в со-

ответствующей области, она есть некая идеализация опыта, осуществляемая с помощью понятийных оснований теории и обеспечивающая определенный успех.

Вышеупомянутая компактность теории и осуществляемая с ее помощью идеализация действительности могут быть истолкованы в том смысле, что убедительная сила завершенной теории в конечном счете определяется ее простотой и красотой. Однако не следует переоценивать влияние эстетического критерия. Ибо в существующих завершенных теориях, если присмотреться, просты лишь понятийные основания, но не математическая структура. Ньютоновская механика, например, имеет форму системы связанных нелинейных дифференциальных уравнений, далеко не простых по своей математической структуре; вспомним хотя бы сложнейшую проблему нескольких тел в астрономии. В центре статистической термодинамики Гиббса стоит понятие канонического распределения, для формализации которого может быть использовано простое математическое поведение показательной функции; но за ее пределами о математической простоте нет и речи. Уж скорее в квантовой теории мы еще как-то можем говорить о простой математической структуре, потому что здесь в основе лежит все здание хорошо разработанного учения о линейных преобразованиях. Однако и в квантовой механике проблемы, связанные с дельта-функцией Дирака⁶⁶, указывают пределы математической простоты. Компактность завершенной теории, таким образом, относится больше к ее логическому и понятийному, чем к формально-математическому аспекту. Недаром в истории возникновения завершенных теорий прояснение физического смысла понятий, как правило, предшествовало полному пониманию математической структуры.

Эмпирический коррелят компактности — внутренняя связь многих экспериментов, т. е. факт, что отклонение опыта от теории в одном эксперименте неизбежно повлечет за собой такое же отклонение во многих других экспериментах. Понимание этого, между прочим, пришло лишь в Новое время; для античной или средневековой мысли между падением яблока с дерева и, скажем, движением Луны вокруг Земли не существовало никакой связи. Ньютон впервые отдал себе отчет в том, что яблоко ведь можно и подбросить, т. е. что между падением и броском не может существовать принципиальной разницы, что яблоко можно заменить и более тяжелыми телами и что в конечном счете Луну тоже можно рассматривать в

качестве подброшенного тела. Космический корабль нашего времени есть, так скаать, практически реализованное промежуточное звено между яблоком и Луной. Если, таким образом, внутренние связи между многими явлениями, получившие выражение в завершенной теории, подтверждаются в бесчисленных экспериментах, то мы уже не вправе сомневаться в том, что их формулировка «окончательно верна», однако с тем вышеупомянутым ограничением, что речь идет об идеализации, опирающейся на определенную понятийную систему.

Все рассмотренные до сих пор критерии оставляют, однако, без ответа еще одну важную часть поставленной Вейцзеккером проблемы. В самом деле, почему получается так, что правильная завершенная теория уже в первый момент своего возникновения, прежде всего в глазах ее создателя, обладает огромной убедительной силой задолго до того, как ее понятийные, а тем более математические основы получают всестороннее прояснение, и задолго до того, как появляется возможность говорить о ее подтверждении большим числом экспериментов? Так, Ньютон еще явно не располагал математической теорией связанных нелинейных дифференциальных уравнений, а из эмпирических данных у него были в распоряжении практически только законы падения Галилея и Кеплеровы законы движения планет; тем не менее он написал свои «Начала». В первые годы нашего века Лоренц и Пуанкаре открыли свои знаменитые преобразования и поверили в них еще прежде того, как понятийная революция теории относительности позволила их осмыслить, несмотря на то, что из области эмпирических фактов у них в распоряжении был, собственно, только эксперимент Майкельсона. В чем же источник этой непосредственной убедительной силы?

Решающей предпосылкой тут, по-видимому, является то, что физики, упорно занимаясь соответствующей областью опыта, очень ясно ощущают, что, во-первых, отдельные феномены внутри этой области опыта тесно связаны между собой и не могут быть осмыслены в отрыве друг от друга, но что, во-вторых, именно их взаимосвязь не поддается истолкованию в рамках прежних понятий. Попытки осуществить такое истолкование снова и снова приводили этих физиков то к допущениям, содержащим внутренние противоречия, то к совершенно необозримому числу разграничений между отдельными конкретными случаями, то к непроглядному лесу полуэмпирических формул, один вид которых показывает, что они не могут быть

верны. Вспомним о попытках уточнить ньютоновскую механику введением квантовых условий Бора—Зоммерфельда, о положениях принципа соответствия Бора, допускавших лишь качественное употребление, или о тех сложных формулах для инертной массы движущегося электрона, которые будто бы вытекали из прежней электродинамики. Когда в таких условиях среди интенсивных поисков новых понятийных или формальных решений вдруг всплывает верный проект завершенной теории, то он с самого начала обладает огромной убедительной силой уже потому, что его нельзя сразу опровергнуть. Исследователь, основательно занимающийся соответствующей областью опыта, имеет, пожалуй, оправданное убеждение, что он в состоянии с порога опровергнуть ложный проект окончательной теории. Если новый проект кажется подлинным выходом из тупика, в который завели прежние трудности, если он не наталкивается сразу на неразрешимые противоречия, то ему ничто не мешает быть правильным. Ведь подвергаемые анализу понятийные системы образуют некое дискретное, заведомо не непрерывное множество. И всегда присутствующая возможность блужданий и ошибок на начальной стадии развития теории в перспективе их позднейшего устранения не мешает принципиальной уверенности в том, что правильный подход к построению завершенной теории найден.

Чтобы подкрепить свое утверждение о легкой опровержимости ложных подходов, расскажу — коль скоро в юбилейном сборнике уместны подобные воспоминания — один анекдот из жизни Лейпцигского семинара 1930—1932 годов, в котором принимали участие фон Вейцеккер, многие ныне известные атомные физики, а также математик ван дер Варден⁶⁷. За чаем после семинара было принято обсуждать вопросы, не входившие в узкий круг проблем атомной физики, и однажды речь зашла о теории чисел и о знаменитом законе Ферма, согласно которому в уравнение $a^n + b^n = c^n$ невозможно подставить целые числа на место a , b и c , если показатель степени n тоже целочисленный и если он больше 2. Я спросил тогда, не может ли случиться так, что какой-нибудь математик объявит об опровержении закона Ферма и приведет конкретный пример подстановки, якобы удовлетворяющей вышеприведенному уравнению, но изберет для a , b , c и особенно для n столь большие значения, что никто не сумеет вычислить соответствующие степени, т. е. никто не сможет доказать неправильность уравнения. Ван дер

Варден тотчас энергично возразил и предложил мне пари: я должен придумать какой-нибудь числовой пример подобного рода, а он обязан в срок менее семи минут опровергнуть мое уравнение; если ему это не удастся, я выиграл пари, если удастся, выиграл он. У меня была целая неделя до следующего семинара, и я, конечно, постарался сделать свой пример таким, чтобы он проходил по всем известным мне простым критериям, т. е. чтобы, например, остатки по отношению ко всем простым числам вплоть до 13 удовлетворяли уравнению и т. д. Тем не менее ван дер Вардену удалось за три с половиной минуты опровергнуть мой пример и тем самым выиграть пари. Он настолько основательно изучил весь этот комплекс проблем, что имел в своем распоряжении гораздо больше критериев, чем любой физик.

Ложные проекты завершенной теории какого-либо крупного комплекса физических явлений, пожалуй, не всегда удастся опровергнуть за три с половиной минуты; но их несостоятельность все же очень быстро увидит человек, по-настоящему знакомый с соответствующей областью. Верному подходу с самого начала придает огромную убедительную силу вызываемый им эффект удивления, осознание, что «это вот действительно похоже на правду».

Изменения структуры мышления в развитии науки⁶⁸

Ниже речь пойдет об изменениях структуры мышления в ходе развития естественных наук. Должен признаться, поначалу я предполагал дать довольно агрессивное название избранной теме. Я собирался говорить о том, «как делаются революции». Но я побоялся, что вы будете ожидать слишком многого от моего доклада, побоялся того, что на него могут явиться не те слушатели. Поэтому я и остановился на более осторожной формулировке: «Изменения структуры мышления». И все же нельзя не признать, что именно в последние 100 лет в науке — по меньшей мере в нашей науке, физике, — произошли столь радикальные изменения в структуре мышления, что мы вполне можем говорить здесь о революции, даже о нескольких революциях, и в этом смысле применительно к «изменениям структуры мышления» я и буду использовать здесь слово «революция».

Мне следовало бы, пожалуй, сначала описать историю тех изменений в структуре мышления, которые произошли со времен ньютоновской физики. Ньютоновскую физику разумно принять в качестве отправной точки потому, что метод современной естественной науки — эксперимент в соединении с точным описанием явлений и их взаимосвязей — формировался и развивался вместе с ней. В то время интересовались движением тел под действием сил. В результате больших успехов ньютоновского естествознания и вследствие того, что его утверждения часто — хотя и не всегда — обладали наглядной очевидностью, возникло представление, что такой способ образования понятий позволит в конечном счете объяснить все природные явления. Важнейшими понятиями были время, пространство, тело, масса, место, скорость, ускорение, сила. Силой считалось действие одного тела на другое.

Ньютоновскую механику можно было какое-то время существенно расширять, сохраняя эту систему понятий. Гидродинамику, например, можно было вывести из нью-

тоновской механики, лишь несколько расширив понятие тела. Вода, естественно, не твердое тело. Однако единичные элементы объема жидкости можно было считать телами в смысле ньютоновской физики и таким путем достичь математического и вместе с тем подтверждаемого опытом описания кинематики и динамики жидкостей. Возникла привычка к такому мышлению, которое постоянно задавалось вопросом о движениях тел или мельчайших частей материи под действием сил.

Только в XIX веке натолкнулись на границы такого типа мышления и постановки вопросов. Трудности — весьма разные по характеру — возникли в двух различных сферах. В учении об электричестве обнаружило свою недостаточность понятие силы, с какой одно тело действует на другое. Фарадей первым указал на то, что мы лучше поймем электрические явления, если будем считать силу функцией пространства и времени, уподобляя ее распределению скоростей или напряжений в жидкости или упругом теле, — другими словами, если перейдем к понятию поля сил. С точки зрения ньютоновской физики такой переход можно было допустить, только приняв, что в пространстве существует однородная субстанция, эфир, поле напряжений или искривлений которого можно было бы отождествить с силовым полем электродинамики. Без такого гипотетического эфира нельзя было интерпретировать электродинамику в мире ньютоновских понятий. Лишь через несколько десятилетий заметили, что в этом гипотетическом эфире, по сути дела, вовсе не было нужды, что он не может обнаружиться ни в каких явлениях и было бы поэтому вернее приписать силовому полю собственную, независимую от каких бы то ни было тел реальность. Однако введение подобной физической реальности окончательно взрывало рамки ньютоновской физики. Приходилось ставить вопросы, отличные от тех, какие умела задавать прежняя физика. Предельно обобщая, можно, пожалуй, сказать, что изменение структуры мышления внешне проявляется в том, что слова приобретают иное значение, чем они имели раньше, и задаются иные, чем прежде, вопросы.

Другой областью, где обнаруживалась недостаточность старого ньютоновского способа образования понятий, было учение о теплоте, хотя трудности здесь были гораздо более тонкими, чем в учении об электричестве, и замечались не так легко. Поначалу все казалось достаточно простым. Можно было дать статистическое описание движе-

ния большого числа молекул и тем самым объяснить закономерности феноменологического учения о теплоте. И только когда понадобилось перейти к обоснованию входящей в эту статистику гипотезы неупорядоченности, заметили, что приходится выходить за рамки ньютоновской физики. Первым, кто увидел это со всей отчетливостью, был, наверное, Гиббс. Прошло, однако, несколько десятилетий, прежде чем гиббсовская трактовка учения о теплоте получила хоть какое-то признание, а многим она, вероятно, и поныне кажется странной и непонятной. Во всяком случае, понимание ее требует изменения структуры мышления, потому что здесь появляется отсутствующее в ньютоновской физике понятие условий наблюдения, а также потому, что здесь — часто не осознавая этого — ставят иного рода вопросы.

Но только в XX веке теория относительности и квантовая механика заставили произвести по-настоящему радикальные изменения в основах физического мышления. В теории относительности выяснилось, что понятие времени ньютоновской механики неприменимо, если речь идет о явлениях, где играют роль движения с очень большими скоростями. Поскольку независимость пространства и времени входила в число фундаментальных предпосылок и прежнего мышления, эту структуру мышления приходилось изменить, чтобы признать требуемую теорией относительности связь пространства и времени. Понятие абсолютной одновременности, казавшееся в ньютоновской механике очевидным, нужно было отбросить и заменить другим понятием, учитывающим зависимость от состояния движения наблюдателя. Здесь корень того, почему теория относительности не раз подвергалась критическим нападкам и ожесточенно отвергалась некоторыми физиками и философами. Они чувствовали себя просто не в состоянии пойти на требуемое здесь изменение структуры мышления. Несмотря на это, такая перестройка является условием понимания сегодняшней физики.

Наконец, квантовая механика выдвинула еще более серьезные требования. Пришлось вообще отказаться от объективного — в ньютоновском смысле — описания природы, когда основным характеристикам системы, таким, как место, скорость, энергия, приписываются определенные значения, и предпочесть ему описание ситуаций наблюдения, для которых могут быть определены только вероятности тех или иных результатов. Сами слова, применявшиеся при описании явлений атомарного уровня,

оказывались, таким образом, проблематичными. Можно было говорить о волнах или частицах, помня одновременно, что речь при этом идет вовсе не о дуалистическом, но о вполне едином описании явлений. Смысл старых слов в какой-то мере утратил четкость. Известно, что даже столь выдающиеся физики, как Эйнштейн, фон Лауэ, Шрёдингер, оказались не готовыми к этому или не способными изменить структуру своего мышления.

В общем, оглядываясь назад, можно констатировать, что в текущем столетии произошли две великие революции в нашей науке, сдвинувшие самые основания физики и изменившие в результате все здание этой науки. Зададим теперь вопрос, как произошли столь радикальные изменения или — выражаясь более социологически, но вместе с тем и искажая саму суть дела — как небольшой по видимости группе физиков удалось заставить других физиков изменить структуру науки и мышления. Нечего и говорить, что эти физики поначалу оборонялись, да иначе и не могло быть. Именно здесь я должен предупредить одно напрашивающееся возражение, оправданное тем не менее лишь отчасти. Можно было бы сказать, что сравнение революции в науке с революцией в обществе совершенно ложно, потому что в науке речь в конечном счете идет о правильном или ложном, тогда как в обществе — о желаемом или менее желаемом. Возможно, это возражение в какой-то мере справедливо. Следует тем не менее заметить, что по отношению к обществу место понятий «правильное» и «ложное» могли бы занять понятия «возможное» и «невозможное», ибо при данных внешних условиях возможна вовсе не любая форма общественной жизни. Историческая возможность представляет собой такой же объективный критерий правильности, как и эксперимент в науке. Как бы там ни было, нам необходимо ответить на вопрос, как же произошли эти революции.

Пожалуй, мне следует начать с истории квантовой теории, поскольку я знаю ее лучше всего. После того как в последней трети прошлого столетия пришли к убеждению, что как в статистическом учении о теплоте, так и в области электромагнитного излучения все стало понятным, естественно было заключить, что теперь, наверно, удастся вывести также и закон излучения так называемого черного тела. Но здесь выявились неожиданные трудности, пробудившие чувство неуверенности. Прямое применение уже доказавших свою надежность законов статистической термодинамики к теории излучения приводило

к абсурдному результату, который никоим образом не мог быть верным. Из-за этого, разумеется, ни один физик или группа физиков не стали бы бить тревогу и призывать к ниспровержению физики. Об этом не было и речи. Хорошие физики знали, что здание классической физики построено так прочно и столь надежно укреплено тысячами связанных друг с другом экспериментов, что его насильственное изменение могло привести только к противоречиям. Потому и сделали самое разумное, что только можно сделать в подобных случаях: стали выжидать, не появятся ли в процессе дальнейшего развития новые точки зрения, способные привести к разрешению этих трудностей в рамках классической физики. Среди тех, кто занимался этими проблемами, был тогда один физик явно консервативного уронастроения, который не довольствовался одним только выжиданием. Он верил, что путем более тщательного и основательного анализа проблемы, может быть, удастся прийти к этим новым точкам зрения. Это был Макс Планк. Планк также и в мыслях не стремился опровергнуть классическую физику, он хотел только добиться ясности в этой явно не решенной еще проблеме излучения «черного тела». В итоге он, к своему ужасу, обнаружил, что для объяснения такого излучения вынужден выдвинуть гипотезу, не вмещающуюся в рамки классической физики и с точки зрения старой физики казавшуюся, собственно говоря, совершенно безумной. Позднее он попытался смягчить свою квантовую гипотезу, чтобы противоречие с классической физикой стало не столь шокирующим. Но попытки эти были безуспешны.

И лишь затем был сделан следующий шаг, возвестивший начало настоящей революции. Эйнштейн установил, что особенности квантовой теории Планка, противоречащие классической физике, проявляются и в других феноменах, например в удельной теплоемкости твердых тел или в излучении света. Отсюда квантовая теория распространилась на структуру атома, на химию, на теорию твердых тел — повсюду приходили к убеждению, что квантовая гипотеза описывает, по всей видимости, существенную, прежде упускавшуюся из виду особенность природы. Начали мириться с тем, что внутренние противоречия, неизбежные по меньшей мере на первых порах, делают настоящее понимание физики невозможным.

Дальнейшее вам известно. Лишь позже, к середине 20-х годов, стало ясно, сколь радикальной перестройке должно подвергнуться все здание физики, и в особенности

его фундамент. И только к тому времени со всей силой обнаружилось упорное сопротивление уже оформившейся теории. До тех пор квантовую теорию вовсе не обязательно было принимать всерьез. Она была полна внутренних противоречий, что, несомненно, не позволяло считать ее окончательно установленной. Однако со второй половины 20-х годов она обрела законченную и свободную от противоречий форму. Всякий желавший ее понять должен был изменить структуру своего мышления по меньшей мере в сфере физики; он должен был ставить другие вопросы и использовать иные, чем прежде, наглядные образы. Вы знаете, что для многих физиков это оказалось крайне затруднительным. Даже Эйнштейн, фон Лауэ, Планк, Шрёдингер не могли признать окончательность нового послереволюционного состояния. Но я еще раз подчеркиваю, что за всю историю квантовой механики никогда не было такого физика или такой группы физиков, которые стремились бы к ниспровержению физики.

Сравним, однако, развитие квантовой теории с другими, более ранними революциями в истории физики. Спросим, например, как возникла теория относительности. Отправной точкой здесь была электродинамика движущихся тел. Поскольку герцевские волны считались колебаниями гипотетической среды, эфира, поскольку, иными словами, их следовало рассматривать в системе ньютоновских понятий, неизбежно возникал вопрос, что произойдет в эксперименте с телами, движущимися относительно эфира. Было выдвинуто необозримое количество проектов, уже в силу одной только сложности казавшихся ложными. Разумеется, очень заманчиво поразмышлять здесь о том, когда предложенная формула заранее кажется ложной, а когда нет, но я воздержусь от этого. Напомню лучше, что понятие «движение относительного эфира» уже в то время казалось многим физикам подозрительным, потому что ни разу еще не удавалось наблюдать эфир. Физики чувствовали себя заблудившимися в чаще леса и были поэтому рады, когда знаменитые майкельсоновские эксперименты позволили исследовать движение Земли относительно эфира. Результатом, как известно, было то, что и тут никакого эфира не обнаружилось. Как следствие среди физиков распространился общий скептицизм по отношению к понятию эфира и всех связанных с ним расчетов. Однако и после этого не появилось такой группы физиков, которая была бы тревогу и возвещала крушение физики. Напротив, решение старались пайти в

рамках существовавшей физики, внося в нее наивозможно малые изменения. Поэтому Лоренц предложил ввести для движущихся систем отсчета кажущееся время, связанное с временем, измеренным в покоящейся системе отсчета с помощью знаменитых преобразований Лоренца, и допустить, что это кажущееся время определяет разность хода световых лучей. И только после этого Эйнштейн заметил, что картина бесконечно упрощается, если в преобразовании Лоренца отождествить кажущееся время с действительным. Но тем самым Лоренцовы преобразования приобретали характер высказывания о структуре пространства и времени, и если это высказывание считать правильным, слова «пространство» и «время» означали уже нечто иное, чем в ньютоновской физике. Понятие одновременности было релятивизировано, и структура нашего физического мышления, в основания которого непременно входят понятия «пространство» и «время», изменилась. Эта революция также натолкнулась впоследствии на сильное сопротивление, вызвавшее бесчисленные дискуссии о теории относительности. Но сейчас мне важно лишь подчеркнуть, что и эта революция в физике произошла отнюдь не потому, что некто вознамерился разрушить или радикально перестроить здание классической физики.

Сделаем еще шаг назад в этой истории и вернемся к максвелловской теории и статистическому учению о теплоте. Сегодня нам трудно осознать, что речь уже и тогда шла о глубинных изменениях в структуре физического мышления. Но в наши дни вряд ли можно говорить об этих изменениях независимо от позднейших изменений в теории относительности и квантовой теории. Введенное Фарадеем и Максвеллом понятие поля было, так сказать, первым шагом к тому, чтобы, отбросив впоследствии представление об эфире, понять поле как самостоятельную физическую реальность; а в той форме, которую учение о теплоте приняло у Гиббса, было уже предвосхищено понятие условий наблюдения, сыгравшее столь важную роль в квантовой теории. Помимо всего прочего, пожалуй, самым ярким свидетельством того, что речь здесь шла о существенных изменениях в структуре физического мышления, может служить опять-таки то сопротивление, на которое длительное время наталкивались эти теории. Впрочем, мы коснемся этой стороны проблемы позже. В обоих этих случаях также справедливо то, что было сказано ранее по поводу теории относительности и кван-

товой теории: ни один физик ни на каком этапе развития не думал о крушении существующей физики. Напротив, долгое время сохранялась надежда на то, что новые феномены удастся понять в рамках ньютоновской физики, и только потом обнаружилось, что сдвиг произошел в самих основах физики.

А теперь несколько слов о том упорном сопротивлении, с которым сталкивалось всякое изменение в структуре мышления. Работающий в науке человек знакомится на протяжении своей жизни с новыми явлениями или с новыми интерпретациями явлений, а может быть, даже и сам находит их. К этому привыкаешь, и ученый всегда готов наполнить свою мысль новым содержанием. Для него, стало быть, вовсе не характерно консервативное — в обычном смысле слова — стремление держаться только издавна привычных образцов. Поэтому прогресс в науке обходится, как правило, без сопротивления и пререканий. Дело, однако, оборачивается иначе, когда новая группа явлений заставляет произвести изменения в структуре мышления. Здесь даже наиболее выдающиеся физики испытывают величайшие затруднения, ибо требование изменить структуру мышления вызывает такое ощущение, будто почва уходит из-под ног. Ученый, которому усвоенная с юности структура мышления позволяла затем на протяжении ряда лет добиваться в своей науке немалых успехов, просто не может перестроить свое мышление на основании нескольких новых экспериментов. Изменение сознания, открывающее путь к новому образу мышления, может произойти в лучшем случае после многолетнего продумывания новой ситуации. Мне представляется, что серьезность возникающих здесь трудностей невозможно переоценить. Напротив, когда ощутишь всю глубину отчаяния, с которым умные и доброжелательные люди науки реагируют на требование изменить структуру мышления, приходится, собственно, только удивляться тому, что революции в науке вообще оказались возможны.

Но как же в таком случае они произошли? Тут напрашивается ближайший, но, по всей видимости, еще неудовлетворительный ответ: они произошли потому, что в науке существует «правильное» и «ложное», и новые представления оказались правильными, а старые — ложными. Говоря так, мы подразумеваем, что в науке всегда торжествует правильное. Однако это вовсе не так. Например, выдвинутое Аристархом правильное представление о гелиоцентрическом строении планетной системы было

отвергнуто в пользу геоцентрической модели Птолемея, хотя она и была ложной. Разумеется, еще неудачнее было бы другое объяснение успеха революций: они одерживают победу, поскольку физики охотно признают авторитет сильной революционной личности, например Эйнштейна. Об этом, конечно же, не может быть и речи, поскольку внутреннее сопротивление изменению структуры мышления слишком сильно, чтобы его мог одолеть авторитет одиночки. Пожалуй, правильное объяснение таково: научные деятели понимают, что новая структура мышления позволяет добиться в науке большего, чем старая, то есть новое оказывается более плодотворным. Ибо тот, кто однажды решил стать ученым, прежде всего стремится двигаться вперед, он хочет участвовать в открытии новых путей. Он не довольствуется повторением старого, не раз уже сказанного. Вот почему он интересуется такими проблемами, где ему, так сказать, «есть, чем заняться», где перед ним открывается перспектива успешной деятельности. Именно поэтому одержали победу теория относительности и квантовая теория. Конечно, место высшей инстанции занимает тем самым критерий прагматической ценности, и поэтому нельзя быть абсолютно уверенным в том, что всегда одерживает верх правильное. Знаменитым контрпримером служит опять-таки птолемеевская астрономия. Но по крайней мере здесь действуют силы, способные одолеть внутреннее сопротивление изменению структуры мышления.

От конечной стадии революции в науке обратимся теперь еще раз к ее начальной стадии. Приведенные мною примеры, думается, убеждают в том, что в истории никогда не существовало стремления радикально перестроить здание физики. Наоборот, все всегда начинается с весьма специальной, узко ограниченной проблемы, не находящей решения в традиционных рамках. Революцию делают ученые, которые пытаются действительно решить эту специальную проблему, но при этом еще и стремятся вносить как можно меньше изменений в прежнюю науку. Как раз желание изменять как можно меньше и делает очевидным, что к введению нового нас вынуждает предмет, что сами явления, сама природа, а не какие-либо человеческие авторитеты заставляют нас изменить структуру мышления.

Позволительно ли переносить подобный анализ и на другие революции, например в искусстве или обществе? То есть, в заключение я хочу вернуться к вопросу, постав-

ленному мною вначале: «Как делаются революции?» На время, так сказать, в порядке опыта, не вступая в дискуссию с историками, попробую допустить, что один ответ имеет силу одновременно во всех областях. В таком случае ответ будет таков: революции делаются, когда мы стремимся изменить как можно *меньше*. А именно, убедившись, что мы имеем дело с проблемой, неразрешимой в традиционных рамках, мы должны, по-видимому, сосредоточить все силы на решении только этой одной проблемы, не думая пока об изменениях в других областях. Тогда-то — по меньшей мере в науке — и возникает наивысшая вероятность того, что отсюда может развиваться настоящая революция, если только вообще имеется необходимость в новом фундаменте. Но это мы как раз и предположили, а без такой необходимости, вне всякого сомнения, не произойдет ничего, что было бы сравнимо с революцией. Я бы охотно предоставил присутствующим здесь историкам поразмышлять о том, годится ли данный мною ответ также и для истории. Все же в качестве примера, подтверждающего подобное мнение, можно привести, скажем, лютеровскую реформацию. Лютер и его приверженцы видели, что тогдашняя церковь нуждалась в реформе, но до поры до времени это не влекло за собой никаких особых последствий. Лютер, однако, сознавал, что продажа индульгенций представляет собой издевательство над религиозными убеждениями людей, и считал абсолютно необходимым исправить положение. В намерение Лютера никогда не входило изменить религию или же расколоть церковь. Поначалу Лютер направил все силы на решение одной проблемы, проблемы торговли индульгенциями, а уже отсюда с очевидной исторической неизбежностью последовала реформация.

Но почему же ошибочно требовать ниспровержения всего существующего, если потом все равно происходит революция? Все ранее сказанное позволяет дать ответ, почти не задумываясь: потому что при этом возникает опасное стремление к произвольным изменениям даже там, где законы природы полностью исключают возможность изменений. Попросту игнорировать существующие законы природы пытаются в науке только писатели-фантасты и глупцы вроде изобретателей вечного двигателя; естественно, из этих попыток ничего не выходит. На успех может рассчитывать лишь тот, кто старается изменить как можно *меньше*, показывая этим, что изменения вынуждены самим предметом, а те малые изменения,

абсолютную необходимость которых ученый наконец доказал, заставляют затем изменить структуру мышления, то есть произвести фундаментальные сдвиги, что может занять годы и даже десятилетия.

Я развернул перед вами этот анализ исторического развития физики, поскольку меня беспокоит то обстоятельство, что модное ныне слово «революция» может в самых разных отношениях сбивать с толку, и изучение истории новейшей физики могло бы оказаться весьма полезным, чтобы этого избежать. Впрочем, как я уже говорил, я предоставляю вам размышлять о том, сколь далеко может заходить сопоставление революции в науке и революции в обществе. Подобная аналогия может быть правильной всегда лишь наполовину, но она и намечена здесь, конечно же, только для того, чтобы побудить к размышлениям.

В центре внимания физиков в наши дни стоит физика элементарных частиц. В этой связи возникает иногда вопрос, не закончится ли физика вообще, как только будут решены поставленные здесь проблемы. Ведь вся материя и все излучение состоят из элементарных частиц, так что, казалось бы, можно сделать вывод, будто полное знание законов, определяющих их свойства и поведение, нечто вроде «мировой формулы», в принципе должно бы наметить контуры всех физических процессов. В таком случае, даже если бы прикладной физики и технике предстояло еще длительное развитие, принципиальные вопросы были бы ясны и фундаментальные физические исследования закончены.

Принятию этого тезиса о возможном завершении физики препятствует опыт прошлого, когда тоже думали, что физика вот-вот кончится, — и ошибались при этом. Макс Планк рассказывал, что его учитель Джолли отсоветывал ему изучать физику, так как она-де в основном завершена и тому, кто хочет заниматься научно-исследовательской деятельностью всерьез, едва ли стоит тратить на нее свои силы. Ныне никто уже не пытается выступать с такими ложными прогнозами, и вопрос поэтому следует поставить так: а существовали ли в истории физики вообще хотя бы частные подразделы, достигшие окончательной формулировки своих законов и внушающие поэтому уверенность в том, что и через тысячи или миллионы лет, на любой сколь угодно отдаленной от нас солнечной системе ход явлений будет подчиняться этим законам в той же самой математической формулировке?

Вне всякого сомнения, такие замкнутые разделы существуют. Вот один вполне конкретный пример: закон рычага был сформулирован Архимедом около двух тысяч лет назад, но можно не сомневаться, что он будет справедлив всегда и повсюду. То же самое можно, по-видимому, утверждать и о ньютоновской механике в целом.

Путешественники на Луну без колебаний полагаются на ее принципы и действуют в соответствии с ними. А если им понадобится воспользоваться рычагом, они, само собой разумеется, будут считать правильным старый закон Архимеда и успешно применять его. Впрочем, уже здесь можно было бы выдвинуть следующее возражение: разве теория относительности и квантовая механика не представляют собой улучшенную по сравнению с ньютоновской механику? И там, где необходима высокая степень точности, разве путешественник на Луну не должен обратиться к этому улучшенному варианту? А если так, не доказывает ли это, что, по существу, и механика еще вовсе не закончена?

Чтобы найти ответ на эти вопросы, необходимо прежде всего констатировать следующее: когда формулируются великие всеобъемлющие законы природы — а это стало впервые возможным в ньютоновской механике, — речь идет об идеализации действительности, а не о ней самой. Идеализация возникает оттого, что мы исследуем действительность с помощью понятий, оправдавших себя при описании явлений и придающих этим последним определенный облик. В механике это, например, такие понятия, как место, время, скорость, масса, сила. Тем самым, однако, мы ограничиваем — или, если угодно, стилизуем — картину реальности, поскольку отвлекаемся от всех особенностей, которые уже нельзя уловить в этих понятиях. Если помнить об этих ограничениях, можно утверждать, что в ньютоновской теории механика завершена, иными словами, механические явления строго подчиняются законам ньютоновской физики — в той мере, в какой они вообще поддаются описанию в понятиях этой физики. Мы убеждены, как уже говорили, в том, что утверждения этой физики будут верны и через миллионы лет, и на отдаленнейших солнечных системах, и полагаем, что в рамках своих понятий ньютоновская физика не может быть улучшена. Но мы никоим образом не вправе утверждать, что в этих понятиях могут быть описаны все явления.

Можно, стало быть, — с упомянутыми оговорками — сказать, что ньютоновская механика представляет собой замкнутую теорию. Для такой замкнутой теории характерна система определений и аксиом, фиксирующая основополагающие понятия и их связи. Кроме того, должна существовать большая сфера опыта, наблюдаемых явлений, которая может быть в этой системе описана с высокой

степенью точности. Теория соответственно представляет собой справедливую для всех времен идеализацию этой сферы опыта.

Но существуют и другие сферы опыта, а тем самым и другие замкнутые теории. В XIX веке особо замкнутую — в указанном смысле — форму получила термодинамика как статистическое описание системы с очень большим числом степеней свободы. Аксиомы, лежащие в основе этой теории, определяют и связывают такие понятия, как температура, энтропия, энергия, причем первые два понятия вообще не встречаются в ньютоновской механике, а последнее играет важную роль в любой области опыта, не только в механике. В работах Гиббса статистическая термодинамика приобрела вполне замкнутый вид, и мы не можем сомневаться в том, что ее законы будут иметь силу повсюду и в любое время — но, разумеется, только для тех явлений, которые можно описать с помощью понятий температуры, энтропии, энергии. Эта теория тоже является идеализацией, и мы знаем, что имеется масса состояний, например, газообразного вещества, где нельзя говорить о температуре и где, стало быть, законы термодинамики неприменимы.

Из сказанного ясно, что в физике существуют замкнутые теории, которые можно считать идеализациями ограниченной сферы опыта и которые претендуют на вечную значимость. Очевидно, однако, что о конце физики в целом говорить тут пока еще нельзя.

За последние 200 лет были экспериментально разработаны совершенно новые сферы опыта. Со времен фундаментальных трудов Гальвани и Вольты с возрастающей точностью изучаются электромагнитные явления. Фарадей выявил связь этих явлений с химией, а Герц — с оптикой. Факты, послужившие основой для развития атомной физики, были сначала открыты в химических опытах, а затем детальнейше изучены в экспериментах с электролизом, разрядом в газах, а позднее с радиоактивностью. Замкнутых теорий прошлого не хватало для понимания этого колоссального нового материка. Поэтому возникли новые, более емкие теории, которые можно считать идеализациями этой новой области. Из электродинамики движущихся тел возникла теория относительности, приведшая к появлению новых воззрений на пространство и время. Квантовая теория говорит о механических процессах внутри атома. При этом в качестве предельного случая — когда можно полностью объективировать событие, то есть

отвлечься от взаимодействия между наблюдателем и исследуемым объектом, — она включает в себя также и ньютоновскую механику.

И теорию относительности, и квантовую механику можно считать замкнутыми теориями. Они представляют собой очень общие идеализации весьма широкой сферы опыта, и можно считать, что их законы будут справедливы в любом месте и в любое время — но только относительно той сферы опыта, в которой применимы понятия этих теорий.

Наконец, за последние десятилетия в исследованиях космических лучей, а главное в экспериментах на крупных ускорителях (например, в Беркли, Женеве, Брукхейвене, Серпухове) были заложены основы физики элементарных частиц. При этом выявились такие особенности, которые позволили пролить новый свет на древнюю проблему мельчайших частиц материи. До сих пор развитие физики неизменно показывало, что каждый раз, когда какие-нибудь формы признавались в качестве мельчайших материальных частей, их можно было разделить на еще более мелкие формы, применяя более мощные силы. Атомы химиков нельзя разложить химическими средствами. Однако в электроразрядных трубках, то есть под действием более мощных электрических сил, атомное ядро можно отделить от окружающих электронов. Сталкиваясь с другими ядрами достаточно высоких энергий, это атомное ядро подвергается дальнейшему делению. Выяснилось, что все атомные ядра состоят из двух основных составных частей, из протонов (ядер атома водорода) и нейтронов. Их, как и электроны, назвали элементарными частицами. Естественно было предположить, что, применяя еще большие силы, например бомбардируя ими друг друга с чрезвычайно высокой энергией, можно будет расщепить также и протоны и нейтроны. Подобного рода исследования и были проведены на больших ускорителях. Оказалось, однако, что при таких соударениях происходит нечто иное. Высокая кинетическая энергия сталкивающихся друг с другом элементарных частиц превращается в материю, иными словами, при соударении возникают новые элементарные частицы, которые, однако, вовсе не обязательно меньше самих соударяющихся частиц. В таком случае говорить о «делении», по сути дела, уже нельзя. Итак, экспериментируя с элементарными частицами при таких больших ускорениях, мы подошли к пределу, за которым понятие деления — для известных на сегод-

нышний день элементарных частиц — утрачивает смысл, и мы с чистой совестью можем допустить, что эти элементарные частицы в самом деле являются мельчайшими частями материи, если только можно вообще придать какой-нибудь смысл данному понятию.

Эту новую опытную область, физику элементарных частиц, не удалось описать с помощью имеющихся замкнутых теорий — квантовой механики и теории относительности, — хотя уже в них речь идет о весьма далеко идущих идеализациях. Но подобно старой ньютоновской механике, квантовая механика все еще предполагает существование неизменных точечных масс; молчит она и о превращении энергии в материю. Напротив, теория относительности пренебрегает теми особенностями природы, которые связаны с планковским квантом действия; она, стало быть, еще допускает объективацию явлений в смысле классической физики. Итак, для физики элементарных частиц надо было искать еще более глубокую идеализацию, которая охватывала бы в качестве предельных случаев и квантовую механику, и теорию относительности. Подобно тому как квантовая механика смогла объяснить, например, сложный оптический спектр атома железа, новая теория должна объяснить сложный спектр элементарных частиц. Подобная идеализация, можно не сомневаться, получит однажды адекватное математическое представление, но только дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования могут показать, достаточны ли для такого представления предложенные до сих пор математические структуры. Однако независимо от этой проблемы, которой нам незачем здесь заниматься, можно спросить: ну, а в том случае, если такую идеализацию удастся разработать, будет ли физика завершена? Поскольку все физические объекты состоят из элементарных частиц, можно было бы заключить, что полное знание законов, определяющих поведение элементарных частиц, эквивалентно полному знанию законов поведения всех физических объектов, а поэтому мы можем говорить здесь о конце физики.

Подобное умозаключение, однако, едва ли правомерно, поскольку оно упускает из виду одно важное обстоятельство. Дело в том, что и замкнутую теорию элементарных частиц — назовем ли мы ее «мировой формулой» или нет — следует понимать как идеализацию. Хотя она строго отображает неслыханно широкую область явлений, вполне могут существовать и другие явления, которые эта

идеализация охватить неспособна. Наиболее разительным примером, доказывающим такую возможность, служит биология. Все биологические объекты тоже состоят из элементарных частиц, тем не менее понятия, в которых обычно описываются биологические процессы, например понятие самой жизни, не встречаются в этой идеализации. Так что физике еще предстоит развиваться в этом направлении.

Возразить на это можно было бы только то, что речь здесь идет уже не о физике, а о биологии, физика же при этом остается завершенной. Однако границы между физикой и смежными науками столь расплывчаты, что подобным различием достигают немногого. Потому-то большинство физиков и согласны в том, что именно вследствие неопределенного характера границ, отделяющих физику от смежных дисциплин, говорить о ее конце не следует.

Между тем некоторые физики оспаривают и то, что в обозримом будущем можно ожидать завершения даже этой узкой области физики элементарных частиц. Они указывают, что строительство все более мощных ускорителей позволяет достигать все более высоких энергий, сталкивающих частиц, а это может однажды привести нас к открытию неведомых территорий. Мнение это исходит, однако, из допущения, которое не имеет ни эмпирических, ни теоретических оснований, а именно: что при дальнейшем повышении энергий должны обнаруживаться новые явления. При изучении космических лучей не было найдено никаких новых явлений, между тем энергия, которую развивают в них сталкивающиеся частицы, в тысячи раз превосходит энергию самых мощных из существующих на сей день ускорителей. Не открыта также и частица кварк, существование которой гипотетически допустили некоторые теоретики. Нет, стало быть, ни экспериментальных, ни теоретических оснований для существования этих новых областей, но полностью исключить их существование нельзя⁷⁰.

Пока не появились новые опытные данные такого рода, надо — размышляя над вопросом о конце физики — в первую очередь сосредоточить внимание на расплывчатых границах физики со смежными сферами науки и на ином способе образования понятий, который используется в этих смежных областях. К таким пограничным сферам относится математика, теория информации и философия, и в будущем, обсуждая очередное научное завоевание,

мы, видимо, не всегда сможем без затруднения решить, идет ли здесь речь об успехе физики, теории информации или философии; внедряется ли физика в биологию или же биология все в большей мере пользуется физическими методами и ставит свои проблемы в духе физики. О конце физики можно было бы говорить поэтому только в случае, если бы некоторые методы и способы образования понятий были закреплены за физикой, а другие формы постановки проблем предоставлены другим наукам. Такое, впрочем, вряд ли произойдет, ибо ближайшее развитие будет характеризоваться именно объединением науки, преодолением исторически сложившихся границ между отдельными дисциплинами.

Язык и реальность в современной физике ⁷¹

Принято было считать, что проблема языка играет в естественных науках подчиненную роль. Ведь здесь речь идет о предельно точном наблюдении различных областей природы, о понимании характера ее действий. Трудности, преодолеваемые физиком или химиком, связаны с несовершенством органов чувств или исследовательской аппаратуры, они обусловлены сложностью природных взаимосвязей, строй которых представляется нам поначалу непостижимым. Но если уж результаты получены, нет, кажется, ничего легче, чем рассказать о них, тем более нет никакой нужды специально обсуждать проблему языка. Правда, в истории науки часто оказывалось целесообразным, а порою и необходимым введение в язык дополнительных искусственных слов, удобных для обозначения ранее не известных объектов или взаимосвязей, и этот искусственный язык в общем и целом удовлетворительно описывал новооткрытые закономерности природы.

Когда же экспериментальные открытия новейшей физики и их успешный теоретический анализ в теории относительности и квантовой механике привели в последние десятилетия к пересмотру оснований физики, отношение к проблеме языка принципиально изменилось. По поводу некоторых принципиальных вопросов названных теорий развернулись страстные дискуссии, и уже по ходу этих дискуссий обнаружилось, что сам язык, на котором говорят о новых сферах исследования, стал проблематичным. Это не столь удивительно, если принять во внимание, что наш естественный язык сформировался в мире обыденного чувственного опыта, тогда как современная наука пользуется уникальной техникой, аппаратурой высочайшей тонкости и сложности и проникает с ее помощью в сферы, недоступные чувствам. Нельзя ожидать, что обыденный язык останется в силе и в этих новых областях; вот почему современный физик вынужден размышлять не только о постигаемых им закономерностях природы, но и о языке, с помощью которого он может о них говорить.

Размышление это можно начать с простых констатаций, и гуманитарные науки помогут нам в этом больше, чем естественные. Детьми мы научаемся словам и понятиям не потому, что нам их объясняют, а потому, что мы ими пользуемся. Слова — это как бы средства ориентации в окружающей действительности и освоения ее, оказывающиеся в процессе их употребления более или менее целесообразными. Если мы достаточно часто слышали и сами употребляли какое-нибудь слово, нам кажется, мы знаем, что оно означает. Пользуясь этими языковыми средствами, мы, правда, сталкиваемся с множеством затруднений; мы замечаем, например, что какое-нибудь слово не вполне вписывается в данный контекст или что неясно, в каком, собственно, смысле его здесь надо понимать. Слово представляется нам темным, мы узнаем к тому же, что исторически оно имело несколько разных значений. Возьмем любой пример. Положим, отправляясь на прогулку, мы говорили об озере, а наш спутник думает, что речь идет о небольшом пруде. Нам кажется, что в комнате тепло, а человек, только что пришедший с жаркой улицы, радуется прохладе. В немецком языке есть слово «entleihen» — «одалживать», а изучая английский, мы с удивлением констатируем наличие двух совершенно различных слов «to borrow» и «to lend», означающих одно и то же действие, но в одном случае со стороны берущего, а в другом — дающего в долг. Или: дальтоники тоже пользуются словами «красный» и «зеленый», но чувственные впечатления, связывающиеся у них с этими понятиями, почти одни и те же. Подобных примеров можно привести сколько угодно.

Разумеется, эти языковые трудности были замечены уже давно и сами собою вызвали попытки их устранения. Можно, к примеру, попробовать ограничить значение того или иного слова путем соглашения, иными словами, с помощью «дефиниции», уточняющей смысл слова. Можно четче выявить значение слова с помощью уточняющего пояснения. В качестве примера можно привести, скажем, разделение понятия «условие» на «необходимое условие» и «достаточное условие». Когда одна из воюющих сторон сообщает другой, побежденной, что она будет вести переговоры о перемирии, если некая территория будет освобождена, освобождение это может быть необходимым или достаточным условием переговоров. Оно необходимо, если при невыполнении его переговоры неизбежно не состоятся, оно достаточно, если при выполнении его

переговоры непременно состоятся. Впрочем, пытаясь подобным образом уточнить понятия, нужно ясно сознавать, что в этих дефинициях и пояснениях приходится в конце концов пользоваться понятиями, смысл которых необходимо заранее предполагать известным и, следовательно, принимать их без дальнейшего анализа; вот почему здание языка неизбежно стоит на шаткой почве.

В греческой философии со времен Сократа ограниченность наших языковых средств была центральной темой. Сократ, если верить записи его рассуждений в диалогах Платона, без устали боролся за ясность выраженных в слове понятий и стоящих за ними представлений. Ученик Платона Аристотель сделал в этом направлении решающий шаг вперед. Он исследовал формальную структуру языка и формы умозаключений, не зависящие от содержания посылок, создав в результате первую научную логику.

С другой стороны, логический анализ языка чреват опасностью слишком большого упрощения и известной односторонности в исследовании языковых возможностей. Будучи предпосылкой научного языка, обеспечивая однозначность и точность выводов, логика тем не менее не годится для описания живого языка, располагающего неизмеримо более богатыми выразительными средствами. Любое произнесенное слово вызывает у нас, конечно же, не просто определенное, вполне осознаваемое движение мысли, которое можно считать значением слова; это слово вызывает в глубинах нашего сознания множество смысловых оттенков и ассоциаций, едва уловимых, но зачастую существенных для понимания смысла услышанной фразы. Бывает, что именно это сплетение пробужденных словами полусознанных представлений лучше передает смысл высказываемого, чем цепь строго логических умозаключений. Вот почему в особенности поэты часто выступают против преувеличения значимости логической структуры языка и справедливо подчеркивают значение других структур, основополагающих прежде всего для его художественного использования. Здесь, пожалуй, уместно сослаться на «Фауста» Гёте, на слова Мефистофеля из его разговора с учеником: «Фабрика мыслей подобна ткацкому станку, где тысяча нитей приводится в движение одним толчком, где челнок снует туда и сюда, незримо струятся нити и разом завязывается тысяча связей»⁷².

Жизнь языка описана здесь очень верно, и если уж в науке нам приходится строить рассуждение, руководству-

ясь логической структурой языка, то не следует упускать из виду и другие, более богатые его потенции.

Здесь можно спросить: с чем, собственно, связано требование предельной однозначности и точности, предъявляемое к языку естественных наук, и почему другие, более богатые средства языковой выразительности практически не используются в них? Это требование диктуется прежде всего той задачей, которая стоит перед естественными науками, — попытаться отыскать некие упорядоченности в необъятном многообразии явлений окружающего мира, другими словами, понять эти разнородные явления, сведя их к простым принципам. Надо постараться вывести особенное из всеобщего, понять конкретный феномен как следствие простых и общих законов. Формулировка общего закона допускает использование лишь небольшого числа понятий, иначе закон не будет прост и всеобщ. Далее требуется, чтобы из этих понятий можно было вывести бесконечное многообразие возможных явлений, причем не только описать их качественно и приблизительно, но и ответить максимально точно на каждый конкретный вопрос. Очевидно, что понятия естественного языка со свойственной им неточностью и нечеткостью никоим образом не допускают такой возможности. Если из данных предпосылок требуется вывести последовательность заключений, число возможных звеньев в цепи зависит от точности предпосылок. Вот почему основные понятия, используемые в формулировках общих естественнонаучных законов, необходимо определять с наивысшей точностью, но это удастся сделать только в строго логической системе, а в конечном счете — с помощью математических абстракций.

Поэтому в теоретической физике мы дополняем и уточняем естественный язык, сопоставляя основополагающие для определенной сферы опыта понятия с математическими символами, которые могут быть соотнесены с фактами, то есть с результатами измерений. С тех пор как 300 лет назад Исаак Ньютон написал свой знаменитый труд «*Philosophiae naturalis principia mathematica*», подобное дополнение и уточнение естественного языка с помощью математической схемы считалось всегда подлинным основанием точного естествознания. Эту схему можно назвать искусственным математическим языком. Значение основных понятий и сопоставленных им математических символов устанавливается благодаря системе дефиниций и аксиом. Символы связываются математическими уравнения-

ми, которые и можно считать точным выражением так называемых законов природы. Эти уравнения и выражаемые ими законы природы считаются верными, если нам удастся вывести из законов природы — в качестве возможных решений системы уравнений — бесчисленное множество конкретных явлений, например если удастся с высокой степенью точности вычислить время лунного затмения или траекторию искусственного спутника.

Впоследствии оказалось целесообразным вновь включить элементы этого искусственного математического языка в естественный язык, ввести в него, например, наименования некоторых математических символов, допускающих в какой-то мере наглядное эмпирическое истолкование. В результате такие понятия, как энергия, импульс, энтропия, электрическое поле, стали терминами обывденного языка. Добавлять сверх этого что-либо еще, казалось, не было нужды, и после того, как произошло отмеченное расширение языка, его сочли вполне достаточным для описания и понимания природных процессов.

Только в современной физике произошла здесь, можно сказать, пугающая перемена. С проникновением в области, непосредственно недоступные нашим ощущениям, язык наш порою тоже начинает отказывать. Подобно затупившимся инструментам, понятия нашего языка по отношению к новому ускользающему от них опыту оказываются уже некорректными. Такая возможность отмечалась в принципе уже давно, несколько веков назад. В повседневной жизни каждый понимает смысл слов «наверху» и «внизу». Тела падают вниз, а наверху синее небо. Убедившись, однако, в шарообразности Земли, заметили, что обитатели Новой Зеландии явно перевернуты относительно нас в пространстве, и с нашей точки зрения они как бы висят вниз головой. Можно было, правда, быстро успокоиться, попросту назвав направление к центру Земли направлением «вниз», а от центра — направлением «вверх», и тем самым вроде бы преодолеть трудность. Но в нашу эпоху можно запускать ракеты в космос, и вполне вероятно, что через несколько лет человек на космическом корабле более или менее надолго покинет Землю; для экипажа этого корабля понятия «наверху» и «внизу», как легко понять, вообще утрачивают всякий смысл. И все же довольно трудно представить, как чувствуют себя люди в мире, лишенном определенных «верха» и «низа», как они говорят и что думают о нем.

Поятно, стало быть, что проникновение в новые области природы порой влечет за собой изменения в языке. Но в первые десятилетия XX века нам пришлось столкнуться с поразительным обстоятельством. Проникнув с помощью современных технических средств в новые сферы природы, мы узнали, что даже такие простейшие и важнейшие понятия прежней науки, как пространство, время, место, скорость, становятся здесь проблематичными и требуют переосмысления.

Космический корабль снова может послужить примером для разъяснения связанных с понятием времени проблем, с которыми столкнулись в эйнштейновской теории относительности. Допустим, космический корабль с большой скоростью удаляется от Земли и движется в космическом пространстве; допустим далее, что удастся достаточно долго поддерживать связь между кораблем и Землей. Пусть на корабле имеются часы, сконструированные точно так же, как соответствующие часы на Земле, и откалиброванные по воспроизводимым физическим процессам. Тогда на основании поступающих с космического корабля сообщений наблюдатель на Земле в состоянии контролировать правильность корабельных часов. Он придет к заключению, что они идут чуть медленнее, чем земные часы. Космонавт же, который по сигналам, поступающим с Земли, тоже может сопоставить ход своих часов с ходом часов на Земле, придет к противоположному заключению: для него медленнее идут часы на Земле. Известные нам законы природы не позволяют сомневаться в том, что результат наблюдений был бы именно таков. Как же тогда вообще разумно сравнивать время на Земле и на корабле? Когда следует называть два события «одновременными», если одно из них происходит на Земле, а другое далеко от Земли, на космическом корабле? Если, например, мы отметим на Земле момент получения сигнала с космического корабля, то момент времени на корабле, который следует назвать «одновременным» с этим событием, наступит, во всяком случае, позже момента, когда был послан сигнал. И этот момент по необходимости наступает раньше момента, когда на корабле принимают сигнал с Земли, посланный сразу же по получении первого. Поначалу нельзя решить, где же в этом интервале находится точка одновременности. Я не могу входить здесь в содержательный разбор проблемы переопределения понятия времени, решенной теорией относительности. Для нашей темы достаточно, впрочем, отметить то обстоя-

тельство, что в новой сфере опыта слово «одновременность» поначалу утратило смысл, подобно тому как на космическом корабле утрачивают смысл понятия «наверху» и «внизу», а это значит, что и здесь оказалось невозможным по-прежнему применять важные устоявшиеся в языке понятия.

При таком положении дел на первый взгляд вообще удивительно, что физики продолжают говорить об экспериментах и умеют их теоретически интерпретировать, так как основополагающие понятия их языка, а стало быть, и мышления перестают работать. К счастью, эти трудности оказываются менее серьезными. Возьмем все тот же пример с космическим кораблем. Физику, поддерживающему на Земле связь с кораблем — то же самое можно сказать и о космонавте, — при описании своих экспериментов нет нужды знать, что означает слово «одновременность» применительно к столь удаленной системе. Ведь для каждого из них эксперименты осуществляются в собственном небольшом пространстве, а для описания подобных процессов вполне достаточно обычного языка, точнее языка классической физики. А потому в пределах небольших пространств связь между математическими символами теоретической физики и опытами устанавливается без затруднений, то есть точно так же, как и в прежней физике. И только благодаря этому удается установить, правильно или неправильно описывает математический формализм теории относительности законы природы. Собственно, именно так и могли быть найдены ее законы. Трудности возникают, лишь когда мы пытаемся, опираясь на знание точных законов природы, сформулированных в теории относительности, говорить о пространственно-временных отношениях в целом. Обычного языка здесь уже недостаточно.

С момента открытия теории относительности прошло более полувека, поэтому допустимо поставить вопрос о языке в историческом плане. Каким языком на деле пользовались физики, говоря о пространственно-временных отношениях в целом? Был ли язык экспериментальных описаний непосредственно согласован с искусственным языком математики, который, как мы знаем, верно описывает реальные соотношения, или же они были оторваны друг от друга? И если в большинстве случаев довольствовались приблизительным указанием, то всюду ли, где была необходима точность, приходилось ограничиваться искусственным языком математики?

В теории относительности разговорный язык в самом деле соответствовал искусственному математическому языку. Забегая вперед, хочу заметить, что в квантовой теории, о которой речь пойдет ниже, положение было иным. В теории относительности мы привыкли к тому, что по предложению Эйнштейна стали всегда добавлять к слову «одновременно» слова «относительно определенной системы отсчета», сохраняя тем самым точный смысл понятия одновременности. В результате вопрос о том, какие же часы отстают на самом деле, а какие только по видимости, некогда бывший предмет жарких дискуссий, стал бессодержательным и за последние десятилетия фактически не дискутировался. Столь же бессмысленно решать вопрос, действительно или мнимо сокращение движущегося тела в направлении движения, описываемое формулой Лоренца; эта проблема также могла быть предана забвению. Мы свыклись теперь с мыслью о том, что мир «в действительности» не таков, каким рисуют нам его обыденные понятия, и в новых сферах опыта мы должны быть готовы столкнуться с парадоксами.

Когда Эйнштейн в 1916 году расширил теорию относительности и перешел к так называемой общей теории относительности, геометрия тоже подверглась пересмотру; обнаружилось, что геометрия зависит от гравитационного поля, от поля сил тяжести, а это значит, что геометрические отношения реального мира поддаются правильному описанию только с помощью неевклидовой геометрии типа римановой, иными словами, с помощью геометрии, полностью лишенной наглядности.

Философы горячо оспаривали и этот вывод; мюнхенский философ Г. Динглер подчеркивал, например, что уже сама практика конструирования экспериментальной аппаратуры обеспечивает справедливость евклидовой геометрии⁷³. Динглер рассуждал так: если механик стремится получить абсолютно плоские поверхности, он может действовать следующим образом: сделать сначала три приблизительно плоские поверхности более или менее равной величины; затем прикладывать их попарно друг к другу во всевозможных положениях. Степень соприкосновения этих поверхностей можно считать мерой их ровности. Механик будет стремиться к тому, чтобы соприкосновение каждой пары имело место во всех точках одновременно. Если этого удастся достичь, можно математически доказать, что на плоскостях будет выполняться евклидова геометрия. Таким образом, наши собственные практиче-

ские действия обеспечивают истинность евклидовой геометрии и ложность всякой другой. С точки зрения общей теории относительности на это можно, разумеется, возразить, что приведенный довод доказывает справедливость евклидовой геометрии лишь в малых масштабах, а именно в масштабах нашего экспериментального инструментария. Евклидова геометрия в самом деле выполняется тут с такой высокой точностью, что вышеописанный процесс изготовления плоских поверхностей всегда осуществим. Имеющиеся и здесь крайне малые отклонения от евклидовой геометрии останутся незаметными, поскольку материал, из которого сделаны поверхности, не обладает абсолютной твердостью и допускает небольшие деформации, а кроме того, и потому, что понятие «соприкосновение» нельзя вполне точно определить. Для поверхностей же космического размера описанный процесс неосуществим. Впрочем, эта проблема не относится к области экспериментальной физики.

Справедливость евклидовой геометрии в малых масштабах и в общей теории относительности служит достаточным основанием для установления связи понятий классической физики с символами искусственного математического языка. Собираясь говорить о своих опытах, физик не испытывает ни малейшего затруднения; ведь опыты эти проходят всегда в малых масштабах пространства и времени, даже если он наблюдает очень далекие звезды или предельно быстро движущиеся частицы. Стало быть, и здесь язык физика-экспериментатора в конечном счете согласован с искусственным языком математики. На основе теории относительности сформировался в итоге язык, позволяющий говорить и о пространственно-временных отношениях в целом; тем самым упомянутые вначале трудности, вообще говоря, могут считаться преодоленными.

Гораздо более серьезные языковые трудности возникли, однако, в атомной физике. При описании процессов, протекающих в области мельчайших размеров, при описании взаимосвязей, проанализированных и математически выраженных квантовой теорией, обыденный язык и язык классической физики столь явно обнаружили свою непригодность, что даже физики эйнштейновского ранга до конца жизни не в состоянии были примириться с новой ситуацией.

Положим, мы наблюдаем электроны в камере Вильсона; мы видим их след в виде полосы конденсированного

лара, похожей на полосу, по которой мы распознаем самолет, летящий высоко в небе; на этом основании мы уверенно говорим об электронах как о быстро летящих электрически заряженных частицах. Но в других экспериментах те же самые образования проявляются как волны, способные вызвать явления диффракции и интерференции; они, следовательно, не могут быть только частицами ничтожной протяженности, одновременно они должны быть и процессами, распространяющимися в более обширном пространстве. Как можем мы охарактеризовать подобные образования, если всякое сравнение с образами нашего чувственно воспринимаемого мира оказывается неприменимым или в лучшем случае может выступать лишь в качестве намека и остается жестко связанным с экспериментами определенного типа? Здесь опять-таки невозможно входить в содержание квантовой теории и выяснять суть описываемых ею явлений, но, как и раньше, допустимо, пожалуй, задаваться вопросом о языке, на котором фактически говорят об атомах и элементарных частицах.

После открытия, сделанного Планком в 1900 году, история становления квантовой теории напоминает историю становления теории относительности, с той разницей, что первая заняла гораздо больше времени. Важнейшие экспериментальные данные в исследованиях атомных спектров и в химии были получены уже на рубеже столетий и накапливались в течение первых двух десятилетий XX века. Затем, в 20-е годы, на основе этого богатейшего материала была разработана математическая формулировка квантовой и волновой механики и в результате было достигнуто наконец полное понимание квантовомеханических явлений. За 30 лет, прошедших с тех пор, в среде физиков выработался язык, на котором они говорят об атомарных явлениях. На этот раз, однако, он не согласуется с искусственным языком математики. Вместо этого сложился особый прием: для описания мельчайших частей материи используются попеременно различные, противоречащие друг другу наглядные образы. В зависимости от характера конкретного эксперимента определяется, целесообразно ли в данном случае говорить о волне или о частице, о траекториях электрона или о стационарных состояниях. При этом, однако, мы всегда ясно сознаем, что подобные образы — лишь неточные аналогии, что мы имеем дело всего лишь с условными событиями и пытаемся с их помощью приблизиться к реальному событию.

Если же требуется точная формулировка, чаще всего приходится ограничиваться искусственным языком математики.

Такой способ формирования языка связан прежде всего с основополагающим парадоксом квантовой теории. Всякий эксперимент независимо от того, относится ли он к явлениям повседневной жизни или атомной физики, необходимо описывать в понятиях классической физики. Понятия классической физики образуют тот изначальный язык, на котором мы планируем опыты и фиксируем их результаты. Мы не в состоянии заменить его другим. Тем не менее законы природы ограничивают применимость этих понятий так называемыми соотношениями неопределенностей. Например, мы не можем точно знать положение элементарной частицы и одновременно с той же степенью точности — ее скорость. Чем точнее измеряем мы это положение, тем менее точно наше знание о скорости, и наоборот. Произведение обеих неточностей равно постоянной Планка, деленной на массу соответствующей частицы. Н. Бор говорил о дополнительности понятий места и скорости и указывал, как правило, на то, что в атомной физике мы вынуждены пользоваться разными способами описания, исключаящими, но также и дополняющими друг друга, адекватное же описание процесса достигается в конечном счете только игрой различных образов. Ситуация дополнительности привела к тому, что физик, говоря о событии в мире атомов, нередко довольствуется неточным метафорическим языком и, подобно поэту, стремится с помощью образов и сравнений подтолкнуть ум слушателя в желательном направлении, а не заставить его с помощью однозначной формулировки точно следовать определенному направлению мысли. Речь становится однозначной, только если мы пользуемся искусственным языком математики, корректность которого подтверждается опытом и не вызывает сомнений.

Вообще говоря, нет принципиальных оснований отрицать возможность полного согласования разговорного слова с искусственным языком математики, и можно задать вопрос, почему в квантовой механике этого не произошло, тогда как в теории относительности разговорный язык вполне естественно слился с математическим. Подлинная причина столь различного хода событий кроется, пожалуй, в том примечательном обстоятельстве, что в языке, соответствующем математическому формализму квантовой теории, уже нельзя было бы опираться на

классическую аристотелевскую логику; ее пришлось бы заменить другого рода логикой. К счастью, математики давно уже поняли возможность существования таких неаристотелевских логик, исследовали их и выяснили принципиальные проблемы, связанные с их использованием. Тем не менее неаристотелевская логика столь еще непривычна для человеческого мышления, что физики вряд ли оказались бы в состоянии воспользоваться ею. Вот почему язык физиков в действительности развивался по-другому. И все же поучительно познакомиться с логикой языка, соответствующего математической схеме квантовой теории.

Логика, называемая квантовой, была проанализирована уже в 30-е годы Г. Биркгофом и И. фон Нейманом, а недавно вновь подробно исследована К.-Ф. фон Вейцеккером⁷⁴. Прежде всего здесь должна утрачивать силу одна из основополагающих аксиом аристотелевской логики, то есть логики повседневной жизни. Речь идет о принципе, согласно которому либо утверждение некоего высказывания, либо его отрицание должно быть верным. Из двух высказываний, например «Здесь есть стол» и «Здесь нет стола», одно обязательно должно быть верным, а другое ложным, третьего не дано: *tertium non datur*. В квантовой логике вместо этой аксиомы выдвигается, согласно Вейцеккеру, следующий постулат: в случае простой альтернативы отмеченного типа высказыванию приписывается определенная истинность, которую можно охарактеризовать двумя комплексными числами. Здесь, разумеется, неуместно входить в детали; отметим лишь, что эти числа позволяют образовать третье, именуемое значением истинности; оно равно 1, если высказывание верно, и 0, если оно ложно. Допустимы, однако, и промежуточные значения, например значение $\frac{1}{2}$, когда высказывание с равной вероятностью может оказаться как истинным, так и ложным. Существуют, следовательно, промежуточные ситуации, для которых остается неопределенным, ложно или истинно высказывание, причем слова «остается неопределенным» ни в коем случае нельзя понимать просто в смысле незнания истинного положения дел. Высказывание с промежуточным значением истинности нельзя, стало быть, истолковывать так, что-де «в действительности» истинно либо одно, либо другое альтернативное высказывание и неизвестно лишь, какое из них считать таковым. Высказывание с промежуточным значением истинности скорее уж вовсе не поддается выражению на обыденном

языке. Вейцеккер называет такое высказывание дополнительным по отношению к простым альтернативным высказываниям.

Против подобного расширения логики сразу же направляется возражение. Когда мы говорим или пишем об этой логике, мы недолго думая пользуемся обычной, аристотелевской логикой. Явно или неявно мы постоянно руководствуемся той же аксиомой: *tertium non datur*. В силу этого возникает впечатление, что задуманное расширение логики внутренне противоречиво. В ответ на это возражение Вейцеккер справедливо подчеркнул возможность выделить в языке разные уровни. На первом уровне мы говорим об объектах, об атомах и электронах или же об объектах повседневной жизни, столах и стульях; на втором уровне говорится о высказываниях об объектах; он содержит, следовательно, высказывания о высказываниях об электронах или высказывания о теории электронов; на третьем уровне можно говорить о высказываниях о высказываниях об объектах и т. д. В принципе было бы допустимо пользоваться на различных уровнях языка различными логиками, а в предельном случае, на высшей ступени, вновь вернуться к обычной логике. В таком случае нечего было бы возразить против использования аристотелевской логики при описании более общей логики, действующей на других ступенях. Ситуация в логике напоминала бы тогда ситуацию в квантовой теории. Хотя мы должны утверждать, что квантовомеханические законы справедливы всюду, в том числе и в сфере явлений повседневной жизни, классическая физика содержится в квантовой в качестве предельного случая, а это значит, что при описании не слишком малых объектов квантовомеханические черты событий играют подчиненную роль и в повседневной жизни ими вообще можно пренебречь. Аналогично классическая, аристотелевская логика содержалась бы в квантовой в качестве предельного случая и во множестве рассуждений принципиально допускалось бы использование классической логики.

Более того, тот факт, что классическая физика содержится в квантовой в качестве предельного случая, представляет собой даже необходимое условие описания и теоретической интерпретации экспериментов в области атомной физики: ведь и в атомной физике приборы описываются в понятиях классической физики и в тех же понятиях сообщаются полученные результаты. Только поэтому они обладают однозначностью и воспроизводимостью, а

это — общепризнанное условие объективной и точной науки. Соответственно для понимания квантовой логики важна возможность пользоваться классической логикой при описании ее структуры.

Возвращаясь снова к низшему уровню языка, к высказываниям об объектах и тем самым к квантовой логике, поясним характерное отличие этой логики от обычной следующим примером: представим себе атом, движущийся в закрытом ящике, разделенном перегородкой пополам. Пусть в перегородке имеется очень маленькая дырка и атом временами может пролетать через нее. По классической логике атом может находиться либо в левой, либо в правой половине ящика. Третьей возможности не существует: *tertium non datur*. В квантовой теории, если мы вообще хотим продолжать пользоваться словами «атом» и «ящик», необходимо допустить и иные возможности, странным образом являющие собой смешение первых двух возможностей. Это требуется для объяснения результатов определенных опытов. Допустим, мы наблюдаем свет, рассеянный атомом, и проводим три испытания. В первом опыте атом заключен в левой половине ящика (дырка в перегородке закрыта) и мы измеряем распределение интенсивности рассеянного света. Во втором опыте атом заключен в правой половине ящика и снова изучается рассеянный им свет. В третьем опыте мы опять-таки исследуем распределение интенсивности рассеянного света при условии, что атом может свободно перемещаться из одной половины ящика в другую и обратно. И вот, если бы атом находился всегда либо в левой, либо в правой половине ящика, распределение интенсивности в третьем опыте необходимо складывалось бы из наложения соответствующих распределений первого и второго опытов, а общая картина определялась бы только временем, которое атом проводит в одной из половин. Эксперименты, однако, показывают, что это, вообще говоря, неверно. Реальное распределение интенсивности, как правило, оказывается иным в силу так называемой интерференции вероятностей, играющей важную роль в квантовой теории⁷⁵. Здесь, впрочем, нет нужды объяснять суть дела детальной. В разобранном только что третьем случае налицо ситуация, характеризующаяся тем типом высказываний, который был назван дополнительным по отношению к типу альтернативных высказываний.

Рассмотрим теперь на этом примере различные уровни языка. В классической логике отношение между разными

уровнями было бы отношением однозначного соответствия. Два высказывания: «Атом находится в левой половине» и «Истинно, что атом находится в левой половине» — логически относятся к разным уровням. Но в классической логике оба высказывания полностью эквивалентны, то есть оба либо истинны, либо ложны. Не может случиться так, что одно будет истинным, а другое ложным. Но в логической схеме дополнительности это отношение сложнее. Из истинности или ложности первого высказывания действительно следует истинность или ложность второго, но из ложности второго не обязательно следует ложность первого. Если второе высказывание ложно, может все еще быть неопределенным, находится ли атом в левой половине ящика. Атом не обязательно будет находиться и в правой половине. Относительно истинности высказываний уровни языка остаются полностью эквивалентными, но относительно ложности они уже неэквивалентны. Отсюда легко понять и то, почему мы говорим о «неколебимости классических законов» в квантовой теории.

Везде, где применение в данном эксперименте законов классической физики приводит к определенному выводу, тот же результат даст и квантовая теория, и экспериментально он тоже будет подтверждаться.

Намеченная здесь модифицированная логика квантовой теории неизбежно влечет за собой модификацию онтологии. Ведь всякому высказыванию, которое оставляет неопределенным, в правой или в левой половине ящика находится атом, соответствует в природе некая ситуация, не отождествимая ни с той, когда атом находится в левой половине, ни с той, когда атом находится в правой половине ящика. Такие соответствующие дополнительным высказываниям состояния Вейцеккер назвал сосуществующими состояниями, указывая тем самым, что оба альтернативных состояния присутствуют в них в качестве возможностей. Понятие состояния могло бы стать первой дефиницией в системе кванвотеоретической онтологии. Мы сразу же замечаем, что подобное использование слова «состояние», тем более выражения «сосуществующие состояния» столь радикально отличается от принятого в языке материалистической онтологии, что позволительно усомниться в целесообразности используемой здесь терминологии. С другой стороны, если мы понимаем, что слово «состояние» означает скорее возможность, чем действительность, и что его можно просто заменить словом

«возможность», получается вполне приемлемое понятие «сосуществующие возможности» — ведь одна возможность может пересекаться с другой или включить ее в себя.

Отсюда видно, что понятие возможности, игравшее столь существенную роль в философии Аристотеля, в современной физике вновь выдвинулось на центральное место. Математические законы квантовой теории вполне можно считать количественной формулировкой аристотелевского понятия «дюнамис» или «потенция». Впрочем, Аристотель не предполагал использовать это понятие для расширения своей логики. Понятие «возможность» довольно-таки удачно занимает промежуточное положение между понятием объективной материальной реальности, с одной стороны, и понятием духовной, а потому субъективной реальности — с другой. Квантотеоретическая «вероятность» обладает хотя бы частичной объективностью, но если мы истолкуем ее как меру частоты, она будет иметь значение только по отношению к совокупности мысленно представимых событий.

Анализируя проблемы языковых трудностей при описаниях атомарных процессов, нередко сталкиваются с мнением, будто речь здесь идет о предметах, может быть, и интересных для дискуссии между физиками и философами, но слишком специальных и тонких; физики же экспериментаторы, химики и инженеры, работающие в сфере атомной техники, к счастью, могут отвлечься от всей этой проблематики, ибо она не играет никакой роли в решении их практических задач.

Мнение это оправдано лишь в том случае, если практик в самом деле отказывается говорить об атомах. Чтобы сообщить о результатах своих экспериментов, ему действительно не нужно заботиться о правилах квантовой логики. Но как только он захочет что-нибудь сказать о самих атомах или молекулах, как только, к примеру, химик возьмется написать формулу своих химических соединений — а без этого он вряд ли поймет проведенные им эксперименты, — он должен быть готов столкнуться с трудностями квантовой логики. На примере из области химии мы покажем, как нелегко бывает избежать подобных трудностей.

С тех пор как 100 лет назад химик Ф. Кекуле открыл строение молекулы бензола, известно, что она имеет кольцеобразную структуру и состоит из шести расположенных в виде правильного шестиугольника атомов углерода, к

каждому из которых присоединен атом водорода. Изображение этой молекулы можно найти во многих учебниках химии. Если спросить химика, как расположены валентные связи в этой молекуле, он ответит, что молекула сцеплена тремя простыми и тремя двойными связями. Если шесть атомов углерода в кольце пронумерованы цифрами от 1 до 6, химик может показать эти связи на изображении молекулы, соединяя, скажем, атомы 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 двумя валентными штрихами. Зададим теперь следующий вопрос: а не бывает ли так, что двойные связи располагаются между атомами 2 и 3, 4 и 5, 6 и 1? Химик ответит, что и такая возможность столь же реальна, как и первая, что она полностью эквивалентна первой и невозможно установить, какая из них реализована на самом деле. Такой ответ еще не вполне удовлетворителен, поскольку не существует двух однородных и все же различных молекул бензола. На это химик, вероятно, ответит, что молекула как бы колеблется между обеими возможностями. Поскольку же он должен будет признать, что при достаточно низких температурах уже невозможно какое бы то ни было движение или изменение молекулы во времени, он будет вынужден прийти к заключению, что реальную связь следует понимать как своего рода смесь обеих возможностей. Вот так, не вполне сознавая это сам, химик пытается уклониться от квантовой логики. Ведь в повседневной жизни мы просто не в состоянии представить себе, какой смысл вообще имеет понятие смеси двух случаев: одного, когда стол есть, и другого, когда стола нет. Ясно, таким образом, что, если мы собираемся говорить о самих атомарных процессах и не хотим довольствоваться смутными намеками, обращение к квантовой логике неизбежно. Отправляясь мысленно в мир атомов, мы столь же мало сможем ориентироваться в нем с помощью классической аристотелевской логики, как космонавт — с помощью понятий «верх» и «низ». Понятно, впрочем, и то, почему физики до сих пор не применяют квантовую логику систематически, нередко довольствуясь всего лишь образами и сравнениями, с помощью которых им удается ориентировать мысль слушателя в желаемом направлении.

Долгое время казалось, что проблема языка в естественных науках играет вторичную роль. В современной физике это, без сомнения, уже не так. В нашу эпоху люди проникают в отдаленные, непосредственно недоступные для наших чувств области природы, лишь косвенно, с по-

мощью сложных технических устройств поддающиеся исследованию. В результате мы покидаем не только сферу непосредственного чувственного опыта, мы покидаем мир, в котором сформировался и для которого предназначен наш обыденный язык. Мы вынуждены поэтому изучать новый язык, во многих отношениях не похожий на естественный. Новый язык — это новый способ мышления. В итоге естественные науки со всей остротой выдвигают то самое требование, которое в наше время столь явно звучит во многих областях жизни.

Празднуя пятисотлетие со дня рождения Коперника, мы вспоминаем о том, что наша сегодняшняя наука продолжает его дело, что направление, намеченное его астрономическими исследованиями, до сих пор во многом определяет научную работу нашей современности. Мы убеждены, что наши современные проблемы, наши методы, наши научные понятия по меньшей мере отчасти вытекают из научной традиции, сопровождающей или направляющей науку в ее многовековой истории. Поэтому вполне естественно спросить, в какой мере наша сегодняшняя деятельность обуславливается или формируется традицией. *Проблемы*, которыми мы заняты, — избираются нами свободно, исходя из наших интересов и склонностей, или же они заданы нам определенным историческим процессом? Наши научные методы — насколько мы способны их устанавливать сами с учетом наших целей и насколько мы опять же следуем в них какой-то до нас сложившейся традиции? Насколько мы, наконец, свободны в выборе понятий, служащих для формулировки наших вопрошаний? Научную деятельность вообще только и можно определить таким образом, что она формулирует вопросы, на которые мы желали бы иметь ответы. А чтобы формулировать вопросы, нам нужны понятия, с помощью которых мы надеемся фиксировать феномены. Понятия эти обычно заимствуются из предшествующей истории науки; они уже сами по себе внушают нам ту или иную правдоподобную картину мира явлений. Однако, если мы хотим вступить в какую-то новую область явлений, эти понятия могут неожиданно сработать и в качестве комплекса предрассудков, скорее задерживающих, чем ускоряющих наше движение. Тем не менее нам все равно приходится изменять понятия, причем мы поневоле вынуждены обращаться к тем, которые нам предлагает традиция. Я попытаюсь в этой связи рассмотреть влияние традиции прежде всего на выбор проблем, затем — на методологию

науки и наконец — на употребление понятий как рабочих инструментов.

Насколько мы связаны традицией при выборе своих проблем? Оглянувшись на историю науки, мы увидим, что периоды интенсивной деятельности сменяются долгими периодами застоя. В Древней Греции философы начали ставить фундаментальные вопросы относительно явлений природы. Задолго до того человек приобрел немалые практические познания; были накоплены важные навыки в архитектуре, в обработке и транспортировке каменных глыб, в кораблестроении и т. д. Однако лишь после Пифагора эти навыки были дополнены научной постановкой вопросов. Пифагор и его ученики открыли значение математических пропорций в природных явлениях, и это привело к великолепному расцвету математики, астрономии и натурфилософии. С закатом греческой науки после эллинистической эпохи, после Птолемея — ее последнего великого астронома — начинается долгий период застоя, тянувшийся вплоть до итальянского Ренессанса. В этот период стагнации снова имело место замечательное развитие практического знания, приведшее арабские страны на высокую ступень цивилизации; однако оно не сопровождалось соответствующим развитием науки, более глубоким истолкованием явлений природы. Только спустя тысячелетие с лишком, после того, как гуманизм и Ренессанс указали путь к большей свободе мышления, а первопроходцы показали возможность расширения освоенной части планеты, открытиями Коперника, Галилея и Кеплера была ознаменована новая фаза научной активности. Эта активность продолжается вплоть до наших дней, и мы не знаем, продержится ли она еще долгое время или уступит место какой-то новой фазе, когда человеческий интерес обратится к совсем другим направлениям.

Бросая ретроспективный взгляд на историю, мы видим, что наша свобода в выборе проблем, похоже, очень невелика. Мы привязаны к движению нашей истории, наша жизнь есть частица этого движения, а наша свобода выбора ограничена, по-видимому, волей решать, хотим мы или не хотим участвовать в развитии, которое совершается в нашей современности независимо от того, вносим ли мы в него какой-то свой вклад или нет. Наше личное действие без благоприятствующего ему исторического развития оказалось бы, скорее всего, бесплодным. Если бы Эйнштейн жил в XII веке, у него было бы очень мало шансов стать хорошим ученым. И даже в такой плодо-

творный период, как наш, ученый не так уж свободен в выборе своей проблематики. Наоборот, можно сказать, что проблемы нам заданы, что нам не приходится их изобретать. Это относится к искусству, наверное, не меньше, чем к науке. Когда в XV веке голландские художники открыли для себя возможность изображать людей как активных членов своего общества, многие одаренные люди увлеклись такой возможностью и соревновались между собою в решении этой продиктованной общими условиями человеческой жизни проблемы. В XVIII веке Гайдн попытался выразить в своих струнных квартетах настроения, давшие о себе знать в современной ему литературе, в книгах Руссо, в «Вертере» Гёте; и после этого в Вене сошлись музыканты более молодого поколения — Моцарт, Бетховен, Шуберт, — соперничавшие между собою в разрешении той же проблемы. В наше столетие развитие физики навело Нильса Бора на мысль, что эксперименты Резерфорда с альфа-лучами, теория излучения Макса Планка и факты, установленные химией, можно обобщить в единой теории; в последующие годы многие молодые физики съехались в Копенгагене, чтобы сотрудничать в разрешении этой поставленной перед ними проблемы. Не приходится сомневаться, что в деле выбора проблемы традиция, ход исторического развития играют существенную роль.

Временами это обстоятельство может проявляться и в негативном смысле. Может случиться, что традиционные темы окажутся исчерпанными и одаренные люди повернутся спиной к области, в которой они уже не видят более цели для своей деятельности. После Фомы Аквинского философам надоели теологические и философские проблемы схоластики, и они обратились к гуманизму. В наше время, похоже, исчерпаны традиционные темы искусства. Одна из известнейших регулярных выставок модернистского искусства в Германии, «Документа» в Касселе, в последний раз стала центром скорее политической пропаганды, чем искусства, а на фасаде здания выставки молодые художники вывесили огромный плакат с надписью: «Искусство излишне». Аналогичным образом мы не можем исключить той возможности, что когда-то темы науки и техники истощатся, молодому поколению надоеет наша рационалистическая и прагматическая установка, и оно обратит свой интерес к совершенно иной деятельности. Впрочем, сейчас в чистой и прикладной науке имеется пока еще много проблем, ис-

кусственно выдумывать которые не приходится, и учителя передоверят их своим ученикам.

В данной связи важно подчеркнуть совершенно исключительную роль личных взаимоотношений в процессе развития науки и искусства. Это не обязательно отношения между учителем и учеником, речь может идти просто о личной дружбе или взаимном уважении между людьми, работающими ради одной и той же цели. В этом, по-видимому, и состоит наиболее действенное орудие традиции. Из многочисленных примеров, на которых можно показать такое действие традиции, я приведу лишь несколько, из которых видно, как личные отношения отражались на истории физики первой половины нашего века. Эйнштейн был хорошим знакомым Планка, он переписывался с Зоммерфельдом по вопросам теории относительности и квантовой теории, он был связан тесной дружбой с Максом Борном, хотя так и не смог сойтись с ним в статистической интерпретации квантовой теории, он обсуждал с Нильсом Бором и философские выводы из принципа неопределенности. Научный анализ крайне трудных проблем, поднятых теорией относительности и квантовой теорией, в значительной мере проводился фактически в личных беседах между активными участниками исследования.

Институт Зоммерфельда в Мюнхене был в начале двадцатых годов центром атомных исследований, в группу Зоммерфельда входили Паули, Вентцель, Лапорте, Ленц и многие другие, причем мы почти ежедневно обсуждали там трудности и парадоксы, возникавшие при интерпретации новейших экспериментов. Когда Зоммерфельд получал письмо от Эйнштейна или Бора, он зачитывал важные части письма на семинаре, и тотчас же начиналась дискуссия вокруг принципиальных проблем. Нильс Бор был тесно связан с лордом Резерфордом, Отто Ганом, Лизой Метнер и считал, что постоянный обмен информацией между экспериментаторами и теоретиками является делом первостепенного значения для успеха физической науки. Огромное влияние, которое в свое время Нильс Бор оказывал на физику, объяснялось прежде всего не его публикациями, а тем, что он постоянно обсуждал со своими коллегами принципиальные проблемы квантовой теории, не имевшие, как он знал, легких решений. Когда Шрёдингер выступил со своей волновой механикой, Бор сразу понял, что это важный новый аспект квантовой теории, но что простой заменой электронных орбит в атоме трехмерными материальными волнами реальных трудно-

стей не разрешить. И снова он счел личную дискуссию с автором теории единственной возможностью проанализировать проблему. Шрёдингер был приглашен в Копенгаген, и за две недели крайне интенсивных обсуждений был проторен путь к следующему шагу в интерпретации квантовой теории — к понятию дополнительности и к соотношениям неопределенностей. Нет надобности распространяться об этом. Совершенно ясно, что личные связи играют решающую роль в прогрессе науки и при выборе проблем для исследования.

Естественно, при выборе проблем учеными руководят и другие мотивы, тоже сыгравшие важную роль в истории науки. Известнейший из этих мотивов — практическая приложимость науки. Уже в древности интерес к астрономии и математике подогревался тем, что познания в этих областях оказались полезными для мореплавания и землемерия. Мореплавание играло очень важную роль в XV веке, когда первооткрыватели оставили пределы Европы и Средиземноморья и отправились на запад. Явно не простая случайность, что Коперник сделал свои открытия вскоре после начала этой эпохи. Защищая идеи Коперника, Галилей использовал новоизобретенный инструмент, подзорную трубу, и показал тем самым, что прикладная техника может послужить на пользу науке, а наука в свою очередь оказывается полезной тем, что ведет к изобретению новых практических орудий. Галилей и его последователи проявляли острый интерес к практической стороне науки. Они разрабатывали механические приспособления, как, например, механические часы; они изобретали оптические инструменты; Ньютон сконструировал мост, пересекающий в Кембридже реку Кем, и так далее. В науке сложилась определяющая работу вот уже многих поколений традиция, требующая, чтобы научные достижения использовались в практических целях и чтобы это практическое применение служило критерием значимости получаемых результатов и оправданием усилий ученых. Атомные физики первой половины нашего столетия просто следовали этой старой традиции науки, когда искали пути практического применения атомной физики. Их, естественно, крайне огорчило, что первое ее практическое применение оказалось военным. Однако то обстоятельство, что мы теперь получили возможность в больших количествах превращать одни химические элементы в другие, по праву было воспринято как подлинный триумф нашей науки.

Эту заинтересованность в практическом применении науки часто ложно истолковывают как тривиальное желание ученого нажить достаток, заработать деньги. Бывает, разумеется, что этот тривиальный мотив играет какую-то роль, причем, естественно, дело всегда зависит от личных качеств ученого. Но не следует преувеличивать значение этого мотива. Существует другой, гораздо более сильный мотив, когда подлинного ученого практическая приложимость его находок увлекает возможностью видеть, что твоя идея «работает», возможностью убедиться, что природа понята тобою правильно. Вспоминаю об одном послевоенном разговоре с Энрико Ферми, незадолго до предстоявшего испытания первой водородной бомбы в Тихом океане. При обсуждении этого плана я дал понять, что перед лицом вероятных биологических и политических последствий от подобного испытания надлежит воздержаться. Ферми возразил: «Но ведь это такой красивый эксперимент». Вот, пожалуй, сильнейший мотив, стоящий за практическим применением науки: ученому требуется подтверждение от беспристрастного судьи — самой природы, — что он верно понял ее структуру. И ему хотелось бы видеть плоды своих усилий в действии.

В свете названного обстоятельства нетрудно понять мотивы, определяющие направление работы отдельного ученого. Как правило, конкретное исследование опирается на те или иные теоретические идеи и гипотезы, касающиеся интерпретации установленных феноменов. Однако какую именно теорию примет ученый? История науки учит, что та или иная теория избирается обычно не за ее непротиворечивость или ясность, а потому, что ученый надеется лично принять участие в ее разработке и верификации. Желание быть активными участниками события, надежда на результативность личных усилий — вот что ведет нас в науку. Такое желание сильнее нашего рационального суждения о ценности различных теоретических идей. В начале двадцатых годов мы знали, что Бор никак не может быть полностью прав в своей теории атома. Мы догадывались, однако, что его теория указывает верное направление, и надеялись, что сумеем избежать песообразностей и заменить теорию Бора какой-то более удовлетворительной картиной.

Роль традиции в науке, однако, не ограничивается выбором проблемы, и тут я перехожу ко второй части своего доклада. С наибольшей полнотой действие традиции сказывается в более глубоких слоях научного процесса, где

ее не так-то уж легко распознать; и здесь прежде всего следует сказать о научном методе. В научной работе нашего столетия мы следуем, по существу, все тому же методу, который был открыт и разработан Коперником, Галилеем и их последователями в XVI и XVII веках. Временами этот метод истолковывают ошибочно, характеризуя его в противоположность умозрительной науке предшествовавших веков как опытную науку. В действительности Галилей отвернулся от традиционной, опиравшейся на Аристотеля науки своего времени и подхватил философские идеи Платона. Аристотелевскую дескриптивную науку он заменил платоновской структурной наукой. Выступая в защиту опыта, он имел в виду опыт, просвеченный математическими связями. Галилей, точно так же, как и Коперник, понял, что, отстраняясь от непосредственного опыта, идеализируя этот опыт, мы можем выявлять математические структуры феноменов и тем самым достигать новой простоты, обретая основу для новой ступени понимания. Аристотель в полном соответствии с непосредственными данными опыта установил, например, что легкие тела падают медленнее, чем тяжелые. Галилей заявил, что в пустом пространстве все тела падают с равной скоростью и что их падение можно описать с помощью простых математических законов. В его эпоху падение тел в безвоздушном пространстве с точностью наблюдать было нельзя; однако тезис Галилея вызвал к жизни новые эксперименты. Новый метод стремился не к описанию непосредственно наблюдаемых фактов, а скорее к проектированию экспериментов, к искусственному созданию феноменов, при обычных условиях не наблюдаемых, и к их расчету на базе математической теории.

Для нового научного метода существенны, таким образом, две характерные черты: стремление ставить каждый раз новые и очень точные эксперименты, идеализирующие, изолирующие опыт и тем самым создающие, по существу, новые феномены, и сопоставление этих феноменов с математическими структурами, принимаемыми в качестве законов природы. Прежде чем выяснять, придерживается ли того же самого метода и наша современная наука, нам следовало бы, пожалуй, вкратце выяснить вопрос, что служило Копернику, Галилею и Кеплеру опорой в их доверии к этому новому пути. Результаты исследования Вейцеккера заставляют нас, как мне кажется, констатировать, что эта основа была прежде всего теологической⁷⁷. Галилей говорил, что природа, вторая книга

Бога (первая — Библия), написана математическими буквами, и мы должны выучить ее алфавит, если хотим ее читать. Кеплер в своей работе о мировой гармонии еще более прямолинеен; он говорит: Бог создал мир согласно своим творящим идеям. Эти идеи суть те чистые архетипические формы, которые Платон называл идеями, и они постигаются человеком в виде математических соотношений. Человек способен понимать их потому, что он сотворен как духовное подобие божие. Физика есть отражение божественных творящих идей, и потому физика есть служение Богу.

Подобное теологическое обоснование или оправдание физики сейчас нам совершенно несвойственно; но мы по-прежнему следуем все тому же методу в силу его исключительной эффективности. Секрет его успеха заключается в возможности повторения экспериментов. Все могут в конечном счете прийти к единому мнению относительно получаемых результатов, поскольку нам известно, что эксперименты, проводимые в строго одинаковых условиях, действительно ведут к одинаковым результатам. Что дело должно обстоять именно таким образом, вовсе не само собой разумеется. Для этого необходимо, чтобы все природные процессы строго подчинялись каузальной зависимости, причинно-следственному порядку. И успешное применение данного вида причинности привело к тому, что с течением времени он был принят в качестве одного из основополагающих принципов науки. Философ Кант указал, что каузальность в этом смысле есть не эмпирический закон, а принадлежность нашего научного метода; она — предпосылка того рода науки, который возник в XVI веке и с тех пор непрерывно развивался.

Из этой господствующей в науке установки вытекает тот постулат, что мы исследуем природу такой, какова она «действительно есть». Мы начинаем с того, что вырабатываем представление о мире, существующем в пространстве и времени и подчиняющемся своим природным законам независимо от наблюдающего субъекта. Поэтому при наблюдении феноменов мы тщательно добиваемся исключения какого бы то ни было влияния со стороны наблюдателя. Ведь когда мы конструируем эксперимент и вызываем к жизни новые феномены, мы уверены, что эти новые феномены на самом деле не нами созданы, что они реально имеют место в природе без нашего вмешательства, а в созданных нами экспериментальных условиях мы лишь изолировали их в целях исследования. Во

всех этих отношениях мы пока еще доверчиво следуем традиции, восходящей ко временам Коперника и Галилея.

Но имеем ли мы, собственно, право ей следовать — перед лицом хорошо известных гносеологических проблем квантовой теории? На больших ускорителях мы исследуем, к примеру, столкновение между элементарными частицами и верим, что даже если бы мы не построили эти ускорители, подобные явления все равно происходили бы в земной атмосфере под воздействием космического излучения. Однако что приходит из мирового пространства — волны или частицы — и что они вызовут, интерференционную картину или след? Что в действительности происходит, когда нет наблюдателя, и знаем ли мы, что в данной связи означает слово «действительно»? Это трудные вопросы, и мы видим, что традиция может завести нас в тупик.

Обычно считается, что наша наука эмпирическая и что мы вывели свои понятия и свои математические формулы из опытных данных. Если бы это была безоговорочная истина, мы могли бы, вступая в неисследованную область, вводить только величины, допускающие прямое наблюдение, и устанавливать законы природы с помощью одних лишь таких величин. В молодости я думал, что Эйнштейн в своей теории относительно строго следовал такой философии. Я попробовал соответственно сделать нечто аналогичное в квантовой теории, введя матричное исчисление. Но когда позднее я обсуждал свои проблемы с Эйнштейном, он возразил мне: «Моя философия, возможно, когда-то и была такой, но все равно это чушь. Никогда не удастся построить ни одну теорию на одних только наблюдаемых величинах. От теории зависит, что поддается наблюдению»⁷⁸. Этим он хотел подчеркнуть, что от непосредственного наблюдения — будь то черной линии на фотографической пластинке, будь то разряда в счетчике Гейгера или подобных вещей — мы можем перейти к интересующим нас явлениям только в опоре на теорию и теоретические понятия. Невозможно отделить процесс эмпирического наблюдения от математической структуры с ее величинами. Соотношения неопределенностей явились позднее очевиднейшим подтверждением тезиса Эйнштейна.

Но новая ситуация в квантовой теории не обязательно ставит традиционный метод науки под вопрос; под вопрос ставится только допущение, будто понятия и математические соотношения могут быть просто извлечены из

опыта. Мы, конечно, не можем в квантовой теории опереться на строгую каузальность. Но, многократно повторяя эксперименты, мы можем в конце концов вывести из своих наблюдений статистические закономерности, а повторяя аналогичные серии экспериментов, можем подняться и к объективным оценкам этих закономерностей. Такой метод сплошь и рядом применяется в физике элементарных частиц, и его можно считать естественным отвлечением традиционного метода.

Словом, в конечном счете складывается впечатление, что мы в своем научном методе строго следуем традиции, созданной в эпоху Галилея. Хотя с тех пор выросло много разных дисциплин — физика, химия, биология, теория атома и атомного ядра, — основополагающий метод остался прежним. Похоже, большинство ученых нашего времени считает его единственным приемлемым методом, способным привести к объективным, то есть к верным, суждениям относительно поведения природы.

Предпринималась попытка выработать совершенно иной подход к изучению природы, и мне следовало бы упомянуть о нем. Немецкий поэт Гёте попытался вернуться к дескриптивной науке — к такой науке, которую интересуют только зримые явления природы, а не эксперименты, искусственно вызывающие новые эффекты. Он был против рассечения явлений на объективную и субъективную стороны, и он боялся разрушения природы вышедшей из берегов технической наукой. Столкнувшись с загрязнением воздуха и воды, с отравлением почвы химическими удобрениями и с атомным оружием, мы понимаем сегодня опасения Гёте лучше, чем это было доступно его современникам. Однако попытка Гёте, по существу, не оказала влияния на развитие науки. Слишком уж впечатляющим был успех традиционного метода.

Помимо этой роли традиции при выборе проблем и в применении научного метода, ее влияние, пожалуй, оказывается всего сильнее в процессе образования и передачи понятий, с помощью которых мы пытаемся фиксировать феномены. История науки не ограничивается просто историей открытий и наблюдений, она включает также историю понятий, и я поэтому хотел бы в третьей части своего доклада вкратце разобрать историю понятий в эпоху, последовавшую за Коперником и Галилеем, и роль традиции в этой истории.

Новая наука начиналась с астрономии, так что положение и скорость тел оказались естественным образом

первыми понятиями для описания природных феноменов. Ньютон, использовавший в «Математических началах натуральной философии» сверх того еще и понятия массы и силы, ввел термин «количество движения», в принципе совпадающий с тем, что мы называем импульсом; а позднее понятийная база механики была дополнена такими понятиями, как кинетическая и потенциальная энергия. На них в течение более чем столетия опиралась вся точная наука, и их успех был настолько впечатляющим, что даже когда изучаемые феномены наводили на мысль о новых понятиях, ученые старались хранить верность традиции и сводить свои концепции к старым понятиям. Движение жидкостей мы представляем себе как движение бесконечно многих мельчайших частиц жидкости, динамика которых с успехом поддается описанию в терминах ньютоновских законов. Когда во второй половине XVIII века пробудился интерес к электричеству и магнетизму, ученые продолжали пользоваться в описании феноменов понятием силы, а под силой в смысле старой механики понимали непосредственное воздействие, зависящее только от положения и скорости рассматриваемых тел. Для осмысления различных состояний и химического поведения материи Гассенди снова возвратился к идее ее атомистического строения, а его преемники использовали Ньютону механику для описания движения атомов и вытекающих отсюда свойств материи. Луч света понимали либо как малую, стремительно движущуюся частицу, либо как серию волн. Волны со своей стороны не могли двигаться иначе как в материи того или иного рода, и ученые позволяли себе надеяться, что мельчайшие частицы этой материи можно в конечном счете представлять подчиняющимися ньютоновским законам.

Как и в случае с научным методом, никто не сомневался, что подобное сведение к механическим понятиям в конечном счете осуществимо. Но история решила иначе. В XIX веке становилось все яснее, что электромагнитные явления имеют иную природу. Фарадей ввел понятие электромагнитного поля, и после усовершенствования его теории Максвеллом это понятие приобретало еще большую реальность; физики постепенно поняли, что силовое поле в пространстве и времени может быть точно такой же реальностью, как положение или скорость массы, и что нет никакого смысла считать силовое поле характеристикой некой неведомой субстанции, именуемой «эфиром». Традиция здесь скорее сбивала с толку, чем

помогала. Только после открытия относительности окончательно распрощались с идеей эфира, а тем самым и с надеждой свести электромагнетизм к механике.

Аналогичный процесс можно констатировать и в теории теплоты; правда, здесь отход от понятий механики заметен лишь в очень тонких вопросах. Вначале все казалось очень просто. Любое материальное образование состоит из множества атомов и молекул; считалось, что статистического обобщения механических движений этого множества частиц достаточно для создания полной картины поведения материи под влиянием тепла или химических изменений. Понятия температуры и энтропии представлялись в точности отвечающими задаче описания этого статистически выявляемого поведения. По-моему, Гиббс первым понял, какая пропасть в физике была открыта этими понятиями. Его идея канонического распределения показывает, что словом «температура» обозначается мера нашего знания о механическом поведении атомов, а не их объективное механическое поведение. Слово это относится к определенному роду наблюдения, потому что им заранее предполагается известный теплообмен между системой и измерительным прибором (термометром), т. е. состояние термодинамического равновесия. Поэтому, зная температуру системы, мы не можем в точности знать ее энергию, причем эта неточность зависит от числа степеней свободы системы. Естественно, традиция со всей очевидностью преграждала дорогу подобному истолкованию, и физики в своем большинстве, насколько мне известно, не принимали его вплоть до окончательного оформления квантовой теории в нашем столетии. Мне все же хотелось бы упомянуть, что Нильс Бор по моему прибытию в 1924 г. в его копенгагенский институт первым делом рекомендовал мне прочитать книгу Гиббса о термодинамике. И он добавил, что Гиббс — единственный физик, по-настоящему понявший статистическую термодинамику.

А в других областях дело выглядело еще хуже. Мы были вынуждены признать, что в теории относительности и в квантовой теории некоторые из наиболее старых традиционных понятий неудовлетворительны и подлежат замене более точными. Пространство и время не так независимы друг от друга, как казалось Ньютону, они связаны между собой преобразованием Лоренца. В квантовой механике состояние системы может быть математически охарактеризовано вектором в многомерном пространстве,

и этот вектор включает в себе высказывания о статистическом поведении данной системы при определенных условиях наблюдения. Объективное описание системы в традиционном смысле тут невозможно. Входить в детали нет необходимости. Для физиков было трудно приять это изменение своих фундаментальных понятий.

Теперь ставим вопрос, действительно ли традиция оказалась просто помехой для всех этих нововведений, забывая головы ученых пустыми предрассудками, устранение которых принимается за важнейшую предпосылку прогресса. Трудность возникает здесь на первом же шагу вместе со словом «предрассудок». Заводя речь о наших исследованиях, о явлениях, которые мы желаем изучить, мы нуждаемся в языке, нуждаемся в словах, а слова — это языковое выражение понятий. В начале исследования невозможно избежать привязывания слов к старым понятиям, поскольку новые еще не существуют. Так называемые предрассудки суть поэтому необходимая составная часть нашего языка, и их нельзя просто отбросить. Мы усваиваем язык через традицию, традиционными понятиями сформирован наш способ размышлять о проблемах и ставить вопросы. Когда из опытов лорда Резерфорда выяснилось, что атом состоит из ядра, окруженного электронами, невозможно было не спросить: где находятся или как движутся электроны в этих внешних частях атома? Каковы орбиты электронов? А при наблюдении событий на очень далеких звездах было разумным делом спросить: происходят ли два данных события одновременно или нет? Уяснение того, что подобные вопросы бессмысленны, — трудный и болезненный процесс. Простым словом «предрассудок» тут не отделаешься. Можно поэтому сказать, что при такой ситуации в науке, когда изменению подлежат основополагающие понятия, традиция оказывается вместе и предпосылкой, и помехой для прогресса. Поэтому она живет обычно до тех пор, пока новые понятия не достигнут всеобщего признания.

Позвольте мне в заключение приложить эти свои мысли к современному состоянию физики. Фундаментальная структура материи — одна из центральных проблем нашего времени, и в ней с эпохи Демокрита господствует понятие элементарных частиц. Образы, которыми мы пользуемся, вопросы, которые мы ставим, однозначно говорят об этом. Всякая масса материи состоит из молекул: молекула состоит из атомов; атом состоит из ядра и электронов; ядро состоит из протонов и нейтронов. Про-

тон — ну, вот это, пожалуй, и есть элементарная частица. Но нам хотелось бы называть ее «элементарной» только при условии, что ее нельзя в свою очередь разделить; нам хотелось бы поэтому, чтобы протон имел некоторое подобие точечной массы и такой же заряд. Однако протон имеет какую-то конечную величину и может быть разделен. От столкновения двух протонов высоких энергий может возникнуть множество частиц. Причем эти частицы не меньше протона, они — точно такие же частицы, как и протоны; это значит, что их можно назвать такими объектами в спектре элементарных частиц, заряд которых — поскольку он не равен нулю — по величине не меньше заряда протона. Так что явление, наблюдаемое нами при подобном столкновении, едва ли оправданно называть делением протонов; речь идет о создании новых частиц из кинетической энергии сталкивающихся протонов. А коль скоро протон не элементарен, из чего он состоит? Из материи; материя состоит из частиц. Выходит, протон состоит из любого числа частиц любого рода, и так далее. Как видим, нам не удастся прийти к сколько-нибудь разумному ответу на вопросы, которые мы поставили и продолжаем ставить, следуя традиции, простирающейся на 2500 лет назад, вплоть до эпохи Демокрита. Но нам не остается ничего другого, как ставить эти вопросы, поскольку наш язык переплетен с нашей традицией. Мы вынуждены применять такие выражения, как «частицы», «состоит из», «число частиц», хотя наблюдения учат нас, что применимость этих выражений весьма ограничена. И тем не менее отрешиться от традиции крайне трудно. В одной из последних статей об элементарных частицах я прочел фразу: «Полученные Бёркеном результаты позволяют нам заключить, что по своим электрическим свойствам протон обладает зернистой структурой». Автору статьи не пришло в голову, что за «зернистой структурой» и подобными выражениями не стоит ничего другого, кроме принципа масштабной инвариантности Бёркена, т. е. что они не содержат никакой реальной информации, выходящей за пределы этого принципа. Или другой пример: многие физики-экспериментаторы заняты сегодня поисками «кварков», частиц, заряд которых составляет $\frac{1}{3}$ или $\frac{2}{3}$ заряда протона. По моему убеждению, эти упорные поиски кварков коренятся в осознанной или бессознательной надежде открыть подлинно элементарные частицы, исходные единицы материи. Но даже если бы кварки удалось обнаружить, то, судя по

всему нам известному, они опять же будут делиться на два кварка и один антикварк и так далее, т. е. окажутся не элементарнее протона. Вы видите, как предельно трудно отрешиться от старой традиции.

Что действительно необходимо, так это смена основополагающих понятий. Нам придется отойти от философии Демокрита и от понятия исходных элементарных частиц. Взамен следовало бы принять идею фундаментальных симметрий, идущую от философии Платона. Как Коперник и Галилей в своем методе отказались от описательной науки Аристотеля и обратились к структурной науке Платона, так и мы, возможно, вынуждены в наших понятиях оставить атомистический материализм Демокрита и обратиться к идеям симметрии, имеющимся в философии Платона. Тем самым мы возвратимся опять-таки к очень древней традиции. Но даже если нам удастся подобный переворот, в физике элементарных частиц останется для экспериментального и теоретического прояснения еще много сложных деталей, впрочем, я не думаю, что, помимо этой смены понятий, произойдет еще какой-либо сенсационный сдвиг.

После того как я коснулся трех важнейших аспектов роли традиции в науке — ее влияния на выбор проблем, на метод и на систему понятий, — мне следовало бы в заключение доклада сказать несколько слов о будущем развитии науки. Разумеется, я не собираюсь заниматься футурологией. И все же, поскольку нам едва ли дано работать над иными проблемами, чем те, которые предложены нам историческим процессом, разумно подумать о том, в каких областях этот процесс поставил нас перед новыми и интересными вопросами. Внутри физической науки я назвал бы астрофизику; в этой области нам бросают вызов удивительные свойства пульсаров и квазаров, а может быть, также и гравитационные волны. Затем существует новая и обширная область молекулярной биологии, где сталкиваются между собой понятия совершенно различного происхождения — физические, химические, биологические, — выдвигая множество новых интересных проблем. Наконец, с практической стороны нам предстоит разрешить жгучие проблемы, поднятые разрушением окружающей среды. Я назвал эти три вещи не ради предсказания будущего, а чтобы подчеркнуть, что у нас нет необходимости изобретать себе проблемы. Научная традиция, т. е. исторический процесс, предлагает нам постигнуть множество проблем и побуждает нас к новым усилиям. А это — признак очень здорового положения в науке.

Когда современную науку сравнивают с наукой более ранних времен, часто выдвигается следующее утверждение: наука в процессе своего развития становилась все более и более абстрактной, а в наше время во многих отраслях она достигла прямо-таки пугающей степени абстрактности, что лишь отчасти компенсируется теми огромными практическими успехами, которыми отмечено техническое применение науки. Мне не хотелось бы здесь углубляться в проблему ценности, которая нередко ставится в этой связи. Не стану поэтому гадать, в самом ли деле наука прежних времен доставляла больше радости, поскольку любовное погружение в детали природных явлений позволяло ей вдохнуть жизнь в изучаемые зависимости природы и сделать их зримыми, или же, напротив, невероятное развитие технических возможностей, к которому привели современные исследования, неопровержимо продемонстрировало превосходство именно нашей концепции естественных наук. Тем самым проблему ценности мы с самого начала оставим в стороне.

Вместо этого мы попытаемся детально разобрать, как шел процесс абстрагирования по мере развития самой науки. Проследим, насколько это возможно в рамках краткого исторического анализа, что же в действительности происходит, когда наука, явно повинаясь своего рода инстинкту, восходит от одного уровня абстрактности к другому, более высокому, и ради каких познавательных ценностей вообще проделывается этот трудный путь восхождения. Мы обнаружим, что в разных естественнонаучных дисциплинах происходят при этом весьма сходные процессы, сравнение которых позволяет лучше их понять. Когда биолог прослеживает метаболизм и процессы воспроизводства живых организмов вплоть до химических реакций; когда химик заменяет качественное описание веществ более или менее сложной формулой их состава; когда, наконец, физик выражает законы природы в мате-

матических уравнениях — повсюду мы сталкиваемся с одним видом развития, прототип которого можно, по-видимому, отчетливее всего выявить в развитии самой математики. Проблема в том, почему неизбежным оказывается именно такой тип развития.

Начнем с такого вопроса: что такое абстракция и какую роль она играет в понятийном мышлении? Ответ можно сформулировать примерно так: абстракция означает возможность рассмотреть предмет или группу предметов под одним углом зрения, отвлекаясь от всех других свойств рассматриваемого предмета. Сущность абстракции составляет выделение одной особенности и противопоставление ее как особо важной всем прочим. Легко убедиться, что образование понятий происходит в ходе формирования такого рода абстракции, ибо оно предполагает способность распознавать сходство. Поскольку в наблюдаемых явлениях практически никогда не встречается полной тождественности, сходство возникает только в процессе абстрагирования, когда выделяется какая-то одна особенность и устраняются все другие. Чтобы быть в состоянии сформировать, скажем, понятие «дерево», нужно сначала сообразить, что у березы и ели имеются некие общие черты, которые можно выделить посредством абстрагирования и представить обособленно.

Отыскание общих признаков может при известных обстоятельствах оказаться весьма важным познавательным актом. Уже на первых этапах своей истории человек должен был, например, осознать, что сравнение, скажем, трех коров с тремя яблоками указывает на их общую характеристику, а именно ту, которая выражается словом «три». Формирование понятия числа составляет решающий шаг, выводящий человека из той сферы мира, которая дана ему непосредственно в ощущениях, и погружающий его в сплетение рационально постигаемых структур мышления. Утверждение, что два ореха и два ореха составляют вместе четыре ореха, остается в силе, даже если мы заменим слово «орех» словом «хлеб» или названием какого угодно другого предмета. Его, следовательно, можно обобщить и облечь в абстрактную форму: два и два — четыре. Это было важным открытием. По-видимому, уже достаточно рано люди осознали присущую понятию числа особую способность упорядочивать, а это привело к тому, что некоторые числа стали толковать символически. С точки же зрения современной математики отдельные числа не так важны, как сама операция счета. Именно эта операция порождает

непрерывный ряд натуральных чисел и внутренне предполагает все соотношения, изучаемые, например, в теории чисел. Освоив счет, люди сделали решающий шаг в сферу абстракции, был открыт путь, ведущий к математике и математическому естествознанию.

Теперь мы уже в состоянии перейти к изучению феномена, с которым мы постоянно будем встречаться в дальнейшем на разных уровнях абстрактности в математике или в естественных науках Нового времени. По отношению к процессу развития абстрактного мышления в науке его можно было бы назвать чем-то вроде прафеномена,⁸⁰ — хотя Гёте, разумеется, не использовал бы это изобретенное им выражение в подобном контексте. Феномен этот можно назвать, положим, развертыванием абстрактных структур. Понятия, первоначально полученные путем абстрагирования от конкретного опыта, обретают собственную жизнь. Они оказываются более содержательными и продуктивными, чем можно было ожидать поначалу. В последующем развитии они обнаруживают собственные конструктивные возможности: они способствуют построению новых форм и понятий, позволяют установить связи между ними и могут быть в известных пределах применимы в наших попытках понять мир явлений.

Например, из понятия счета и связанных с ним простых операций вычисления развилась в дальнейшем — отчасти в Античности, отчасти в Новое время — сложная арифметика и теория чисел. Эти науки открыли, по сути дела, только то, что с самого начала было заложено в понятии числа. Далее, число и развитое на его основе учение о числовых отношениях позволили измерять и сравнивать отрезки. Отсюда возникла наука геометрии, которая в концептуальном отношении выходит за пределы учения о числе. Уже попытка пифагорейцев положить теорию чисел в основание геометрии натолкнулась на трудности, связанные с отношением несоизмеримых отрезков. В результате они должны были расширить совокупность известных чисел, они были в какой-то мере *вынуждены* изобрести иррациональное число. Двигаясь дальше, греки пришли к понятию континуума и к знаменитым парадоксам, которые впоследствии были изучены философом Зеноном. Мы, впрочем, не собираемся здесь углубляться в трудности, с которыми было связано развитие математики, нам важно просто показать, какое богатство форм заложено в понятии числа и может быть в нем раскрыто.

Итак, абстрагирование может происходить следующим

образом: сформированное вначале абстрактное понятие начинает жить собственной жизнью, оно дает начало новым формам или упорядочивающим структурам, изобилие которых превосходит все ожидания. Впоследствии же эти структуры могут оказаться полезными в понимании явлений окружающего мира.

В связи с этим основным феноменом разгорелась пре-словутая полемика о том, что же, собственно, является объектом математики. Вряд ли можно сомневаться в том, что в математике мы имеем дело с настоящим познанием. Но познанием чего? Описываем ли мы в математике нечто объективно сущее, нечто такое, что в каком-то смысле существует независимо от человека, или же математика представляет собой всего лишь выражение способности человеческого мышления? Не являются ли выводимые в математике законы просто утверждениями о структуре человеческого мышления? Я не намерен заниматься здесь этими трудными проблемами всерьез, хочу лишь высказать несколько соображений, подтверждающих объективный характер математики.

Не лишено вероятности, что на других планетах, скажем на Марсе, а если нет, то в других солнечных системах, существует нечто похожее на жизнь. И безусловно, следует считаться с той возможностью, что на каком-нибудь другом небесном теле живут существа, у которых способность к абстрактному мышлению развилась достаточно, чтобы создать понятие числа. Если это так и если они строят на основе понятия числа математическую науку, то они придут к тем же теоретико-числовым утверждениям, что и мы, люди. Арифметика и теория чисел в принципе не могут быть у них другого вида, чем у нас; их результаты должны совпадать с нашими. Следовательно, если считать математику набором утверждений о мышлении человека, то, во всяком случае, речь идет о мышлении как таковом, а не просто о нашем человеческом мышлении. Поскольку вообще существует мышление, математика должна быть одинаковой. Это утверждение можно сопоставить с другим, относящимся к области естественных наук. На других планетах или на еще более удаленных небесных телах, несомненно, действуют те же самые законы природы, что и у нас. Это вовсе не просто теоретическое допущение; ведь с помощью телескопов мы можем убедиться в том, что там присутствуют такие же, как у нас, химические элементы, что они образуют те же самые химические соединения и свет, который они испускают, имеет ту же самую спек-

тральную структуру. Но не станем пока выяснять, имеет ли этот эмпирический естественнонаучный факт какое-либо отношение к тому, что мы только что говорили о математике, а если имеет, то какое.

Прежде чем переходить к развитию естественных наук, обратимся еще раз к математике. На протяжении своей истории математика постоянно формировала новые, все более емкие понятия и поднималась, таким образом, на новые уровни абстрактности. Область чисел расширилась, включив в себя иррациональные числа, а затем комплексные числа. Понятие функции открыло доступ в царство высшего анализа, дифференциального и интегрального исчисления. Понятие группы оказалось продуктивным в алгебре, геометрии и теории функций. Оно навело на мысль о том, что на высшем уровне абстрактности удастся, быть может, упорядочить и понять всю математику, во всем многообразии ее дисциплин с единой точки зрения. В качестве абстрактной основы такого объединения всей математики была разработана теория множеств. Трудности теории множеств вынудили в итоге перейти от математики к математической логике, которая нашла свое развитие в 20-х годах, особенно в работах Давида Гильберта и его сотрудников в Геттингене⁸¹. Каждый раз приходилось подниматься с достигнутого уровня абстрактности на следующий, поскольку в той ограниченной области, где проблемы первоначально возникли, их нельзя было не только по-настоящему решить, но даже и как следует осмыслить. Лишь включение их в контекст более широких проблем открывало возможность по-новому понять их, а это в свою очередь позволяло формировать новые, еще более емкие понятия. Стоило убедиться, к примеру, что аксиому параллельных в евклидовой геометрии доказать невозможно, как была разработана неевклидова геометрия. Но действительное понимание пришло только после того, как был поставлен гораздо более общий вопрос: можно ли доказать в данной системе аксиом, что она не содержит противоречия?⁸² Только когда вопрос был поставлен таким образом, была затронута сама суть проблемы. В конце концов развитие математики привело к тому, что основания ее могут обсуждаться только в чрезвычайно абстрактных понятиях, которые, кажется, полностью утратили какую бы то ни было связь с миром предметного опыта. Математик и философ Бертран Рассел высказался так: «Математика — это занятие, в котором никогда не известно, ни о чем говорят, ни истинно ли то, что говорят». (Поясним вторую часть высказывания:

всегда можно убедиться в том, что математические формулы правильны, но не в том, существуют ли в действительности объекты, к которым они могли бы относиться.) Но история математики служит нам здесь всего лишь примером, позволяющим признать неизбежность движения к большей абстрактности и к унифицированности. Теперь следует задаться вопросом, происходит ли что-нибудь подобное в естественных науках.

Мне хотелось бы начать с науки, предмет которой наиболее близок к жизни и потому должен был бы быть наименее абстрактным. Я имею в виду биологию. При ее старом разделении на зоологию и ботанику она большей частью была описанием многообразия форм, в которых встречается жизнь на Земле. Биологическая наука занималась сравнением форм с целью внести порядок в явления жизни, изобилие которых кажется поначалу почти необозримым. Велись поиски регулярностей или закономерностей, действующих в сфере живого. Но тут возникал естественный вопрос: с какой точки зрения можно сравнивать организмы, что за общие признаки могли бы послужить основанием для такого сравнения? Именно на этот вопрос стремился ответить, например, Гёте в исследованиях метаморфозы растений. Здесь-то и пришлось сделать первый шаг к абстракции. Теперь начинали уже не с вопроса об отдельных организмах, а с проблемы характерных для жизни биологических функций, таких, как рост, метаболизм, воспроизводство, дыхание, кровообращение. Здесь и была найдена та точка зрения, которая, несмотря на все разнообразие организмов, позволяла легко их сравнивать. Подобно абстрактным понятиям математики, понятие биологических функций оказалось на редкость продуктивным. В нем открылась как бы внутренне присущая ему способность упорядочивать весьма широкие сферы биологии. Так, изучение процесса наследования признаков привело к возникновению эволюционной теории Дарвина, которая впервые позволяла интерпретировать все многообразие органической жизни на Земле с единой, всеобъемлющей точки зрения.

С другой стороны, исследования дыхания и метаболизма неизбежно подводили к вопросу о химии жизненных процессов; возникла мысль сравнить их с процессами, идущими в химической колбе. В результате был переброшен мост от биологии к химии, но тут же возник вопрос, подчиняются ли химические процессы в организме тем же законам, что и в неживой среде. Таким образом, вопрос о биологических функциях уступил место другому: с помощью

каких материальных механизмов осуществляются эти функции в природе? Пока внимание было направлено на биологические функции сами по себе, стиль рассмотрения проблем еще вполне соответствовал умонастроению людей типа врача и философа Каруса⁸³, бывшего в дружеских отношениях с Гёте. Он указывал на тесную связь между функциональными отправлениями организма и бессознательными движениями души. Но когда был поставлен вопрос о материальном воплощении этих функций, рамки биологии в собственном смысле слова были сломаны. Отныне стало ясно, что реальное понимание биологических процессов возможно только в том случае, если будут научно проанализированы и интерпретированы соответствующие им химические и физические процессы.

На этом, следующем уровне абстрактности наука отвлекается, таким образом, от биологической специфики и спрашивает только о том, какие физико-химические процессы, действительно происходящие в организме, соответствуют биологическим процессам. Идя таким путем, в настоящее время мы подошли к установлению весьма общего механизма, которым, по-видимому, совершенно единообразно определяются все процессы жизни на Земле. Проще всего выразить их на языке атомной физики. В качестве конкретного примера можно упомянуть факторы наследственности, которые переходят от организма к организму, подчиняясь известным законам Менделя. Эти факторы наследственности материально и зримо представлены в виде данной последовательности четырех специфических молекулярных групп, многократно сцепленных друг с другом в двух нитях молекулярной спирали так называемой дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), которая играет ведущую роль в строении клеточного ядра. Так расширение биологии, перенос ее проблем в сферу химии и атомной физики сделали возможным единое понимание некоторых фундаментальных биологических явлений, общих для всего живого на Земле. Пока еще остается нерешенным, те же ли физические и химические структуры лежат в основе жизни, существующей, возможно, и на других планетах, однако, по всей видимости, ответ на этот вопрос — дело не очень далекого будущего.

Развитие химии шло во многом подобно развитию биологии. Остановлюсь только на одном эпизоде из истории химии, показательном с точки зрения феномена абстрагирования и унификации, а именно на развитии понятия валентности. Химия занимается качествами веществ и ре-

шает вопрос, как можно превратить вещества с одними качествами в другие вещества с отличающимися качествами, как можно соединять, разделять и изменять вещества. Когда соединения веществ начали анализировать количественно, то есть задаваться вопросом о количестве различных химических элементов, присутствующих в соответствующем соединении, был открыт закон кратных отношений. Уже и раньше в качестве удобного образа, помогающего представить себе соединение элементов, пользовались идеей атома. При этом отталкивались от известной аналогии: если, скажем, смешать белый и красный песок, возникает песок, красноватый цвет которого будет светлее или темнее в зависимости от пропорционального состава смеси. Подобным образом, мысленно заменяя песчинки атомами, представляли себе и химическое соединение двух элементов. А поскольку свойства химического соединения отличаются от свойств образующих его элементов сильнее, чем смесь песка от двух его исходных сортов, можно было уточнить эту картину, предполагая, что разные атомы первоначально группируются в молекулы, которые и представляют собой мельчайшие единицы соединения. Целочисленные отношения основных веществ в различных соединениях можно было интерпретировать как соотношение числа атомов в молекуле. Такая наглядная интерпретация в самом деле подтверждалась экспериментами, и в результате можно было приписать каждому атому некое число, так называемую валентность, символизирувавшую способность данного атома вступать в соединение с другими. Поначалу, впрочем, оставалось совершенно неясным — это и есть тот пункт, который нас занимает, — следует ли представлять себе валентность в виде направленной силы, геометрического свойства атома или как-нибудь иначе. На протяжении долгого времени нельзя было решить, являются ли сами атомы материальными телами или же они суть всего лишь вспомогательные геометрические образы, с помощью которых удобно математически отображать химические реакции. Говоря здесь о математическом отображении, имеют в виду, что символы и правила их связи, то есть в данном случае валентности и правила их комбинирования, изоморфны явлениям в том же смысле, в каком можно, например, сказать, пользуясь математическим языком теории групп, что линейные преобразования вектора изоморфны вращению в трехмерном пространстве. На практике, без математической терминологии, это означает: представление о валентности можно использовать для

предсказания того, какие химические комбинации данных элементов возможны. Но обладает ли валентность еще и помимо этого некой реальностью, реальностью в том смысле, в каком могут считаться реальными сила или геометрическая форма, — этот вопрос долго оставался без ответа, его решение было не столь уже важным для химии.

Итак, несмотря на сложность химических реакций, внимание в первую очередь было направлено на анализ количественных соотношений, а всем прочим пренебрегали, то есть совершали процесс абстрагирования. В результате пришли к понятию, которое позволило единообразно интерпретировать и отчасти понять самые разнообразные химические реакции. Лишь много позже, а именно в новейшей атомной физике, выяснилось, какого рода реальность стоит за понятием валентности. И хотя мы до сих пор не в состоянии точно сказать, что, собственно, такое валентность — сила, электронная орбита, сгущение плотности электрического заряда атома или просто возможность чего-то в этом роде, — для современной физики эта неопределенность относится уже никак не к предмету, а только к языку, на котором мы говорим о нем и несовершенство которого мы в принципе не можем устранить.

От понятия валентности уже недалеко до того языка абстрактных формул, на котором говорит современная химия и который в любой ее области позволяет химику понять смысл и результат работы в любой отрасли химии.

Таким образом, стремление достигнуть единого и общего понимания выдвигает вопросы, которые ведут к образованию абстрактных понятий. Потоки информации, которую накапливают в наблюдениях и экспериментах биолог или химик, двигаясь в русле этих вопросов, в конечном счете вливаются в обширную сферу атомной физики. Создается поэтому впечатление, что физика занимает центральное положение в науке. Она должна быть всеобъемлющей, то есть указывать ту фундаментальную, единую для всего в природе структуру, с которой можно было бы соотнести все явления и на основе которой можно было бы упорядочить все феномены. Физика оказывается, таким образом, общим основанием и химии, и биологии. Но даже для самой физики это никоим образом не самоочевидно — прежде всего потому, что существует великое множество физических явлений, внутренняя связь которых ускользает от понимания. Поэтому нам придется коснуться теперь и развития физики. Для начала бросим взгляд на самые ранние его этапы.

У истоков античного естествознания стоит, как известно, открытие Пифагора, гласящее (в передаче Аристотеля): «Вещи суть числа»⁸⁴. Если интерпретировать пифагорейское учение (как оно описано Аристотелем) на современный лад, то, по-видимому, имелось в виду следующее: все явления можно упорядочить, а значит, и понять, связывая их с математическими формами. Но связь эта мыслилась не как произвольный акт нашей познавательной способности, а как нечто объективное. Говорится, например, так: «Числа — бытийная суть вещей» или «Все небо — гармония и число»⁸⁵. Прежде всего имелся в виду, вообще говоря, просто мировой порядок. Для античной философии мир — это космос, а не хаос. Такое понимание мира еще не кажется слишком абстрактным. Астрономические наблюдения интерпретировались, например, с помощью понятия кругового движения. Небесные светила движутся по своим кругам. В силу высокой симметричности круг — особо совершенная фигура; движение по кругу ясно само по себе. Однако чтобы правильно сгруппировать все наблюдения сложного движения планет, нужно было сочетать уже несколько круговых движений, циклов и эпициклов. Этого было, впрочем, вполне достаточно для тогдашнего уровня точности. Солнечные и лунные затмения предсказывались в астрономии Птолемея весьма точно.

В противоположность этим древним воззрениям ньютоновская физика в самом начале Нового времени выдвинула следующий вопрос: нет ли у движения Луны вокруг Земли чего-то общего с полетом падающего или брошенного камня? Открытие, что здесь существует общность, позволяющая рассматривать вещи исключительно под этим одним углом зрения в отвлечении от множества других, весьма глубоких различий, относится в истории науки к числу событий, наиболее богатых последствиями. В процессе описываемого обобщения было сформировано понятие силы, которая вызывает изменение количества движения тела. В разбираемом случае речь шла о силе тяготения. Хотя понятие силы еще тесно связано с чувственным опытом, например с ощущениями, сопровождающими подъем грузов, тем не менее в рамках ньютоновской аксиоматики оно становится вполне абстрактным понятием, которое определяется величиной изменения количества движения и никак не связано с этими ощущениями. С помощью немногих понятий, таких, как масса, ускорение, количество движения, сила, Ньютон строит замкнутую систему аксиом, достаточную — если отвлечься от прочих телесных характерис-

тик — для теоретического описания всех механических движений. Впоследствии, как известно, эта система аксиом, подобно понятию числа в математике, оказалась чрезвычайно продуктивной. В течение двух столетий математики и физики получили интереснейшие результаты из того положения Ньютона, которое мы учим в школе в простейшей формулировке: масса \times ускорение = сила. Уже сам Ньютон начал разрабатывать теорию планетных движений, и в последующей астрономии она была развита и уточнена. Было изучено и теоретически описано вращательное движение, получила развитие механика жидких тел и теория упругости, была математически разработана аналогия между механикой и оптикой.

Здесь, впрочем, следует особо подчеркнуть два обстоятельства.

Во-первых, если интересоваться только прагматической стороной науки и сравнивать, скажем, ньютоновскую механику с античной астрономией единственно по их способности делать астрономические предсказания, то физика Ньютона, во всяком случае на первых этапах развития, вряд ли превзойдет в чем-либо античную астрономию. Комбинируя циклы и эпициклы, можно было воспроизводить движение планет, вообще говоря, с какой угодно точностью. Убедительность ньютоновской физики коренилась, следовательно, отнюдь не в ее практической результативности. Сила ее обуславливалась в первую очередь способностью обобщать, охватывать единым взором крайне разнородные явления и давать им единообразное объяснение.

Во-вторых, в последующие столетия на основе ньютоновского подхода были открыты новые области механики, астрономии, физики, и для этого понадобилась большая научная работа целого ряда исследователей, однако результат был с самого начала заложен, пусть и неявно, в новом подходе, подобно тому как понятие числа имплицитно содержало в себе всю теорию чисел. Если бы разумные существа на других планетах положили в основу своих научных исследований ньютоновские предпосылки, они получили бы те же самые ответы на те же самые вопросы. Вот почему в истории ньютоновской физики мы имеем дело с тем самым «развертыванием абстрактных попятий», о котором мы говорили в начале доклада.

Только в XIX веке обнаружилось, что ньютоновский подход все же недостаточно мощен, чтобы дать адекватное математическое описание всем наблюдаемым явлениям. Например, электрические явления, которые оказались в

центре внимания, особенно после открытий Гальвани, Вольта и Фарадея, плохо укладывались в систему механических понятий. Поэтому Фарадей отверг теорию упругих тел и создал понятие силового поля. Теперь нужно было исследовать и объяснять изменения этого поля во времени независимо от движения тел. Впоследствии отсюда возникла максвелловская теория электромагнитных явлений, а на ее основе — теория относительности Эйнштейна и, наконец, общая теория поля, которая могла бы стать, как надеялся Эйнштейн, фундаментом всей физики. Нет нужды вдаваться здесь в подробности этой истории. Для наших размышлений важно только то обстоятельство, что в результате всех этих событий физика еще в начале нашего века была далека от какого бы то ни было единства. Материальным телам, движение которых изучалось в механике, противостояли движущие силы, а силовые поля представляли собою особую реальность, в которой действовали свои законы природы. Разные поля соседствовали друг с другом без всякой связи. К электромагнитным и гравитационным силам, известным достаточно давно, к силам химической валентности добавились в последние десятилетия ядерные силы и взаимодействия, играющие решающую роль в процессах атомного распада.

Подобное сосуществование разных наглядных картин и не связанных друг с другом типов силовых полей неминуемо становилось проблемой для науки. Мы ведь убеждены, что в конечном счете природа устроена единообразно и что все явления подчиняются единообразным законам. А это означает, что должна существовать возможность найти в конце концов единую структуру, лежащую в основе разных физических областей.

Современная атомная физика приблизилась к этой цели с помощью тех же методов абстрагирования и образования более общих понятий. Картины, которые получались при истолковании экспериментов в атомной физике, явно противоречили друг другу. В результате центральным понятием теоретической интерпретации стало понятие «возможность», или «чисто потенциальная реальность». Тем самым было разрешено противоречие между частицами ньютоновской физики и полями физики Фарадея — Максвелла. И вещество, и поле суть лишь возможные проявления одной и той же физической реальности. Противоположность между силой и материей утратила смысл. Весьма абстрактное понятие «чисто потенциальная реальность» обнаружило чрезвычайную продуктивность также и в том, что с его

помощью оказалась возможной квантовомеханическая интерпретация биологических и химических явлений. Однако искомая взаимосвязь разного рода полей выявилась в самые последние годы просто как результат эксперимента. Каждому типу поля соответствует — в смысле потенциальной реальности — определенный сорт элементарных частиц. Электромагнитному полю соответствует световой квант, или фотон, химическим силам в какой-то мере соответствует электрон, силам атомного ядра — мезон и т. д. В экспериментах с элементарными частицами обнаруживается, что при столкновении частиц такого рода, движущихся с очень большой скоростью, возникают новые частицы, причем создается впечатление, что можно получить новые частицы любого произвольно выбранного типа, если только при ударе будет обеспечена необходимая для их порождения энергия. Стало быть, все элементарные частицы, так сказать, сделаны из одного материала — его можно называть просто энергией или материей — и могут превращаться друг в друга. Тем самым поля тоже могут переходить друг в друга; их внутреннюю связь можно выяснить непосредственно в эксперименте.

Перед физиком стоит задача сформулировать законы, по которым происходит это взаимопревращение элементарных частиц. Эти законы должны представлять или отображать точным, а потому с необходимостью абстрактным языком математики то, что можно увидеть в эксперименте. Экспериментальная физика, работающая с мощным оборудованием, поставляет всевозрастающее количество информации, потому решение этой задачи не должно быть слишком трудным делом.

Наряду с понятием потенциальной реальности, как-то соотношенной с пространством и временем, особо важную роль играет ограничение, в соответствии с которым взаимодействие не может распространяться со скоростью, превышающей скорость света.

Что же касается математической формы, то у нас в конечном счете остается теоретико-групповая структура — совокупность условий симметрии, которую можно выразить довольно простыми математическими средствами. Достаточно ли этой структуры для представления результатов опыта, может опять-таки показать только процесс развертывания, о котором мы уже многократно говорили. Впрочем, детали для нас здесь несущественны, эксперименты последних десяти лет достаточно ясно показывают принципиальную возможность искомой нами связи. Мы уверены,

что видим уже в общих чертах единую физическую структуру природы.

Здесь, однако, следует указать также и на ограниченность этого способа понимания природы, ограниченность, присущую самой природе абстракции. Отвлекаясь от множества важных аспектов и выделяя единственный признак, с помощью которого можно упорядочить явления, мы ограничиваемся построением некоей базисной структуры, своего рода скелета, который мог бы обрести черты реальности, только если к нему присоединить множество иных деталей. Связь между явлением и базисной структурой, вообще говоря, столь запутанна, что вряд ли ее можно проследить во всех деталях. Но по крайней мере в физике нам гораздо более ясно, как связаны понятия, использующиеся при непосредственном описании явлений, и понятия, фигурирующие в формулировках законов природы. В химии проследить такую связь значительно труднее, а биология лишь теперь изредка начинает понимать, каким образом можно увязать наши понятия, почерпнутые из непосредственного знания явлений жизни, — а значение таких понятий сохраняется в биологии без всяких ограничений — с этими базисными структурами. И все же понимание, обретаемое нами на путях абстракции, дает нам как бы естественную систему координат, относительно которой мы можем упорядочивать явления. Обретенное таким образом миропонимание относится к знанию, которое мы с самого начала надеялись обрести и к которому продолжаем упорно стремиться, так же, как панорама местности, видимая с борта самолета, летящего высоко в небе, — к образу той же местности, который мы можем составить, живя и странствуя в ней.

Обратимся снова к вопросу, поставленному вначале. Свойственная естественной науке тяга к абстракции связана в конечном счете с потребностью продолжать ставить вопросы, со стремлением к единому пониманию. Гёте пожаловался на это однажды в связи с созданным им понятием прафеномена. Он пишет в «Учении о цвете»: «Если бы, впрочем, прафеномен и был найден, беда в том, что его все равно не захотят признать таковым. Мы ищем чего-то еще за ним, по ту сторону, тогда как здесь-то и надо бы поставить предел нашему созерцанию». Гёте ясно ощущал, что, продолжая задавать вопросы, мы неизбежно попадем в область абстракций. Говоря «за ним», Гёте как раз и имеет в виду следующий уровень абстрактности. Гёте хочет избежать этого; мы должны поставить предел нашему

созерцанию и не переступать его, потому что за этим пределом созерцание оказывается невозможным и начинается царство конструирующего мышления, оторванного от чувственного опыта. Это царство всегда оставалось для Гёте чуждым и жутким прежде всего потому, что его ужасала беспредельность этого царства. Явная беспредельность открывающихся тут просторов могла привлечь мыслителя лишь совершенно другого склада, чем Гёте. Ницше говорит так: «Абстрактное — мука для многих, а для меня в мои лучшие дни — праздник и упоение».

Но люди, размышляющие о природе, продолжают задавать вопросы, ибо они хотят постигнуть мир как единство, понять его единый строй. С этой целью они образуют все более широкие понятия, связь которых с непосредственным чувственным переживанием прослеживается уже с трудом; и тем не менее существование такой связи — неперемнное условие, при котором абстракция вообще только и дает что-то для понимания мира.

Мы рассмотрели, как — на протяжении длительного периода развития — шел процесс абстрагирования в сфере естественных наук. Теперь, когда наш обзор подошел к концу, трудно удержаться от искушения бросить беглый взгляд на другие сферы духовной жизни, на искусство и религию, и спросить, происходили ли там подобные процессы и происходят ли сейчас.

Например, в области изобразительного искусства бросается в глаза известная аналогия между тем, как развивается художественный стиль, связанный с некоторыми простыми базисными формами, и тем, что мы называли здесь развертыванием абстрактных структур. Здесь, как и в естественных науках, создается впечатление, что базисные формы — как, например, квадрат и полукруг в романской архитектуре — в огромной степени уже предопределяют возможности созидания и совершенствования форм в позднейшие эпохи, когда эти формы значительно усложнились. Словом, и в развитии стиля речь идет скорее о развертывании некоторых форм, чем о созидании новых. Весьма важная общая особенность состоит, далее, в том, что такие исходные формы нельзя изобрести, их можно только открыть. Они обладают подлинной объективностью. В естественных науках они должны описывать реальность, в искусстве — выражать то, чем живет данная эпоха. При благоприятных обстоятельствах можно открыть, что формы, которые могут исполнить такую функцию, существуют, но их нельзя попросту сконструировать.

Труднее судить о том, насколько оправданно высказываемое время от времени предположение, что абстрактность современного искусства и абстрактность современных естественных наук вызваны аналогичными причинами, что между ними есть некое содержательное родство. Если здесь допустимо сравнение, оно должно означать следующее: разрывая связь с непосредственным чувственным переживанием, современное искусство получает возможность вскрывать и изображать более широкие взаимосвязи, чем это умело делать прежнее искусство. Современное искусство умеет передавать единство мира лучше, чем древнее. Я не берусь решать, правильна ли такая интерпретация.

Нередко развитие современного искусства интерпретируется иначе: распад в наше время старых порядков, например религиозных укладов, отражается в искусстве как распад традиционных форм, от которых остаются только отдельные абстрактные элементы. Если такая интерпретация верна, то абстрактность искусства не имеет никакого отношения к абстрактности современной науки, ибо для того, чтобы наука достигла такого уровня абстракции, нужно было суметь охватить единым пониманием весьма широкий круг взаимосвязей.

Здесь, может быть, уместно привести еще одно сравнение, из области истории. В том, что абстракция порождается непрекращающимся вопрошанием и стремлением к единству, можно убедиться, анализируя одно из наиболее значительных событий в истории религии. Идея Бога, сформировавшаяся в иудейской религии, стоит на более высоком уровне абстрактности, чем представление о множестве различных натуральных божеств, воздействие которых в мире можно было непосредственно испытывать. Только на этом, более высоком уровне можно понять единство божественных действий. Борьба последователей иудейской религии против Христа была, если верить Мартину Буберу⁸⁶, борьбой за чистоту абстракции, за утверждение ее высокого единожды обретенного уровня. Христос, напротив, должен был настаивать на том, что абстракцию нельзя отрывать от жизни, что человек должен непосредственно предстать Богу и испытывать его воздействие, даже если Бог и не дан ему в понятном образе. Из истории науки мы уже хорошо знаем, что в этом и состоит основная трудность всякой абстракции. Естествознание вообще было бы бессмысленным, не будь возможности проверить его утверждения путем прямого наблюдения природы. Искусство равным образом было бы бессмысленным, лишись

оно способности побуждать человека к выяснению смысла своего существования.

Впрочем, заходить слишком далеко в этих рассуждениях было бы неосмотрительно, ведь мы собирались только разъяснить процесс развития абстракций в современной науке. Следует, по-видимому, ограничиться следующей констатацией. Современная наука пронизана глубоким смысловым единством, оно возникло произвольно в результате того, что люди не прекращали задавать вопросы; и это непрекращающееся вопрошание есть та форма, в которой человек определяет свои отношения с окружающим миром, чтобы познать единство его строения и жить в нем.

Тенденция к абстрактности в современном искусстве и науке ⁸⁷

Общая тема сегодняшнего симпозиума — роль достижений современных естественных наук — медицины, физиологии, физики — в искусстве и художественном образовании, прежде всего в области музыки и музыкального воспитания. Мне не хотелось бы здесь вдаваться в техническую сторону дела: физик мог бы, разумеется, рассказать о современной акустике, о том, например, как создается звук в электронных инструментах, а исходя из этого, высказать также и свои соображения о современной музыкальной жизни. Но мне здесь хочется подойти к теме более принципиально, если угодно, с точки зрения философии культуры, и поставить вопрос так: можно ли обнаружить какие-либо формальные параллели — о них нередко говорят — между тенденциями развития современного искусства, в частности музыки, которая нередко кажется нам столь причудливой и непонятной, и сходными явлениями в современной науке; не поможет ли подобное сравнение с наукой разобраться в этих причудливых формах? Речь, стало быть, пойдет не о частных формах и технике современного искусства или науки, но об их общем облике. Постоянно слышишь о том, что искусство наших дней абстрактнее древнего искусства, что оно ушло еще дальше от непосредственной жизни и что именно это и связывает его с современной наукой и техникой, которые отличаются теми же особенностями. Оставаю пока вопрос о том, насколько верно выражение «абстрактное» характеризует эти особенности современного искусства.

В современной науке абстракция, вне всякого сомнения, играет ведущую роль. Поэтому я сначала вкратце опишу этот процесс, разъясню смысл его внутренней необходимости и покажу, что современная наука в решающей мере обязана ему своими огромными успехами и ни один человек, если только он вообще заинтересован в прогрессе науки, не может желать повернуть этот процесс вспять. Потом я попытаюсь проследить, происходит и происходило ли нечто подобное в развитии современного искусства. Я ог-

раничусь только тем, что попробую провести указанную аналогию более детально, чем это обычно делается. Должен, кроме того, подчеркнуть, что я, по сути дела, некомпетентен решать подобный вопрос, ибо знаю положение в искусстве лишь из вторых рук, никогда не изучал его основательно и боюсь оказаться поверхностным судьей. Я вполне сознаю также, что, занимаясь таким сопоставлением, я могу говорить только о небольшой, быть может даже совершенно незначительной, части обширной проблемы «абстрактное искусство». Но ведь моя задача — только положить начало дискуссии.

В качестве первого примера тенденции к абстрактности в современной науке приведу развитие биологии. Раньше, например на исходе XVIII века, биология состояла из двух частей, зоологии и ботаники. Ученые описывали многообразные формы живых существ, констатировали сходства и различия, конструировали системы родства и пытались систематизировать всю эту массу явлений. Однако даже это естествознание, целиком обращенное к непосредственному восприятию жизни, не могло обойтись без поисков единой обобщающей точки зрения, которая позволила бы охватить общим пониманием различные формы жизни. Так, Гёте, которого всякая абстракция, как он говорил, пугала, искал прарастение, так сказать, прототип растения, из которого можно было бы вывести и понять все другие. И Шиллер должен был затратить немало труда, чтобы объяснить Гёте, что прарастение — это идея, идея растения, и тем самым все-таки тоже абстракция⁸⁸.

Следующая эпоха увидела общий принцип различных организмов прежде всего в некоторых биологических функциях — в метаболизме, воспроизводстве и т. д. Был поставлен вопрос о физико-химических процессах, с помощью которых организм осуществляет эти функции; в результате наука с необходимостью внедрялась в сферу мельчайших частей организма, в сферу молекулярной биологии. Наконец, в самое последнее время была найдена фундаментальная, общая всему живому структура — нуклеиновая кислота, молекулярная нить, которую можно наблюдать с помощью микроскопа предельно высокой разрешающей способности. Можно доказать, что она является основной составной частью всей живой материи. На этой молекулярной нити, подробным строением которой нам здесь, разумеется, незачем заниматься, химическим языком записана вся наследственная информация соответствующего организма. В процессе воспроизведения новый организм обра-

зуется, следуя этому тексту. Эту молекулярную нить, нуклеиновую кислоту, можно, если угодно, сравнить с прарастением Гёте, но и тогда молекулярная биология останется наукой, имеющей дело со сложнейшей химической структурой, к которой нельзя, разумеется, иметь столь же непосредственное отношение, как к отдельному живому существу.

На примере описанного здесь в общих чертах исторического процесса можно уже ясно распознать элементы, обуславливающие тенденцию к абстрактности. Понять означает найти связи, увидеть единичное как частный случай чего-либо общего. Но переход к общему есть всегда уже переход к абстрактному, точнее, переход на более высокий уровень абстрактности. Обобщая, мы объединяем множество разнородных вещей или процессов, рассматривая их с одной определенной точки зрения, стало быть, отвлекаясь — иными словами, абстрагируясь — от множества их особенностей, которые считаем несущественными.

Сходный процесс разворачивается и в других естественных науках, в физике и химии, но мне хотелось бы остановиться только на двух, особо примечательных эпизодах из истории становления современной атомной физики, которые мне в дальнейшем понадобятся для сопоставления с аналогичным — быть может — процессом в современном искусстве. В нашем столетии произошло два грандиозных расширения физики, я имею в виду пересмотр пространственно-временной структуры в теории относительности и формулировку важнейших законов атомной физики, данную квантовой теорией. В обоих случаях физика стала гораздо менее наглядной и в этом смысле гораздо более абстрактной. Кроме того, в обоих случаях — и именно это особое обстоятельство я хочу теперь описать — переходу на высший уровень абстракции предшествовало странное промежуточное состояние неуверенности и замешательства, длившееся несколько лет. Мне хотелось бы подробнее охарактеризовать это промежуточное состояние.

В теории относительности неуверенность возникла в связи с попытками доказать движение Земли с помощью электромагнитных процессов. Понятие движения стало неясным. Что имеется в виду: движение Земли относительно Солнца, относительно других звезд или относительно пространства? И существует ли вообще нечто такое, что можно было бы назвать движением относительно пространства? Затем стало неясным и понятие одновременности. Был поставлен вопрос: знаем ли мы, что имеем в виду,

когда говорим, что некое событие, скажем, в туманности Андромеды произошло одновременно с другим событием на Земле? Чувствовалось, что ясного понимания здесь уже нет, но сформулировать точно необходимые соотношения мы были еще не в состоянии.

При возникновении квантовой механики состояние неуверенности и замешательства было еще более тяжелым. Можно было проследить траектории движения электронов в камере Вильсона; стало быть, и электроны, и траектории движения электронов с очевидностью существуют; тем не менее в атоме, казалось, нет никаких электронных орбит. Чувствовалось, что никто уже в точности не может сказать, что значат слова «место» или «скорость» электрона в атоме, и долгое время невозможно было говорить о внутриатомных процессах рационально понятным образом. Состояние неясности и растерянности длилось в процессе создания квантовой теории 25 лет, так что никоим образом не являлось легко преодоленным переходным этапом.

Пожалуй, имеет смысл сказать несколько слов о людях, которые работали тогда в этой отрасли науки. Состояние растерянности повергало их в отчаяние, они знали, что, пока оно длится, не может возникнуть какое-либо прочное знание. Ни у кого не было желания разрушать или отрицать старую физику. Но перед физиками стояла задача, немудимо требующая решения: в конце концов должен же существовать точный и рациональный язык, на котором можно было бы сказать, что происходит внутри атома. Но было очевидным также, что говорить об этом в понятиях старой физики уже нельзя. Словом, существовало некое содержание, которое нужно было оформить, а именно результаты большого числа экспериментов с атомами. Требовалось ясно выразить связь, бесспорно существующую между ними. Долгое время это было никому не по силам. Лишь после того, как это в конце концов удалось, физики почувствовали, что порядок в их науке восстановлен. Выявление нового порядка произвело потрясающее впечатление на физиков, участвовавших в этом событии. Работавшие на решающем участке сразу же ощутили, что произошло нечто из ряда вон выходящее и совершенно неожиданное. Впрочем, я не собираюсь останавливаться на описании этих переживаний; хочу упомянуть еще только одно обстоятельство, существенное для последующего сопоставления. Математика, в особенности в той технизированной форме, которую она приняла благодаря современным электронным вычислительным машинам, во всех этих собы-

тиях играла подчиненную, вторичную роль. Математика — это форма, в которой мы выражаем наше понимание природы, но не содержание. Когда в современной науке переоценивают формальный элемент, совершают ошибку, и притом очень важную; по-моему, то же касается и современного искусства.

Попробуем теперь сопоставить эту намеченную в общих чертах картину с тем, что происходило в искусстве. И в первую очередь займемся той проблемой, которую я только что назвал, — проблемой формы и содержания. На мой взгляд, она занимает здесь центральное место. У искусства, правда, другие задачи, чем у науки. Если наука объясняет, делает понятным, то искусство должно изображать, просветлять и делать зримой основу человеческой жизни. Однако проблема формы и содержания равно стоит в обеих сферах. Развитие искусства совершается, по-видимому, следующим образом. Сначала в медленном историческом процессе, который преобразует человеческую жизнь и на который отдельный человек не может оказать серьезное влияние, возникает новое содержание. В античности, например, таким содержанием был блеск обожествляемых героев; на исходе средневековья это было чувство религиозной укорененности человека; в конце XVIII века — мир чувств, который мы знаем по Руссо и «Вертеру» Гёте.

Затем отдельные одаренные художники пытаются придать этому содержанию зримый или слышимый образ, изыскивая новые выразительные возможности, таящиеся в том материале, с которым работает их искусство, — в красках или музыкальных инструментах. Такое взаимодействие или, если угодно, такое противоборство выражаемого содержания и ограничений, накладываемых средствами выражения, представляется мне необходимым условием рождения подлинного искусства, равно как и подлинной науки. Если никакое содержание не требует выражения, отсутствует сама почва, на которой может произрастать искусство; если устранена ограниченность выразительных средств, если в музыке, например, допустимо какое угодно звучание, противоборство отсутствует и усилия художника как бы не встречают сопротивления.

Если это так, что же тогда можно сказать о развитии современного искусства и как сопоставлять его с развитием современной науки? Прежде всего бросается в глаза глубокое различие между ними. Известно, что некоторые характерные направления современного искусства определяются через отрицание известных форм; говорят об «ато-

нальной» музыке или о «беспредметной» живописи. О содержании здесь, таким образом, речи не идет, а о форме говорится только негативно. Вряд ли что-либо подобное имеет место в современной науке. Иногда, правда, говорят о неклассической физике, но никто не назовет так какую-либо реально существующую научную дисциплину. Мне кажется, что указанием на отсутствие определенных форм никогда нельзя по-настоящему охарактеризовать искусство или науку, ибо сама сущность этих духовных устремлений состоит в том, чтобы давать образ содержанию и, следовательно, создавать форму. Впрочем, в современном искусстве существуют, разумеется, крупные разделы, которые определяются не через отрицание форм.

Здесь обнаруживается и другое отличие. Проблемы, которыми занята современная наука, выдвинуты в процессе исторического развития; усилия ученых направлены на решение этих проблем. В современном искусстве неясно даже, как возникают сами проблемы. Можно сказать и иначе: в науке никогда не возникает вопрос о том, что следует объяснять, спрашивается всегда только, как следует объяснять. В искусстве, наоборот, проблемой ныне является, что изображать, а на вопрос «как» имеется скорее уж слишком много, а не мало ответов. В противоположность современной науке в современном искусстве дело порою выглядит так, будто само содержание спорно или неуловимо. Если мы хотим понять, почему все в современном искусстве происходит до такой степени иначе, чем в современной науке, надо со всей остротой поставить вопрос о содержании. Что могло или должно было бы быть содержанием этого современного искусства?

Во все времена искусство передавало дух соответствующей эпохи, ее жизнепонимание и мироощущение; следует поэтому спросить, каково жизнеощущение нынешнего мира, в особенности молодых поколений. Здесь сразу же бросается в глаза стремление к расширению, к экспансии, чуждое в такой форме прежним временам. Молодой человек уже не соотносит свою жизнь только с традицией, только со страной и тем культурным кругом, в котором он вырос, он связывает свою жизнь с жизнью мира в целом, и мир этот представляется ему по сути своей единым. Свою особую судьбу и жизнь он воспринимает теперь в контексте судьбы всего земного шара или всей Вселенной, и эта тенденция в будущем, несомненно, усилится. Это соответствует тенденции естественных наук рассматривать природу как единство и формулировать законы, обязатель-

ные во всех ее сферах. Выше я уже показал, что осуществление этой программы толкает естественные науки к абстрактности все более и более высокого уровня; нетрудно было бы поэтому допустить, что и наша жизнь в ее отношении к духовной и социальной ситуации, сложившейся на Земле, может быть художественно отображена лишь при готовности вступить в сферы, далекие от непосредственной жизни.

Однако наряду с этой тенденцией к расширению жизненного горизонта индивида в мироощущении молодежи наблюдается другая, более негативная черта, подробно описанная психологами. Ее можно назвать бегством от формы, стремлением к «обесформливанию». Черта эта ясно обнаруживается, например, в джазовой музыке, со всеми ее трансформациями, которая пользуется особой любовью у части молодежи и порою воспринимается ею чуть ли не как род мировоззрения. Для нее характерно сглаживание как гармонических, так и ритмических очертаний; ценится не чистый, а смазанный тон; основной ритм отделяется от ритма мелодии, в результате чего нарушается равновесие, свойственное прежней музыке. В пении отсутствует песенный текст, вместо этого остается только выкрикивание бесвязных слогов и звукоподражание; разрушается, стало быть, и форма языка. При этом не создается никакой новой формы. Эти особенности джазовой музыки характеризуют, как говорят психологи, настроение молодежи. Все чувства обнаруживают поразительную стертость, расплывчатость и шаткость. В основе этой нечеткости лежит утрата личностных и предметных контактов, то есть отчуждение от реальности; в то же время она сама способствует этому отчуждению и увеличивает его. Гюнтер Андерс сказал о нашей молодежи: «В этот поздний час шатко стоит она в мире»⁸⁹.

Хочется думать, что именно эта сторона нашего сегодняшнего мироощущения, правильное сказать — мироощущения нашей молодежи, составляет центральную проблему современного искусства. Поначалу кажется бесспорным, что эта тенденция к «обесформливанию» должна вести к отрицанию всякого искусства, что она радикально перекрывает путь к искусству, ибо искусство есть формообразование. Никакие эксперименты с новыми формами, сочинение под диктовку компьютеров и тому подобное не затрагивают тенденции к «обесформливанию», ибо там, где нет больше содержания, стремящегося к оформлению, изобретение новых форм бесполезно.

Тем не менее и этому процессу «обесформливания» можно, пожалуй, найти параллели в возникновении современной науки, и атомной физики в особенности. Выше я уже отмечал, что окончательной формулировке теории относительности и квантовой механики предшествовал характерный этап замешательства. Физики почувствовали тогда, что все понятия, с помощью которых они до сих пор ориентировались в пространстве природы, отказывались служить и могли употребляться лишь в очень неточном и расплывчатом смысле. В таком состоянии, разумеется, не было ничего хорошего для науки, скорее оно было отрицанием науки. Все понимали, что никаких твердых результатов здесь нечего ожидать. Этап этот, однако, имел решающее значение как подготовка к будущему оформлению: возникло свободное пространство, необходимое для подступа к тем абстрактным понятиям, с помощью которых впоследствии удалось упорядочить большие взаимосвязанные области.

Так и сегодня может оказаться, что тенденция к «обесформливанью» исходит из такого чувства жизни, которое держится не только ощущением ненадежности всех предшествующих форм, но и предчувствием того, что за формами таится связь, в которой позже, быть может, жизнь снова сможет обрести опору. Возможно, это и есть важнейшее содержание современного искусства.

Допустив эту аналогию между фазами развития современных искусства и науки, мы должны признать, что сегодня, по сути дела, еще рановато говорить об абстрактном искусстве. По-настоящему абстрактное искусство существовало раньше — таким была, например, арабская орнаментика раннего средневековья или искусство фуги у Баха — и, возможно, еще возникнет снова. Существенную часть современного искусства следовало бы скорее назвать расплывчатым, или неопределенным, искусством либо же так, как оно часто характеризует само себя, — искусством отрицания, деструкции, — что опять-таки наводит на мысль о зависимости этого искусства от старых форм, которые все еще неясно мерцают в нем. Ведь чистый хаос совершенно неинтересен.

Разбирая тенденции современного искусства с точки зрения нашей аналогии — а я уже подчеркивал, что это очень частная точка зрения, — следовало бы назвать в качестве одной из наиболее позитивных тенденцию к универсализму. Искусство уже не может определяться традицией какого-либо определенного культурного круга, оно

стремится передать мироощущение человека, который соотносит свою жизнь с жизнью всей Земли, как если бы он смотрел на Землю с какой-нибудь звезды. Тем не менее и эта тенденция не исключает использования традиционных форм, как показывает творчество французского летчика и писателя Экзюпери. Форма всегда остается несущественной по сравнению с содержанием. Новый язык, который непосредственно передаст это мироощущение понятным для всех образом, еще не найден — и, может быть, потому, что он пока еще остается реально недоступным. Впрочем, лучшие произведения сегодняшнего искусства позволяют наметить направление, в котором его следует искать.

Многое в современном искусстве, саму его причудливую странность можно, по всей видимости, сопоставить с тем известным нам уже на примере науки смутным состоянием, которое — сколь бы неудовлетворительным оно ни представлялось в своих отдельных проявлениях — впервые открывает горизонт для познания новых зависимостей и создания нового языка. Состояние это проходит, и наступает время ясных форм; вот почему можно с полным оптимизмом относиться к будущему искусства. Не надо только приукрашивать то, что происходило до сих пор. Если, например, в серьезной книге по истории живописи XX века говорится: «Хотя мы и разрушили мировые культуры проектом нашей жизни, мертвое все еще продолжает жить и действовать, вплетаясь в ее ткань», — мне представляется, что здесь слишком громкими словами говорится о дурном деле, которое оставалось бы дурным и в сфере науки. Нужно высочайшее напряжение сил, чтобы вновь обрести путь к упорядоченности.

Общая тема сегодняшнего симпозиума гласит: «Значение современных естественнонаучных знаний и опыта науки для искусства». Поэтому, если брать всерьез аналогию, о которой здесь столько говорилось, нужно, по-видимому, поделиться тем опытом, который мы, ученые, обрели по ходу нашего дела и который мог бы оказаться полезным и для развития искусства.

Эти свои заключительные замечания я начну с обсуждения проблемы, связанной со словом, крайне популярным в наши дни, — «революция». Очень часто говорят о революции в науке, революции в искусстве, социальной революции. Возникает вопрос: как совершается революция в науке? Ответ гласит: путем минимальных изменений, путем сосредоточения всех усилий на особой, заведомо не решенной еще проблеме и при этом сколь возможно более

консервативных действий. Ибо только в том случае, когда новое навязано нам самой проблемой, когда оно идет не от нас, а в каком-то смысле извне, оно обнаруживает впоследствии свою преобразующую силу и способно повлечь за собой весьма серьезные изменения. Опыт нашей работы в науке говорит, что нет более неплодотворной максимы, чем: новое любой ценой! В науке, например в атомной физике, отыскание новых формальных возможностей, новых математических схем ничего не давало, пока не уяснялось содержание, смысл новых зависимостей. Еще неразумнее мнение, будто достаточно разрушить старые формы — и новое явится само собой. Руководствуясь таким правилом, мы, безусловно, не продвинулись бы в науке ни на шаг вперед, потому что, во-первых, без старых форм мы никогда не нашли бы новых и, во-вторых, в науке, как и в искусстве, ничего не происходит само собой, мы сами должны создавать это новое. Наконец, не будем забывать также и следующее предостережение: хотя мы и говорим, что все завершается созданием новых форм, эти формы могут явиться при наличии нового содержания, но никогда не наоборот. Создавать новое искусство — значит, сказал бы я, делать зримым или слышимым новое содержание, а не только изобретать новые формы.

В заключение хотелось бы выдвинуть несколько положений, которые могли бы послужить поводом для дальнейшей дискуссии. Как в искусстве, так и в науке отмечается стремление к универсальности. В естественных науках мы стремимся истолковать все физические явления, понять все живые существа с единой точки зрения, и мы продвинулись достаточно далеко на этом пути. В искусстве мы хотим отобразить миропонимание, общее всем людям на Земле. Это стремление к всеохватывающему объединению необходимо ведет к абстракции — в искусстве, видимо, точно так же, как и в науке. Но то, что сегодня открывает перед нами искусство, по всей видимости, еще не стоит на уровне такого рода абстракции; скорее оно находится в том состоянии разброда, в котором довелось пребывать и науке. В этом состоянии чувствуется, что старые формы уже недостаточны, чтобы выразить новое, более общее содержание, но это содержание — еще неясное, недостаточно жизненное — не удается пока еще уловить свойственной именно ему художественной формой.

Так выглядит дело для человека, судящего о нем, исходя из истории естественных наук, но сознающего в то же время, что суждение это может оказаться поверхностным и неправильным.

Когда на собрании Академии изящных искусств берет слово представитель естественной науки, вряд ли он осмелится высказывать свое мнение по вопросам искусства, ведь сфера его собственных занятий далека от искусства. Что он, пожалуй, посмеет затронуть, так это проблему красоты. Конечно, эпитет «прекрасное» применяется для характеристики произведений искусства, тем не менее прекрасное далеко не ограничивается сферой действия искусства и, несомненно, охватывает также и другие области духовной жизни. И красота природы отражается в красоте наук о природе.

Мы, вероятно, поступим правильно, если для начала, не пытаюсь давать какого бы то ни было философского анализа понятия «прекрасное», просто зададимся вопросом, где в сфере точных наук может нам встретиться прекрасное. Быть может, я должен начать с одного личного переживания. Когда я был мальчиком и посещал здесь, в Мюнхене, младшие классы Максимилиановой гимназии, меня интересовали числа. Мне доставляло удовольствие изучать их свойства, узнавать, например, являются ли простыми или нет, исследовать, нельзя ли представить их, скажем, как сумму квадратов или же, наконец, доказывать, что простых чисел должно быть бесконечно много. А так как мой отец считал знание латыни гораздо более важным, чем занятия с числами, он принес мне однажды из государственной библиотеки трактат математика Кронекера, написанный по-латыни⁹¹. Свойства целых чисел были в этом трактате связаны с геометрической проблемой деления круга на определенное число равных частей. Я не знаю, как мой отец попал именно на это исследование середины прошлого столетия, но изучение трактата Кронекера произвело на меня сильное впечатление. То обстоятельство, что проблема деления круга — простейшие формы которой мы знали со школьной скамьи — позволяет кое-что узнать о предметах совершенно иного рода, относящихся к элемен-

тарной теории чисел, вызвало во мне живейшее ощущение прекрасного. Пожалуй, уже в то время где-то вдали мелькнул вопрос, а существуют ли целые числа и геометрические фигуры, то есть существуют ли они вне человеческого ума, или же они созданы этим умом как орудия для постижения мира. В то время, однако, я еще был не в состоянии размышлять над проблемами такого рода. Бесспорным было лишь впечатление чего-то очень красивого. Оно не нуждалось ни в обосновании, ни в объяснении.

Но что же было здесь красиво? Уже в античности существовали две дефиниции красоты, в известном смысле противоположные друг другу. Контроверза между этими дефинициями играла большую роль в особенности в эпоху Ренессанса. Одна определяла красоту как правильное согласование частей друг с другом и с целым. Другая, восходящая к Плотину, обходится вовсе без упоминания частей и называет красотой вечное сияние «Единого», просвечивающего в материальном явлении⁹². Говоря о математике, мы должны будем прежде всего держаться первой дефиниции. Частями являются в данном случае свойства целых чисел, законы геометрических построений, а целым — очевидно, лежащая в их основе система математических аксиом, охватывающая арифметику и геометрию и обеспечивающая своей непротиворечивостью их единство. Мы видим, что отдельные части целого согласуются друг с другом, что они действительно складываются в эту целостность, и без особых размышлений осознаем завершенность и простоту этой системы аксиом как нечто прекрасное. Красота, стало быть, имеет отношение к древнейшей проблеме «единого» и «многого», которая находилась в центре ранней греческой философии и была тогда тесно связана с проблемой бытия и становления.

Поскольку именно здесь лежат корни точного естествознания, будет полезно обрисовать хотя бы в общих чертах основные направления мысли той ранней эпохи. Начало греческой натурфилософии составляет вопрос о первопринципе, который может сделать понятным пестрое многообразие явлений. Знаменитый ответ Фалеса — «вода есть материальная первооснова всех вещей», — сколь бы странным он нам ни казался, содержит, согласно Ницше, три основных философских требования, важность которых становилась все более ясной по мере дальнейшего развития⁹³. Требования эти заключались в том, во-первых, что следует искать подобный единый первопринцип, во-вторых, что отвечать надо только рационально, то есть без

ссылка на миф, наконец, в-третьих, что материальная сторона мира должна здесь играть решающую роль. В основе этих требований лежит убеждение — естественно, невысказанное, — что понимать означает всегда только одно: познавать взаимосвязи, то есть черты и признаки родства.

Но если такая единая первооснова всех вещей существует, со всей неизбежностью встает вопрос — и в этом состоял следующий шаг в развитии мысли, — как же в таком случае можно, исходя из такой первоосновы, понять изменение. Знаменитый парадокс Парменида позволяет в особенности ясно осознать существующую здесь трудность. Лишь сущее есть, не-сущего нет. Если же есть только сущее, вне сущего не может быть ничего такого, что расчленяло бы это сущее и могло бы послужить поводом к изменениям. А это значит, что сущее следовало понимать как вечное, однородное и беспредельное в пространстве и времени. Переживаемые же нами изменения можно было соответственно считать просто видимостью.

Греческая мысль не могла долго задерживаться на этом парадоксе. Вечная изменчивость явлений была непосредственной данностью, требовалось объяснить ее. Пытаясь преодолеть эту трудность, разные философы двинулись разными путями. Один путь — к атомистическому учению Демокрита. Наряду с сущим может существовать и не-сущее как возможность, а именно как возможность движения и формы, то есть как пустое пространство. Сущее многократно повторимо — так возникает картина атомов в пустом пространстве, картина, которая впоследствии составила основание естественной науки и в этом качестве оказалась невероятно плодотворной. Здесь, впрочем, мы не будем далее распространяться об этом пути. Нам важно подробнее описать другой путь, приведший к идеям Платона. Он подводит нас непосредственно к проблеме прекрасного.

Начало этого пути — в школе Пифагора. Здесь, по-видимому, возникла мысль, что математика, математический порядок является тем первопринципом, на основании которого может стать понятным все многообразие явлений. О самом Пифагоре известно не так уж много. Кружок его учеников представлял собою, скорее всего, религиозную секту. Пифагору можно с достоверностью приписать только учение о переселении душ и установление некоторых религиозно-нравственных заповедей и запретов. Но в пифагорейском кружке большую роль играло занятие музыкой и математикой — что и стало впоследствии решающим

моментом. С этими занятиями, наверное, было связано знаменитое открытие Пифагора: колеблющиеся струны производят при одинаковом натяжении гармоническое созвучие в том случае, когда их длины находятся друг к другу в простом рациональном отношении⁹⁴. То что, математическая структура, а именно рациональное отношение чисел, является источником гармонии, было, безусловно, одним из наиболее плодотворных открытий, сделанных в истории человечества вообще. Гармоническое согласие двух струн создает прекрасный звук. Из-за беспокойства, связанного с неразрешенностью звука, человеческое ухо воспринимает диссонанс как помеху, консонанс же, гармонический покой — как нечто прекрасное. Тем самым математическое отношение оказывалось источником прекрасного.

Красота, гласит одно из античных определений, — это правильное согласование частей друг с другом и с целым⁹⁵. В данном случае части — это отдельные тоны, целое — гармонический звук. Математическое отношение способно сочетать две первоначально независимые части в нечто целое и тем самым создать красоту. Именно в силу этого открытия в пифагорейском учении совершился прорыв к новым формам мышления. Оно привело к тому, что первоосновой всего сущего стало считаться уже не чувственно воспринимаемое вещество вроде воды Фалеса, а идеальный принцип формы. Так была высказана фундаментальная идея, составившая позднее основу всех точных наук. Аристотель в «Метафизике» говорит о пифагорейцах: «Первоначально они занимались математикой, двинули ее вперед и, воспитавшись в ней, считали математические начала началами всего сущего... Увидев в числах свойства и причины гармонии, поскольку все другое казалось им по всей своей природе подражающим числам, а числа — первым во всей природе, они сочли элементы чисел элементами всех вещей, а весь космос — гармонией и числом»⁹⁶.

Итак, для понимания пестрого многообразия явлений следовало найти в нем единый формальный принцип, выразимый на языке математики. В результате обнаруживается тесная связь между понятным и прекрасным. Ведь если в прекрасном видеть согласие частей друг с другом и с целым и если, с другой стороны, та же формальная взаимосвязь впервые делает возможным какое бы то ни было понимание вообще, переживание прекрасного почти отождествляется с переживанием понятой или хотя бы предугадываемой взаимосвязи.

Следующий шаг на этом пути был сделан Платоном в сформулированном им учении об идеях. Несовременным образованиям телесного, чувственно воспринимаемого мира Платон противопоставляет совершенные математические формы, например несовершенным круговым орбитам звезд — совершенную, математически определенную окружность. Материальные вещи суть отображения, тени подлинных идеальных образов. И эти идеальные образы *действительны* постольку — так могли бы мы сегодня попытаться развить платоновскую мысль, — поскольку они *действуют* в материальных вещах. Платон, стало быть, со всей ясностью различает здесь телесное, доступное чувственному восприятию бытие и чисто идеальное бытие, постижимое не чувствами, а только духовными актами. Но само это идеальное бытие вовсе не создается человеческим мышлением и не нуждается в нем. Напротив, оно и есть подлинное бытие, которое лишь копируется и телесным миром, и человеческим мышлением. Уже само наименование — «идеи» — показывает, что их уразумение человеком представляет собой скорее художественное созерцание, полусознанное предвосхищение, нежели рассудочное познание. Это припоминание форм, которые укоренились в душе еще до ее земного существования. В центре стоит идея прекрасного и благого, в которой становится зримым божественное и при виде которой у души вырастают крылья. В одном месте «Федра» говорится, что душа ужасается и трепещет при виде прекрасного, ибо чувствует, как в ней пробуждается нечто, не вложенное в нее извне, через органы чувств, а всегда уже таившееся в неосознанных ее глубинах.

Вернемся, однако, к проблеме понимания, а тем самым — к естественным наукам. Пестрое многообразие явлений может быть понято потому, говорят Пифагор и Платон, что в основе его лежит единый, доступный математическому описанию принцип формы. По сути дела, здесь уже предвосхищена вся программа современного точного естествознания. В древности, однако, она не могла быть осуществлена, потому что почти полностью отсутствовало эмпирическое знание деталей природных процессов.

Первая попытка заняться также и этими деталями была, как известно, предпринята в философии Аристотеля. Но колоссальное обилие частных, сразу же открывающееся наблюдательному взору естествоиспытателя, при полном отсутствии какой бы то ни было точки зрения, которая позволила бы распознать здесь некий порядок, за-

ставило отказаться от искомым Пифагором и Платоном единых формальных принципов и выдвинуть на первый план описание частных. Так уже в ту эпоху обнаружилось противоречие, сохраняющееся и поныне, например, в споре между экспериментальной и теоретической физикой, — противоречие между эмпириком, который в процессе тщательной и добросовестной обработки мелочей впервые создает предпосылки для понимания природы, и теоретиком, конструирующим математические образы, в соответствии с которыми он стремится упорядочить и познать природу. Эти математические образы оказываются истинными идеями, лежащими в основе природных событий, не только потому, что они правильно описывают опыт, но также и прежде всего в силу своей простоты и красоты. Уже Аристотель говорил о пифагорейцах критически, как эмпирик. Они, утверждал он, «не ищут объяснений и теорий для фактов, а изыскивают факты для заранее известных теорий и излюбленных ими мнений, как бы соучаствуя в построении Вселенной»⁹⁷. Оглядываясь на историю точного естествознания, можно, пожалуй, утверждать, что правильное описание явлений природы сложилось в напряженной противоположности обоих подходов. Чистая математическая спекуляция бесплодна, если в своей игре всевозможными формами она не находит пути назад, к тем весьма немногим формам, из которых реально построена природа. Но и чистая эмпирия бесплодна, поскольку бесконечные, лишенные внутренней связи таблицы в конечном счете душат ее. Решающее продвижение вперед может быть результатом только напряженного взаимодействия между обилием фактических данных и математическими формами, потенциально им соответствующими.

Но античность не смогла выдержать этого напряжения, и оба пути — к пониманию и к прекрасному — надолго разошлись. Значение прекрасного для понимания природы стало вновь очевидно лишь после того, как в начале Нового времени от Аристотеля опять обратились к Платону. И только благодаря этому повороту открылась вся плодотворность пифагорейско-платоновского образа мыслей.

С предельной ясностью это показывают приписываемые Галилею знаменитые опыты с падением тел на «падающей» башне в Пизе. Не обращая внимания на авторитет Аристотеля, Галилей начал с тщательных наблюдений, однако, следуя учению Пифагора и Платона, он пытался найти математические формы, соответствующие эмпирически полученным фактам, и таким образом установил свои

законы падения. Но чтобы распознать в явлениях красоту математических форм, он должен был — и это весьма существенно — идеализировать факты или же, как критически выразился бы Аристотель, исказить их. Аристотель учил, что все движущиеся тела, если на них не действуют внешние силы, в конце концов приходят в состояния покоя, и это соответствовало обыденному опыту. Галилей утверждает, напротив, что в отсутствии внешних сил тела сохраняют состояние равномерного движения. Галилей мог отважиться на подобное искажение фактов, сославшись на то, что движущимся телам всегда оказывает сопротивление трение и в действительности движение длится тем большее время, чем лучше удастся изолировать его от действия силы трения. Искжая и идеализируя таким способом факты, он получил простой математический закон, и это было началом точного естествознания Нового времени.

Несколькими годами позже Кеплеру в результате тщательных наблюдений над траекториями движения планет удалось открыть новые математические формы и сформулировать три знаменитых кеплеровских закона. Сколь близкими себе ощущал Кеплер в процессе этих открытий древние пути пифагорейской мысли, до какой степени руководствовался он в своих формулировках красотой открывшихся взаимосвязей, следует уже из того, что он сравнивал вращение планет вокруг Солнца с колебаниями струны и говорил о гармоническом созвучии их орбит, о гармонии сфер. Об этом свидетельствует, наконец, тот ликующий гимн, которым он разражается в заключительных строках своего труда о гармонии мира: «Благодарю тебя, Господи, творец наш, за то, что ты дал мне созерцать красоту творения рук твоих». Кеплера глубоко поразило то, что он натолкнулся здесь на взаимосвязь, в полном смысле слова центральную, не выдуманную человеком, исполненную наивысшей красоты, — взаимосвязь, познать которую впервые было предопределено именно ему. Несколько десятилетий спустя Исаак Ньютон в Англии полностью раскрыл эту взаимосвязь и детально описал ее в своем великом произведении «*Philosophiae naturalis principia mathematica*». Тем самым путь точного естествознания был предначертан почти на два столетия вперед.

Но идет ли здесь речь только о познании или также и о прекрасном? А если и о прекрасном, то какую роль играло оно в раскрытии этой взаимосвязи? Вспомним снова античное определение: «Красота есть правильное согласование частей друг с другом и с целым». Нет нужды объяснять,

что этот критерий в высшей степени подходит к такому стройному зданию, каковым является ньютоновская механика. Части суть отдельные механические процессы — как те, которые мы тщательно изолируем с помощью специальных устройств, так и те, которые протекают перед нами в пестрой игре явлений и не могут быть распутаны. А целое — единый формальный принцип, которому подчиняются эти процессы и который был зафиксирован Ньютоном в виде простой системы аксиом. Единство и простота — это, конечно, не одно и то же. Но тот факт, что в подобной теории многому противопоставляется единое, что многое в ней объединяется, уже сам по себе приводит к тому, что теория эта воспринимается нами одновременно и как простая, и как прекрасная.

Значение прекрасного для отыскания истины признавалось и особо отмечалось во все времена. Латинский девиз «*Simplex sigillum veri*» («Простота — печать истины») большими буквами начертан на физической аудитории Геттингенского университета как завет тем, кто хочет открыть новое. А другой девиз, «*Pulchritudo splendor veritatis*» («Красота — сияние истины»), можно понять также и в том смысле, что исследователь узнает истину прежде всего по этому сиянию, по излучаемому ею свечению.

Подобный проблеск великой взаимосвязи в истории точного естествознания еще дважды явился верным сигналом существенного прогресса. Я имею в виду два события в физике нашего столетия: возникновение теории относительности и квантовой теории. В обоих случаях после многолетних тщетных усилий обнаружилась взаимосвязь, хотя и весьма трудно представимая, но тем не менее по сути своей она представлялась таковой до самого последнего времени, и тогда запутанное нагромождение частных почти внезапно обрело упорядоченный вид. Завершенность и абстрактная красота этой взаимосвязи делали ее непосредственно убедительной — убедительной для всех тех, кто понимал ее абстрактный язык и мог изъясняться на нем.

Не будем, впрочем, проследивать дальше исторический ход событий, а спросим лучше напрямик: что здесь просвечивает? Как получается, что этот проблеск прекрасного в точном естествознании позволяет распознать великую взаимосвязь еще до ее детального понимания, до того, как она может быть рационально доказана? В чем заключается сила этого света и какое воздействие оказывает он на дальнейшее развитие науки?

Здесь в первую очередь следовало бы, наверное, вспомнить один феномен, который можно назвать развертыванием абстрактных структур. Его можно пояснить на примере теории чисел, о которой мы уже говорили вначале. Можно, впрочем, указать сходные процессы и в развитии искусства. Для математического обоснования арифметики, учения о числах, достаточно немногих простых аксиом, которые, собственно, всего лишь точно определяют, что значит считать. Тем не менее в этих немногих аксиомах уже заложена вся полнота форм, которые открывались сознанию математиков лишь в течение длительной истории, — учение о простых числах, о квадратичных вычетах, теория сравнимости и т. д. Можно сказать, что заложенные в числе абстрактные структуры зримо развернулись только в процессе развития математики, что они породили множество положений и зависимостей, которые составляют содержание сложной науки — теории чисел. Но сходным образом и в истоках художественного стиля, скажем в архитектуре, тоже лежат некоторые первичные простые формы, как, например, полукруг и квадрат в романской архитектуре. С течением времени из этих основных форм возникают новые, усложненные и измененные формы, которые, однако, можно считать как бы вариациями на ту же тему. В результате из основных структур развертывается новый образ, новый стиль строительного искусства. Возникает ощущение, что по этим исходным формам можно с самого начала судить о возможностях их дальнейшего развития. В противном случае было бы трудно понять то обстоятельство, что многие одаренные художники очень быстро решаются использовать эти новые возможности.

Подобное развертывание фундаментальных абстрактных структур, несомненно, имеет место и в перечисленных мною случаях из истории точного естествознания. Рост ньютоновской механики, развитие все новых и новых ее ответвлений продолжались до середины прошлого столетия. В нашем столетии мы пережили нечто подобное в теории относительности и квантовой механике, рост которых еще не закончен.

Как в науке, так и в искусстве этот процесс имеет, кроме того, еще и важную социальную и этическую сторону, потому что в нем может активно участвовать много людей. В средние века, когда строились кафедральные соборы, в их строительстве было занято много мастеров и ремесленников. Они преисполнены определенным представлением

о красоте, заложенной в исходных формах, и задача их состояла в том, чтобы, действуя в духе этих форм, точно и тщательно выполнить свою работу. Подобным же образом в течение двух столетий после ньютоновского открытия задача многих математиков, физиков и техников состояла в том, чтобы решать ньютоновским методом отдельные механические проблемы, ставить эксперименты или разрабатывать технические применения, и здесь тоже постоянно требовалась предельная тщательность, чтобы достигнуть всего, что возможно, в рамках ньютоновской механики. Обобщая, можно, пожалуй, сказать, что основополагающие структуры, в данном случае ньютоновская механика, устанавливают направляющие линии или даже ценностные масштабы, позволяющие объективно судить о том, хорошо или плохо была решена поставленная задача. Здесь выдвигаются точные требования; каждый, внося свой небольшой вклад, может содействовать достижению значительной цели, о ценности такого вклада можно судить объективно. Вот почему большой круг участвующих в этом процессе людей испытывают чувство удовлетворения. И вот почему также не следует недооценивать этического значения техники для нашего времени.

Например, развитие науки и техники привело к идее самолета. Каждый инженер, конструирующий отдельные узлы самолета, рабочий, который их изготавливает, знают, что в их работе важна предельная точность и тщательность, что от ее надежности зависит, быть может, даже жизнь многих людей. Поэтому они испытывают чувство гордости от сознания хорошо исполненной работы и радуются вместе с нами, когда видят, что в самолете определенная техническая цель достигнута точно рассчитанными средствами. Красота, гласит уже не раз цитированное античное определение, есть правильное согласование частей друг с другом и с целым — и хороший самолет должен удовлетворять этому требованию.

Однако, говоря о развертывании прекрасной перво-структуры, об этических ценностях и требованиях, открывающихся впоследствии, в процессе исторического развития, мы еще не ответили на ранее поставленный вопрос: что же просвечивает в этих структурах, что позволяет распознавать великую взаимосвязь еще до того, как она рационально понята во всех деталях? Мы тут с самого начала должны допустить, что и такое познание может оказаться обманчивым. Но что непосредственное познание существует, что существует тот испуг перед прекрасным, о котором

говорит Платон в «Федре», — здесь, по-видимому, не может быть никаких сомнений.

Все размышлявшие над этим вопросом согласны, кажется, в том, что непосредственное познание не представляет собой результата дискурсивного, то есть рационального, мышления. Мне хочется привести здесь два высказывания, одно Кеплера, о котором мы уже говорили, а другое — относящееся к нашему времени, — цюрихского атомного физика Вольфганга Паули, который был дружен с психологом К. Д. Юнгом. Первый текст, из «Космической гармонии» Кеплера, гласит: «Способность души воспринимать и распознавать благородные пропорции чувственно-данного и вещей, расположенных вне нее, следует причислять к низшим ее сферам. Она очень близка той способности, которая дает чувствам формальные схемы, или же еще более глубоко лежащей, стало быть чисто витальной, способности души, которая мыслит не дискурсивно, то есть не в умозаключениях, как философы, и не пользуется продуманным методом, а потому свойственна не только людям, но и диким животным и доброй скотине... А теперь можно было бы спросить, отчего же эта душевная способность — не причастная к понятийному мышлению, а потому и не могущая иметь подлинного знания о гармонических соотношениях, — отчего она оказывается в состоянии познавать окружающий ее внешний мир. В самом деле, познавать — значит сравнивать воспринимаемое чувствами вообще с первообразами внутри и удостоверяться в согласии одного с другим. Прокл прекрасно выразил это в образе пробуждения от сна, а именно: как чувственно данные вещи внешнего мира приводят нас на память те, которые мы восприняли раньше, во сне, так и чувственно данные математические соотношения извлекают на свет те умопостигаемые первообразы, которые присутствуют внутри нас изначально, но теперь вспыхивают в душе со всей реальностью и жизненностью, тогда как прежде лишь смутно маячили в ней. Но как они попали в нее? Я отвечаю, — продолжает Кеплер, — все чистые идеи или первоформы гармонических отношений, подобные обсуждавшимся до сих пор, внутренне присущи тем, кто способен их постигать. Но они воспринимаются душой вовсе не путем мышления в понятиях; скорее уж они происходят из чистого созерцания величин, как бы инстинктивного и врожденного индивиду, подобно тому, как формообразующему принципу растений врождено число лепестков или яблоку — число плодовых камер».

Так говорит Кеплер. Он указывает нам здесь на некие возможности, существующие уже в царстве животных и растений, на врожденные первообразы, позволяющие распознавать формы. В наше время такого рода возможности специально исследовал Портманн. Он, к примеру, описывает определенный цветной узор, имеющийся в оперении птиц, который может иметь биологический смысл лишь в том случае, если он воспринимается другими птицами того же вида. Разумеется, способность воспринимать его будет поэтому столь же врожденной, как и сам узор. Можно здесь вспомнить и о пении птиц. Поначалу биологически требуется, видимо, всего лишь определенный акустический сигнал, помогающий, скажем, поиску партнера или понятный для него. Но по мере того, как непосредственно биологическая функция теряет свою силу, богатство форм может расширяться до художественной игры, исходная мелодическая структура может развернуться и стать песней, восхитительной и для такого далекого по виду существа, как человек. Способность распознавать игру этих форм должна быть, во всяком случае, врождена соответствующему виду птиц и явно не нуждается в дискурсивном рациональном мышлении. В качестве другого примера можно привести способность человека, вероятно врожденную, понимать некоторые из основных форм языка жестов и, к примеру, решать на этом основании, имеет ли другой человек по отношению к нему дружественные или враждебные намерения, — способность, имеющую величайшее значение для совместной жизни людей.

Мысли, подобные кеплеровским, высказаны в одной статье Вольфганга Паули. Он пишет: «Процесс познания природы, — так же, как счастливое чувство, испытываемое человеком в момент понимания, то есть при усвоении разумом нового знания, — основывается, по-видимому, на соответствии, совпадении предсуществующих внутренних образов человеческой души с внешними объектами и их поведением. Как известно, подобные взгляды на познание природы восходят к Платону и очень отчетливо высказаны Кеплером. Действительно, Кеплер говорит об идеях, предсуществующих в божественном уме и вложенных в человеческую душу, сотворенную, как образ божий. Эти первообразы, которые душа может воспринимать с помощью врожденного инстинкта, Кеплер называет архетипическими. Первообразы Кеплера во многом совпадают с введенными в современную психологию К. Г. Юнгом первичными образами, или архетипами, функционирующими как ин-

стинкты представления⁹⁸. Современная психология, доказавшая, что всякий акт понимания представляет собою длительный процесс, который начинается в сфере бессознательного задолго до того, как содержание сознания может получить рациональную формулировку, снова привлекла внимание к предсознательной, архаической ступени познания. На этой ступени вместо ясных и отчетливых понятий существуют образы, насыщенные ярким эмоциональным содержанием, которые не мыслятся, а как бы наглядно созерцаются. Поскольку эти образы выражают нечто предчувствуемое, но еще не познанное, их в соответствии с введенным К. Г. Юнгом определением символа можно назвать символическими. В этом мире символических образов архетипы действуют как упорядочивающие операторы и формирующие факторы, образуя как раз искомый мост между чувственными восприятиями и идеями, а потому они составляют также и необходимое условие возникновения естественнонаучной теории. Следует, однако, избегать переноса этого априорного условия познания в сознание и связывания его с определенными идеями, поддающимися рациональной формулировке»⁹⁹.

По ходу своего исследования Паули рассказывает о том, что Кеплера убедили в правильности коперниканской системы не отдельные результаты астрономических наблюдений; главным было соответствие коперниканской картины с архетипом, который К. Г. Юнг называет «мандалой» и который использовался и Кеплером как символ Святой Троицы. Бог находится в центре шара как перводвижущее, мир, в котором действует Сын, сравнивается с поверхностью шара, а Дух Святой соответствует лучам, исходящим из центральной точки к поверхности. Разумеется, этот первообраз по самой сути своей не может быть описан вполне рационально или хотя бы с известной наглядностью.

Но даже если подобные первообразы и привели Кеплера к убеждению в правильности коперниканской системы, все-таки решающей предпосылкой пригодности любой научной теории является ее способность выдержать эмпирическую проверку и рациональный анализ. Естественные науки находятся здесь в лучшем положении, чем искусство. В них действует бескомпромиссный и неумолимый критерий значимости, и ни одна работа не может избежать его. Коперниканская система, кеплеровы законы, ньютоновская механика столь широко и с такой высокой точностью оправдали себя при объяснении опытов и результатов

наблюдений, а также в технике, что со времен «Principia» Ньютона в правильности их уже нельзя сомневаться. Тем не менее и здесь речь идет об идеализации, которую Платон считал необходимой, а Аристотель порицал.

Лишь примерно пятьдесят лет назад опыт атомной физики впервые со всей ясностью показал, что ньютоновская система понятий уже не годится для описания механики внутриатомных процессов. С тех пор как Планк в 1900 году открыл квант действия, в физике возникло замешательство. Старые правила, с помощью которых более двух столетий успешно описывали природу, в применении к новым данным теряли силу. Но и сами эти данные были внутренне противоречивы. Гипотеза, подтверждавшаяся в одном эксперименте, не оправдывалась в другом. Красота и завершенность старой физики казались разрушенными, а все попытки — зачастую расхивившиеся друг с другом — уловить очертания нового типа взаимосвязи оставались безуспешными. Не знаю, допустимо ли сравнивать положение, в котором физика пребывала в течение двадцати пяти лет после открытия Планка — а я, будучи молодым студентом, успел еще захватить тот период, — с нынешним положением современного искусства, но должен признаться, что такое сравнение не раз приходило мне в голову. Неумение ответить на вопрос, как быть с озадачивающими явлениями, скорбь по утраченной связности, которая тем не менее все еще кажется такой убедительной, — все эти недостатки одинаково определяли лицо двух этих сфер и эпох при всем их различии. Речь идет, очевидно, о неизбежной промежуточной стадии, которую нельзя перескочить и которая подготавливает позднейшее развитие. Ибо всякое понимание, говорит Паули, есть длительный процесс, который начинается в сфере бессознательного задолго до того, как содержание сознания сможет получить рациональную формулировку. Архетипы играют роль искомым мостов между чувственными восприятиями и идеями.

Но в момент, когда открываются верные идеи, в душе того, кто их видит, разыгрывается совершенно неопишувемый процесс высочайшей интенсивности. Испытывая испуг и удивление, о котором Платон говорит в «Федре», душа как бы припоминает нечто, чем она всегда уже бессознательно обладала. Кеплер говорит: «*Geometria est archetypus pulchritudinis mundi*». «Математика есть первообраз красоты мира» — пожалуй, именно так, несколько обобщая, можем мы перевести эту фразу. В атомной физике этот процесс совершился чуть менее пятидесяти лет назад

и в совершенно новой ситуации вернул точное естествознание в состояние гармонической завершенности, которое казалось утраченным в течение четверти столетия. Я не вижу причины, почему нечто подобное не могло бы однажды произойти и в искусстве. В порядке предостережения следует, однако, добавить, что такого рода события нельзя создать, они должны произойти сами собой.

Я описал эту сторону точного естествознания, потому что она всего яснее позволяет увидеть родство науки и искусства, а также потому, что таким образом можно предупредить то заблуждение, будто в науке и технике дело идет только о точном наблюдении и о рациональном, дискурсивном мышлении. Хотя рациональное мышление и тщательное измерение входят в работу естествоиспытателя с той же неотъемлемостью, как молоток и зубило — в работу скульптора, но и там, и здесь это только орудия, а не содержание работы.

В заключение стоит, быть может, еще раз напомнить второе, восходящее к Плотину, определение понятия «красота», в котором речь уже не идет о частях и целом. «Красота — это свечение в материальном явлении вечного сияния единого». Для некоторых важных эпох в истории искусства это определение подходит лучше, чем первое, и часто такие эпохи влекут нас к себе. Но в наше время трудно говорить об этой стороне красоты, а правило держаться нравов того времени, в котором приходится жить, и молчать о том, о чем трудно говорить, — пожалуй, верно. Да, собственно говоря, оба определения не так уж далеки друг от друга. Удовольствуемся же первым, более трезвым определением красоты, имеющим безусловное отношение и к естественной науке, и сделаем вывод, что в точном естествознании, как и в искусстве, главный источник распространяемого света и ясности заключается в красоте.

Философские взгляды Вольфганга Паули¹⁰⁰

Работы Вольфганга Паули по теоретической физике лишь изредка позволяют разглядеть философскую основу, из которой они выросли, и перед своими коллегами по профессии он предстает прежде всего как блестящий, всегда тяготеющий к самым острым формулировкам теоретик, во многом продвинувший и обогативший физику нашего столетия важными новыми идеями, безупречно ясным анализом накопленных знаний и беспощадной критикой любых туманностей и неточностей в предлагаемых теориях. Если бы кто-то пожелал сконструировать из научно-теоретических высказываний Паули принципиальную философскую позицию, то, в первом приближении, должно было бы получиться нечто вроде крайнего рационализма и последовательно скептической установки. На деле же за этими выставленными напоказ критикой и скепсисом скрывался глубокий философский интерес к непроясненным областям реальности или человеческой души, недоступным для рационалистического подхода; и сила очарования, исходившая от анализов физических проблем у Паули, лишь отчасти коренилась в прозрачной ясности всех деталей его формулировок, в другой своей части она питается постоянным прикосновением к той области продуктивных духовных процессов, для которой еще не существует рациональных формулировок. Паули, по сути дела, очень рано прошел весь путь рационалистического скепсиса до конца, то есть до скепсиса по отношению к скепсису, и после этого попытался нащупать те элементы процесса познания, которые предшествуют рационализациям. Главное о философской установке Паули можно узнать преимущественно из двух его работ: трактата «Влияние архетипических представлений на формирование естественнонаучных теорий у Кеплера» и доклада «Наука и западное мышление»¹⁰¹. Исходя из этих свидетельств, а также учитывая его эпистолярные и другие высказывания, попытаемся воссоздать его философскую позицию.

Центральной проблемой, подлежащей философскому осмыслению, был для Паули сам процесс познания, прежде

всего познания природы, находящего свое рациональное выражение в математической формулировке законов природы. Паули не устраивала концепция чистого эмпиризма, согласно которой законы природы могут быть выведены лишь из опытных данных. Он примыкал скорее к тем, кто «подчеркивает роль направленности внимания и интуиции при формировании понятий и идей, которые именно в силу своего выхода далеко за пределы непосредственного опыта позволяют построить систему законов природы (т. е. научную теорию)». Он искал поэтому звено, связующее восприятия чувств с понятиями. «Все последовательные мыслители приходили к выводу, что чистая логика в принципе неспособна построить подобную связь. По-видимому, наиболее удовлетворителен здесь постулат неподвластного нашему произволу космического порядка, отличного от мира явлений. Говорить ли о „причастности предметов природы к идеям” или об „образе действий метафизических, т. е. обладающих внутренней реальностью, сущностей“, связь между чувственным восприятием и идеей остается следствием того факта, что как наша душа, так и вещи, познаваемые нами через чувственное восприятие, подчинены объективно понятому порядку».

Мост, ведущий от неупорядоченного материала восприятий к идеям, Паули видит в определенных заранее данных нашей душе первообразах, архетипах, как они были выявлены Кеплером, а также современной психологией. Эти первообразы — здесь Паули в основном присоединяется к мысли К. Юнга — не следует приписывать нашему сознанию или связывать с определенными рационально формулируемыми идеями. Речь тут идет о формах бессознательной области человеческой души, образах большого эмоционального заряда, которые не осмысливаются, а созерцаются, как бы разрисовываются нашим воображением. Радость научного познания происходит от совпадения таких преданных первообразов с поведением внешних объектов.

Такая концепция познания природы восходит, как известно, к Платону и проникла в христианское мышление обходным путем через неоплатонизм (Плотин, Прокл). Паули пытается продемонстрировать ее указанием на то, что уже в Кеплеровом принятии коперниканского учения, знаменующем начало современного естествознания, решающим образом дали о себе знать определенные первообразы, архетипы. Он цитирует фразу из «Мистерium космографикум» Кеплера: «Образ триединого Бога заключен в шаре, а именно: Отца — в центре шара, Сына — в его по-

верхности, а Святого Духа — в равенстве расстояния между центральной точкой и окружностью». Движение от центра к поверхности является для Кеплера символом творения мира. Данный образ, столь тесно связанный со священным числом три — К. Г. Юнг называет его «мандалой», — находит для Кеплера свое несовершенное осуществление в телесном мире: это Солнце в центре планетной системы, окруженное небесными телами (Кеплер еще считал их одушевленными). По мнению Паули, убедительность коперниканской системы для Кеплера коренится прежде всего в ее соответствии вышеописанному символу и лишь во вторую очередь — в ее согласованности с эмпирическим материалом.

Паули считает, кроме того, что кеплеровский символ вообще олицетворяет установку, из которой возникло современное естествознание. «Из внутреннего центра психическая сила как бы экстравертивно движется вовне, в телесный мир, все происходящее в котором заранее представляется автоматическим, самодвижущимся, так что дух, словно бы покоясь, охватывает этот телесный мир своими идеями». В естествознании Нового времени живет христианская модификация платонической «мистики света», которая отыскивает в первообразах единую основу духа и материи и предоставляет место для разнообразных степеней и видов понимания вплоть до познания истины спасения. Паули, однако, предостерегающе добавляет: «Эта мистика так светла, что, стремясь вдаль, она не замечает многих неясностей, чего мы, сегодняшние люди, не имеем права и не можем себе позволить». Позиции Кеплера он противопоставляет поэтому позицию его современника, английского ученого, врача Флудда, с которым Кеплер вступил в ожесточенную полемику по вопросу о приложении математики к опыту, усовершенствованному количественными измерениями. Флудд здесь представитель архаически-магического описания природы, как оно практиковалось алхимией и вышедшими из нее тайными союзами.

Развертывание мысли Платона в неоплатонизме и христианстве привело к тому, что характеристикой материи стало отсутствие идей и, поскольку постижимое отождествлялось с благом, материю отождествили со злом. Мировая душа со своей стороны была по ходу дела заменена в новоевропейском естествознании абстрактным математическим законом природы. Алхимическая философия, представителем которой был Флудд, являла собой определенный противовес этой односторонне спиритуализирующей

тенденции. Согласно взглядам алхимиков, «в материи живет дух, дожидаящийся избавления. Алхимик, работающий в своей лаборатории, всегда вовлечен в природный процесс так, что реальные или мнимые химические процессы в реторте мистически отождествляются у него с психическими процессами в нем самом и получают одинаковые обозначения. Избавление вещества преобразующим его человеком, увенчивающееся изготовлением философского камня, в мировосприятии алхимика — вследствие мистического соответствия между макрокосмом и микрокосмом — отождествляется со спасительным преобразованием самого человека силою деяния, удающегося лишь „по Божию благословиению“». Ведущий символ этого магического восприятия природы — четверица, так называемая тетрактида пифагорейцев, складывающаяся из двух попарно полярных начал. Деление приписывается темной стороне мира (материи, дьяволу), причем магическим восприятием природы охватывается также и эта темная область.

Обе вышеописанные линии развития, берущие свое начало соответственно в платонизме и христианской философии, с одной стороны, и в средневековой алхимии — с другой, позднее распались каждая на две противоположные мыслительные системы. Платоническая мысль, первоначально ориентированная на единство материи и духа, распалась в конечном счете на научную и религиозную картины мира; а традиция, ознаменованная гнозисом и алхимией, породила на одном полюсе научную химию, а на другом — религиозную мистику, снова отрешающуюся от материи (например, Яков Бёме).

В этих расходящихся и все-таки внутренне взаимосвязанных линиях духовного развития Паули видит взаимно дополняющие друг друга моменты, изначально определявшие западную мысль и ныне понятные нам лучше, чем в прежние эпохи, поскольку логическая возможность подобных соотношений сделалась для нас ясной на примере квантовой механики. В научном мышлении, особенно характерном для Запада, душа обращается вовне, она спрашивает о причинах. «Почему Единое отражается во многом, что здесь зеркало и что отражение, почему Единое не осталось одним?» Мистика же, одинаково чувствующая себя дома и на Востоке, и на Западе, пытается, напротив, жить единством мира, стремится разоблачить множество как иллюзию. Жажда научного познания привела в XIX веке к предельно упрощенному представлению о некоем объективном, независимом ни от какого наблюдения

материальном мире, а в конце мистического переживания видится как предельное состояние вполне отрешившаяся от всех объектов, соединившаяся с божеством души. Между этими двумя предельными представлениями, согласно Паули, как бы растянуто все европейское мышление. «В душе человека всегда живут обе установки, и одна из них неизбежно уже несет в себе зародыш другой. Тут возникает своего рода диалектический процесс, о котором мы знаем, куда он нас ведет. Мне кажется, что мы как западные люди должны довериться этому процессу и принять противоположности в качестве двух дополнительных моментов. Выдерживая напряжение двух неустранимых противоположностей, мы должны признать также, что на всех путях познания и избавления зависим от факторов, находящихся вне нашего контроля и носящих в религиозном языке название благодати».

Когда в начале 1927 года раздумья об интерпретации квантовой механики приняли рациональный облик и Бор создал понятие дополнительности, Паули был одним из первых физиков, безоговорочно вставших на сторону новой интерпретации. Философская позиция Паули была изначально близка главной отличительной черте этой интерпретации, характерному сочетанию «выбора и жертвы» — тому, что при всяком эксперименте, при всяком вторжении в природу у нас есть возможность выбирать, какую сторону природы мы хотим высветить, но в то же время мы приносим жертву, будучи вынуждены отказаться от наблюдения другой стороны природы. При всем том в центре его философской мысли всегда стояло стремление к цельному пониманию мира, к единству, вмещающему в себя напряжение противоположностей, и он приветствовал истолкование квантовой теории как новую мыслительную возможность, позволяющую выразить единство, пожалуй, полнее, чем прежде. Алхимическая философия привлекала его своей попыткой говорить о материальных и душевных процессах на одном и том же языке. Паули пришел к убеждению, что поиски подобного языка могут возобновиться в той абстрактной сфере, в которую вступили современная атомная физика и современная психология. «Мне представляется, что попытка алхимии выработать единый психофизический язык провалилась только потому, что там шла речь о зримой, конкретной реальности. Но в сегодняшней физике мы имеем дело с невидимой реальностью (объектами атомарного уровня), в обращении с которой наблюдатель обладает известной свободой (по-

сколько он стоит перед альтернативой „выбор и жертва“), а в психологии бессознательного мы изучаем процессы, которые не всегда могут быть однозначно приписаны какому-то определенному субъекту. Попытка создания психофизического монизма представляется мне сегодня несравненно более перспективной, если искомый единый язык (еще неизвестный, нейтральный по отношению к дихотомии психического-физического) будет отнесен к более глубокой невидимой реальности. Тогда отыщется и способ выразить единство бытия, трансцендирующий, в смысле принципа соответствия (Бор), каузальность классической физики и предусматривающий в качестве особых случаев психофизические связи и согласование априорных инстинктивных форм представления с данными внешнего восприятия¹⁰². При таком подходе придется пожертвовать онтологией и метафизикой, зато выбор падает на «единство бытия».

Из частных исследований, к которым Паули привели только что изложенные философские работы, особенно заметные следы оставлены его наблюдениями над символической алхимиков, иногда встречающимися в его письмах. В теории элементарных частиц, например, его захватывают различные переплетающиеся друг с другом симметрии с участием четырех элементов, непосредственно сопоставляемые им с тетрактидой пифагорейцев; или еще: «Двуделение и уменьшение симметрии, — говорит он в одном письме, — вот где зарыт Фаустов пудель. Двуделение — старый атрибут дьявола (недаром сомнение называют „раздвоенностью“»)»¹⁰³. Философские системы эпохи после картезианского раскола были ему менее близки. Он в очень определенной форме критикует применение понятия «априори» у Канта за то, что Кант прилагал этот термин к рационально фиксируемым формам созерцания или мысли. Паули подчеркнуто предостерегает: «Никогда не следует объявлять единственно возможными предпосылками человеческого разума рационалистически установленные и сформулированные тезисы». Имеющиеся в естествознании элементы априоризма Паули ставит в теснейшую связь с первообразами, архетипами юнгианской психологии, которые не обязательно считать врожденными: они могут медленно изменяться и зависеть от той или иной познавательной ситуации. Здесь Паули и К. Г. Юнг отходят от взглядов Платона, который представлял первообразы неизменными и независимыми от человеческой души. Архетипы суть следствия или свидетельства более общего порядка

космоса, в равной мере охватывающего материю и дух.

Думая об ускользающем пока от рациональной формулировки едином порядке космоса, Паули скептически относится к очень распространенному в современной биологии дарвинистскому воззрению, согласно которому развитие видов на Земле стало возможным лишь благодаря случайным мутациям и результатам действия законов физики и химии. Он ощущает эту схему слишком тесной и считает возможными более универсальные взаимосвязи, которые нельзя ни ввести в рамки причинно-следственных структур, ни адекватно описать с помощью понятия «случай». Мы постоянно находим у Паули стремление выйти из привычной колеи мысли и вступить на новые пути понимания целостной структуры мира.

Нечего и говорить, что в своей борьбе за «Единое» Паули был вынужден не раз определять свое отношение к понятию бога, и если в одном письме он пишет о «теологах, мое отношение к которым определяется архетипом „брата-врага“», то высказывает здесь нечто очень серьезное. Насколько невозможно для него было жить и мыслить в традиции старой религии, настолько же не мог он, с другой стороны, принять и атеизм, с его наивно-рационалистическим обоснованием. Трудно описать позицию Паули лучше, чем это сделал он сам в заключительном абзаце своего доклада о науке и западной мысли: «Я считаю, что человеку, для которого узкий рационализм потерял свою убедительную силу и на которого уже мало действует очарование мистической установки, ощущающей внешний мир в его навязчивом многообразии как иллюзию, не остается ничего другого, как выносить на себе всю остроту противоречий и конфликтов между ними. Но именно благодаря этому исследователь вправе более или менее сознательно идти своим внутренним путем спасения. Тогда, компенсируя внешний раскол, медленно возникают в сердце образы, фантазии или идеи, намекающие на возможность сближения полярно противоположных пар. Предостерегаемый неудачей всех скороспелых порывов к единству в духовной истории, я не рискну делать предсказания о будущем. Но мне представляется, что, в противоположность практиковавшемуся с XVII века строгому подразделению деятельности человеческого духа по отдельным „департаментам“, высказанным или невысказанным мифом нашего собственного, сегодняшнего времени выступает притягательная идея преодоления розни, включая и идею синтеза, охватывающего как рациональное понимание, так и мистическое переживание единства».

Картина природы в современной физике¹⁰⁴

Проблемы современного искусства, которые в наши дни вновь и вновь вызывают страстные споры, заставляют задуматься о коренных предпосылках развития искусства вообще, считавшихся до сих пор самоочевидными. В этой связи был выдвинут следующий вопрос: не может ли само отношение современного человека к природе столь принципиально отличаться от отношения прежних эпох, что в силу одного только этого изобразительное искусство получает совершенно особую точку зрения? В отличие от прежних времен современное отношение к природе вряд ли находит выражение в развернутой натурфилософии; теперь оно, несомненно, глубоко определяется новой наукой и техникой. Вот почему здесь уместно задаться вопросом о том, какая же картина природы свойственна современному естествознанию, в особенности же физике.

Разумеется, с самого начала надо оговориться: вряд ли есть какое-нибудь основание полагать, что современная естественнонаучная картина мира как-то непосредственно повлияла на развитие современного искусства и что она вообще могла оказать такое влияние. Скорее можно допустить, что изменения, затронувшие основы современного естествознания, суть симптомы глубинных изменений в самых основах нашего существования, а эти изменения, конечно же, сказываются и во всех других сферах жизни. С этой точки зрения вопрос о том, как изменилась за последние десятилетия картина природы в естественных науках, может быть важен и для художника.

Обратимся сперва к историческим корням естествознания Нового времени. В XVII веке, когда Кеплер, Галилей и Ньютон закладывали его основы, еще господствовал средневековый образ природы, в котором природа виделась прежде всего как творение Божие. Природа мыслится как созданное Богом произведение, исследовать материальный мир как независимый от Бога показалось бы

нелепым человеку той эпохи. Приведу в качестве свидетельства того времени слова, которыми Кеплер заключает последний том своей «Космической гармонии»: «Благодарю тебя, Господи, Создатель наш, за то, что Ты дал мне зреть красоту Твоего создания и ликовать при виде дел рук Твоих. Вот я закончил труд, к которому чувствовал себя призванным, я приумножил талант, который Ты дал мне; все, что ограниченные силы моего ума позволили мне понять в величии дел Твоих, я возвестил людям, которые прочтут мои доказательства и рассуждения»¹⁰⁵.

Но на протяжении всего лишь нескольких десятилетий отношение человека к природе принципиально изменилось. По мере того как исследователь входил в детальное рассмотрение природных процессов, он убеждался, что в самом деле можно идти путем, начало которому положил Галилей, а именно: изолировать отдельные процессы из их естественных связей, описать их математически и тем самым «объяснить». Правда, ему при этом открылась и вся безграничность задачи, встающей перед зарождающимся естествознанием. Уже и для Ньютона мир не представляется просто творением божьим, которое надо понимать лишь в целом. Отношение Ньютона к природе яснее всего описывается известными словами о том, что он чувствует себя ребенком, играющим на берегу океана и радующимся, если ему удастся там и сям находить то гладкую гальку, то красивую ракушку, тогда как перед ним лежит неизведанным великий океан истины¹⁰⁶. Такое изменение в отношении исследователя к природе станет, может быть, понятнее, если мы заметим, что для христианской мысли той эпохи Бог удалился от Земли на небеса, и представлялось поэтому имеющим смысл рассматривать Землю также и независимо от Бога. В этой связи по поводу науки Нового времени правомерно было бы даже говорить о специфически христианской форме обезбоженности, а тем самым и яснее понять, почему в других культурах не происходят подобные процессы. Не случайно поэтому, что именно в это время предметом отображения в изобразительном искусстве становится природа сама по себе, вне связи с религиозной тематикой. Естественнонаучному духу вполне отвечает также и тенденция рассматривать природу независимо не только от Бога, но и от человека. В результате формируется идеал «объективного» описания или объяснения природы. Тем не менее следует все же заметить, что и для Ньютона ракушка важна потому, что она порождена великим океаном истины; рас-

сматривание ее не самоцель, ее изучение обретает смысл лишь в связи с целым.

С течением времени метод ньютоновской механики стал успешно применяться в исследовании все новых и новых областей природы. В соответствии с этим методом сначала с помощью экспериментов пытались вычленить в чистом виде отдельные стороны естественного процесса, сделать их объективно наблюдаемыми и понять управляющие ими закономерности; затем стремились математически сформулировать взаимосвязи этих процессов и таким образом прийти к «законам», имеющим неограниченную силу во всем космосе.

Действуя этим методом, можно было, наконец, использовать силы природы и подчинить их нашим целям в технике.

Грандиозные успехи механики в XVIII веке, оптики, теплотехники и термодинамики в начале XIX века свидетельствуют о могуществе такого подхода.

Успехи нового естествознания позволили ему выйти за рамки повседневного опыта и распространиться на отдаленные сферы природы, которые могли быть открыты только с помощью технических средств, развивающихся вместе с развитием науки. И в этом отношении решающий шаг был сделан Ньютоном, который показал, что те же самые законы механики, которым подчиняется падение камня, определяют и движения Луны вокруг Земли, иными словами, что эти законы можно применять и в космическом измерении. Впоследствии естествознание в своем победном шествии широким фронтом двинулось на завоевание тех сфер природы, сведения о которых мы можем получать лишь косвенно, лишь с помощью специальной техники, то есть посредством более или менее сложной аппаратуры. С помощью усовершенствованного телескопа астрономия овладевала все более далекими пространствами Вселенной; химия, изучая поведение веществ в химических превращениях, пыталась выяснить процессы, идущие на уровне атомов; эксперименты с индуктивностью и вольтовой батареей позволили получить первое представление об электрических явлениях, еще неизвестных повседневной жизни того времени. В результате значение слова «природа» как предмета естественнонаучного исследования постепенно изменялось. Оно становилось неким собирательным понятием, охватывающим все сферы человеческого опыта, в которые можно проникнуть с помощью естественнонаучных методов и соответствующей техники ис-

следования независимо от того, даны ли они как «природа» в непосредственном опыте человека.

Соответственно и слово «описание» природы все более и более теряло свой первоначальный смысл — такое изображение, которое должно было давать возможно более живую и яркую картину природы; под ним большей частью стали понимать математическое описание природы, то есть максимально точную, краткую и вместе с тем всеобъемлющую сводку информации о природных закономерностях.

В том расширении, которому по ходу дела — не вполне осознанно — подвергалось понятие природы, не нужно видеть принципиального отступления от коренных целей естествознания; и для этой более широкой сферы опыта оставались значимыми те же фундаментальные понятия, что и для опыта непосредственного. В XIX столетии природа виделась как закономерный ход событий в пространстве и во времени, при описании которого можно было если не практически, то, во всяком случае, теоретически отвлечься от человека и его вмешательства в природу.

Материю, неизменную по массе и способную двигаться под действием сил, считали чем-то пребывающим в изменчивости явлений. В связи с тем, что химические исследования, ведущиеся с начала XVIII века, успешно систематизировали и истолковали заимствованную у древних атомистическую гипотезу, легко было предположить в духе античной натурфилософии, что атомы представляют собой подлинно сущее, неизменные составные части материи. Чувственные качества материи оказывались тем самым, как и в философии Демокрита, видимостью; запах или цвет, температура или вязкость не подлинные свойства материи, а результат взаимодействия материи с нашими органами чувств и потому должны быть объяснены известным расположением атомов, их движением и воздействием на наши чувства. Так возникла весьма упрощенная картина мира, свойственная материализму XIX века: в пространстве и во времени движутся атомы — неизменно сущее в собственном смысле слова, а вся пестрота явлений чувственного мира порождается их взаимным расположением и движением.

Первая, хотя еще и не очень опасная, трещина в этой картине мира возникла во второй половине XIX века, в процессе развития теории электричества. Подлинной реальностью в этой теории необходимо было признать некое поле сил, а не материю. Понять взаимодействие силовых полей, не привлекая идеи субстанции как носителя этих

сил, было уже труднее, чем представить себе реальность в материалистической атомной физике. В картину мира, казавшуюся до сих пор столь ясной, привносился элемент абстрактности, ее наглядность исчезала. Поэтому делалось довольно много попыток обойти трудность и вернуться к простому, привычному для материалистической философии понятию материи путем введения представления о материальном эфире, упругие напряжения которого должны были соответствовать силовым полям. Но эти попытки, по существу, не имели успеха. Впрочем, можно было утешаться тем, что само изменение силового поля допустимо рассматривать в качестве процесса в пространстве и во времени, то есть вполне объективно, вне зависимости от способа его наблюдения, удовлетворяя тем самым общепринятой идеальной картине закономерного хода событий в пространстве и времени. Поскольку, далее, поля были доступны наблюдению только при взаимодействии с атомами, можно было считать, что они создаются атомами, и прибегать к ним только для объяснения движения атомов. В результате же подлинно сущим опять-таки оказывались атомы и пустое пространство между ними, которое обретало своего рода реальность как носитель полей и геометрии.

Равным образом для этой картины мира не имело большого значения, что после открытия радиоактивности в конце прошлого века химические атомы уже нельзя было считать последними составными частями материи, что они в свою очередь оказались состоящими из трех видов более элементарных частиц, называемых теперь протонами, нейтронами и электронами. Это открытие приобрело колоссальную важность, поскольку на практике из него следовала возможность превращения элементов и атомной техники. Что же касается принципиальных проблем, то от того, что мы признали протоны, нейтроны и электроны мельчайшими составными частями материи и стали считать их подлинно сущим, ничего не изменилось. Для материалистической картины мира существенна только возможность рассматривать эти мельчайшие составные части, элементарные частицы как последнюю объективную реальность. Таково основание, на котором покоится хорошо слаженная картина мира XIX — начала XX века, и именно в силу своей простоты она сохраняла убедительность на протяжении ряда десятилетий.

Но именно здесь и произошли в текущем столетии глубинные сдвиги в основаниях атомной физики, заставив-

шие нас отойти от такого понимания реальности, которое было свойственно атомистической философии древности. Предполагаемая объективная реальность элементарных частиц оказалась слишком грубым упрощением действительного положения вещей и должна уступить место более абстрактным представлениям. Если мы хотим составить себе картину существования элементарных частиц, мы уже принципиально не можем игнорировать те физические процессы, с помощью которых мы получаем сведения о них. При наблюдении предметов нашего повседневного опыта физические процессы, обеспечивающие это наблюдение, играют весьма подчиненную роль, но в мельчайших составных частях материи каждый акт наблюдения вызывает серьезные возмущения, так что нельзя более говорить о поведении частицы вне зависимости от процесса наблюдения. В результате получается, что те законы природы, которым мы даем математическую формулировку в квантовой теории, относятся уже не к элементарным частицам как таковым, а к нашему знанию о них. Стало быть, и вопрос, существуют ли в пространстве и во времени частицы «как таковые», не может более ставиться в такой форме. Отныне мы можем говорить только о том, что происходит, когда частица, поведение которой регистрируется, взаимодействует с какой-нибудь другой физической системой, например с измерительным прибором. В результате представление об объективной реальности элементарных частиц странным образом исчезает, но исчезает оно не в тумане какого-то нового понимания реальности или еще не понятого представления о ней, а в прозрачной ясности математики, описывающей не поведение элементарных частиц, а наше знание об этом поведении. Атомный физик вынужден мириться с тем, что его наука представляет собой всего лишь звено в бесконечной цепи взаимоотношений человека и природы, она не может говорить попросту о природе «как таковой». Познание природы всегда уже предполагает присутствие человека, и надо ясно сознавать, что мы, как выразился Бор, не только зрители спектакля, но одновременно и действующие лица драмы¹⁰⁷.

Прежде чем говорить о следствиях общего характера, которые вытекают из этой новой ситуации в современной физике, следует обсудить процесс, тесно связанный с развитием естественных наук, но еще более важный с точки зрения практической жизни на Земле, — распространение техники. Ведь именно техника впервые распространила по всему миру зародившуюся на Западе естественную на-

уку и обеспечила ей центральное место в мышлении нашего времени. На протяжении последних 200 лет техника в процессе развития неизменно оказывалась и предпосылкой, и следствием науки. Предпосылкой — потому, что расширение и углубление науки зачастую могли осуществляться только посредством совершенствования наблюдательных инструментов; достаточно вспомнить изобретение телескопа и микроскопа или открытие рентгеновских лучей. С другой стороны, техника представляет собой следствие естествознания, поскольку техническое использование природных сил оказывается вообще возможным только на основе детального знания тех законов природы, которые действуют в соответствующей сфере опыта.

Так, в XVIII — начале XIX века развивалась прежде всего техника, основанная на использовании механических процессов. Идет ли речь о ткачестве, перемещении грузов или кузнечной обработке больших кусков железа — повсюду здесь машины всего лишь подражают движениям человеческой руки. Поначалу такая форма техники воспринималась как продолжение и расширение старых форм ремесла. Постороннему человеку она казалась понятной и ясной, точно так же как ему было ясно обычное ремесло, основы которого были известны всякому, даже если и не всякий умел воспроизвести в точности все его приемы. Введение паровой машины опять-таки принципиально не изменило этого характера техники. Впрочем, как раз с этого момента приобретает неведомые ранее размеры экспансия техники, поскольку теперь открылась возможность поставить на службу человека мощь природных сил, сконцентрированных в каменном угле, и передать им ту работу, для выполнения которой прежде требовался ручной труд.

Пожалуй, только во второй половине прошлого столетия в связи с развитием электротехники характер техники решительно изменился. Отныне едва ли можно было говорить о непосредственной связи с ремесленной техникой прошлого. В значительной мере дело теперь идет уже об использовании природных сил, которые вряд ли были известны человеку в природе, данной ему в непосредственном опыте. Поэтому еще и сегодня электротехника для многих таит в себе что-то жуткое, и, хотя она повсюду окружает нас, ее чаще всего воспринимают как нечто по меньшей мере непонятное. Хотя высоковольтная линия, к которой нельзя приближаться, и придает известную наглядность применяемому здесь понятию силового поля,

вся эта область природы, по существу, остается нам чуждой. Внутренний вид сложного электрического аппарата порой пугает нас так же, как лицезрение хирургической операции.

Пожалуй, и в химической технике можно было еще видеть продолжение одной из отраслей прежнего ремесла; вспомним хотя бы о ремесле красильщика, кожевенника или аптекаря. Но и тут размах, который с начала нашего столетия приняло развитие новой химической техники, не идет ни в какое сравнение с предшествующим положением дел.

Наконец, в атомной технике речь идет об использовании таких природных сил, к которым нет подступов из мира естественного опыта. Может быть, и эта техника станет для нас в конце концов столь же привычной, какой стала для наших современников электротехника, без которой невозможно уже представить современный быт. Но от того, что вещи входят в обиход, они еще не становятся частями природы в прежнем смысле слова. Возможно, с течением времени многие технические приспособления будут столь же неразрывно связаны с человеком, как раковина с улиткой и паутина с пауком. Но и в этом случае машины были бы скорее частью нашего человеческого организма, чем частью окружающей нас природы.

Техника глубоко вторгается во взаимоотношения природы и человека еще и в силу того, что она существенно преобразует окружающий человека мир, а тем самым постоянно и неуклонно раскрывает перед ним мир в естественнонаучном аспекте. Претензия науки охватить весь космос единым методом, который — путем последовательного обособления и разъяснения отдельных явлений — шествует от одной взаимосвязи природы к другой, отражается и в технике, шаг за шагом проникающей все в новые и новые области, преобразует у нас на глазах окружающий мир и в результате запечатлевает на нем наш образ¹⁰⁸. Подобно тому как в науке каждый отдельный вопрос подчинен великой задаче понять природу в целом, так и любой сколь угодно малый технический успех служит общей цели — увеличить материальное могущество человека. Ценность этой цели вызывает столь же мало сомнений, что и ценность научного познания природы, и обе цели совпадают в общеизвестном лозунге: «Знание — сила». Хотя для каждого отдельного технического процесса вроде бы и можно показать его подчиненность общей цели, тем не менее развитие техники в целом характеризу-

ется тем, что отдельные технические процессы оказываются связанными с этой общей целью зачастую весьма косвенно, и увидеть в них часть сознательного плана по достижении этой цели почти невозможно. В подобных случаях техника кажется уже не продуктом сознательного человеческого стремления расширить свою материальную власть; скорее уж она представляется глобальным биологическим процессом, в котором структуры, свойственные человеческому организму, все шире и шире переносятся на окружающий человека мир, — биологическим процессом, который именно как таковой ускользает от контроля человека, ибо, «хотя человек и может делать что хочет, он не может решать, чего ему хотеть».

В этой связи часто говорят, что изменения, глубоко затронувшие в техническую эпоху окружающий мир и образ нашей жизни, угрожающе деформировали также и наше мышление и что здесь следует искать коренную причину кризисов, которые потрясают наш мир и сказываются, между прочим, также и в современном искусстве. Это предостережение, безусловно, гораздо древнее, чем техника и естествознание Нового времени. Примитивные формы техники и машин существовали издавна, и люди должны были задумываться над подобными вопросами с самых давних времен. Например, уже два с половиной тысячелетия назад китайский мудрец Чжуан Цзы говорил об опасностях, которыми чревато для человечества использование машин, и мне хочется привести здесь одно важное для нашей темы место из его сочинений:

«Проходя севернее реки Хань, Цыгун заметил старика, трудившегося на своем огороде. Выкопав канавы для орошения, он сам спускался в колодец, поднимал наверх наполненный водой сосуд и выливал воду в канавы. Трудился неутомимо, но достигал немногого.

Цыгун сказал: «Есть устройство, с помощью которого можно за один день наполнить сто канав. Сил расходуется мало, а достигается многое. Не захотели бы вы им воспользоваться?»

Огородник выпрямился, посмотрел на него и спросил: «Что это за устройство?»

Цыгун сказал: «Берут деревянную перекладину, заднюю часть потяжелее, переднюю полегче. С ее помощью можно черпать воду так, что она только клокотать будет. Это устройство называют журавлем».

Гнев выразился на лице старика, и, усмехнувшись, он сказал: «Я слышал от своего учителя: «Кто использует

машины, тот делает все свои дела машинообразно; кто действует машинообразно, у того сердце становится машинным. У кого в груди машинное сердце, тот утрачивает чистую простоту, а без чистой простоты не может быть уверенности в побуждениях собственного духа. Неуверенность в побуждениях собственного духа не уживается с истинным смыслом». Я не потому не пользуюсь этой машиной, что ее не знаю, а потому, что стыжусь это делать»¹⁰⁹.

Любой из нас почувствует, что в этой древней истории содержатся значительная доля истины. Едва ли можно охарактеризовать положение человека в нашу кризисную эпоху более метко, чем определяя ее как «неуверенность в побуждениях собственного духа». И все же, хотя техника, машины распространились по всему свету в таких размерах, о которых наш китайский мудрец не мог и подозревать, тем не менее за два протекших тысячелетия возникли прекраснейшие произведения искусства и простота души, о которой говорил философ, не вовсе была утрачена — то с меньшей, то с большей силой являла она себя в потоке столетий и плодоносила вновь и вновь. Наконец, совершенствование орудий труда — это ведь тоже форма роста человеческого рода, во всяком случае, технику саму по себе нельзя считать причиной того, что нынче повсеместно утрачивается сознание внутренней связи событий.

Ближе к истине, по-видимому, те, кто возлагает ответственность за множество переживаемых трудностей на неожиданную и необычную — по сравнению с прежним темпом изменений — быстроту, с которой техника распространялась за последние пятьдесят лет. В противоположность прежним эпохам интенсивность изменений просто не оставяла людям времени приспособиться к новым условиям. Но и в этом еще нельзя видеть верного или достаточно полного объяснения того, почему ситуация, с которой столкнулась наша эпоха, кажется чем-то совершенно новым, едва ли имеющим аналогии в истории.

В начале статьи уже говорилось о том, что трансформацию основоположений современного естествознания можно рассматривать как симптом смещений в коренных основах нашего существования, которые проявляются одновременно во многих сферах: в изменении образа жизни и манеры мыслить, во внешних катастрофах, в войнах и революциях. Если, отталкиваясь от ситуации в современном естествознании, попытаться нащупать эти заколебавшиеся основы, мы, по-видимому, не слишком упрости-

положение вещей, сказав, что впервые в истории человек остался на Земле один на один с самим собой, что он не встречает отныне никакого другого партнера или противника. Прежде всего и проще всего это сказывается в борьбе человека с внешними опасностями. До сих пор ему угрожали дикие животные, болезни, голод, холод и другие силы природы. Всякое расширение техники означало в этом противоборстве укрепление позиций человека, иными словами прогресс. В наше время, когда плотность населения на Земле постоянно растет, ограничение жизненных возможностей, а стало быть, и угроза идет в первую очередь от других людей, которые заявляют свои права на пользование земными благами. Когда техника начинает служить интересам борющихся между собою человеческих групп, ее развитие уже вовсе не обязательно будет прогрессом.

Но утверждение, что человек противостоит теперь только самому себе, приобретает в техническую эпоху гораздо более глубокий смысл. В прежние эпохи человек видел себя находящимся наедине с природой. Населенная всевозможными живыми существами природа была царством, живущим по своим законам, и человек должен был каким-то образом суметь включиться в эту жизнь. Теперь же мы живем в мире, столь глубоко преобразованном человеком, что повсюду и ежечасно — пользуемся ли бытовыми приборами, приобретаем ли приготовленную машинами пищу или проходим по преобразованной человеком местности — мы сталкиваемся со структурами, вызванными к жизни человеком, и в каком-то смысле встречаемся только с самими собой. Существуют, конечно, территории, где этот процесс еще далек от завершения, но рано или поздно господство человека в этом отношении должно стать полным.

Отчетливее всего эта новая ситуация выступает именно в современном естествознании. Здесь оказывается — выше я уже описал это, — что те составные части материи, которые мы первоначально считали последней объективной реальностью, вообще нельзя рассматривать «сами по себе», что они ускользают от какой бы то ни было объективной фиксации в пространстве и во времени и что предметом научного анализа в принципе может быть только наше знание об этих частицах. Целью исследования поэтому уже не является познание атома и его движения «самих по себе», то есть вне зависимости от экспериментально поставленного вопроса. Мы с самого начала нахо-

димся в средоточии взаимоотношений природы и человека, и естествознание представляет собой только часть этих отношений, так что общепринятое разделение мира на субъект и объект, внутренний мир и внешний, тело и душу больше неприемлемо и приводит к затруднениям. Стало быть, и в естествознании предметом исследования является уже не природа сама по себе, а природа, поскольку она подлжит человеческому вопрошанию, поэтому и здесь человек опять-таки встречается самого себя.

Задача нашего времени состоит, очевидно, в том, чтобы суметь справиться в этой новой ситуации во всех областях жизни. И только если это удастся, человек сможет вновь обрести ту «уверенность в побуждениях собственного духа», о которой говорил китайский мудрец. Этот путь будет долгим и трудным, и мы не знаем, какие страдания заставят нас останавливаться. Если тем не менее искать признаки, по которым можно представить себе этот путь, позволительно еще раз обратиться к примеру точных наук.

В квантовой теории с описанной ситуацией справились, как только удалось выразить ее математически, а это значит — ясно, не опасаясь логического противоречия, в каждом отдельном случае предсказывать результат эксперимента. С новой ситуацией освоились, следовательно, в тот момент, когда были устранены неясности. Между тем математические формулы отображают теперь уже не природу, а наше знание о природе, а это значит, что мы отказываемся от того способа описания природы, который был в ходу на протяжении столетий и который еще несколько десятков лет назад считался само собой разумеющейся целью всего точного естествознания. Пока можно сказать только одно: в области атомной физики справились с положением постольку, поскольку сумели правильно описывать опыты. Но уже там, где речь идет о философских интерпретациях квантовой теории, мнения расходятся, и порою высказывается тот взгляд, что, раз новая форма описания природы не отвечает прежнему идеалу научной истины, она неудовлетворительна, во всяком случае не окончательна, и может рассматриваться лишь в качестве симптома современного кризиса.

В этой связи целесообразно обсудить понятие научной истины в несколько более общем плане и задаться вопросом о критерии, позволяющем судить, когда научное познание можно назвать последовательным и законченным. Сначала примем довольно внешний критерий. Пока какая-

либо область духовной жизни развивается непрерывно, без внутренних разрывов, перед работающим в этой области индивидом всегда уже стоят отдельные проблемы, задачи, до некоторой степени ремесленные. Их решение не является самоцелью, ценность их полностью открывается в контексте общей, единственно важной связи. Эти частные проблемы всегда уже имеются, их не нужно искать, и работа над ними является условием сотрудничества по раскрытию общей связи. Так, скажем, средневековые скульпторы старались как можно искуснее передать складки на платьях, и решение этой частной проблемы было необходимо, поскольку и складки на платьях святых входили в великий религиозный синтез, ради которого, собственно, все и делалось. Подобным образом и в современном естествознании всегда уже имелись и имеются сейчас частные проблемы, решение которых образует условие понимания общей взаимосвязи. За последние 50 лет такие проблемы возникали всегда сами собой, их не нужно было искать, а целью всегда была одна и та же общая совокупность законов природы. Пока с этой совершенно внешней точки зрения нельзя усмотреть никакого разрыва в непрерывном развитии точного естествознания.

Что же касается окончательности результата, то следует напомнить, что в точном естествознании окончательные решения каждый раз давались для строго определенной сферы опыта. Например, законы Ньютона и математические следствия из них заключают в себе окончательный, раз и навсегда полученный ответ на те вопросы, которые могут быть поставлены в понятиях ньютоновской механики. Но применимость этих решений не выходит за рамки применимости понятий ньютоновской механики и ее способа постановки вопросов. Вот почему уже, к примеру, учение об электричестве не поддается анализу с помощью этих понятий, и в процессе исследования этой новой сферы опыта возникла новая система понятий, с помощью которой удалось сформулировать в окончательном математическом виде законы электричества. В контексте точного естествознания слово «окончательно» означает, очевидно, следующее: в каждом отдельном случае существует замкнутая в себе, математически выразимая система понятий и законов, которая согласуется с определенной сферой опыта и в этих пределах справедлива для всего космоса и не подлежит ни изменению, ни улучшению. Разумеется, нельзя ожидать, что эти понятия и законы окажутся пригодными для того, чтобы впоследствии описать

новую сферу опыта. Об окончательности понятий и законов квантовой теории тоже можно говорить лишь в таком ограниченном смысле, и только в этом ограниченном смысле научное понятие получает свою окончательную фиксацию в математическом или каком-нибудь другом языке.

Нечто подобное принимается ведь и в некоторых философиях права. Даже если правовая система уже существует, тем не менее в каждом новом случае необходимо, вообще говоря, отыскивать новую правовую норму. Кодифицированное право, во всяком случае, охватывает лишь ограниченную сферу жизненного опыта и поэтому не может быть обязательным всегда. Точное естествознание тоже исходит из того, что природа может в конечном счете быть понята в каждой новой сфере опыта. При этом, однако, само значение слова «понимать» отнюдь не считается раз и навсегда установленным, а математически сформулированное естественнонаучное знание прошлых эпох хотя и «окончательно», но применимо далеко не всегда и не везде. Именно в силу этого обстоятельства нельзя научно обосновать вероучение, имеющее обязательную силу для всей жизни. Такое обоснование можно было бы провести с помощью фиксированных научных понятий, а они применимы только в ограниченной сфере опыта. Поэтому часто встречающееся во вступлениях к современным вероучительным сочинениям утверждение, будто речь в них идет не о вере, а о научно обоснованном знании, внутренне противоречиво и основано на самообмане.

Этот вывод, однако, не дает повода усомниться в прочности того фундамента, на котором зиждется здание точного естествознания. Понятие научной истины, лежащее в основе естествознания, может включать в себя самые разные способы понимания природы, с ним связано не только естествознание прошлых эпох, но и современная атомная физика, а это значит, что можно совладать и с такой познавательной ситуацией, когда невозможна полная объективация процесса, что и в этом случае можно упорядочить отношение к природе.

Если в наше время можно говорить о картине природы, складывающейся в точных науках, речь, по сути дела, идет уже не о картине природы, а о картине наших отношений к природе. Старое разделение мира на объективный ход событий в пространстве и времени, с одной стороны, и душу, в которой отражаются эти события, — с другой, иначе говоря, картезианское различение *res cogitans* и *res extensa* уже не может служить отправной точкой в пони-

мании современной науки. В поле зрения этой науки прежде всего — сеть взаимоотношений человека с природой, те связи, в силу которых мы, телесные существа, представляем собой часть природы, зависящую от других ее частей, и в силу которых сама природа оказывается предметом нашей мысли и действия только вместе с самим человеком. Наука уже не занимает позиции наблюдателя природы, она осознает себя как частный вид взаимодействия человека с природой. Научный метод, сводившийся к изоляции, объяснению и упорядочению, натолкнулся на свои границы. Оказалось, что его действие изменяет и преобразует предмет познания, вследствие чего сам метод уже не может быть отстранен от предмета. В результате естественнонаучная картина мира, по существу, перестает быть только естественнонаучной.

Выявление этих парадоксов применительно к узкой сфере науки пока еще не слишком много дает нам для понимания более общей ситуации эпохи, когда мы, если повторить уже использованное упрощение, оказались один на один с самими собою. В этой ситуации надежда на то, что расширение материальной и духовной власти человека непременно имеет прогрессивный характер, обнаруживает — правда, еще далеко не ясно — свои пределы. И чем сильнее бьется об эти пределы волна оптимизма, порожденного верой в прогресс, тем серьезнее опасности. Характер опасности, о которой тут идет речь, можно пояснить и другим образом. Неограниченно, как кажется, расширяя свою материальную власть, человечество попало в положение капитана, корабль которого столь крепко закован в сталь и железо, что магнитная стрелка корабельного компаса показывает уже не на север, а на стальную массу самого корабля. На таком корабле уже никуда не доплыть, он может двигаться только по кругу и становится игрушкой ветра и бурь. Вспомним теперь о ситуации в современной физике. В действительности опасность существует лишь до тех пор, пока капитан не знает, что компас уже не реагирует на магнитное поле Земли. Как только это стало ясным, можно считать, что угроза наполовину устранена. Капитан, который не желает кружить на месте и хочет достигнуть известной или неведомой цели, найдет способ определить путь корабля. Он может использовать новый, современный вид компаса, который не реагирует на массу корабля, или же, как в древности, ориентироваться по звездам, хотя, конечно, от нас не зависит, видимы звезды на небе или невидимы, а в наше время их не

часто увидишь. Как бы там ни было, уже само сознание границы, на которую наталкивается вера в прогресс, таит в себе желание не кружить на месте, а двигаться к цели. По мере того как мы уясняем характер этой границы, она сама оказывается той первой опорой, с помощью которой мы можем найти новую ориентацию. Сопоставление с современной наукой позволяет, может быть, обрести надежду на то, что дело здесь идет об ограниченности не столько сферы человеческой жизнедеятельности вообще, сколько определенной формы ее расширения. Пространство, в котором развивается человек как духовное существо, имеет больше измерений, чем то единственное, которое он осваивал в течение последних столетий. Если это так, то может случиться, что сознательное обживание этих границ приведет по прошествии долгого времени к известной стабилизации, когда человеческая мысль сама собою снова сконцентрируется вокруг общего средоточия¹¹⁰. Быть может, такое сосредоточение заложит также основу для нового развития искусства; говорить об этом, впрочем, не дело естествоиспытателя.

Картина природы у Гёте и научно-технический мир¹¹¹

Тема эта — картина природы у Гёте и научно-технический мир — восходит к тому времени, когда Гёте старался выработать определенное понимание природы и развивал собственный вариант естествознания. Гёте присутствовал при зарождении того научно-технического мира, который теперь окружает нас. Он сам, его современники, исследователи и философы позднейших времен многое сказали в связи с этой проблематикой. Давно известно, сколь важную роль играл этот вопрос в жизни Гёте; мы знаем также, сколь проблематичным становится все в нынешнем мире, когда мы оцениваем наши научно-технические достижения взыскательной мерой Гёте. Часто замечали также, как остро переживал он тот факт, что его учение о цвете и общепринятая оптика Ньютона были разделены непроходимой пропастью; замечали, сколь запальчивы и неделовиты бывали порой его выпады против Ньютона. Отмечалось, кроме того, что его критика романтизма, в корне отрицательное отношение его к романтическому искусству обнаруживают своего рода внутреннюю связь с его полемикой против господствующего типа естествознания. Обо всем этом так много уже сказано и написано, а стоящая за этим проблематика освещена столь основательно и всесторонне, что вряд ли можно сделать что-либо большее, чем попробовать немного развить уже высказанные мысли и проверить их еще раз на опыте современного научно-технического мира, и в особенности новейшего развития естественных наук. Это мы и попытаемся сделать.

При этом мы не хотим с самого начала руководствоваться тем пессимистическим взглядом, который выражен, к примеру, Карлом Ясперсом, утверждавшим, что раз Гёте отвернулся от зарождавшегося технического мира и отверг задачу найти для человека путь в этом новом мире, то ему нечего нам сказать. Скорее мы хотим спокойно признать значимость гётевских требований и предъявить их современному миру именно потому, что мы не видим столь

серьезных оснований для пессимизма. В течение 150 лет, прошедших с тех пор, как Гёте в Веймаре теоретически и поэтически размышлял над прафеноменом, лежащим в основе возникновения цветов, мир развивался совершенно иначе, чем он ожидал. И все же следует возразить слишком придирчивым критикам нашей эпохи, что дьявол, с которым Фауст заключил опасный союз, не окончательно овладел нашим миром. Взглянем же еще раз современным глазом на эту старую контроверзу.

Любое созерцание, любое понимание природы начиналось для Гёте с непосредственного чувственного впечатления, а это значит — не с изолированного явления, отфильтрованного с помощью специальных приборов и до некоторой степени силой вырванного у природы, а со свободно развертывающегося, открытого нашим чувствам естественного события. Возьмем какое угодно место из раздела «Физиологические цвета» в его учении о цвете. Спуск зимним вечером с занесенного снегом Брокена дает повод для следующего наблюдения: «Если на протяжении всего дня при желтоватом оттенке снега замечались легкие фиолетовые тени, их следовало считать темно-синими, учитывая интенсивно-желтые отсветы освещенных частей. Когда же солнце склонилось наконец к закату и его лучи, предельно ослабленные сгустившимся туманом, одели чудесным пурпуром весь мир вокруг меня, цвет теней превратился в зеленый, который по ясности можно было сравнить с зеленым цветом моря, а по красоте с зеленью смарагда. Зрелище было даже более ярким. Можно было подумать, что находишься в мире фэй, ибо все оделось в два ярких, столь прекрасно гармонирующих друг с другом цвета, пока солнце не зашло и все это роскошное зрелище не исчезло в серых сумерках, постепенно переходящих в лунную и звездную ночь». Но Гёте не останавливался на непосредственном наблюдении. Он очень хорошо знал, что непосредственное впечатление может стать познанием только в том случае, если руководствуется поиском взаимосвязи, сначала предполагаемой, а затем, при удаче, обретающей достоверность. Прочитую, например, одно место из предисловия к учению о цвете: «Простое смотрение на предмет не может побудить нас ни к чему. Всякое рассматривание переходит в разбор, всякий разбор — в обдумывание, всякое обдумывание — в установление связи, и можно сказать, таким образом, что при каждом внимательном взгляде на мир мы уже теоретизируем. Прodelьвать это в полноте сознания и самосознания, со свободой и иро-

нией, — чтобы воспользоваться рискованным словом, — особое искусство, необходимое, если мы хотим, чтобы абстракция, которой мы боимся, была безвредной, а результат опыта, на который мы надеемся, — поистине жизненным и полезным».

«Абстракция, которой мы боимся». Уже здесь точно обозначается пункт, в котором путь Гёте и путь господствующего естествознания должны разойтись. Гёте знает, что всякое познание нуждается в образе, связи, смысловых структурах. Без них познание было бы невозможно. Но путь к этим структурам неизбежно вел к абстракциям. Уже в своих исследованиях по морфологии растений Гёте на опыте убедился в этом. Наблюдая, особенно во время своего итальянского путешествия, различие растительных форм во всем их многообразии, он надеялся, что при более обстоятельном их изучении сможет яснее распознать таящийся в них принцип единства. Он говорил о «сущностной форме, с которой только и играет природа, производя в этой игре все многообразие жизни». Отсюда он и подходит к представлению о прафеномене, прарастении. «С помощью этой модели, — говорит Гёте, — и зная ключ к тому, как ею пользоваться, можно потом до бесконечности придумывать растения, которые хотя и не существуют, но могли бы существовать и обладают внутренней истинностью и необходимостью». Здесь Гёте стоит на пороге абстракции, которой он боялся. Гёте сам отказался переступить этот порог, но предостерегал также физиков и философов, полагая, что и они должны воздерживаться от этого шага. «Если бы, впрочем, прафеномен и был найден, беда в том, что его все равно не захотят признать первичным. Мы ищем чего-то еще за ним, по ту сторону, тогда как здесь-то и следовало поставить предел нашему созерцанию. Пусть исследователи оставят прафеномен в его вечном покое и величии».

Итак, не следует переступать порог, ведущий к абстрактному. Чтобы не подменять живое созерцание абстрактной мыслью, наш путь не должен простираться за пределы, ограничивающие это созерцание. Гёте был убежден, что отвлечение от чувственной реальности мира, вступление в эту беспредельную сферу абстракции должно принести с собой гораздо больше дурного, чем доброго.

Но уже со времен Ньютона естествознание пошло другим путем. С самого начала оно не боялось абстракции, и его успехи в объяснении планетной системы, в практическом применении механики, в конструировании оптиче-

ских инструментов и во многом другом внешне оправдывали это и вскоре привели к тому, что на предостережения Гёте уже не обращали внимания. Со времен появления великого труда Ньютона «*Philosophiae naturalis principia mathematica*» и по сей день это естествознание развивалось, по сути дела, совершенно однолинейно и последовательно, а воздействие, которое оно оказывало посредством техники, преобразило облик Земли.

В этом общепринятом естествознании абстракция осуществляется в двух довольно-таки различных пунктах. Задача ведь в том, чтобы найти нечто простое в пестром многообразии явлений. Стремление физика должно поэтому состоять в том, чтобы вычленивть в запутанной сложности феноменов простые процессы. Но что значит простые? Со времен Галилея и Ньютона ответ гласит: простым является такой процесс, закономерный ход которого может быть без затруднений и во всех деталях описан математически, с количественной стороны. Прост, следовательно, не тот процесс, который непосредственно разворачивается в природе. Физик должен сначала, порой с помощью весьма сложных приспособлений, разделить пеструю мешанину феноменов, очистить существенное ото всех ненужных, побочных воздействий, чтобы со всей ясностью обнаружился единственный «простой» процесс, и можно было отвлечься, то есть абстрагироваться, от всех посторонних явлений. Это одна форма абстракции. Гёте считал, что при этом как раз сама природа, по существу, и изгоняется. Он говорит: «Смелое утверждение, что перед нами все еще природа, мы встречаем только мягкой улыбкой и легким покачиванием головы: ведь архитектору не приходится в голову выдавать свои дворцы за горы или леса».

Другая форма абстракции связана с использованием математики для описания явлений. В ньютоновской механике впервые обнаружилось — и это было причиной ее колоссального успеха, — что математическое описание позволяет внутренне объединить огромные сферы опыта и тем самым упростить их понимание. Галилеевские законы падения, движение Луны вокруг Земли, движение планет вокруг Солнца, колебания маятника, траектория брошенного камня — все эти явления могли быть математически выведены из основной предпосылки ньютоновской механики, из уравнения: масса \times ускорение = сила — в совокупности с законом притяжения. Таким образом, математическое уравнение, отображающее эти явления, было абстрактным ключом к пониманию весьма широкой области

природы, и Гёте тщетно боролся с тем доверием, которое вызывала мощь этого средства. Он говорит в письме к Цельтеру: «В том-то и состоит величайшая беда новой физики, что экспериментальные орудия оказались как бы обособленными от человека, и в познании природы и даже ее возможных действий решили ограничиваться только тем, что выведено из показаний искусственных инструментов. То же самое и с вычислениями. Существует много истинного, но не поддающегося вычислению, а равным образом и такого, что нельзя подвергнуть решающему эксперименту».

Действительно ли Гёте отрицал организующую силу и познавательную способность естественнонаучных методов, эксперимента и математики? Не слишком ли низко ставил он противника, с которым столь неутомимо боролся и в учении о цвете, и во многих других трудах? Или же он не желал признать его силу, поскольку на карту поставлены были такие ценности, которыми он не был готов пожертвовать? Пожалуй, мы должны будем ответить, что Гёте не хотел идти к единому пониманию путем абстракций, потому что он казался ему слишком опасным.

Он, правда, нигде точно не указал пугавшие его здесь опасности, но самый знаменитый образ поэзии Гёте, Фауст, позволяет догадаться, в чем тут дело. Помимо всего прочего, Фауст — разочарованный физик. Кабинет его наполнен приборами. Но он говорит:

Не смейтесь надо мной деленьем шкал,
Естествоиспытателей приборы!
Я, как ключи к замку, вас подбирал,
Но у природы крепкие затворы.
(Перев. Б. Пастернака)

Таинственные знаки, которые он разыскивает в книге Нострадамуса, по-видимому, в каком-то отношении родственны математическим шифрам. И весь этот мир шифров и инструментов, его ненасытная страсть ко все более широкому, глубокому и абстрактному познанию толкают его, отчаявшегося, на то, чтобы заключить договор с дьяволом. Путь, ведущий от естественной жизни к абстрактному познанию, может, стало быть, вести в лапы к дьяволу. В развитии мира абстракций Гёте чуял присутствие демонических сил и считал необходимым не поддаваться им. На это следует, по-видимому, ответить, что от дьявола так легко не спасешься.

Сам Гёте довольно быстро вынужден был пойти на компромисс. Важнейшим шагом было, пожалуй, призна-

ние коперниканского образа мира, убедительности которого и он не мог противостоять. Но он сознавал, сколь многим приходится при этом пожертвовать. Цитирую снова «Учение о цвете»: «Однако при всех новых взглядах и открытиях вряд ли что-либо другое оказало более сильное воздействие на человеческий дух, чем учение Коперника. Едва лишь признали мир закругленным и законченным, как пришлось отказаться от неслыханного преимущества быть центром Вселенной. Быть может, никогда еще человечеству не было предъявлено столь грандиозного требования. После согласия на это разве не превращалось все в дым и туман: новый рай, мир невинности, поэзии и благочестия, свидетельства чувств, убеждения религиозно-поэтической веры. Не удивительно, что от всего этого люди не хотели отказываться, что всеми способами противились учению, дававшему своим приверженцам право и одновременно требовавшему от них решимости на столь небывалую свободу и возвышенность мысли, о которых нельзя было и отдаленно догадываться».

Этот отрывок нужно привести в качестве возражения всем тем, кто, стремясь избежать пугавших Гёте опасностей, пытается и в наше время поставить под сомнение правомерность и необходимость естественной науки Нового времени. В этой связи указывают, скажем, на то, что и эта наука с течением времени изменила или модифицировала свой облик. Ньютоновская механика, к примеру, сейчас уже не считается правильной, ее заменили теория относительности и квантовая механика. Так что имеются все основания скептически относиться к ее претензиям. Это возражение, однако, основано на недоразумении. Убедиться в этом можно как раз на примере вопроса о месте Земли в планетной системе. Верно, конечно, что эйнштейновская теория относительности оставляет открытой возможность считать Землю покоящейся, а Солнце вращающимся вокруг Земли. Это тем не менее ничего не меняет в том решающем утверждении ньютоновской теории, что именно большая сила притяжения Солнца определяет орбиты планет. И следовательно, планетную систему можно по-настоящему понять только в том случае, если исходить из центрального положения Солнца как центра гравитационных сил.

Нужно особо подчеркнуть, что результаты современного естествознания оказываются абсолютно неизбежными, как только принят его метод, а метод этот предполагает наблюдение, становящееся по мере совершенствования эк-

спериментом, и рациональный анализ, обретающий точную форму в математическом описании. А стоит принять эксперимент и рациональный анализ — и правильность научных результатов нельзя будет всерьез ставить под сомнение. Но можно выдвинуть против них аксиологический вопрос: полноценно ли полученное таким образом знание?

Если не стремиться с самого начала ответить на этот вопрос в смысле Гёте, а недолго думая понять его — в согласии с духом времени — как вопрос о полезности, можно указать на достижения современной науки и техники: на эффективное устранение многих недостатков, смягчение с помощью современной медицины бедственного положения больных, на удобство средств сообщения и многое другое. Гёте, без сомнения, отнесся бы к подобным аргументам с полным пониманием — он ведь предпочитал деятельную жизнь. Если мы исходим из положения человека в этом мире, из трудностей, которые встают перед ним, требований, которые ему предъявляются другими, мы как раз очень высоко оценим возможность быть практически деятельным, возможность помочь другим и вообще улучшить условия жизни. Достаточно прочитать большую часть «Годов странствий» Гёте или последние сцены «Фауста», чтобы понять, насколько всерьез принимал поэт именно эту сторону проблемы. Из всего многообразия аспектов научно-технического мира именно прагматический был бы ему, безусловно, наиболее понятен. И тем не менее Гёте не избавился бы от страха, что дьявол приложил здесь свою руку. В последнем действии «Фауста» успешность и полнота деятельной жизни оборачиваются абсурдом перед лицом гибели Филемона и Бавкиды. Но и там, где рука дьявола ощутима не столь непосредственно, угроза его влияния на ход событий остается. Гёте признавал, что прогрессирующее преобразование мира, совершаемое естественной наукой в союзе с техникой, нельзя остановить. Он с беспокойством высказал это в «Годах странствий Вильгельма Мейстера»: «Победоносно распространяющаяся машинерия мучает и пугает меня. Она подбирается медленно-медленно, как гроза. Но путь ее предопределен, она придет и застигнет нас врасплох». Гёте, стало быть, знал, что нам предстоит, и беспокоился о том, как скажется это событие на поведении человека. В переписке с Цельгером говорится: «Богатство и скорость — вот что поражает мир и вот к чему стремится каждый. Железная дорога, скорая почта, пароходы и всевозможные средства, облегчающие коммуникацию, — вот к чему тяготеет весь

образованный мир, чтобы превзойти, перестроить самого себя, а в результате застыть в своей посредственности. Это век смысленных голов, сообразительных, практичных людей, наделенных известным талантом, они чувствуют свое превосходство над толпой, хотя сами не обладают высокой одаренностью». Или же в «Годах странствий»: «Нынче эпоха односторонностей; благо тому, кто это понимает и действует в этом духе себе и другим на пользу». Гёте, стало быть, смог заранее увидеть значительную часть этого пути и относился к грядущему с величайшей озабоченностью.

Между тем прошло полтора столетия, и мы знаем, куда сегодня привел этот путь. Реактивные самолеты, электронные вычислительные машины, летающие на Луну ракеты, атомные бомбы — вот новейшие вехи, встречающие нас на обочинах этого пути. Мир, определенный ньютоновской наукой, мир, которого Гёте надеялся избежать, стал нашей действительностью, и понимание того, что партнер Фауста тоже приложил к этому руку, только усугубляет наши трудности. Но приходится, как всегда, мириться с этим... К тому же мы еще далеко не достигли конца этого пути. Вероятно, недалеко то время, когда в процесс развития техники будет полностью вовлечена и биология. Время от времени уже высказывалась мысль, что опасность превзойдет тогда все, чем грозит даже атомное оружие. Это опасение, может быть, острее всего выражено в той беспощадной карикатуре на будущий мир, которую создал О. Хаксли в романе «Прекрасный новый мир». Возможность выращивать людей, предназначенных к заранее заданной роли, возможность с предельной целесообразностью организовать жизнь на Земле и тем самым лишить ее всякого смысла доведена здесь с ужасающей последовательностью до абсурда. Нет, впрочем, нужды заходить так далеко, чтобы понять, что целесообразность сама по себе вообще не является ценностью, она лишь видоизменяет проблему ценности, а именно превращает ее в другой вопрос: обладает ли ценностью та цель, с которой соразмеряются используемые знания и возможности и которой они призваны служить?

Современная медицина в значительной мере искоренила на Земле серьезные эпидемии. Она защитила жизнь от многих болезней, избавила множество людей от ужасных страданий, но она привела также и к тому взрыву народонаселения, который должен окончиться чудовищными катастрофами, если в относительно близком будущем его

нельзя будет приостановить мирными организационными мероприятиями. Кто может знать, правильно ли вообще поставила себе цель современная медицина?

Итак, современная наука доставляет знания, правильность которых в целом не может вызывать сомнения, а возникающая на ее основе техника позволяет использовать эти знания для осуществления весьма далеко идущих замыслов. Это, однако, никоим образом не решает вопроса о ценности достигаемого таким образом прогресса. Вопрос этот решается только тем, какими представлениями о ценностях руководствуется человек, полагая себе ту или иную цель. Но эти представления о ценностях не могут исходить от самой науки, во всяком случае пока еще не исходят от нее. Вот почему решающее возражение Гёте против того метода естественных наук, который стал применяться со времен Ньютона, как раз и направлено против свойственного этому методу расхождения понятий «правильность» и «истинность».

Понятие истины неотделимо для Гёте от понятия ценности. «Unum, Bonum, Verum» («единое, благое, истинное») было для него, как и для древних философов, единственно возможным компасом, по которому на протяжении столетий могло ориентироваться человечество в поисках своего пути. Но наука, которая всего лишь правильна, в которой понятие «правильность» отделилось от понятия «истинность», наука, направление которой уже, стало быть, не определяется божественным порядком, — такая наука оказывается в очень опасном положении: она рискует попасть в лапы дьявола, если снова вспомнить «Фауста». Потому-то Гёте и не хотел ее признавать. В помраченном мире, который уже не освещается этим центральным светочем, «Unum, Bonum, Verum», технические успехи, как выразился однажды в этой связи Эрих Хеллер¹¹², едва ли могут быть чем-либо, кроме отчаянных попыток сделать ад более удобным местом жительства. Это следует напомнить в особенности тем, кто верит, будто распространение научно-технической цивилизации по всей Земле, вплоть до самых отдаленных ее уголков, может создать существенные предпосылки для наступления «золотого века». Так легко от дьявола не отделаешься!

Прежде чем исследовать, действительно ли правильность и истинность разделены в современной науке столь глубоко, как может показаться из предыдущего изложения, мы должны задаться противоположным вопросом: мог ли Гёте, опираясь на свое понимание естествознания,

свой способ видеть природу, противопоставить возникшему после Ньютона научно-техническому миру что-либо действительно конструктивное? Мы знаем, что, несмотря на огромное влияние поэзии Гёте в XIX веке, его естественно-научные идеи разделялись и продуктивно использовались лишь относительно небольшим кругом лиц. Но в них содержится, видимо, некий зародыш, который при тщательном уходе может развиваться, особенно если несколько наивная вера XIX века в прогресс уступит место более трезвому взгляду.

Здесь нужно еще раз задать вопрос, в чем же, собственно, характерные особенности подхода Гёте к природе, чем отличался его способ созерцать природу от ньютоновского. Прежде всего мы замечаем, что, рассматривая природу, Гёте неуклонно исходит от человека; при этом именно человек и его непосредственное переживание природы образуют то средоточие, которое связует все явления в осмысленный порядок. Это верная формулировка, и она позволяет с особой ясностью понять серьезное различие в подходах Гёте и Ньютона к природе. Тем не менее она упускает из виду одно весьма существенное обстоятельство, а именно то, что, по убеждению Гёте, для человека в природе зримо проступают черты божественного порядка. Для зрелого Гёте было существенно вовсе не само переживание природы отдельным человеком; сколь бы сильно оно ни переполняло его в молодости, ему был важен тот божественный порядок, который дает о себе знать в этом переживании. И если в стихотворении «Завет древнеперсидской веры» Гёте говорит, что вид Солнца, восходящего над горами, побуждает верующего «узреть Бога на троне, назвать его Господином жизни, поступать так, чтобы быть достойным этого высокого зрелища и ходить в его свете», — это для Гёте не только поэтическая метафора.

Такому опыту природы, такому его содержанию должен, полагал Гёте, соответствовать также и научный метод; в этом смысле надо понимать и его поиски прафеноменов как поиски тех установленных богом структур, которые образуют начало являющегося мира и не просто конструируются рассудком, но непосредственно созерцаются, переживаются, ощущаются. «Прафеномен, — разъясняет Гёте, — не следует приравнивать принципу, из которого вытекают многообразные следствия; в нем надо видеть основополагающее явление, — явление, внутри которого можно созерцать все многообразие явлений вообще. Ведь зрение, знание, предчувствие, вера и как бы ни на-

зывались все эти щупальца, которыми человек ощупывает Универсум, действительно должны вступать в настоящее сотрудничество, если мы хотим исполнить наше важное, хотя и трудное, дело». Гёте очень ясно ощущал, что основополагающие структуры должны быть такими, чтобы уже нельзя было различить, принадлежат ли они объективно мыслимому миру или человеческой душе, поскольку они образуют единую предпосылку обоих миров. Вот почему он надеялся, что эти структуры актуализируются с помощью «зрения, знания, предчувствия, веры». Но откуда мы знаем, откуда знает Гёте, что эти подлинные, глубиннейшие взаимосвязи столь открыто лежат перед глазами и могут быть созерцаемы так непосредственно? Разве не может случиться, что именно то, что Гёте ощущал как божественную упорядоченность природных явлений, предстает нам со всей ясностью только на высших уровнях абстрактности? Может быть, именно современное естествознание способно дать здесь такой ответ, который в состоянии удовлетворить всем ценностным требованиям Гёте?

Прежде чем переходить к обсуждению этих трудных вопросов, нужно сказать несколько слов о том, почему Гёте отверг романтизм. В письмах, статьях, беседах с романтиками — а романтизм был течением современного ему искусства — Гёте часто и подробно объяснялся с ними. Снова и снова романтизму предъявлялись те же упреки: субъективизм, мечтательность, тяга к крайностям, к беспредельному, болезненная чувствительность, архаизирование, слабовольное упадочничество, наконец, угодничество и бесчестье. Отталкивание Гёте от того, что казалось ему болезненным в романтизме, предчувствие возможного извращения его путей были столь сильны, что лишь изредка мог он заставить себя заметить, а тем более признать его художественные достижения. Всякое искусство, которое, подобно романтизму, удаляется от мира, которое стремится выразить не реальный мир, а лишь его отражение в душе художника, казалось ему столь же неудовлетворительным, как и наука, которая избирает в качестве предмета не свободную природу, а особые, изолированные с помощью приборов и в известной мере искусственно изготовленные явления. Романтизм можно, хотя бы отчасти, считать реакцией на то состояние мира, когда под действием рационализма естественных наук и техники он готов был превратиться в совокупность трезвых, практически рассчитанных условий, обеспечивающих благополучие внешней жизни. В таком мире для целостной личности с

ее желаниями, ее надеждами, ее страданиями, подлинного места не оставалось. Личность поэтому погрузилась в свой внутренний мир. В реальном мире наш поступок влечет за собой следствия, за которые мы должны отвечать. Отрешение же от него, быть может, и ощущалось как потеря, однако было все же легче — чтобы не сказать удобней — убежать в мир грез, упиваться страстями, сбросить с себя и других бремя ответственности и наслаждаться бесконечной широтой чувства. Этого-то и опасался Гёте.

Переход от искусства, которое стремится оформить мир в его непосредственной реальности, к художественному изображению и преувеличению бездн человеческой души Гёте мог одобрить ничуть не больше, чем тот переход к абстракции, который пришлось совершить естественной науке.

Родственность мотивов, в том и другом случаях толкавших Гёте к неприятию, заходит еще дальше. Гёте опасался естественнонаучной абстракции и отшатывался от ее беспредельности потому, что ощущал, как ему казалось, присутствие в ней демонических сил и не хотел подвергаться связанной с этим опасности. Он персонифицировал эти силы в образе Мефистофеля. В романтизме он ощущал действие сил подобного же рода. И тут — беспредельность, отрешенность от реального мира, от его здравых, прочных масштабов, опасность болезненного вырождения.

В выработке этой позиции, по-видимому, сыграло свою роль то, что высшие формы двух тесно связанных друг с другом искусств оставались достаточно чуждыми Гёте. Математика, которую можно было бы здесь назвать искусством абстракции, никогда не могла привлечь, пленить или очаровать его, хотя он и относился к ней с почтением. Музыка, достигшая в немецком романтизме, мне кажется, высших художественных свершений, тоже никогда не захватывала Гёте так, как поэзия или живопись. Мы не знаем, что думал бы Гёте о романтизме, если бы ему был по-настоящему понятен тот язык, которым говорит, например, струнный квартет Шуберта до мажор. Он должен был бы тогда почувствовать, что силы, которых он боялся и которые проявляются в музыке еще сильнее, чем почти в любом другом произведении романтического искусства, тем не менее исходят здесь уже не от Мефистофеля, свидетельствуют не о его власти, а о могуществе того светлого средоточия, откуда родом сам Люцифер и откуда он был, однако, низвергнут.

Нет поэтому ничего удивительного в том, что в суждении о романтизме последующие времена не вняли совету величайшего немецкого поэта. Скорее наоборот, искусство в значительной степени занялось именно теми предметами и проблемами, которым впервые посвятил себя романтизм. История музыки, живописи, литературы XIX века показывает, сколь плодотворными оказались начинания романтизма. Разумеется, эта история — особенно если ее проследить вплоть до нашего столетия — показывает также и то, сколь справедливы были предостережения и возражения Гёте. В равной мере это относится к истории естественных наук и техники. Можно, пожалуй, считать известные, нередко печальные явления распада в сфере искусства (в сфере техники им соответствует, скажем, использование атомного оружия) следствием утраты того духовного средоточия¹¹³, за сохранение которого Гёте боролся всю жизнь.

Но вернемся к вопросу о том, полностью ли исчезло из современного — всего лишь «правильного» — естествознания то познание, которое искал в своем естествознании Гёте, а именно познание последних, формообразующих сил природы, которые Гёте ощущал как божественные силы.

Чтоб я, невежда, без конца
Не корчил больше мудреца,
А понял бы, уединясь,
Вселенной внутреннюю связь,
Постиг все сущее в основе
И не вдавался в суесловье.
(Перев. Б. Пастернака)

Так гласит это требование. На пути к этому Гёте пришел в своем исследовании природы к прафеномену, а в своей морфологии растений — к прарастению. Однако, хотя этот прафеномен и должен быть не принципом, из которого можно было бы вывести разнородные феномены, а таким фундаментальным явлением, внутри которого можно было бы созерцать многообразие явлений, тем не менее Шиллер разъяснил поэту во время первой знаменитой встречи с Гёте в Йене в 1794 году — встречи, которая положила начало их дружбе, — что его прафеномен есть, по существу, не явление, а идея. Идея в смысле Платона, добавим мы, а в наше время, поскольку слово «идея» содержит в себе несколько слишком субъективный оттенок, мы поставили бы здесь скорее уж слово «структура», чем «идея». Прарастение — это первоформа, первичная

структура, формирующее начало растения. Его, разумеется, можно не только сконструировать с помощью рассудка, но и удостовериться в нем непосредственным созерцанием.

Различие, которому Гёте придает здесь такое значение, различие между непосредственным созерцанием и всего лишь рациональной дедукцией, довольно точно соответствует различию двух видов познания («эпистема» и «диано́я») в платоновской философии¹¹⁴. «Эпистема» — это именно та непосредственная достоверность, на которой можно остановиться, по ту сторону ее не нужно искать чего-либо еще. «Диано́я» — это умение проводить анализ и получать результат путем логического выведения. Платон позволяет уяснить также и то, что только первый способ познания, «эпистема», связывает нас с подлинным, сущностным, с миром ценностей, тогда как «диано́я» хотя и образует род познания, но такого, которое как раз не имеет отношения к ценностям.

Впрочем, то, что старался объяснить Гёте Шиллер, когда они возвращались домой, прослушав вместе естественнонаучный доклад, относилось, разумеется, не к платоновской, а к кантовской философии. Слово «идея» имеет здесь несколько иной, более субъективный смысл. Но как бы там ни было, идея столь резко отделена от явления, что утверждение Шиллера, будто прорастение — это идея, глубоко обеспокоило Гёте. Он ответил: «Стало быть, я могу радоваться, что, сам того не ведая, обладаю идеями и даже вижу их глазами». В последовавшей затем дискуссии, в которой, как сообщает Гёте, было поломано много копий, Шиллер возразил: «Разве может быть вообще такой опыт, который соответствовал бы идее. Ведь все своеобразие идеи как раз в том и состоит, что опыт никогда не может вполне соответствовать ей». В этой дискуссии, если посмотреть на нее в свете платоновской философии, спор, вероятно, идет не столько о том, что такое идея, сколько о том, с помощью какого познавательного органа идея раскрывается нам. Если Гёте может видеть идеи глазами, это вовсе не те глаза, о которых обычно говорят сегодня. Во всяком случае, эти глаза нельзя было бы заменить микроскопом или фотографической пластинкой.

Как бы, однако, ни решался этот спор, прорастение — это идея, и она подтверждает свое существование в качестве идеи тем, что, пользуясь этой фундаментальной структурой как ключом, по выражению Гёте, можно до бесконечности изобретать новые растения. С ее помощью

мы понимаем строение растений, а «понять» означает: свести к простому единому принципу.

Как же это выглядит в современной биологии? Здесь тоже имеется фундаментальная структура, определяющая форму не только всех растений, но и всего живого вообще. Это невидимый маленький объект, молекулярная нить, а именно знаменитая двойная спираль нуклеиновых кислот, структура которой была выяснена Криком и Уотсоном в Англии лет пятнадцать назад¹¹⁵. Она несет в себе всю наследственную информацию определенного вида живых существ. Опираясь на многочисленные данные современной биологии, мы уже не можем сомневаться в том, что структура живого определяется именно этой молекулярной нитью, что в какой-то мере от нее исходит вся формообразующая сила, определяющая строение организма. Естественно, я не могу здесь вдаваться в детали.

Относительно правильности этого утверждения справедливо то, что было уже ранее сказано относительно правильности естественнонаучных утверждений вообще. Правильность эта основывается на естественнонаучном методе — на наблюдении и рациональном анализе. После того как в развитии специальной научной дисциплины пройдены первые стадии и преодолена первая неуверенность, правильность ее основывается на взаимодействии чрезвычайно большого числа отдельных данных, на огромном и сложном сцеплении опытов — и все это придает научным утверждениям нерушимую надежность.

Можно ли в каком-нибудь отношении сравнить только что описанную структуру, двойную спираль нуклеиновых кислот, с прарастением Гёте? Недоступная зрению малость этого объекта, кажется, с самого начала исключает подобное сравнение. Трудно, впрочем, спорить с тем, что эта молекула исполняет в рамках биологии ту же функцию, что и прарастение Гёте — в ботанике. Ведь в обоих случаях речь идет о понимании формообразующих сил живой природы, о сведении их к чему-то простому, общему всем живым формам. Но именно эту функцию и выполняет праформа современной молекулярной биологии, хотя она еще слишком примитивна, чтобы ее можно было назвать праорганизмом. Это образование еще никоим образом не обладает всеми признаками полноценного живого существа. Тем не менее ничто не препятствует назвать его чем-то в таком духе. Эта первоструктура имеет с прарастением Гёте еще и то общее, что она представляет собой не только фундаментальную структуру, идею, представление,

формообразующую силу, но и объект, явление; хотя увидеть этот объект обычными глазами нельзя, о нем можно заключить косвенно. Его можно исследовать с помощью микроскопа с высокой разрешающей способностью и с помощью рационального анализа; иными словами, он — совершенно реальное, а вовсе не только мысленное образование. Тем самым до сих пор удовлетворяются почти все требования, которые Гёте предъявлял прафеномену. Но можем ли мы «видеть, ощущать, предчувствовать» этот объект так, как понимал это Гёте, может ли он стать предметом «эпистемы», чистого познания в смысле Платона, — в этом позволительно сомневаться. Во всяком случае, обычно биологическая первоструктура таковой не считается. Можно было бы лишь вообразить, что такой она явилась первооткрывателю.

Таким образом, ставя вопрос о соотношении правильности и истинности в современном естествознании, мы должны с прагматической стороны констатировать полную разделенность этих понятий. Но там, где речь идет о познании достаточно глубоких взаимосвязей, которые не создаются человеком, а с самого начала существуют в природе, как, например, в биологии, — там можно констатировать известное сближение. Потому что эти глубокие взаимосвязи выступают в виде фундаментальных структур, в которых оказываются зримыми своего рода платоновские идеи, а эти идеи, свидетельствуя о едином порядке целого, в котором они существуют, могут, по-видимому, восприниматься не только рационально, но и другими сторонами человеческой души — сторонами, которые и сами находятся в непосредственном отношении к этому единому порядку, то есть к миру ценностей.

Это становится в особенности ясным, когда мы переходим к очень широким закономерностям, охватывающим биологию, химию, физику и ставшим доступными исследованию только в последние десятилетия в связи с развитием физики элементарных частиц. Здесь речь идет о фундаментальных структурах природы или мира в целом. Они лежат еще глубже, чем биологические структуры, и поэтому еще более абстрактны, еще менее доступны нашим чувствам. В равной мере они, впрочем, оказываются и более простыми, ибо они должны представлять уже не нечто особенное, а совершенно всеобщее. Если биологическая первоструктура не просто репрезентирует собой живой организм как таковой, но — благодаря возможности различного взаиморасположения химических групп в цепи —

призвана также и обеспечить различие бесчисленного множества индивидуальных организмов, то фундаментальные структуры природы в целом не несут в себе ничего иного, кроме существования самой этой природы. В современной физике эти соображения реализуются следующим образом. На математическом языке формулируется некий фундаментальный закон природы — «мировая формула», как его иногда называют, — которому должны удовлетворять все природные явления и который поэтому символизирует в каком-то смысле только возможность, только существование природы¹¹⁶. В простейших решениях этого математического уравнения репрезентируются различные элементарные частицы, которые представляют собой первичные формы природы точно в том же смысле, в каком Платон считал такими первичными формами правильные математические тела — куб, тетраэдр и т. д. Возвращаясь опять к спору Шиллера и Гёте, можно сказать, что и элементарные частицы суть «идеи», подобно прарастению Гёте, хотя их и нельзя увидеть обычными глазами. Можно ли их созерцать в том смысле, как это понимал Гёте, зависит только от того, какого рода органы служат нам в познании природы. Вряд ли можно спорить с тем, что эти фундаментальные структуры непосредственно связаны с упорядоченностью мира в целом. Но от нас зависит, захотим ли мы ограничиться одним только узким, рационально постижимым срезом этой великой взаимосвязи.

Оглянемся еще раз на историю. Со времен Гёте как в естествознании, так и в искусстве мир пошел путем, от которого Гёте предостерегал и который он считал опасным. Искусство отвернулось от непосредственной действительности и ушло в мир человеческой души. Естественная наука перешла к абстракции, достигла неслыханного размаха в современной технике, проникла в первичные структуры в биологии и далее, в первоформы, которые в современной науке соответствуют платоновским телам. Одновременно, как и предвидел Гёте, угрожающе возросла опасность этого пути развития. Вспомним хотя бы обездушивание, обезличивание труда, абсурд современного вооружения или бегство в безумие, принявшее форму политического движения. Дьявол — могущественный властелин. Но та светлая сфера, о которой мы говорили выше в связи с романтической музыкой и повсеместное присутствие которой в природе умел распознать Гёте, — эта сфера стала зримой и в современном естествознании, а именно там, где оно свидетельствует о едином мировом поряд-

ке. Еще и сегодня Гёте может научить нас тому, что не следует допускать вырождения всех других познавательных органов за счет развития одного рационального анализа, что надо, напротив, постигать действительность всеми дарованными нам органами и уповать на то, что в таком случае, и открывшаяся нам действительность отобразит сущностное, «единое, благое, истинное». Будем же надеяться, что будущему это удастся лучше, чем нашему времени, чем моему поколению.

Естествознание и техника в политических событиях нашего времени¹¹⁷

В своем докладе о роли слова в политических событиях Карл Я. Буркхардт высказывает ту мысль, что в эпоху, когда великие символы и идеалы прошлого в результате бесконечного злоупотребления ими, по-видимому, обесценены и лишены своей упорядочивающей силы, роль такой силы может перейти к естествознанию и технике, несмотря на все связанные с этим опасности¹¹⁸. В нескольких строках попробуем развернуть здесь эту мысль.

На первый взгляд все говорит против выраженной Буркхардтом надежды. Если естествознание и техника оказывают сегодня сильнейшее влияние на облик мира, скорее разрушительно, чем устроительно проникая в его отдаленнейшие области, то здесь на переднем плане стоит прежде всего материальный интерес, по своей природе способный служить как добру, так и злу. Он с равным успехом может вести и к уничтожающей всякий порядок конфронтации между враждебными силами, и к образованию областей упорядоченного хозяйствования. Естествознание обещает справиться с материальной нуждой, исцелить болезни, обеспечить победу над врагами, оно склоняет людей на свою сторону своим лозунгом «Целесообразность». Однако и целесообразность может толкать к хаосу, если понимать цель не как часть большой мировой взаимосвязи, какого-то более высокого порядка. «Целесообразность есть смерть человечности». Эта во многих случаях уместная фраза напоминает о том, что всякая оторвавшаяся от широкого контекста, обособившаяся цель способна привести к результатам, противоречащим подлинной человечности, то есть чуткому и вдумчивому вниманию к существующим помимо нас, выходящим за сферу чисто человеческих интересов обстоятельствам. Цитированная фраза неверна лишь в случае, когда сами наши цели являются частями более широкой взаимосвязи вещей, которую в прежние эпохи называли бы божественным порядком.

Коль скоро и естествознание тоже способно здесь действовать и в том, и в другом направлении, Буркхардт указывает, собственно, прежде всего на воспитательную сто-

рону занятия естествознанием и техникой. Современная ситуация в мире побуждает бесчисленное множество людей во всех концах Земли посвящать себя тщательной и добросовестной работе над разрешением той или иной поставленной перед ними технической или научной задачи. Идет ли речь о дорожном строителе, специалисте по точной механике или авиаконструкторе, исследуются ли химические процессы в человеческом организме, выращиваются ли новые виды полезных растений — в любом случае человек, перед которым поставлена подобная задача, должен быть трезвомыслящим и аккуратным в своем деле; он не вправе дать себя ослепить предрассудками или иллюзиями, он обязан воздерживаться от всех, нередко столь опасных в политической жизни, упрощений, если он действительно хочет быть на уровне возложенной на него ответственности и достичь успеха. Само по себе это требование тщательности и трезвости уже принадлежит к упорядочивающим силам нашей эпохи. Его, однако, едва ли оказалось бы достаточно, если бы естествознание помимо всего прочего еще и непосредственным образом не обостряло нашего чутья к тем более широким взаимосвязям, в которых дает о себе знать порядок нашего мира.

Поверхностному наблюдателю может на первый взгляд показаться, будто естествознание и техника распадаются на все более путаное множество специализированных дисциплин, в каждой из которых хотя и можно еще успешно работать, но взаимосвязь которых отдельному человеку обозреть уже не дано. Однако, вглядываясь пристальнее, мы замечаем за этой картиной движение в противоположном направлении. Благодаря процессу неустанного повышения уровня абстракции, происходящему на наших глазах в точном естествознании и постепенно захватывающему более широкие духовные сферы, внутри каждой отдельной науки, но вместе с тем и между различными науками вскрываются очень далеко идущие взаимосвязи, ранее остававшиеся закрытыми для человеческого сознания. Примером может служить развитие современной математики. Само понятие числа было построено путем абстрагирования от чувственно воспринимаемых вещей; геометрические фигуры возникают в ходе абстрагирования из соотношений, обнаруживаемых, например, при измерении земельных угодий. Буквенное исчисление вместо цифрового, введение мнимой единицы, исследование функций означает повышение степени абстракции. Смотри по тому, с какими конкретными абстрактными образованиями ра-

ботал ученый, математика подразделилась на различные ветви: арифметика, алгебра, теория функций, топология и т. д. Однако в наше время математика достигает существенно более высокой ступени абстракции, создавая обобщенные понятия, по отношению к которым различные предметы математики оказываются лишь частыми случаями их применения. Эти понятия отражают в себе настолько общезначимые взаимозависимости и логические структуры, что их действие распространяется на все специализированные математические дисциплины. От таких понятий, как множество, группа, сумма, оператор, исходит как бы связующая сила, позволяющая математике в гораздо более высоком смысле, чем ранее, выступать в качестве единства.

Аналогичные сдвиги дают о себе знать и в современной атомной физике. Прежде химия и физика были обособленными науками, относившимися к совершенно разным сторонам природы, да и сама физика распадалась на ряд отдельных дисциплин — механика, оптика, учение об электричестве, термодинамика и т. д., — имевших своим предметом опять-таки различные типы процессов и закономерностей. Наша эпоха поняла, что все эти явления строго взаимосвязаны, хотя для познания более широких взаимосвязей необходимо проникнуть в такие области природы, которые не поддаются непосредственному чувственному познанию. Когда была понята физика электронных оболочек атома, произошло объединение химии и физики; в проводимых сегодня экспериментах над элементарными частицами обнаруживается наличие связи между всеми видами сил в природе, и формулировка новых законов здесь требует такой степени абстракции, которая ранее в естествознании была невозможна.

В биологии упрочивается понимание того, что управление биологическими процессами в живом организме часто связано с особыми атомно-физическими свойствами известных сложных веществ. Стало быть, и здесь тоже приходится выйти за пределы непосредственно воспринимаемых жизненных процессов, чтобы установить исходные взаимосвязи. Словом, во многих областях естественной науки и техники развитие совершается явно в одном и том же направлении: от непосредственной чувственной наличности к пугающим поначалу пустоте и дали, откуда приоткрывается великая взаимосвязь мира.

Тут, однако, надо подчеркнуть, что связанный с вторжением в новые сферы отказ от живого контакта с приро-

дой и соответствующее тяготение к абстракции в естествознании происходит не по нашей прихоти, наоборот, это очень болезненная жертва, которую способно оправдать только достигаемое на этом пути познание широких взаимосвязей. И общие принципы миропорядка действительно приоткрылись естествознанию нашего времени. Поэтому сравнение с современным искусством здесь неуместно, хотя в этом последнем стремление к абстракции обнаруживается очень явственно. Конечно, широкие взаимосвязи, о которых идет речь в сегодняшнем естествознании, могут осознаваться пока лишь узким кругом работающих в нем исследователей.

Тем не менее уже и сейчас отсюда могут исходить влияния, изменяющие мышление человечества. Не случайно постепенно укореняется ощущение, что вся жизнь на Земле есть единое целое, что локальное нарушение способно повредить всем остальным частям мира и что мы ответственны за порядок жизни на нашей планете. Космические пространства, куда человеку позволяют проникнуть средства современной техники, пожалуй, еще яснее, чем то, что мы видим на Земле, дают нам ощутить единство законов, по которым устроена вся жизнь на нашей планете. И здесь приоткрывается возможность вникнуть в ту поначалу отпугивающую пустоту и даль, куда нас завели техника и естествознание, не только умом, но и сердцем, о чем, пожалуй, всего прекраснее говорит поэзия французского летчика Сент-Экзюпери. Его Маленький Принц, заботящийся о своей планете, понимает: «По-настоящему видеть можно только сердцем, главное невидимо для глаз».

Таким образом, когда встает вопрос о том, исходят ли от естествознания и техники в нашем сегодняшнем мире упорядочивающие силы, способные, подобно великим символам прошлых эпох, нормировать жизнь на нашей Земле, мы должны, пожалуй, прежде всего вспомнить о далеко идущих взаимосвязях, впервые приоткрывшихся в науке последних десятилетий. Перед лицом огромных политических опасностей нашего времени остается лишь надеяться, что повсеместно распространится мироощущение, которое один русский физик на международном конгрессе кратко выразил в таких словах: «Мы все путешествуем вместе на одном космическом корабле, который с незапамятных времен вращается вокруг Солнца и движется вместе с этой большой звездой через нескончаемые пространства. Откуда и куда, мы не знаем; но все мы вместе странствуем на одном и том же корабле».

Естественнонаучная и религиозная истина ¹¹⁹

Премия, которую вы мне любезно предназначили и за которую я вас благодарю, связана с именем Романо Гвардини¹²⁰. Это делает ее для меня особенно ценной, потому что духовный мир Гвардини очень рано оставил во мне глубокий отпечаток. Молодым человеком я читал его книги, в его свете видел образы из произведений Достоевского, а в зрелом возрасте получил радостную возможность узнать Гвардини лично. Мир Гвардини — целиком и полностью религиозный, христианский мир, и на первый взгляд кажется трудным установить его связь с миром естественных наук, в котором я работал со студенческих лет. Как вы знаете, в ходе развития естествознания, начиная со знаменитого процесса против Галилея, снова и снова высказывалось мнение, что естественнонаучная истина не может быть приведена в согласие с религиозным истолкованием мира. Но должен сказать, что, хотя я убежден в неоспоримости естественнонаучной истины в своей сфере, мне все же никогда не представлялось возможным отбросить содержание религиозной мысли просто как часть преодоленной ступени сознания человечества — часть, от которой в будущем все равно придется отказаться. Так что на протяжении моей жизни мне постоянно приходилось задумываться о соотношении этих двух духовных миров, ибо у меня никогда не возникало сомнения в реальности того, на что они указывают. Речь поэтому пойдет сначала о неоспоримости и ценности естественнонаучной истины, затем — о гораздо более обширной области религии, о которой (в том, что касается христианской религии) с такой убедительной силой писал Гвардини, и наконец — об отношении этих двух истин друг к другу, что всего труднее поддается формулировке.

Вспоминая о началах новоевропейского естествознания, об открытиях Коперника, Галилея, Кеплера, Ньютона, обычно говорят, что тогда рядом с истиной религиозного откровения, запечатленной в Библии и в писаниях

отцов церкви и определявшей средневековую мысль, выстушила реальность чувственного опыта, которую мог перепроверить каждый человек со здоровыми органами восприятия и в которой поэтому невозможно было сомневаться, при условии достаточной тщательности наблюдения. Но уже это приближенное описание нового научного мышления лишь наполовину верно, в нем упущены принципиальные, решающие черты, без которых нечего надеяться на правильное понимание этого нового мышления. Явно не случайность то, что первые шаги новоевропейского естествознания были отмечены отходом от Аристотеля и поворотом к Платону. Уже в античности Аристотель как эмпирик предъявил пифагорейцам — а к ним нужно причислять и Платона — упрек в том, что они (я цитирую более или менее дословно), вместо того чтобы в свете фактов отыскивать объяснения и строить теории, насильно вали факты в свете известных теорий и пристрастных мнений, разыгрывая из себя, так сказать, устроителей мира. И действительно, новое естествознание вводило, в критикуемом Аристотелем смысле, прочь от непосредственного опыта. Взять хотя бы понимание движения планет. Непосредственный опыт учит, что Земля стоит на месте, а Солнце движется вокруг нее. Заостряя формулировки на современный лад, мы могли бы даже сказать: слово «покоиться» получает свое определение через высказывание, что Земля покоится и что мы называем покоящимся всякое тело, неподвижное относительно Земли. Если так понимать слово «покоиться» — а оно обычно так и понимается, — то Птолемей был прав, а Коперник не прав. Лишь когда мы начинаем размышлять о понятии «движение», лишь когда мы понимаем, что движение есть высказывание об отношении между как минимум двумя телами, только тогда можно взглянуть на вещи иначе, сделать Солнце покоящимся центром планетной системы и таким путем получить гораздо более простой, более цельный образ планетной системы, объяснительная сила которого была позднее полностью использована Ньютоном. Итак, Коперник дополнил непосредственный опыт совершенно новым элементом, который я назвал бы тут «простотой законов природы» и который, во всяком случае, не имеет с непосредственным опытом ничего общего. О том же свидетельствует галилеевский закон падения тел. Непосредственный опыт учит, что легкие тела падают медленнее, чем тяжелые. Вместо этого Галилей утверждал, что в безвоздушном пространстве все тела падают с одинаковой

быстротой и что их движение падения поддается верному описанию с помощью математически формулируемых законов, каковыми и были галилеевские законы падения. А ведь движение в безвоздушном пространстве тогда вообще невозможно было пронаблюдать. Выходит, место непосредственного опыта заняла некая идеализация опыта, которую можно было считать верной потому, что она позволяла разглядеть стоящие за явлениями математические структуры. Не приходится сомневаться в том, что на этой ранней стадии новоевропейского естествознания вновь открываемая математическая закономерность была подлинной основой его убедительной силы. Эти математические законы выступали зримым выражением божественной воли, как мы читаем у Кеплера, и Кеплер загорался воодушевлением по поводу того, что он первый увидел через них красоту божественного творения. С отходом от религии новое мышление явно не имело поэтому ничего общего. Даже если новое знание и противоречило в некоторых аспектах церковной доктрине, это мало что значило перед лицом столь непосредственного переживания божественного действия в природе.

Правда, речь тут идет пока еще только о Боге-распорядителе, о котором еще неизвестно, вполне ли он идентичен тому, к которому мы обращаемся в нашей беде, к которому мы могли бы вручить нашу жизнь. Вы поэтому вправе сказать, пожалуй, что наука обратила свой взор исключительно на одну часть божественного действия и тем самым возникла опасность утери из виду великого целого, всеобщей связи вещей. Но опять же здесь-то и лежала причина громадной плодотворности нового естествознания. О великой взаимосвязи философами и богословами было так много сказано, что оригинально новых формулировок здесь уже ожидать не приходилось; мысль устала от схоластических рассуждений. Но частности природных процессов были еще почти не исследованы. В этой работе могли, между прочим, принять участие множество людей средних дарований, да к тому же познание частных сулило прямую практическую выгоду. В некоторых возникавших тогда научных обществах прямо-таки в принцип возводилось правило говорить лишь о поддающихся наблюдению частностях, но не о всеобъемлющей взаимосвязи. Переход от непосредственного к идеализированному опыту вызвал к жизни новое искусство экспериментирования и измерения, призванное приближать наблюдение к идеальным условиям, причем оказалось, что всегда воз-

можно прийти к согласию относительно результатов эксперимента. Это не так уж само собой разумеется, как стало казаться последующим векам; ведь для этого нужно, чтобы при равных условиях происходило всегда одно и то же. Итак, было на опыте установлено, что если тщательным подбором условий эксперимента добиться чистоты наблюдаемых феноменов и изолировать их от окружающей среды, то закономерности этих феноменов обнаружатся со всей ясностью, то есть что феномены связаны между собою цепью однозначной причинной зависимости. Вера в причинную обусловленность всех событий, мыслившихся объективными и не зависящими от наблюдателя, была возведена тем самым в основополагающий постулат новоевропейского естествознания. Этот постулат, как вы знаете, отлично работал в течение нескольких веков, и лишь в наше время опыт исследования атомов показал ограниченность всего этого подхода. Но даже и с учетом этого новейшего опыта можно говорить об обретении явно неоспоримого критерия истины. Воспроизводимость экспериментов делает в конечном счете всегда возможным соглашение относительно истинного поведения природы.

Этой общей направленностью новоевропейского естествознания была заранее предопределена одна его характерная черта, позднее нередко подвергавшаяся обсуждению, а именно упор на количественные показатели. Требование строгого определения экспериментальных условий, точности измерений, чистоты, однозначности языка и математического представления идеализированных феноменов формирует лицо нашей науки и дает ей имя: точное естествознание. Это название нередко воспринимается в похвальном, нередко и в уничижительном смысле. В похвальном — когда подчеркивают надежность, строгость, неоспоримость научных высказываний; в уничижительном — когда дают понять, что наука бессильна охватить бесконечную пестроту качественного разнообразия в природе, что она чересчур узка. В наше время этот аспект естественных наук и вырастающей из них техники вырисовывается еще резче, чем раньше. Достаточно представить себе ту предельную степень точности, какой требует высадка на Луну, ту невообразимую меру надежности и отточности, какая здесь продемонстрирована, чтобы понять, сколь прочная база достоверной истинности лежит в основании новоевропейского естествознания.

Но вполне естественно в то же время спросить, насколько ценны завоевания, достигнутые таким сосредото-

чением ума на одном частном аспекте, таким ограничением одной специфической частью действительности. Вы знаете, что наша эпоха дает на этот вопрос двусмысленный ответ. Мы говорим об амбивалентности науки. Мы видим, что в тех частях мира, где осуществилось сочетание науки и техники, материальная нужда бедных слоев населения в значительной мере исчезла, что современная медицина предотвращает массовую смертность от эпидемий, что средства передвижения, техника коммуникаций облегчают жизнь. С другой стороны, наукой можно злоупотребить для создания оружия мощнейшей разрушительной силы; засилье техники уродует и грозит погубить наше жизненное пространство. И даже если отвлечься от этих непосредственных угроз, происходит неблагоприятное смещение ценностных критериев: внимание людей чересчур сосредоточивается на узкой сфере материального благосостояния с пренебрежением к другим основам жизни. Окажись даже возможным применять технику и науку лишь в качестве средств для достижения целей, конечный результат все равно будет зависеть от доброкачественности поставленных целей. Но выбор целей не может осуществляться внутри естествознания и техники; столь важное решение должно исходить, если мы не хотим блуждать в полных потемках, из понимания целостного человека и всей его реальности, а не просто какого-то ее малого отрезка. А к этой целостной реальности относится многое такое, о чем мы до сих пор пока еще не заговаривали.

Здесь прежде всего мы имеем тот факт, что человек способен развить свои духовные силы лишь во взаимоотношении с человеческим обществом. Именно способности, отличающие его от всех других живых существ, — выход за пределы непосредственной чувственной данности, познание далеко идущих взаимосвязей — опираются на его принадлежность к сообществу говорящих и мыслящих существ. История учит, что подобные сообщества в своем развитии всегда приобретали не только внешний, но и духовный облик, и в тех духовных образованиях, которые нам известны, отношение к осмысленной взаимосвязи целого, за пределами непосредственно видимых и переживаемых вещей, почти всегда играло решающую роль. Лишь внутри такой духовной формы, определяясь по отношению к принятому в данном сообществе «учению», человек обретает воззрения, позволяющие ему ориентироваться в своем поведении, между прочим, и там, где недостаточно просто реагировать на внешние ситуации; только в этом случае

встает и решается вопрос о ценностях. Но не одна лишь этика, а вся культурная жизнь сообщества обуславливается его духовной формой. Лишь в ее горизонте обнаруживается тесная связь между добром, красотой и истиной, лишь тут можно говорить о смысле жизни индивидуальной личности. Эту духовную форму мы называем религией сообщества. Мы приписываем тем самым слову «религия» несколько более широкое значение, чем обычно. Оно должно охватывать духовные содержания многих культурных регионов и различных эпох даже там, где, скажем, вообще не существует понятия о Боге. Лишь относительно тех общественных форм мысли, к которым стремятся современные тоталитарные государственные образования и в которых запредельное изгоняется как таковое, можно сомневаться, применимо ли к ним вообще понятие религии.

Насколько глубоко лицо человеческого сообщества и жизнь индивидуальной личности в нем запечатлены религией, едва ли возможно описать лучше, чем это сделал Гвардини в своей книге об образах романов Достоевского. Жизнь его героев ежеминутно наполнена борьбой за религиозную истину, она до такой степени пронизана христианским духом, что даже не очень важно, побеждают или гибнут эти люди в своей битве за добро. Даже худшие негодяи у Достоевского все-таки еще знают, что есть добро и что есть зло, они измеряют свои поступки ориентирами, которые дала им христианская надежда. В этом свете лишается почвы тот известный упрек против христианской религии, что в христианском мире люди ведут себя так же ужасно, как и вне его. К сожалению, это так, однако христиане всегда сохраняют в чистоте способность различения добра и зла, а только там, где такое еще существует, жива надежда на улучшение. Где нет уже никаких путеводных ориентиров, там вместе с ценностной шкалой пропадает и смысл наших действий и нашего страдания, и в конечном счете остаются лишь отрицание и отчаяние. Религия есть, таким образом, фундамент этики, а этика — предпосылка нашей жизни. Ведь мы ежедневно должны принимать решения, должны знать или по крайней мере угадывать ценности, в соответствии с которыми мы строим наше поведение.

В этом свете можно увидеть характерное различие между подлинными религиями, в которых решающую роль играет духовная сфера, центральный духовный порядок вещей, и более ограниченными, особенно современными,

формами мысли, не идущими дальше очевидного, внешнего устройства человеческого сообщества. Такие формы мысли существуют и в либеральных демократиях Запада, и в тоталитарных государственных образованиях Востока. Здесь, правда, тоже формулируется соответствующая этика, однако нормы нравственного поведения выводятся из того или иного мировоззрения, то есть из опыта непосредственно воспринимаемого, доступного мира. Подлинная религия говорит, наоборот, не о нормах, а о путеводных образах, на которые нам следует ориентироваться в своих поступках и к которым мы в лучшем случае можем только приближаться. И эти путеводные образы возникают не из наблюдения непосредственно воспринимаемого мира, а коренятся в сфере лежащих за ним структур, которую Платон называл царством идей и о которой в Библии сказано: Бог есть дух¹²¹.

Религия, впрочем, не просто фундамент этики, она есть прежде всего — и тут опять мы можем учиться у Гвардини, — основа для доверия. Как в детстве, изучая язык, мы ощущаем достигнутое с его помощью взаимопонимание важнейшей составной частью доверия к людям, так из образов и символов религии, являющихся тоже своего рода поэтическим языком, возникает доверие к миру, вера в осмысленность нашего пребывания в нем. Этому не противоречит ни факт наличия многих различных языков, ни то обстоятельство, что мы, по-видимому, случайно рождаемся в сфере какого-то определенного языка и определенной религии, невольно подпадая под их влияние. Единственно важно то, что мы проникаемся этим доверием к миру все равно благодаря какому языку. Так, для русских людей, которые действуют в романах Достоевского и о которых пишет Гвардини, присутствие Бога в мире есть дело постоянно повторяющегося непосредственного переживания, не дающего угаснуть в них чувству доверия к действительности, хотя внешние бедственные условия существования, по-видимому, неумолимо препятствуют этому.

Наконец, религия, как я уже говорил, обладает решающим значением для искусства. Если, как это сделали мы, называть религией просто духовную форму, до которой дорастает то или иное человеческое сообщество, то, само собой понятно, искусство тоже обязательно окажется выражением религии. Одного взгляда на историю разнообразнейших сфер культуры достаточно, чтобы убедиться в возможности самым непосредственным образом судить о духовном облике прошлых эпох по сохранившимся

от них художественным произведениям, даже если нам уже почти неизвестно религиозное учение, служившее формулировкой тому духовному миру.

Впрочем, все сказанное тут мною о религии для людей вашего круга, естественно, не новость. Мой обзор был призван лишь подчеркнуть, что представитель естественных наук тоже должен учитывать всеобъемлющее значение религии в человеческом сообществе, если он пытается продумать соотношение между религиозной и естественнонаучной истинами. Столкновение этих двух истин между собою оказало решающее воздействие на европейскую духовную историю начиная с XVII века. Первым шагом в этом конфликте обычно называют процесс римской инквизиции против Галилея в 1616 году, когда был поднят вопрос об учении Коперника, 500-летие со дня рождения которого праздновалось несколько недель назад. Следует сказать об этом событии несколько подробнее. Галилей защищал учение Коперника, согласно которому — в противоположность повсеместно царившей тогда птолемеевской картине мира — Солнце покоится в центре планетной системы, а Земля ходит вокруг Солнца и, кроме того, совершает за 24 часа оборот вокруг самой себя. Ученик Галилея Кастелли выдвинул следующий тезис: богословы должны отныне позаботиться об истолковании Библии в согласии с твердо установленными фактами естественной науки. Подобное заявление можно было счесть нападкой на Священное писание, и отцы-доминиканцы Каччини и Лорини подняли дело перед римской инквизицией. Приговором от 23 февраля 1616 года оба приписывавшихся Копернику тезиса из обвинительного приговора — что Солнце есть центр мира и потому неподвижно и что Земля не есть центр мира и не неподвижна, а ежедневно вращается вокруг собственной оси — были объявлены философски абсурдными и еретическими. С одобрения папы Павла V кардиналу Беллармину было поручено склонить Галилея к отказу от коперниканского учения. В случае несогласия кардинал был уполномочен запретить Галилею как распространение этого мнения, так и защиту или обсуждение его. В течение ряда лет Галилей повиновался этому приказу, но после восхождения Урбана VIII на папский престол ему показалось, что теперь он может продолжать свои исследования открыто. После опубликования знаменитого памфлета «Dialogo» в 1632 году дело дошло до второго процесса, на котором Галилею пришлось клятвенно отказаться от коперниканского учения в

любой его форме¹²². Детали процесса нас могут сегодня уже не интересовать, равно как и человеческие промахи, сыгравшие свою роль с обеих сторон. Зато мы можем и должны задуматься о более глубоких причинах конфликта.

Прежде всего важно понять, что обе стороны должны были считать себя правыми. И церковные власти, и Галилей были в равной мере убеждены, что под угрозой оказались высокие ценности и что прямой долг велит их отстаивать. Галилей знал, как я уже говорил, что при тщательном наблюдении явлений на Земле и на небе, будь то падение камней или движения планет, раскрываются математические закономерности, позволяющие увидеть в этих явлениях неизвестную ранее степень простоты. Он осознал, что эта простота излучает новую возможность понимания, что наша мысль оказывается тут в состоянии воспроизводить отдельные частные структуры извечного строя мира явлений. Коперниканская интерпретация планетной системы была проще традиционной, птолемеевской; она несла с собою новый тип понимания, и Галилей ни за что не хотел расставаться с этим новым прозрением в божественный порядок. Церковь считала, наоборот, что не следует, пока к тому не побуждают совершенно непреложные доводы, расшатывать картину мира, вот уже много веков подряд принадлежавшую как нечто само собой разумеющееся к христианскому образу мысли. Таких непреложных доводов, однако, не могли предъявить ни Коперник, ни Галилей. В самом деле, первый тезис коперниканского учения, о котором шла речь на процессе, был заведомо ложен. Между прочим, и сегодняшнее естествознание никак не сказало бы, что Солнце находится в центре мира и потому неподвижно. Что касается второго тезиса, касающегося Земли, то следовало бы сначала выяснить, что означают слова «покой» и «движение». Если приписывать им абсолютное значение, как то делает наивное мышление, то высказывание «Земля покоится» представляет собою прямо-таки определение; во всяком случае, именно так, а не иначе мы употребляем слово «покоиться». А если мы осознали, что у понятий, о которых идет речь, нет абсолютного значения, что они относятся к взаимному расположению двух тел, то совершенно безразлично, Солнце или Землю считать движущимися. Тогда, собственно говоря, нет ровно никаких причин изменять старую картину мира.

Вместе с тем можно предполагать, что члены инкви-

зиторского суда прекрасно чувствовали, какая сила стоит за понятием простоты, которое сознательно или неосознанно представлял здесь Галилей и которое на философском уровне было связано с возвращением от Аристотеля к Платону. Судьи явно питали к тому же величайшее уважение к научному авторитету Галилея; поэтому они не хотели мешать продолжению его исследований, желая лишь избежать проникновения беспокойства и неуверенности в традиционную христианскую картину мира, сыгравшую и продолжавшую играть столь решающую роль в структуре средневекового общества. Научные результаты, особенно первооткрывательские, редко имеют с самого начала окончательную форму; решающее суждение о них обычно бывает возможным вынести лишь через несколько десятилетий проверок и уточнений. Так почему же, думали судьи, Галилею не подождать с публикацией. Словом, необходимо признать, что суд инквизиции на первом процессе искал компромиссное решение и вынес приемлемый приговор. Лишь когда Галилей восемью годами позже нарушил запрет на публикации, во время второго процесса верх сумели взять люди, которым насилие импонирует больше стремления к компромиссу, и против Галилея был вынесен тот общеизвестный жесткий приговор, который позднее так повредил церкви.

Как расценили бы мы сегодня тот довод, что не следует слишком поспешно проблематизировать и распатывать тот образ мира, который в качестве составной части духовной структуры общества играет важную гармонизирующую роль в жизни общества? Многие радикальные умы реагировали бы на этот довод саркастически; они указали бы на то, что дело тут идет лишь о сохранении устаревших структур господства, что следует, наоборот, стремиться к возможно более скорому видоизменению или распатыванию этих социальных структур. Но этим радикальным умам следовало бы задуматься над тем, что конфликт между естественными науками и господствующим мировоззрением разыгрывается еще и в наше время — в тех тоталитарных государственных образованиях, где в качестве основы для всего мышления избран диалектический материализм. Так, официальной советской философии оказалось нелегко примириться с теорией относительности и с квантовой теорией; особенно сильным столкновение мнений было в области космологии. В 1948 году в Ленинграде состоялся даже конгресс по идеологическим вопросам астрономии, который был призван прояснить дискуссион-

ные проблемы, сблизить мнения и достичь компромисса¹²³.

По существу, дело здесь, как и при суде над Галилеем, идет не о выяснении истины, а о конфликте между духовной формой общества, которая, по определению, должна быть чем-то устойчивым, и постоянно расширяющейся и обновляющейся, то есть динамичной структурой научного опыта и научной мысли. Даже общество, возникшее в ходе великих революционных переворотов, стремится к консолидации, к фиксации идейного содержания, призванного служить долговечной основой нового сообщества. Полная шаткость всех критериев оказалась бы в конечном счете невыносимой. А наука стремится к росту. Даже если основой мировоззрения станет естествознание или какая-либо другая наука — попытку подобного рода представляет собой диалектический материализм, — это по необходимости будет наука прошлых десятилетий или веков, и ее фиксация на языке идеологии опять-таки создаст предпосылку для позднейшего конфликта. Поэтому для духовной структуры, пожалуй, будет всего лучше, обозначив великую взаимосвязь образами и иносказаниями, заранее дать понять, что разговор здесь идет на поэтическом, открытом для всех человеческих ценностей, богатом жизненными символами, а не на естественнонаучном языке.

Оставив в стороне эти более общие проблемы, следует еще раз вникнуть в содержательную сторону суда над Галилеем. Так ли уж важно для христианского сообщества было то, что Коперник истолковывал некоторые данные астрономических наблюдений иначе, чем Птолемей? Собственно говоря, для практической жизни отдельного христианина могло бы быть совершенно все равно, есть на небе хрустальные сферы или нет, вращаются или нет луны вокруг планеты Юпитер, стоит ли в центре мироздания Земля или Солнце. Для него, отдельного человека, Земля так или иначе всегда занимает центральное место, она — его жизненное пространство. И все-таки, если посмотреть на дело с другой стороны, тут для христианина далеко не все равно. Еще два века спустя Гёте с ужасом и изумлением говорил о тех жертвах, которых потребовало признание коперниканского учения¹²⁴. Сам он лишь с неохотой принес эти жертвы, хотя убедил себя в правильности названного учения. Наверное, уже у судей римской инквизиции, осознанно или неосознанно, шевельнулось подозрение, что галилеевское естествознание может вызвать опасное изменение духовной ориентации. Конечно, они то-

же не могли отрицать, что такие естествоиспытатели, как Галилей и Кеплер, вскрывшие за явлениями математические структуры, позволяют увидеть частные упорядоченные системы внутри общего божественного миропорядка. Но как раз эти ослепительные частные прозрения могли затуманить взгляд на целое; из-за них в той мере, в какой взаимосвязь целого ускользала от сознания отдельной личности, могло пострадать и живое сцепление человеческого сообщества, пошатнувшись вплоть до распада. Вместе с подменой естественных условий жизни технически организованными процессами укореняется то отчуждение между индивидом и сообществом, которое влечет за собою опасную нестабильность социума. Один монах в пьесе Бертольда Брехта «Галилей» говорит: «Декрет против Коперника открыл мне, какую опасность для человечества таит в себе слишком свободное исследование». Действительно ли уже тогда этот мотив играл определенную роль, мы не знаем; но мы узнали за протекшее время, насколько велика эта опасность.

Еще большему нас научило развитие естествознания в европейском мире, испытывавшем на себе воздействие христианской религии, и об этом должна пойти речь в последней части моего доклада. Я уже пытался здесь сформулировать ту мысль, что религиозные образы и символы являются специфическим языком, позволяющим как-то говорить о той угадываемой за феноменами взаимосвязи мирового целого, без которой мы не могли бы выработать никакой этики и никакой шкалы ценностей. Этот язык в принципе заменим, как всякий другой; в других частях мира есть и были другие языки, служащие подобному взаимопониманию. Однако мы от рождения окружены вполне определенной языковой средой. Она более родственна языку поэзии, чем озабоченному своей точностью языку естественной науки. Поэтому слова обоих языков означают часто различные вещи. Небо, о котором идет речь в Библии, имеет мало общего с тем небом, в которое мы поднимаем самолеты или ракеты. В астрономической Вселенной Земля есть крошечная пылинка внутри одной из бесчисленных галактик, а для нас она — середина мира; она и действительно середина нашего мира. Естествознание стремится придать своим понятиям объективное значение. Наоборот, религиозный язык призван как раз избежать раскола мира на объективную и субъективную стороны; в самом деле, кто сможет утверждать, что объективная сторона более реальна, чем субъективная? Нам не

пристало поэтому перепутывать между собой эти два языка, мы обязаны мыслить тоньше, чем было принято до сих пор.

Да кроме того, последние 100 лет естествознания вынуждают нас к подобной осторожности мысли и в собственно научной сфере. Поскольку предмет нашего исследования стал уже не мир непосредственного опыта, а специфический мир, куда нам позволяют проникнуть лишь средства современной техники, язык повседневной жизни здесь уже недостаточен. В конечном счете нам, правда, удастся понять этот мир, представляя его основополагающие структуры в математических формулах; но если мы хотим говорить о нем обычным образом, то нам приходится довольствоваться образами и символами, почти как в религиозном языке. В результате мы приучились осторожнее обращаться с языком и осознали, что кажущиеся противоречия могут корениться в его недостаточности. Современное естествознание вскрыло очень далеко идущие закономерности, намного более широкие, чем те, с которыми имели дело Галилей и Кеплер. Но попутно выяснилось, что вместе с широтой выявляемых зависимостей растет и степень абстрактности, а с нею — трудность для понимания. Даже требование объективности, долгое время считавшееся предпосылкой всякого естествознания, в атомной физике ограничено тем, что полное отделение наблюдаемого феномена от наблюдателя уже невозможно. Как же в таком случае обстоит дело с противоположностью естественнонаучной и религиозной истины?

Физик Вольфганг Паули как-то говорил в данной связи о двух пограничных представлениях, которые оказались исключительно плодотворными в истории человеческой мысли, хотя ни одному из них ничего в реальной действительности не соответствует. Один предел — это представление об объективном мире, закономерно развертывающемся в пространстве и времени независимо от какого бы то ни было наблюдающего субъекта; на картину такого мира ориентируется новоевропейское естествознание. Другой предел — представление о субъекте, мистически сливающимся с мировым целым настолько, что ему не противостоит уже никакой объект, никакой объективный мир вещей; таков идеал азиатской мистики. Где-то посередине между этими двумя пограничными представлениями движется наша мысль; наш долг выдерживать напряжение, исходящее от этих противоположностей.

Тщательность, с какой мы обязаны размежевывать два

языка, религиозный и естественнонаучный, требует, между прочим, чтобы мы оберегали их чистоту от всякого смешения, грозящего их распатыванием. Превота подтвердившихся естественнонаучных выводов не может быть в разумной мере поставлена под сомнение религиозной мыслью, и, наоборот, этические требования, вырастающие из самой сердцевины религиозного мышления, не могут быть подорваны чересчур рационалистическими аргументами из области науки. Причем не существует никакого сомнения, что вследствие расширения технических возможностей возникли и новые этические проблемы, разрешить которые нелегко. Упомяну для примера вопрос об ответственности исследователя за практическое применение результатов его исследовательской работы или еще более трудный вопрос из области современной медицины — сколько врач обязан или имеет право продлевать жизнь умирающего пациента. Размышление над такими проблемами не имеет ничего общего с распатыванием этических принципов. И я не могу себе представить, чтобы на подобные вопросы можно было ответить просто путем оценки прагматической целесообразности наших действий. Скорее наоборот, здесь тоже потребуются осмысление целого в его взаимосвязи: осмысление той выражаемой на языке религии принципиальной позиции человека, в которой коренятся начала этического поведения.

Не исключено, впрочем, что сегодня мы снова в состоянии правильнее распределить акценты, смещенные непомерным распространением науки и техники за последние 100 лет. Я имею в виду тот относительный вес, который мы придаем материальным и духовным предпосылкам человеческого общества. Материальные предпосылки очень важны, и долгом общества было покончить с материальной нищетой широких слоев населения, коль скоро техника и наука предоставили для этого возможности. Но и после достижения этого осталось еще много несчастья, и тем самым выяснилось, до какой степени индивид в своем самосознании или в своем самопонимании нуждается в защите, которую ей способна предоставить духовная форма человеческого сообщества. В этом, наверное, заключена сегодня наша главная задача. Если нынешняя студенческая молодежь часто бывает очень несчастна, то причиной тому не материальная нужда, а недостаток доверия к действительности, делающий для человека крайне трудными поиски смысла жизни. Мы обязаны поэтому работать над преодолением изоляции, грозящей ин-

дивиду в царстве технической целесообразности. Решение теоретических вопросов психологии или социальной структуры здесь мало чем поможет, пока не удастся в непосредственном действии вновь обрести естественное равновесие духовной и материальной сторон нашей жизни. Для этого понадобится снова оживить в повседневном сознании основополагающие духовные ценности, придать им такую озаряющую силу, чтобы жизнь отдельной личности снова сама собою ориентировалась на них.

Однако в мою задачу не входило говорить об обществе, речь шла о соотношении между естественнонаучной и религиозной истиной. Естествознание сделало за последние 100 лет очень большие успехи. Более широкие жизненные сферы, о которых мы говорим на языке нашей религии, были при этом, возможно, оставлены в пренебрежении. Удастся ли еще раз дать выражение духовной форме будущих человеческих обществ на старом религиозном языке, мы не знаем. Рациональная игра словами и понятиями тут мало поможет; порядочность и непосредственность — вот самые важные предпосылки успеха. Во всяком случае, поскольку этика служит основой для совместной жизни людей, а источником этики может быть только та принципиальная человеческая позиция, которую я назвал духовной формой общества, мы обязаны приложить все усилия к тому, чтобы воссоединиться, между прочим, и с молодым поколением на почве одинаковой человеческой принципиальной позиции. Я убежден, что это окажется достижимым, если мы восстановим верное равновесие между обеими истинами.

Размышления о книге «Путешествие искусства во внутренний мир»^{125*}

Движение духа, описываемое Эрихом Хеллером в его книге «Путешествие искусства во внутренний мир», дает о себе знать во многих сферах — в живописи, музыке, поэзии и философии, — и нет ничего удивительного в том, что в естествознании тоже происходит аналогичный процесс, который можно было бы, наверное, назвать путешествием науки в абстракцию. На то, что эти две ветви нашего культурного развития растут из единого корня, косвенно указал уже Гёте тем, что в одинаковой мере опасался обеих и снова и снова настоятельно предостерегал от их дурных последствий.

Но если признать, что связь этих двух тенденций существует, то вопросы, оставшиеся без ответа при путешествии искусства во внутренний мир, естественно снова поставить по поводу другого путешествия, в которое пустилась наука, и, возможно, извлечь некоторую пользу из сравнения между ними. Важнейший вопрос, по-видимому, гласит: куда ведет это путешествие? Можно ли обозначить его цель яснее, чем это позволяют сделать выражения «внутренний мир» или «абстракция»? И это произойдет, когда цель будет достигнута; где мы окажемся тогда?

Прежде чем разобрать ответ, который дала здесь наука, мы должны учесть то обстоятельство, что это движение в искусстве и в науке или по крайней мере его последствия очень рано столкнулись с сильным противодействием, нередко находившим себе выражение в гневе и отчаянии противников движения, но не сумевшим остановить уже начавшееся путешествие. О предостережении Гёте мы уже сказали. Эрих Хеллер указывает также на полные горечи и ужаса высказывания Рильке о живописи Матисса, Пикассо и Брака¹²⁶. Можно, наверное, собрать еще много аналогичных осуждений современного искусства. Известны такие же явления в области точного естествознания. Отча-

* © Gedanken zur "Reise der Kunst ins Innere". R. Piper und Co., Verlag, München, 1977.

сти это ожесточенные нападки на эйнштейновскую теорию относительности, а в более позднее время — также и на квантовую теорию и на теорию элементарных частиц, вступающую по мере своего развития во все более абстрактные сферы. Здесь, как и там, среди критиков можно встретить чрезвычайно заметных представителей своей профессии, и от этого еще более поразительным кажется тот факт, что их атаки до сих пор имели так мало успеха. Надо думать, именно чувство бессилия разжигает среди критиков сильные эмоции, в отдельных случаях доходящие до ненависти, личного очернительства и переноса борьбы в политическую плоскость. Если верно, что ненависть возникает от слабости, то приходится заключить, что сами критики не могут предложить подлинной альтернативы движению, о котором мы говорим. И суть проблемы, по-видимому, именно в том, что нас крайне страшит цель, к которой мы движемся, но мы не видим ни малейшей возможности переключиться с этой цели на какие-либо другие. Тем важнее рассмотреть, как велики реальные опасности путешествия, в которое мы пустились.

Начнем с биологии. Путешествие началось тут примерно тогда, когда при попытке осмыслить разнообразие растительных форм перед умственным взором поэта Гёте возникло прарастение, воплощавшее и зримо являвшее принцип, по которому построены все растения. Но уже последователи Гёте задумались о роли отдельных органов, листа, корня, цветка, плода, об их клеточном строении, и в конце концов путь биологии пролегал к структуре клетки, к атомному строению ее составных частей, к процессам деления клетки. В конце этого путешествия биологи наткнулись на тот пакет информации, который написан химическим языком на двойной спирали нуклеиновых кислот, словно на перфокарте электронной счетной машины, и содержит в себе строительный план организма. Можно назвать эту совокупность информации или ее разнообразные химические корреляты своего рода прообразом всякого живого существа. Но приходится помнить, что на этом нижнем пределе стираются границы между одушевленной и неодушевленной материей, то есть мы имеем тут дело просто с очень сложной молекулой особого рода. В свете сравнения с процессами, происходящими в искусстве, важнее этого частного открытия современной биологии, пожалуй, два других наблюдения. Во-первых, путь биологии во внутренний мир, то есть мир абстракции, не был бесконечно долгим, он привел в вышеупомянутом пункте ко испол-

не определенному естественному завершению. В предметной области, через которую пролегал этот путь, остается еще бесконечно много неизученного, однако конечная точка пути уже не может быть снова поставлена под вопрос. Во-вторых, достижение цели возвращает исследователя к старому платоновскому вопросу о подлинной действительности. Является ли этот пакет информации подлинно живым существом или же он лишь форма, идея живого существа, тогда как воплощающие эту информацию химические молекулы составляют реальное живое образование? Совокупность информации есть в известном смысле платоновская идея живого существа. Словом, мы вернулись к древней проблеме: в чем больше подлинной действительности — в идее или в ее материальной реализации? При чем закрадывается сомнение в том, что наша задача ограничивается просто выяснением этого вопроса. Или, может быть, сначала нужно определить, что означает выражение «подлинная действительность»?

Для физического и химического исследования путь во внутренний мир был почти таким же. Гёте в качестве геолога собирал и изучал минералы; поколение, следовавшее за ним, заинтересовалось химическим составом кристаллов; возникло представление о том, что молекула как наименьшее образование того или иного химического соединения состоит из атомов; атомы были признаны мельчайшими частицами, на которые можно разложить химический элемент без изменения его природы. Но тут путь снова ведет в глубокую абстракцию. Атом состоит, как учит теория Бора, из тяжелого ядра и вращающихся вокруг него электронов. Однако мы уже не знаем в точности, что в данном случае должно обозначать слово «вращаться». Область применения наглядных понятий прежней физики, как-то: место, скорость, энергия — явственно ограничена уже при рассмотрении электронов. Без такого ограничения было бы невозможно понять стабильность атомов. Мы можем представить в математических формулах, что, по всей вероятности, произойдет с электроном при том или ином эксперименте, но это наше высказывание не будет высказыванием об электроне как о не зависящем от наблюдения объекте. Еще дальше из области наглядных явлений в сферу абстракции уводит вопрос о том, из чего состоят электроны или другие элементарные частицы, скажем протоны и нейтроны. Можно ли продолжать деление этих образований на какие-то еще более мелкие элементы или же они являются подлинно неделимыми кирпичиками

вещества в смысле демокритовской атомистики? Ответ дали за последние 20 лет большие ускорители: при столкновении двух элементарных частиц высоких энергий в процессе их распада могут возникать разнообразные частицы, однако эти частицы не обязательно окажутся меньше тех, что подверглись делению. Речь идет фактически о возникновении новых элементарных частиц из кинетической энергии сталкивающихся объектов. Понятие деления тем самым утратило свой смысл, как и понятие наименьшей частицы. Когда энергия становится материей, возможность чего была давно уже признана теорией относительности, энергия принимает форму элементарной частицы. Эта форма выступает в математическом описании как представление группы преобразований, например группы вращения в пространстве или группа Лоренцовых преобразований; таким образом, элементарная частица характеризуется своими свойствами симметрии при преобразовании группы. Подобные высказывания, к сожалению, лишены почти всякой наглядности и вряд ли понятны для читателя, не имеющего математической подготовки. Но они опять-таки ясно показывают, что, во-первых, путь в абстракцию не бесконечно долг и имеет строго определенный естественный предел, а во-вторых, в конечной точке этого пути снова встает платонический вопрос о действительности, имеющий здесь примерно следующий вид: являются ли эти мельчайшие образования действительно элементами материи или просто математическими представлениями групп симметрии, по схеме которых устроена материя в целом?

Мы уже сказали вначале, что путешествие науки в мир абстракции натолкнулось на сильное противодействие, хотя никто не смог предложить альтернативного пути к научному пониманию природы. И характерно, что решительные противники этого путешествия скорее готовы были вернуться к старым кантианским антиномиям, кладущим предел человеческому постижению там, где оно приближается к бесконечности, чем отказаться от принципа наглядности представления. Так, в прежние времена проблему наследственности решали наивным представлением о том, что в зернышке яблока находится невидимое маленькое яблоневое дерево, что это дерево в свою очередь цветет и приносит плоды, внутри этих плодов опять-таки растет множество крошечных яблоневых деревьев и так далее до бесконечности. Аналогичные наивные представления еще и сегодня встречаются у некоторых специалистов в физике элементарных частиц; они думают, что протоны состо-

ят из более мелких образований, так называемых кварков, что кварки в свою очередь построены из еще меньших частиц, для которых было предложено название партонов, и так далее до бесконечности. По-видимому, наш дух со всей силой восстает против признания того, что путь к пониманию уводит из области наглядных представлений, пусть даже он обещает привести нас через небесконечное число шагов к конечной цели. С этим внутренним протестом сплетается, по-видимому, еще и страх, что после достижения цели сама наука подойдет к концу. Думать так, конечно, — чистое заблуждение. Ибо завершеного состояния могут достичь лишь отдельные отрасли науки — в качестве примера здесь можно упомянуть механику, электродинамику, термодинамику, — но никогда не наука в целом. Под наглядностью противники абстракции понимают мир представлений, навязанный нам нашим повседневным опытом и, соответственно, с детства служащий нам основой для элементарной ориентировки в окружающем мире. Легко можно понять, почему мы всемерно противимся требованиям пожертвовать этой наглядностью. Несколько утрируя, можно, пожалуй, сказать, что в конце путешествия мы найдем уже не жизнь и не мир, а понимание и ясность относительно идей, лежащих в основе мироздания.

О скудости того, что мы получаем в конце нашего путешествия в абстракцию, и об одиночестве, которое нас там ожидает, Эрих Хеллер говорит на последних страницах своей книги, заключая ее цитатой из философских раздумий Витгенштейна, звучащей как возглас отчаяния: «Какова твоя цель в философии? Показать мухе выход из янтаря, в котором она замурована»¹²⁷. И Эрих Хеллер добавляет: «Никакого выхода тут нет». Пожалуй, этой цитате можно было бы противопоставить мысль физика и философа Нильса Бора, в которой свет и тьма уравниваются друг друга: «Смысл жизни заключается в том, что нет никакого смысла говорить, что жизнь не имеет смысла»¹²⁸. Здесь тоже с неумолимой четкостью сформулирован предел, поставленный рациональному пониманию, но вместе с тем слышится и вера в то, что всякий конец есть одновременно начало. То обстоятельство, что в естествознании цель может быть достигнута конечным числом шагов, пробуждает надежду, что конец пути науки может стать началом нового, более широкого способа мышления, который в наше время, конечно, легче предчувствовать, чем описать.

Многоуважаемый, дорогой Хайдеггер! Сердечнейшим образом поздравляя Вас с Вашим восьмидесятым днем рождения и желая Вам счастья, пользуюсь этим благоприятным случаем, чтобы написать Вам, какие мысли Ваших сочинений всего более занимали меня в последние годы. Что Ваши мысли постоянно требуют от нас определения нашего отношения к ним, Вам хорошо известно, и это касается также нас, исследователей природы.

Вы пишете в одной своей работе о Платоне, что, имея дело с существом истины, человек мыслит в колее «идей» и оценивает всю действительность в согласии с «ценностями». И Вы справедливо добавляете, что вопрос о том, какие выдвигаются идеи и какие ценности, не самый главный, но решающим является то, что вообще действительность истолковывается в свете идей и мир взвешивается ценностями¹³⁰.

В своих следующих фразах Вы намекаете на возможность — не знаю, правильно ли я Вас здесь понял, — что в будущем все должно обстоять иначе; что мы, вероятно, движемся к такому состоянию мира, когда отношение человека к миру будет выглядеть в принципе иначе.

Этот вопрос меня беспокоил, и мне хотелось бы ответить на него, именно с точки зрения естественной науки, словом «нет». Естествознание нашего времени еще в большей мере, чем в прежние эпохи, есть «образное письмо» и, стало быть, истолкование мира в согласии с идеями. Только образы стали более абстрактными, хотя тем самым также и более простыми. Кроме того, наша естественная наука намного отчетливее, чем прежняя, напоминает об упорядоченности всего происходящего в природе вокруг единого средоточия, и я не могу не поставить эту отнесенность к центральному порядку в связь с понятием времени. Иными словами, я не вижу, чтобы в той части современного мира, в которой, по-видимому, совершаются наиболее сильные сдвиги, а именно в естествознании, су-

ществовала тенденция отхода от идей и ценностей. Наоборот, истолкование действительности в свете идей и ценностей происходит с величайшей интенсивностью, только в каком-то более глубоком слое.

Но разумеется, в поздравительном письме не место подробно писать Вам о таких вопросах, да, может быть, я и недопонял Вашу мысль. Я хотел только сказать, как много Вы поставили перед нами задач и как заставили думать, и Вам должно быть радостно это слышать. От души желаю Вам больших жизненных сил.

Примечания*

¹ Речь, произнесенная 13 августа 1946 г. перед студентами Геттингенского университета. Первая публикация: Heisenberg W. Wissenschaft als Mittel zur Verständigung unter den Völkern//Heisenberg W. Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft. Stuttgart, 1959. Русский перевод: Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. М., ИЛ, 1953.

² Речь, произнесенная 13 августа 1949 г. на праздновании 100-летнего юбилея Максимилиановской гимназии в г. Мюнхене. Первая публикация: Heisenberg W. Über das Verhältnis der Humanität, Naturwissenschaften und Abendland//Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik. Rowohlts deutsche Enzyklopädie, Bd. 8. Hamburg, 1955, S. 36—46.

³ В. Гейзенберг имеет в виду неформальную молодежную организацию, стихийно возникшую в Германии после поражения 1918 г. Главным занятием «молодежного движения» были многодневные туристические походы, собрание и исполнение народных песен, поощрение и развитие народных ремесел, организация и комплектование народных университетов и школ. Участниками движения был негласно принят трезвенный и простой образ жизни. Гейзенберг неоднократно руководил походами, вел в Мюнхене курсы астрономии и классической музыки для рабочего населения.

⁴ Речь идет о книге древнегреческого историка Ксенофонта (конец V—начало IV в. до н. э.) «Анабасис», в которой описывается поход греческого войска в глубь Малой Азии.

⁵ Первая публикация на датском языке в книге: N. Bohr. Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere. København, 1964. Первый русский перевод с датского языка Ю. С. Памфилова опубликован в сборнике: Н. Бор. Жизнь и творчество. М., «Наука», 1967, с. 5—20. Настоящий перевод сделан с немецкого языка по публикации: Heisenberg W. Erinnerungen an Niels Bohr aus den Jahren 1922—1927//Heisenberg W. Schritte über Grenzen. Gesammelte Reden und Aufsätze. München, 1973, S. 52—70.

⁶ основополагающие работы Э. Шрёдингера были опубликованы в начале 1926 г., в «Annalen der Physik». Русский перевод: Шрёдингер Э. Квантование как задача о собственных значениях//Шрёдингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М., «Наука», 1976, с. 9—50, 75—138.

⁷ В основе статьи лежит текст доклада, прочитанного В. Гейзенбергом 26 мая 1975 г. в Геттингене. Первая публикация: Heisenberg W. Tradition in der Wissenschaft. Reden und Aufsätze. München, 1977, S. 43—60.

* Составители примечаний: А. Ахутин, В. Бибихин, А. Кожевников.

⁸ Карл Болин (K. Bohlin) — шведский астроном. В 1888 г. предложил приближенный метод решения частного случая задачи многих тел в небесной механике (Bohlin K. Über eine neue Annäherungsmethode in der Störungstheorie//Bihand till Kungl. Svenska Vetenskap Akademiens Handlingar. Stockholm, 1888, Afd. I, № 5, v. 14. Метод Болина был использован М. Борном и В. Гейзенбергом в статье: Born M., Heisenberg W. Über Phasenbeziehungen bei den Bohrschen modellen von Atomen und Molekeln//Z. f. Physik. 1923, Bd. 14. S. 44—55.

⁹ Born M. Über Quantenmechanik//Z. f. Physik, 1924, Bd. 26, 379—395. Русск. перев.: Борн М. О квантовой механике//Борн М. Размышления и воспоминания физика. М., «Наука», 1977, с. 133.

¹⁰ Thomas W. Über die Zahl der Dispersionselektronen, die einem stationären Zustande zugeordnet sind//Die Naturwissenschaften. 1925. Bd. 13, S. 627. Kuhn W. Über die Gesamtstärke der von einem Zustande ausgehenden Absorptionslinien//Z. f. Physik. 1925. Bd. 33. S. 408—412. Born M., Jordan P. Zur Quantenmechanik//Z. f. Physik. 1925. Bd. 34. S. 858—888.

¹¹ Борн М., Йордан П. О квантовой механике//УФН, т. 122, вып. 4, 1977, с. 586—611.

¹² В. Гейзенберг делал в Кембридже доклад на заседании семинара молодых физиков, организованном П. Л. Капицей, работавшим в Англии у Резерфорда в 1921—1934 гг. П. Дирак участвовал в заседаниях «клуба Капицы», как называли этот семинар. Действительно ли темой доклада была новая работа Гейзенберга по квантовой механике, вопрос спорный. Во всяком случае, Дирак начал заниматься этими проблемами только осенью, когда ознакомился с текстом статьи Гейзенберга. Русский перевод статьи П. Дирака «Основные уравнения квантовой механики» опубликован в УФН (прим. 11), с. 611—621.

¹³ Born M., Heisenberg W., Jordan P. Zur Quantenmechanik. II.//Z. f. Physik. 1926, Bd. 35, S. 557—615.

¹⁴ В основу статьи положен текст доклада, прочитанного В. Гейзенбергом 27 июля 1974 г. в Ульме, в доме Эйнштейна. Первая публикация: Heisenberg W. Begegnungen und Gespräche mit Albert Einstein//Heisenberg W. Tradition in der Wissenschaft, S. 111—125.

¹⁵ Эйнштейн А. Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света (1905 г.); Эйнштейн А. К теории возникновения и поглощения света (1906 г.)//Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. М., «Наука», 1966. Т. III, с. 92—107, 128—133.

¹⁶ Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. Development of concepts in the history of quantum theory//The Physicist's Conception of Nature, ed. by J. Mehra. Dordrecht—Boston, 1973, p. 264—275.

¹⁷ Это противоречие снимается в квантовой механике с помощью принципа «суперпозиции состояний». Состояние атома, которое не изменяется, если применить крайне слабое поле, можно, однако, представить как суперпозицию двух состояний с вращательным моментом, определенным относительно двух разнонаправленных осей. Изменение поля изменяет «вес» соответствующего состояния.

¹⁸ Гильбертово пространство — это бесконечномерное линейное пространство, в котором определено скалярное произведение элементов (векторов) и выполняются требования полноты и сепара-

бельности. В квантовой механике его впервые применил Ф. Лондон в 1926 г., а И. фон Нейман положил его в основу всего математического формализма теории (И. Нейман фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964. Первое издание — 1932 г.). Вероятности того или иного значения физической величины определяются коэффициентами разложения вектора по базису, соответствующему этой величине.

¹⁹ Dirac P. The quantum theory of the electron//Proc. Roy. Soc., L., A 117, p. 610—624; A 118, p. 351—361 (1928). Русский перевод: Труды Института истории естествознания и техники. 1959. Т. 22, с. 32—68.

П. Дирак получил здесь релятивистское уравнение для волновой функции свободной частицы со спином $1/2$. Решение этого уравнения для покоящейся частицы предполагает состояние с отрицательной энергией. Для уравнения электрона это состояние можно было интерпретировать как указание на существование положительно заряженного «двойника», в качестве которого первоначально предполагали протон. Позитрон был предсказан Дираком позже, в 1931 г. В 1932 г. экспериментально обнаружен в космических лучах К. Андерсоном. См. прим. 54.

²⁰ Изоспин (изотопический спин), одна из внутренних характеристик (квантовых чисел) адронов, определяющих число зарядовых состояний адрона.

В. Гейзенберг поддерживает здесь сравнительно новую тогда идею о спонтанном нарушении симметрии в калибровочных теориях элементарных частиц (в данном случае — в электродинамике). В 1983 г. основанная на этих идеях единая теория электромагнитных и слабых взаимодействий (теория Вайнберга — Салама) была экспериментально доказана.

²¹ Симметрию можно определить как инвариантность относительно некоторого преобразования. Так, например, квадрат обладает поворотной симметрией, потому что переходит сам в себя при поворотах на углы, кратные 90° . Фундаментальные законы природы остаются инвариантными при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой (релятивистская инвариантность или симметрия относительно Лоренцевой группы преобразований). SU(2)/ симметрия основана на том, что сильное взаимодействие частиц не меняется при замене протонов на нейтроны (или u-кварка на d-кварк); SU(3) — на том, что u- и d-кварки взаимозаменяемы с s-кварком. Эти симметрии в действительности справедливы лишь приближенно. PCT-симметрия — инвариантность фундаментальных законов природы при таком преобразовании, когда одновременно от «правой» системы координат переходят к «левой», изменяют направление времени и заряды всех частиц на противоположные.

²² Речь, произнесенная 3 июля 1964 г. на холме Пникс, древнем месте народных собраний возле Акрополя в Афинах. Первая публикация на немецком и английском языках: Heisenberg W. Das Naturgesetz und die Struktur der Materie//Meilensteine des Denkens und Forschens. Stuttgart, 1967.

²³ При столкновении быстрых частиц могут рождаться новые частицы, суммарная масса которых может превышать массу исходных частиц. Увеличение массы происходит за счет уменьшения суммарной кинетической энергии частиц. Масса и энергия связаны формулой Эйнштейна $E=mc^2$. Теория относительности ставит на место двух независимых законов сохранения — массы и энергии — один закон сохранения массы-энергии.

²⁴ См. прим. 21. Для теории относительности недостаточно одного требования релятивистской инвариантности, нужен еще постулат о направлении передачи взаимодействия (от прошлого к будущему) и о максимальной его скорости. Это и есть релятивистский принцип причинности.

²⁵ Так Сократ отвечает софисту Калликлу в диалоге Платона «Горгий» (491 а—с). // Платон. Сочинения в трех томах. М., «Мысль», 1968. Т. 1, с. 317.

²⁶ Неустраняемая «двуязычность», двумерность физической теории, в которой конструктивные интуиции математического языка всегда дополняются понятийными интуициями языка естественно-го (лучше сказать, культурного), — глубокая и мало продуманная особенность теоретического мышления математической физики. Уяснение физического смысла предполагает не только математическое конструирование понятий и их экспериментальную интерпретацию, но и философский анализ смысла. См. по этому поводу главу «Дисциплина чистого разума» в разделе «Трансцендентальное учение о методе» кантовской «Критики чистого разума» // Кант И. Сочинения в шести томах. М., «Мысль», 1964. Т. 3, с. 597—617. См. также статью В. Гейзенберга «Язык и реальность в современной физике» — наст. изд., с. 208—225.

²⁷ Ср., например, понятия «сила», «работа», «энергия» в теоретической физике и в естественном языке.

²⁸ См. статью В. Гейзенберга «Философские взгляды В. Паули» — наст. изд., с. 283—289.

²⁹ Доклад, прочитанный 12 февраля 1952 г. в Сент-Галлене. Первая публикация: Heisenberg W. Atomforschung und Kausalgesetz // Universitas. 1954. 9. Jg., Heft 3, S. 225—236 (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, m. b. H., Stuttgart).

³⁰ Кант И. Соч., т. 3, с. 263.

³¹ «Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел Вселенной наравне с движениями легчайших атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверным, и будущее так же, как и прошедшее, предстало бы перед его взором» (Л а п л а с П. С. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908, с. 10).

³² «По установившемуся обычаю ($v\theta\omega$) сладкое и по обычаю горькое, по обычаю теплое, по обычаю холодное, по обычаю цветное, в действительности же — атомы и пустота». Этот фрагмент (В9 по изданию Г. Дильса) передает Секст Эмпирик («Против ученых», кн. VII, 135/С. Э м п и р и к. Сочинения в двух томах. М., «Мысль», 1975. Т. 1, с. 87). См. также: Л у р ь е С. Я. Демокрит. Тексты. Перевод. Исследования. Л., Наука, 1970, с. 220, фр. 55.

³³ Идея дискретности атомных явлений утвердилась тоже не сразу. Сам Планк довольно долгое время отказывался применять ее для энергии осциллятора и к излучению. Он считал ее применимой только к процессам взаимодействия излучения с веществом. См.: К u h n Т. Black-body theory and quantum discontinuity. N. Y., 1978. (Рец. // Природа, 1981, № 3).

³⁴ Имеются в виду работы А. Эйнштейна 1905—1907 гг. о квантах света и удельной теплоемкости, его работа 1917 г. о коэффициентах вероятности излучения, а также работы Н. Бора и А. Зоммерфельда по квантовой теории атома 1913—1917 гг.

³⁵ Соотношения неопределенностей В. Гейзенберг получил в 1927 г. и опубликовал в статье «О наглядном содержании квантово-теоретической кинематики и механики» (русский перевод — УФН, 1977. Т. 122, вып. 4, с. 651—671). Принцип дополнительности был сформулирован Н. Бором в том же году в работе «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории» и разработан в последующих статьях//Б о р Н. Избранные научные труды в двух томах. М., «Наука», 1971. Т. 2.

³⁶ Паскуаль Йордан (1902—1981) — физик-теоретик, один из создателей квантовой механики. С начала 30-х годов публикует — помимо физических — работы о применении квантовой физики в биологии. См., в частности: J o r d a n P. Die Quantenmechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie//Naturwissenschaften, 1932, Bd. 20, S. 815. J o r d a n P. Physik und das Geheimnis der organischen Lebens. Berlin, 1945.

³⁷ Ко времени опубликования Д. И. Менделеевым «системы элементов» (17 февраля 1869 г.) было известно 63 элемента. Вскоре были открыты предсказанные Менделеевым галлий (1875 г.), скандий (1879 г.) и германий (1886). К настоящему времени в Таблицу включено 109 элементов, хотя последние из них представляют собой крайне неустойчивые продукты искусственного ядерного синтеза.

³⁸ В конце 40-х — 50-х гг. был открыт целый ряд новых нестабильных частиц: π -мезоны, K -мезоны, λ -гиперон. В то время когда была прочитана эта лекция (1952 г.), Гейзенберг пытался построить единую нелинейную спинорную теорию материи, которая охватывала бы все известные к тому времени элементарные частицы. См.: Гейзенберг В. Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М., «Мир», 1968 г. Ряд относящихся к этой теории работ опубликован также в русском переводе в сб.: Нелинейная квантовая теория поля. М., 1959 г.

³⁹ Так как все взаимодействия передаются со скоростью, не большей скорости света, то причинно зависеть от некоего события в точке O могут события только в тех точках четырехмерного пространства-времени, в которые успевает дойти световой сигнал из точки O . Эти события образуют область абсолютно будущего для события в точке O . Аналогично определяется область абсолютно прошлого, — область, откуда световой сигнал успевает дойти до точки O . Эти области разделены областью событий, которые не могут быть причинно связаны с событием в точке O , поскольку световой сигнал ни туда, ни оттуда дойти не успевает. В разных системах отсчета эти события могут происходить то раньше, то позже события в точке O . Поэтому их нельзя отнести ни к прошлому, ни к будущему.

⁴⁰ Бесконечности возникают так же, как и в классической электродинамике, из-за того, что используется представление о точечных частицах. Незадолго до этой речи Гейзенберга, в конце 40-х годов С. Томонага, Р. Фейнману, Ю. Швингеру, Ф. Дайсону удалось создать последовательные методы устранения бесконечностей в квантовой теории поля (так называемые «перенормировки»), при которых конечный результат получается после вычитания из одной бесконечности другой (см. сборник «Новейшее развитие квантовой электродинамики». М., 1954) но эти методы в течение ряда лет вызывали скептицизм у ряда физиков старшего поколения, в том числе, как видно, и у Гейзенберга.

⁴¹ Хотя для ряда открытых в последние десятилетия частиц

удавалось сравнительно точно предсказать значение их масс, общее объяснение спектра масс элементарных частиц остается и поныне одной из труднейших нерешенных проблем релятивистской квантовой физики.

⁴² Доклад на заседании Шведской Академии наук 24 апреля 1974 г. в Стокгольме. Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. The role of elementary particle physics in the present development of science//“Documenta” der Stockholmer Akademie, 1974.

⁴³ В 1938—1939 гг. Г. Бете — американский физик немецкого происхождения — открыл основные циклы термоядерных реакций в звездах — водородный и углеродный (Нобелевская премия, 1967 г.). Последний цикл независимо открыл также К. Вейцеккер. О. Ган — немецкий физик и радиохимик — совместно с Ф. Штрассманном открыл в 1938 г. явление деления ядер урана под воздействием медленных нейтронов (Нобелевская премия по химии, 1944 г.).

⁴⁴ Барийное число (барийный заряд) — одна из внутренних характеристик элементарных частиц, отличная от нуля для барионов («тяжелых» частиц, таких, как протон, нейтрон, гипероны и др.) и равная нулю для всех остальных частиц. Лептонное число (лептонный заряд) характеризует лептоны (электрон, мюон, нейтрино и другие частицы, не обладающие сильным взаимодействием). Процессы превращения элементарных частиц подчиняются законам сохранения суммарных зарядов».

⁴⁵ Поляроном называют квазичастицу (электрон в кристалле вместе с поляризованной и деформированной им областью решетки), перемещающуюся по кристаллу как нечто целое. Экситон — квазичастица, соответствующая электронному возбуждению в кристалле диэлектрика, перемещающаяся по кристаллу, но не связанная с переносом заряда и массы.

⁴⁶ Бозон — частица с нулевым или целочисленным спином в отличие от частиц с полуцелым спином — фермионов. Согласно квантовой теории поля, взаимодействие осуществляется путем обмена определенным видом бозонов. Так, носителем электромагнитных взаимодействий являются фотоны, слабых — W и Z — бозоны; носителем сильного взаимодействия долгое время считался π -мезон; с принятием кварковой модели эта роль перешла к глюонам.

⁴⁷ Э. Лоуренс (США) построил магнитный резонансный ускоритель частиц — циклотрон — в 1931 г. (Нобелевская премия, 1939 г.). Дж. Кокрофт и Э. Уолтон (Великобритания) сконструировали каскадный генератор в 1932 г. и осуществили на нем первую искусственную ядерную реакцию с ускоренными протонами — трансмутацию ядер лития (Нобелевская премия, 1951 г.).

⁴⁸ Синхрофазотрон в Дубне мощностью 10 ГэВ был запущен в 1957 г. В 1967 г. в Серпухове начал работу синхрофазотрон мощностью 76 ГэВ.

⁴⁹ Новые мощные ускорители частиц привели к важным открытиям. Так, в 1983 г. на протон-антипротонном коллайдере в ЦЕРН были открыты W -бозоны, и тем самым экспериментально доказана единая теория электромагнитного и слабого взаимодействий.

⁵⁰ Теорию групп в квантовой механике первыми стали применять Е. Вигнер (Wigner E. Gruppentheorie und ihre Anwendung auf der Quantenmechanik der Atomspektren. Braunschweig, 1931. Перевод: Вигнер Е. Теория групп и ее приложения к квантовой механической теории спектров. М., ИЛ., 1961.), Г. Вейль (Weil H.

Gruppentheorie und Quantenmechanik. Leipzig, 1928. Перевод: Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. М., Наука, 1986) и ван дер Варден Б. Л. (van der Waerden B. L., Die gruppentheoretische Methode in der Quantenmechanik. Berlin, 1932. Перевод: Ван дер Варден Б. Л. Метод теории групп в квантовой механике. Харьков, ОНТВУ, 1938).

⁵¹ Кварки — более фундаментальный уровень, чем образованные из них адроны. Хотя кварки в свободном состоянии не наблюдаются, эта гипотеза оказалась настолько плодотворной, что в настоящее время сомнения в существовании кварков отпали. См.: Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. М., «Наука», 1984; Ейтинго Намбу. Кварки. На переднем крае физики элементарных частиц. М., «Мир», 1984.

⁵² См. прим. 49. Прогноз Гейзенберга о существовании асимптотической области, где при увеличении энергии не будет наблюдаться никаких существенно новых явлений, не оправдался.

⁵³ Доклад на XIV Международной конференции по космическим лучам (18 августа 1975 г. в Мюнхене). Первая публикация на английском языке: Heisenberg W. Cosmic Radiation and Fundamental Problems in Physics//14. Internat. Cosmic Ray Conference, Conference Papers, vol. 11. München, 1975, p. 3461—3474 (Max-Planck-Inst. für extraterrestische Physik).

⁵⁴ Карл Д. Андерсон, американский физик, исследуя космические лучи, открыл в 1932 г. частицу с массой электрона, но с положительным электрическим зарядом, названную позитроном. В 1936 г. Нобелевский комитет присудил премию В. Гессу за открытие космических лучей и К. Андерсону за открытие позитрона в этих лучах. Английский физик Патрик М. Блэккет вместе с итальянским физиком Джузеппе С. Оккиалини, соединив камеру Вильсона со счетчиком Гейгера, смогли в 1933 г. наблюдать позитроны намного более отчетливо, чем Андерсон. В 1948 г. П. Блэккет также удостоился Нобелевской премии по физике.

⁵⁵ См. прим. 49 и 52.

⁵⁶ Доклад на заседании Немецкого физического общества 5 марта 1975 г. Первая публикация: Heisenberg W. Was ist ein Elementarteilchen?//Die Naturwissenschaften, 1976, Bd. 63, S. 1—7.

⁵⁷ В 1937 г. Энрико Ферми получил Нобелевскую премию по физике за открытие искусственной радиоактивности, обусловленной нейтронами. См. прим. 43.

⁵⁸ Речь идет о «втором противоречии трансцендентальных идей», или о второй космологической антиномии И. Канта. Тезис этой антиномии: «Всякая сложная субстанция в мире состоит из простых частей, и вообще существует только простое или то, что сложено из простого». Антитезис: «Ни одна сложная вещь в мире не состоит из простых частей, и вообще в мире нет ничего простого». См.: Кант И., Соч., т. 3, с. 410—417.

⁵⁹ Г. Динглер (1881—1954) — немецкий философ, профессор Мюнхенского университета (с 1920 г.). Приводимое Гейзенбергом рассуждение Динглер развивает в кн.: Dingle H. Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte. München, 1928.

⁶⁰ SU(3) — симметрия, или унитарная симметрия, основана на независимости сильного взаимодействия частиц от вида кварков (u-, d- и s-кварков). Она позволила предсказать существование ряда новых частиц и их свойств. Эта симметрия является только приближенной. SU(4) — аналогичная симметрия для четырех кварков

(u, d, s, c). Остальные упомянутые Гейзенбергом симметрии в настоящее время неактуальны.

⁶¹ Статья впервые опубликована в 1948 г. по инициативе В. Паули в швейцарском журнале "Dialectica". International review of philosophy of knowledge. Lausanna, 1948, v. 2, № 1.

⁶² Первая публикация: Heisenberg W. Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien in der Physik//Einheit und Vielheit. Festschrift für C. F. v. Weizsäcker zum 60. Geburtstag. Herausg. von E. Scheibe u. G. Süssmann. Göttingen, 1972, S. 140—144.

⁶³ Вейдзеккер Карл фон (род. 1912 г.) — немецкий физик-теоретик, ученик В. Гейзенберга. В послевоенные годы много занимался философскими вопросами науки.

⁶⁴ Й. фон Нейман (1903—1957) — американский математик венгерского происхождения. С 1927 г. развивал в ряде работ математически строгую формулировку квантовой механики, представленную в кн.: Нейман Й. фон. Математические основы квантовой механики. М., 1964 г.

⁶⁵ Карл Р. Поппер (род. 1902 г.) — австрийский философ, с 1946 г. живет и работает в Англии. В книге «Логика научного исследования» (Popper K. Logik der Forschung. Wien, 1935; сокращенный русский перевод в кн.: Поппер К. Логика и рост научного знания. М., «Прогресс», 1983, с. 33—235) сформулировал так называемый принцип фальсификационизма, согласно которому именно опровержимость составляет критерий научности знания, а отбор и рост объективного знания путем рациональной критики выдвигаемых теоретических гипотез — механизм развития науки.

⁶⁶ Функция Дирака $\delta(x)$ — сингулярная функция, равная нулю везде, кроме точки $x=0$, где она равна бесконечности. Введена Дираком в 1926 г., подвергалась критике И. фон Нейманом за нестрогость, впоследствии получила и строгое математическое обоснование, и широкое распространение, особенно в релятивистской квантовой теории.

⁶⁷ Ван дер Варден (Верден) Б. Л. (род. 1903 г.) — голландский математик, в 30-е годы работал в Лейпциге, где в то же время преподавал В. Гейзенберг. Работы по алгебре, теории групп (в том числе в квантовой механике, см. прим. 50), истории математики.

⁶⁸ В основу статьи положен текст доклада на заседании Объединения немецких ученых в Мюнхене в 1969 г. Первая публикация: Heisenberg W. Änderungen der Denkstruktur im Fortschritt der Wissenschaft//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 275—287.

⁶⁹ Статья в газете «Süddeutschen Zeitung» от 6 октября 1970 г.

⁷⁰ См. прим. 49, 52.

⁷¹ В основу статьи положен текст доклада на заседании Баварской академии изящных искусств в 1960 г. Первая публикация: Heisenberg W. Sprache und Wirklichkeit in der modernen Physik//Heisenberg W. Physik und Philosophie. Stuttgart, 1960. (перевод: Гейзенберг В. Физика и философия. М., ИЛ., 1963). При переиздании статьи в книге «Schritte über Grenzen» В. Гейзенберг существенно переработал ее и расширил. Наш перевод сделан по этому изданию.

⁷² Мы даем подстрочный перевод, поскольку важный здесь для Гейзенберга аспект либо искажается, либо вовсе устраняется известными стихотворными переводами. Ср., например, перевод Н. А. Холодковского:

Так фабрикуют мысли. С этим можно

Сравнить хоть ткацкий, например, станок.

В нем управленье нитью сложно:
То вниз, то вверх спует челнок,
Незримо нити в ткань сольются;
Один толчок — сто петель вьются.

(Гёте И. В. Собрание сочинений в тринадцати томах. М., ОГИЗ, 1947. Т. V, с. 119).

Перевод Б. Л. Пастернака создает, по существу, иную метафору:

В мозгах, как на мануфактуре,
Есть ниточки и узелки.
Посылка не по той фигуре
Грозит запутать челноки.

(Гёте И. В. Фауст. М., «Художественная литература», 1969, с. 95.)

⁷³ См. прим. 59.

⁷⁴ Birkhoff G., Neuman J. von. The Logic of Quantum Mechanics//Annals of Math., 1936, vol. 37; Weizsäcker K. von. Komplementarität und Logik//Die Naturwissenschaften, Bd. 42, Heft 19, 20. Месьюков В. С. Очерки по логике квантовой механики. М., МГУ, 1986.

⁷⁵ Этот же принципиальный постулат квантовой теории только на другом конкретном примере более подробно разобран в кн.: Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., «Мир», 1978. Т. 8, 9. Квантовая механика, § 1, 2. Вероятностное истолкование волновой функции Шрёдингера и понятие суперпозиции состояний приводили, казалось, к парадоксальным заключениям, что вызвало серьезные споры между ведущими физиками-теоретиками. См. по этому поводу: Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным?//Эйнштейн А. Собр. научн. трудов. М., «Наука». Т. 3, с. 604—611; Бор Н. Дискуссии с Эйнштейном о проблемах теории познания в атомной физике//Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., ИЛ, 1961, с. 51—94; Шрёдингер Э. Современное положение в квантовой механике//Шрёдингер Э. Новые пути в физике. М., «Наука», 1971, с. 66—106.

⁷⁶ В основу статьи положен текст доклада 24 апреля 1973 г. на симпозиуме Смитсоновского института и Национальной Академии наук в Вашингтоне. Первая публикация: Heisenberg W. Tradition in Science//Science and Public Affairs. — In: Bulletin of The Atomic Scientists, 1973, vol. 29, № 10, p. 4—10.

⁷⁷ Weizsäcker K. von. Zum Weltbild der Physik. Stuttgart, 1970; Weizsäcker K. von. Tragweite der Wissenschaft. Schöpfung und Weltentstehung. Stuttgart, 1971.

⁷⁸ Ср. наст. изд., с. 83. См. также: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. München, 1976. S. 80.

⁷⁹ В основе статьи лежит текст лекции, прочитанной в Бонне в 1960 г. Первая публикация: Heisenberg W. Die Abstraction in der modernen Naturwissenschaft//Reden und Gedenkworte. Heidelberg, 1962, Bd. 4, S. 141—164.

⁸⁰ См. статью «Картина природы у Гёте и научно-технический мир» — наст. изд., с. 306—323.

⁸¹ Давид Гильберт (1862—1943) — один из крупнейших математиков и логиков XX в. В полемике с интуиционизмом Л. Э. Брауэра Гильберт разрабатывал широкую программу последовательной формализации логической структуры математики. В 1899 г. Гильберт

дал строго аксиоматическое построение геометрии Евклида (Гильберт Д. Основания геометрии. М.—Л., Гостехиздат, 1948). Работы Д. Гильберта и его учеников (П. Бернайс, В. Аккерман, Г. Генцен, И. фон Нейман и др.) развивали прежде всего теорию доказательств или метаматерику. В 1954—1939 годах Гильберт в соавторстве с П. Бернайсом опубликовал капитальный труд «Основания математики» (Hilbert D., Bernays P. Grundlagen der Mathematik. Berlin, 1934, Bd. 1; 1939, Bd. 2. Перевод: Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Т. 1. Логические исчисления и формализация арифметики. Т. II. Теория доказательства. М., «Наука», 1979, 1982 гг.).

⁸² Это основная проблема так называемой метаматерики. См.: Клини С. Введение в метаматерику. М., ИЛ, 1957. Цитируемое ниже высказывание Б. Рассела относится к 1910 г. См.: Рассел Б. Повеишие работы о началах математики/Новые идеи в математике. Сб. 1. Математика. Проблемы и значение ее. СПб., «Образование», 1913, с. 83.

⁸³ Карл Густав Карус (1789—1869) — врач, сравнительный анатом, психолог, натурфилософ, живописец-романтик, состоял в переписке с Гёте и опубликовал о нем ряд статей.

⁸⁴ «Пифагорейцы же, видя в чувственно воспринимаемых телах много свойств, имеющихя у чисел, объявили вещи числами, но не существующими отдельно, а такими, из которых состоят вещи. А почему же? Потому что свойства чисел имеются в гармонии звуков, в строении неба и во многом другом». — Аристотель. Метафизика, кн. XIV, гл. 3 (1090a 20—25)//Аристотель. Сочинения в четырех томах. М., «Мысль», 1976. Т. 1, с. 357—358.

⁸⁵ Там же, с. 75—76, 78.

⁸⁶ Бубер Мартин (1878—1965) — религиозный философ, иудаист, стремившийся к экзистенциальному освоению библейской традиции.

⁸⁷ В основе статьи лежит текст доклада на симпозиуме общества Караяна в Зальцбурге в 1969 г. Первая публикация: Heisenberg W. Die Tendenz zur Abstraction in moderner Kunst und Wissenschaft//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 260—274.

⁸⁸ См. статью «Картина природы у Гёте и научно-технический мир» — наст. изд., с. 306—323.

⁸⁹ Гюнтер Андерс (род. 1902 г.) — баварско-австрийский новеллист и поэт, философ и публицист. Защитил диссертацию у Э. Гуссерля. Впоследствии испытал влияние философов «Франкфуртской школы».

⁹⁰ В основе статьи лежит текст доклада на заседании Баварской Академии изящных искусств в Мюнхене в 1970 г. Первая публикация на немецком и английском языках: Heisenberg W. Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft//Meilensteine des Denkens und Forschens. Stuttgart, 1971. (Русск. пер. — Вопросы философии, 1979, № 12, с. 49—60. Наш перевод осуществлен заново по расширенному варианту статьи.)

⁹¹ Леопольд Кронекер (1823—1891) — берлинский математик, один из наиболее последовательных сторонников арифметизации математики. Трактат, о котором говорит Гейзенберг, назывался «О сложных единицах» («De unitatibus complexis»). См.: The Historical Development of Quantum Theory, vol. 2. The Discovery of Quantum Mechanics. Eds. Mehra J., Rechenberg A. New York etc. 1982, S. 5.

⁹² См. Плотин, Эннеады, 1, 6, 2; 3; 8: «Красота коренится в единстве... Красота цвета проста в своем образе и в победе над материальной тьмой в силу присутствия нетелесного света, каким являются логос и эйдос». — Plotinui opera. T. 1. Ed., P. Henry et H.-R. Schwyzer. Paris, Bruxelles, 1951, p. 107, 108, 115.

⁹³ Ницше Ф. Философия в трагическую эпоху Греции, гл. 3// Ницше Ф. Полное собрание сочинений, Московское книгоиздательство, 1912. Т. 1, с. 330—335.

⁹⁴ О музыкальной теории пифагорейцев см.: Ван дер Варден Б. Л. Пифагорейское учение о гармонии//Ван дер Варден Б. Л. Пробуждающаяся наука. Математика Древнего Египта, Вавилона и Греции. М., «Физматгиз», 1959, с. 393—434.

⁹⁵ В основе подобного определения красоты лежит понятие гармонии как соразмерной связи противоположных начал. Это одно из центральных понятий в учениях пифагорейцев, Гераклита, Эмпедокла; оно встречается в некоторых сочинениях Гиппократова корпуса. Платон связывает понятие красоты с идеей единого и благого, соответственно отвергая это древнее определение («Федон», 86a—95a). Позднее оно вновь возрождается стоиками. И. Стобей (V в. н. э.) передает мнение стоиков: «Как красота тела есть соразмерное устройство членов друг в отношении друга и в отношении к целому, так и красота души есть соразмерность разума и его моментов в отношении к целому и в отношении друг к другу». (Stoicorum Veterum Fragmenta coll. J. von Arnim, I—IV, Lipsiae, 1921—1923. Leiden, 1964, vol. III, fr. 278. Перевод: История эстетики. Памятники мировой эстетической мысли в пяти томах. Т. 1, М., Академия художеств, 1962, с. 139.) Тексты, собранные в этом издании, позволяют проследить историю данного определения в Средние века и в эпоху Возрождения.

⁹⁶ См. прим. 85.

⁹⁷ Аристотель. О небе, кн. II, гл. 13 (993a 25)//Аристотель. Соч., т. 3, с. 329.

⁹⁸ См. статью «Философские взгляды Вольфганга Паули», наст. изд., с. 283—289.

⁹⁹ Pauly W. Der Einfluss archetypischer Vorstellungen auf die Bildung naturwissenschaftlicher Theorien bei Kepler//Naturerklärung und Psyche. Zürich, 1952, S. 109—194. Перевод: Паули В. Влияние архетипических представлений на формирование естественнонаучных теорий у Кеплера//Паули В. Физические очерки, М. Наука, 1975, с. 137—175. Последняя фраза приводимой Гейзенбергом цитаты в русском издании переведена Ю. А. Даниловым неверно: вместо «Следует однако избегать...» (“Jedoch muss man sich davon hüten...”) стоит «Однако следует еще позаботиться о том...».

¹⁰⁰ Первая публикация: Heisenberg W. Wolfgang Paulys philosophische Auffassungen//Die Naturwissenschaften, 1959. 46. Jg., Heft 24, S. 661—663.

¹⁰¹ Первая работа, см. прим. 99. Вторая: Pauly W. Die Wissenschaft und das abendländische Denken//Europa — Erde und Aufgabe, Internationaler Gelehrtenkongress, Mainz 1956. Wiesbaden, 1956, S. 71—79.

¹⁰² Если подобное трансцендирование картезианского дуализма должно удовлетворять принципу соответствия, примеры В. Паули не более, чем намек, почти метафора. Не следует, однако, упускать из виду, что наряду со схоластическим аристотелизмом пантеистический натурализм XV—XVII веков составлял ту интеллектуальную среду, в которой формировался научный разум. См.: Reason,

experiment, and mysticism in the scientific revolution, Ed. by Bonelli M., Schea W., N. Y., 1975.

¹⁰³ В книге «Часть и целое», рассказывая о зарождении основных идей единой теории поля, которые в это время всецело захватили и В. Паули, В. Гейзенберг подробно цитирует это письмо Паули, полученное им накануне рождения 1957 г.: Heisenberg W. Der Teil und das Ganze, S. 273—274.

¹⁰⁴ Доклад, прочитанный 17 ноября 1953 г. в главной аудитории Мюнхенского высшего технического училища в ряду устроенных Баварской Академией изящных искусств чтений «Искусство в техническую эпоху». Первая публикация: Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik//Heisenberg W. Das Naturbild der heutigen Physik, Hamburg, 1955, S. 7—23.

¹⁰⁵ Kepler I. De Harmonice Mundi (1619)//Gesamtausgabe von Keplers Werke, hrsg. M. Caspar. München, 1940, Bd. VI.

¹⁰⁶ См.: Spence J. Anecdotes, Observations, and Characters of Books and Men. London, 1820, p. 54.

¹⁰⁷ В речи, произнесенной в ноябре 1937 г. в Болонье на физическом и биологическом съезде памяти Луиджи Гальвани, Н. Бор говорил: «В поисках параллели к вытекающему из атомной физики уроку об ограниченной применимости обычных идеализаций мы должны обратиться к совсем другим областям науки, например к психологии, или даже к особому рода философским проблемам; это те проблемы, с которыми уже столкнулись такие мыслители, как Будда и Лао Цзы, когда пытались согласовать наше положение как зрителей и как действующих лиц в великой драме существования». //Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 35. В статье 1949 г. о дискуссиях с Эйнштейном о проблемах теории познания Н. Бор замечает, что атомная физика «вынуждает нас в проблеме явлений занять позицию, напоминающую мудрый завет древних: в поисках гармонии в жизни никогда не забывать, что в драме бытия мы являемся одновременно и актерами, и зрителями». (Там же, с. 89.)

¹⁰⁸ В докладе «Вопрос о технике», с которым выступил на тех же чтениях 18 ноября немецкий философ М. Хайдеггер, он заметил по этому поводу: «Распространяется видимость, будто все представляющее человеку стоит лишь постольку, поскольку так или иначе поставлено им. Эта видимость со временем порождает последний обманчивый мираж. Начинает казаться, что человеку повсюду предстает теперь уже только он сам. Гейзенберг с полным основанием указал на то, что сегодняшнему человеку действительность должна представляться именно таким образом. Между тем на самом деле с самим собой, т. е. со своей сущностью, человек сегодня как раз нигде уже не встречается». (Хайдеггер М. Вопрос о технике//Новая технократическая волна на Западе. М., «Прогресс», 1986, с. 60. Другие аспекты спора М. Хайдеггера с В. Гейзенбергом разобраны переводчиком В. В. Библихиным в примечаниях к статье Хайдеггера (с. 434—437). См. также статью «К восьмидесятилетию Мартина Хайдеггера», наст. изд., с. 349—350.)

¹⁰⁹ См. другие переводы этой притчи: Атеисты, материалисты, диалектики Древнего Китая. Пер. и комм. Л. Д. Позднеевой. М., «Наука», 1967, с. 192. Рубин В. А. Идеология и культура Древнего Китая. М., «Наука», 1970, с. 137. Малайвин В. В. Чжуан-Цзы. М., «Наука», 1985, с. 134.

¹¹⁰ В этих словах можно усмотреть аллюзию на книгу австрийского искусствоведа и философа культуры Ганса Зедльмайра: Se d-

Im a y r H. Verlust der Mitte: die bildende Kunst des 19. und 20. Jahrhunderts als Symbol der Zeit. Salzburg, 1948. См. реферат этой книги в сб.: Общество. Культура. Философия. Материалы к XVII Всемирному философскому конгрессу. М., ИНИОН, 1983, с. 56—102.

¹¹¹ Доклад на пленарном заседании общества Гёте в Веймаре 21 мая 1967 г. Первая публикация: Heisenberg W. Das Naturbild Goethes und die technisch-wissenschaftliche Welt//Goethe—Neue Folge des Jahrbuchs der Goethe—Gesellschaft, hrsg. von Andreas B. Wachsmuth. Weimar, 1967, Bd. 29, S. 27—42.

¹¹² Эрих Хеллер (род. 1911 г.) — немецко-американский литературовед и историк культуры. Сб. его эссе (Heller E. The Artist's Journey into the Interior and other essays. N. Y., 1968) вышел по-немецки в 1966 г.

¹¹³ См. прим. 110.

¹¹⁴ Подробнее Гейзенберг говорит об этих платоновских понятиях в статье «К истории физического объяснения природы» (1932 г.)//Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. М., ИЛ, 1953, с. 25—27.

¹¹⁵ В 1953 г. Д. Уотсоном (США, род. 1928 г.) и Ф. Криком (Англия, род. 1916 г.) была предложена структурная модель дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), согласно которой молекула ДНК состоит из двух антипараллельных полинуклеотидных цепей, образующих правильную правозакрученную перевитую спираль. Структура молекулы ДНК (последовательность нуклеотидов в цепи) строго индивидуальна и специфична для каждой природной ДНК и представляет кодовую форму записи биологической информации (генетический код). В 1962 г. Д. Уотсон и Ф. Крик были удостоены Нобелевской премии по физиологии. См.: Уотсон Д. Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК. М., «Мир», 1969.

¹¹⁶ См. прим. 38. В докладе, прочитанном 25 апреля 1958 г. в Берлине на праздновании столетия со дня рождения М. Планка (Гейзенберг В. Открытие Планка и основные философские вопросы учения об атомах//Вопросы философии, 1958, № 11, с. 61—69), Гейзенберг впервые обнародовал свой вариант «мировой формулы», т. е. уравнения, которое «по крайней мере на первый взгляд выглядит таким образом, как будто бы оно выражает все известные свойства элементарных частиц и является истинным уравнением материи». Указ. изд., с. 68.

¹¹⁷ Первая публикация: Heisenberg W. Naturwissenschaft und Technik im politischen Geschehen unserer Zeit!! Dauer und Wandel. Festschrift zum 70sten Geburtstag von Carl J. Burckhardt. München, 1960, S. 194—197.

¹¹⁸ Карл Якоб Буркхардт (род. 1891 г.) — швейцарский политик, историк, эссеист. В 1937—1939 гг. в качестве Верховного комиссара Союза народов в Гданьске пытался предотвратить вторую мировую войну. После войны способствовал развитию международного сотрудничества.

¹¹⁹ Речь, произнесенная 23 марта 1973 г. в Баварской католической академии (Мюнхен) при получении премии имени Р. Гвардини. Первая публикация: Heisenberg W. Naturwissenschaftliche und religiöse Wahrheit//Heisenberg W. Schritte über Grenzen, S. 335—351.

¹²⁰ Романо Гвардини (1886—1968) — немецкий религиозный мыслитель. С 1947 г. профессор в Мюнхенской католической академии.

¹²¹ Евангелие от Иоанна, гл. 4, ст. 24.

¹²² Под угрозой пожизненного заключения Галилей выслушал, публично зачитал и подписал отречение 22 июня 1633 г. в доминиканском монастыре Santa Maria sopra Minerva. Документы процесса опубликованы: *Le opere di Galileo Galilei. Ristampa della Editio-ne Nazionale*, ed. A. Favaro. Firenze, 1929—1939, vol. XIX.

¹²³ Конференция состоялась в декабре 1948 г. в Ленинграде. В работе конференции приняло участие более 500 делегатов, среди них академики В. А. Амбарцумян, В. Г. Фесенков, Д. Н. Моисеев, Б. М. Кедров и др. См.: Прокофьева И. А., Конференция по идеологическим вопросам астрономии, созванная Ленинградским отделением Всесоюзного астрономического и геодезического общества//Природа, 1949, № 6, с. 71—77.

¹²⁴ См. наст. изд., с. 311.

¹²⁵ Первая публикация: Heisenberg W. Gedanken zur "Reise der Kunst ins Innere"//Versuche zur Goethe. Festschrift für Erich Heller zum 65. Geburtstag, hrsg. von V. Dürr und G. v. Molnár, Heidelberg, 1976. Речь идет о книге Эриха Хеллера (см. прим. 112).

¹²⁶ Творчество О. Родена, П. Сезанна и раннего Пикассо (в особенности цикл «Странствующие акробаты») имело для Р. М. Рильке силу художественного откровения. Но первые опыты кубизма произвели на него отталкивающее впечатление. «Озорство и бессмысленный каприз», «отрава, чистая отрава», «свобода, которой злоупотребляют самым жалким образом», «манера подкожной живописи, которая занимается сама собой под покровом целостного образа», «анархия видения, доведенного до пределов и извращенного микроскопическим изощрением, сопровождающаяся растущей неразличимостью столь большого числа постижений». Э. Хеллер цитирует (op. cit., p. 161—162) отрывки из писем Рильке 1911—1916 гг., впервые опубликованных в кн.: Meyer H. *Zarte empirie*. Stuttgart. 1963, S. 308—311.

¹²⁷ «В чем твоя цель в философии? — Указать мухе выход из мухоловки (Fliegenglas)». — Wittgenstein L. *Philosophische Untersuchungen*. Frankfurt am Main, 1980, S. 162 (§ 309).

¹²⁸ Беседу о языке, в контексте которой Н. Бор высказал эту мысль, В. Гейзенберг подробно излагает в книге «Часть и целое»// Heisenberg W. *Der Teil und das Ganze*, S. 163.

¹²⁹ Первая публикация: Heisenberg W. *Martin Heidegger zum 80. Geburtstag*//Dem Andenken Martin Heidegger. Zum 26. May 1977. Frankfurt am Main, 1977, S. 45.

¹³⁰ См. прим. 108. Ср. также: Heisenberg W. *Grundlegende Voraussetzungen in der Physik der Elementarteilchen*//Martin Heidegger zum 70. Geburtstag: Festschrift. Pfullingen, 1959, S. 276—290. О диалоге между М. Хайдеггером и В. Гейзенбергом см.: Chioldi P., *Il problema della tecnica in un incontro fra Heidegger e Heisenberg!* "Aut aut". Milano, 1956, № 32, p. 87—108.

Именной указатель

- Аккерман В. — 359
Амбарцумян В. А. — 363
Андерс Г. — 264, 359
352, 356
Андерсон К. — 151, 153, 163
Аристарх (Самосский) — 197
Аристотель — 11, 21, 123, 170—
171, 210, 223, 232, 240, 250,
271, 272, 273, 274, 281, 329,
337, 359
Архимед — 201, 202
- Бак Е. — 174
Бах И.-С. — 44, 265
Беллармин Р. — 335
Бёме Я. — 286
Бернайс П. — 359
Бесикович — 53
Бете Г. — 57, 135, 355
Бетховен Л. ван — 228
Бибахин В. В. — 361
Бирман Л. — 156
Биркгоф Г. — 219, 358
Блох Л. — 167
Блэй М. — 152
Блэккетт П. — 26, 151, 163, 356
Бойль Р. — 126
Болин К. — 65, 351
Больцман Л. — 126, 127, 179
Бор Н. — 6, 24, 25, 26, 46—61,
62—66, 69, 74, 75, 79, 80, 82,
84, 85, 86, 91, 92, 93, 94, 95,
96, 98, 127, 128, 134, 140, 145,
146, 147, 171, 173, 174, 188,
218, 228, 229, 231, 237, 287, 288,
295, 347, 349, 350, 353, 361,
363, 354
Бор Х. — 53
Борн М. — 5, 6, 26, 49, 53, 54,
58, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 69,
70, 71, 73, 74, 82, 97, 99, 229,
351
Брак Дж. — 344
Брауэр Л. — 358
Брехт Б. — 340
Бруно Дж. — 29
- Бубер М. — 256, 359
Будда — 361
Буркхардт К. Я. — 324, 325,
362
Бьеррум Н. — 60
Бьёркен Дж. — 239
- Вайнберг С. — 352
Вамбахер Г. — 152
Ван дер Варден Б. — 188, 189,
360
Вейль Г. — 72
Вейцеккер К., фон — 5, 31, 135,
184, 185, 187, 188, 219, 220,
222, 232, 355, 357, 358
Вентцель Г. — 93, 229
Вигнер Е. — 76, 146, 355
Вильсон Ч. — 58, 67, 72, 75, 76,
83, 98, 99, 100, 151, 154, 155,
216, 261
Вин В. — 56
Винер Н. — 73
Витгенштейн Л. — 349, 363
Вольта А. — 203, 252
Вольф К. — 37
- Гайдн Й. — 43, 228
Гальвани Л. — 203, 252, 361
Галилей Г. — 29, 114, 119, 166,
187, 227, 230, 232, 234, 235, 240,
273, 274, 290, 291, 309, 328,
329, 335, 336, 337, 338, 340,
363
Гамильтон У. — 65
Ган О. — 130, 135, 138, 229,
355
Гассенди П. — 27, 40, 236
Гвардини Р. — 328, 333, 334,
362
Гейгер Г. — 57, 234
Гейзенберг В. — 5—22, 67
Гендель Г. — 63
Генцен Г. — 359
Гераклит — 109, 360
Герлах В. — 82
Герц Г. — 203
Гесс В. — 356

- Гёте И. — 210, 228, 235, 243, 246,
 247, 254, 255, 259, 260, 262,
 306—322, 338, 343, 344, 345,
 Гельдерлин Ф. — 44
 Гиббс Дж. — 51, 126, 127, 184,
 186, 192, 196, 203, 237
 Гильберт Д. — 63, 70, 72, 100,
 101, 104, 245, 358, 359
 Гитлер А. — 87, 88
 Гоббс Т. — 27
 Голдстоун Дж. — 104, 167
 Гуссерль Э. — 359

 Дайсон Ф. — 354
 Данилов Ю. А. — 360
 Дарвин Ч. — 246, 289
 Де Бройль Л. — 54, 60, 73, 85,
 180
 Декарт Р. — 27, 41
 Демокрит — 10, 11, 12, 13, 15,
 16, 17, 18, 21, 40, 107, 108, 110,
 111, 113, 115, 118, 120, 124,
 125, 151, 170, 171, 238, 239,
 270, 293
 Джолли П. — 201
 Дильс Г. — 353
 Динглер Г. — 172, 215, 356
 Дильтей В. — 26
 Дирак П. — 26, 53, 58, 60, 70,
 75, 82, 97, 99, 102—106, 147,
 151, 163, 186, 351, 352
 Достоевский Ф. М. — 328, 333,
 334
 Дюрр Г.-П. — 176

 Евклид — 37, 38
 Еитиро Намбу — 356

 Зедльмайр Г. — 361
 Зеeman П. — 66, 67, 167, 174
 Зенон (Элейский) — 243
 Зоммерфельд А. — 24, 25, 39,
 46, 47, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74,
 79, 80, 81, 83, 94, 95, 127, 188,
 229, 353

 Иордан П. — 5, 26, 53, 54, 58,
 65, 70, 71, 72, 74, 75, 82, 97,
 99, 129, 174, 351, 354

 Кант И. — 13, 124, 171, 173,
 233, 288, 353, 356
 Капица П. Л. — 25, 351
 Карекьярто — 65
 Карус К. — 247, 359
 Кастелли Б. — 335

 Каччини П. — 336
 Кедров Б. М. — 363
 Кекуле Ф. — 223
 Кеплер И. — 178, 187, 227, 232,
 233, 274, 278, 279, 280, 281, 283,
 284, 285, 290, 291, 328, 330,
 338, 340, 360, 361
 Кларк Р. — 87, 88
 Клейн О. — 59
 Клейст Г., фон — 44
 Клини С. — 359
 Кокрофт Дж. — 138, 355
 Колумб Х. — 44
 Комитон А. — 49, 82
 Коперник Н. — 226, 227, 230,
 232, 234, 235, 240, 311, 328,
 329, 335, 336, 338, 339
 Крамерс Г. — 46, 47, 48, 49, 50,
 51, 52, 54, 57, 60, 66, 67, 68,
 94, 96
 Крик Ф. — 320, 362
 Кронекер Л. — 268, 359
 Ксенофонт — 43, 350
 Кун В. — 69, 351
 Кун Т. — 353

 Ладенбург Р. — 66
 Лао Цзы — 361
 Лаплас П. — 124, 179, 353
 Лапорт О. — 229
 Лауэ М., фон — 81, 82, 100, 193,
 195
 Левкипп — 40, 107, 108, 110,
 111, 115, 124
 Лейтон Р. — 358
 Ленц В. — 71, 229
 Лейбниц Г. — 26, 27
 Лондон Ф. — 352
 Лоренц Г. — 60, 72, 78, 106, 119,
 148, 151, 154, 161, 166, 167,
 168, 187, 196, 215, 237, 347
 Лоренц К. — 183
 Лорини — 335
 Лурье С. Я. — 15, 353
 Лютер М. — 199

 Майкельсон А. — 187
 Максвелл Дж. — 79, 93, 159,
 169, 179, 181, 196, 236, 252
 Малявин В. В. — 361
 Маркс К. — 10
 Матисс А. — 344
 Менделеев Д. И. — 354
 Мендель Г. — 247
 Мерсенн М. — 27
 Метнер Л. — 229

- Моисеев Д. Н. — 363
 Моцарт В. — 43, 44, 228
- Неддермайер С.** — 153
 Нейман И., фон — 184, 219, 352
 Нернст В. — 82
 Ницше Ф. — 255, 269, 360
 Нортхайм Л. — 65
 Нострадамус — 310
 Ньютон И. — 6, 7, 8, 38, 114, 115, 124, 132, 178, 179, 186, 187, 211, 230, 236, 237, 250, 251, 274, 275, 281, 290, 291, 292, 302, 308, 309, 314, 315, 328, 329
- Овчинников Н. Ф.** — 3, 22
 Оккиалини Дж. — 151, 356
 Окунь Л. Б. — 356
 Оппенгеймер Р. — 26
- Павел V (папа)** — 335
 Памфилов Ю. С. — 350
 Пайс А. — 155
 Парменид — 110, 270
 Пастернак Б. Л. — 310, 318, 358
- Паули В.** — 26, 55, 59, 60, 64, 65, 71, 72, 73, 85, 86, 95, 102, 170, 229, 278, 279, 280, 281, 283 и далее, 340, 353, 357, 360
- Паур Г.** — 43
 Пауэлл С. — 164, 164
 Пашен Ф. — 166, 174
 Пиаже Ж. — 20
 Пикассо П. — 344, 363
 Пифагор — 37, 38, 227, 250, 270, 271, 272, 273
- Планк М.** — 6, 24, 41, 56, 60, 62, 69, 74, 76, 80, 82, 98, 100, 127, 145, 184, 194, 195, 201, 217, 218, 228, 229, 281, 362
- Платон** — 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 21, 40, 108, 111, 112, 118, 119, 121, 122, 171, 210, 232, 233, 240, 270, 272, 273, 278, 279, 281, 284, 285, 288, 338, 321, 320, 334, 337, 348
- Плотин** — 269, 282, 284, 360
 Подольский Б. — 358
 Позднеева Л. Д. — 361
 Поль Р. — 63
 Пошпер К. — 185, 357
 Портманн А. — 279
 Прокл — 278, 284
 Прокофьева И. А. — 363
- Птолемей** — 176, 198, 227, 250, 329, 338
 Пуанкаре А. — 187
- Раман Ч.** — 60, 68, 96
 Рассел Б. — 245, 359
 Ратенау В. — 81
 Резерфорд Э. — 24, 92, 93, 127, 134, 140, 145, 171, 228, 229, 237
 Рентген В. — 24
 Рильке Р.-М. — 343, 363
 Ритц В. — 92
 Роден О. — 363
 Розен Н. — 358
 Росселанд С. — 48
 Рубенс Г. — 82
 Рубин В. А. — 361
 Рузвельт Ф. — 88
 Руссо Ж.-Ж. — 228, 262
- Сезанн П.** — 363
 Сент-Экзюпери А., де — 266, 327
 Слэтер Дж. — 57
 Сэндс М. — 358
 Сократ — 107, 119, 121, 210,
 Стобей — 360
 Сциллард Л. — 88
- Томас В.** — 69, 351
 Томонага С. — 354
- Уолтон Э.** — 138, 355
 Уотсон Дж. — 320, 362
 Урбан VIII (папа) — 335
- Фалес** — 108, 269, 271
 Фарадей М. — 51, 182, 191, 196, 203, 236, 252
 Фаулер П. — 70
 Фейнман Р. — 354, 358
 Ферма П. — 188
 Ферми Э. — 26, 65, 102, 103, 164, 231, 356
 Фесенков В. Г. — 363
 Фидий — 43
 Флудд Р. — 285, 286
 Фома Аквинский — 228
 Фогт В. — 174, 175
 Форбуш С. — 156
 Фостер Дж. — 55
 Фрайер Г. — 44
- Хайдеггер М.** — 348, 361, 363
 Хаксли О. — 313

- Ханле Ю. — 68
Харди Дж. — 53
Хеллер Э. — 314, 343, 347, 362,
363
Холодковский Н. А. — 357
Хунд Ф. — 65, 76
- Цезарь Ю. — 43
Цельтер К. — 310, 312
- Чжуан Цзы — 298, 361
Чивиц О. — 60
- Швингер Ю. — 354
Шиллер Ф. — 30, 259, 318, 319,
322
Шрёдингер Э. — 54, 55, 56, 60,
73, 74, 85, 98, 99, 100, 159, 165,
169, 180, 193, 195, 229, 229,
350, 358
- Штарк Й. — 46, 47, 55, 94, 167
Штерн О. — 82, 94
Штрассманн Ф. — 355
- Эйнштейн А. — 61, 61, 72, 76,
78, и далее, 95, 96, 99, 100,
101, 118, 127, 132, 179, 193,
194, 195, 196, 198, 215, 227,
229, 252, 351, 352, 353, 358
Эмпедокл — 360
Энгельс Ф. — 10
Эренфест П. — 61, 70, 76
- Юкава Х. — 153, 154
Юнг К.-Г. — 278, 279, 280, 284,
285, 288
Юри Х. (Urey Н.) — 48
- Якоби К. — 65
Ясперс К. — 306

Оглавление

Ученый-мыслитель XX века (Вступительная статья)	5
Наука как средство взаимного понимания народов (перев. Н. Ф. Овчинникова)	23
О соотношении гуманитарного образования, естествознания и западной культуры (перев. А. В. Ахутина)	34
Воспоминания о Нильсе Боре, относящиеся к 1922—1927 годам (перев. В. В. Бибикина)	46
Первые шаги квантовой механики в Геттингене (перев. В. В. Бибикина)	62
Встречи и беседы с Альбертом Эйнштейном (перев. Ю. В. Красняка)	78
Развитие понятий в истории квантовой механики (перев. В. В. Бибикина)	91
Закон природы и структура материи (перев. А. В. Ахутина)	107
Исследование атома и закон причинности (перев. А. В. Ахутина)	123
Роль физики элементарных частиц в развитии современного естествознания (перев. В. В. Бибикина)	134
Космическое излучение и фундаментальные проблемы физики (перев. В. В. Бибикина)	150
Что такое элементарная частица? (перев. В. В. Бибикина)	163
Понятие замкнутой теории в современной естественной науке (перев. А. В. Ахутина)	178
Критерии правильности замкнутой теории в физике (перев. В. В. Бибикина)	184
Изменения структуры мышления в развитии науки (перев. А. В. Ахутина)	190
Конец физики? (перев. А. В. Ахутина)	201
Язык и реальность в современной физике (перев. А. В. Ахутина)	208
Традиция в науке (перев. В. В. Бибикина)	226
Абстракция в современной науке (перев. А. В. Ахутина)	241
Тенденция к абстрактности в современном искусстве и науке (перев. А. В. Ахутина)	258
Значение красоты в точной науке (перев. А. В. Ахутина)	268
Философские взгляды Вольфганга Паули (перев. В. В. Бибикина)	283
Картина природы в современной физике (перев. А. В. Ахутина)	290
Картина природы у Гёте и научно-технический мир (перев. А. В. Ахутина)	306
Естествознание и техника в политических событиях нашего времени (перев. В. В. Бибикина)	324
Естественнонаучная и религиозная истина (перев. В. В. Бибикина)	328
Размышления о книге «Путешествие искусства во внутренний мир» (перев. В. В. Бибикина)	343
К восьмидесятилетию М. Хайдеггера (перев. В. В. Бибикина)	348
Примечания	350
Именной указатель	364