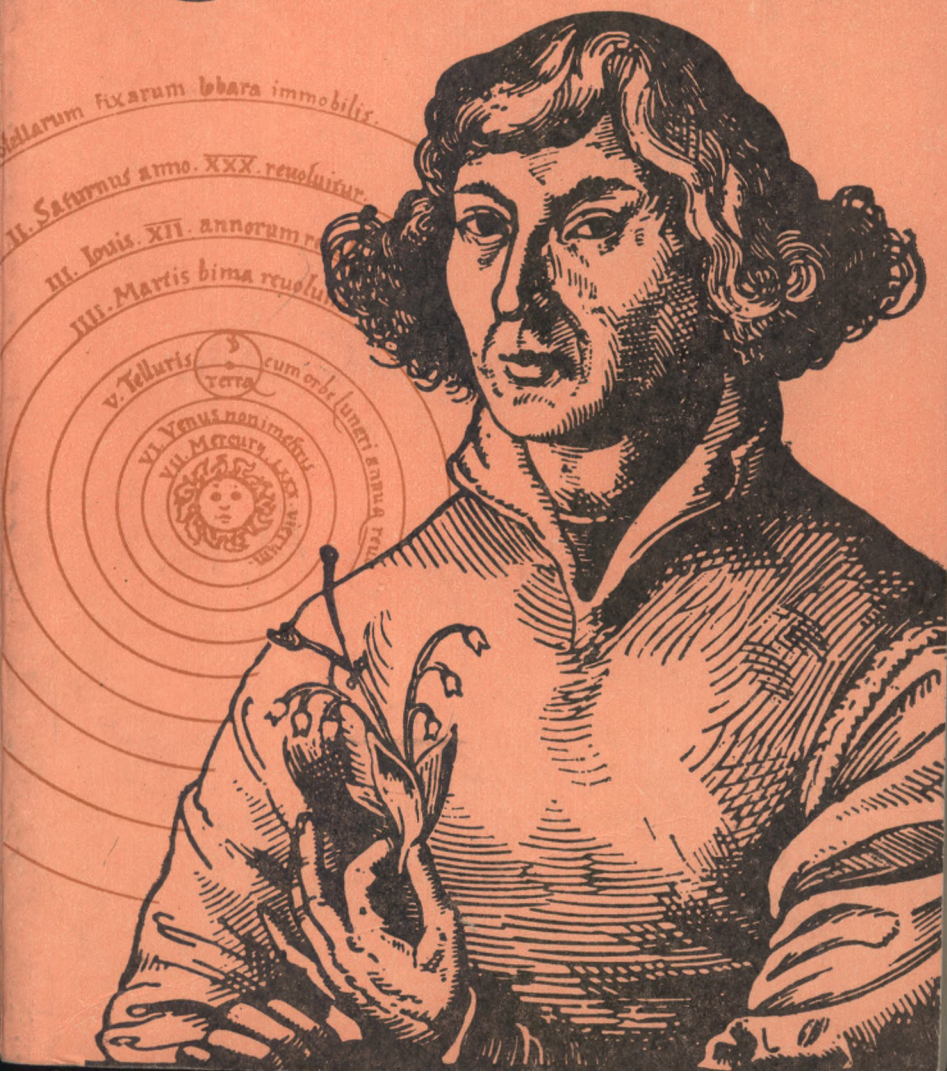
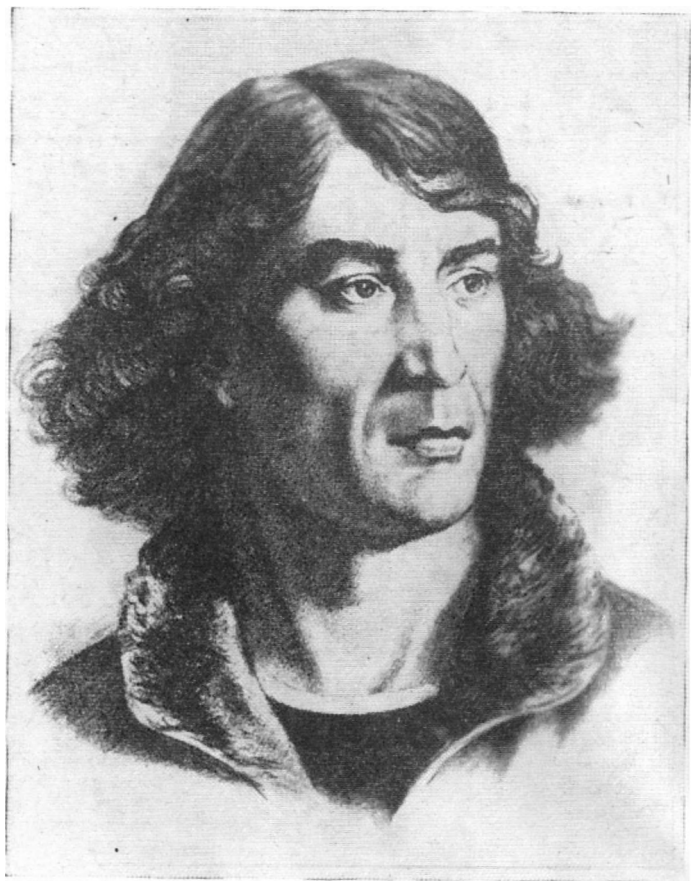


Е. А. Требеников

# НИКОЛАЙ КОПЕРНИК







**НИКОЛАЙ КОПЕРНИК**  
(1473—1543)

*Е. А. Трубеников*

# НИКОЛАЙ КОПЕРНИК

Издание второе,  
переработанное и дополненное



МОСКВА «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
1982



22.6г

Г79

УДК 52(09)

**Гребеников Е. А.**

**Г79** Николай Коперник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. — 144 с. с ил.

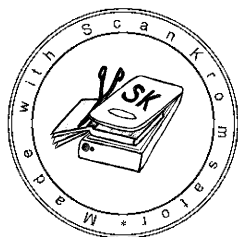
Книга посвящена изложению в популярной форме событий, фактов и основных идей, связанных с появлением, утверждением и строгим обоснованием коперниковой системы мироздания. Приводится достаточно подробное изложение основного сочинения «О вращении небесных сфер». Излагаются и другие сочинения Коперника.

Новое издание (предыдущее выходило в 1973 г.) значительно дополнено как данными из биографии самого Коперника, так и материалами о его предшественниках.

Для лиц, интересующихся историей естествознания: лекторов, преподавателей средней школы, старшеклассников, студентов вузов и техникумов, любителей астрономии.

**Г** 1705010000 — 090  
053 (02)-82 180-82

**ББК 22.6г**  
**52 (09)**



Scan AAW

**Г** 1705010000 — 090  
053 (02)-82 180-82

© Издательство «Наука».  
Главная редакция  
физико-математической  
литературы, с изменениями,  
1982

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ . . . . .	6
ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ . . . . .	8
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	9
I. ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА	12
1. Детство и юность . . . . .	12
2. Годы, проведенные в Италии . . . . .	18
3. Деятельность на родине . . . . .	23
II. БЕССМЕРТНОЕ СОЧИНЕНИЕ НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА «О ВРАЩЕНИЯХ НЕБЕСНЫХ СФЕР» . . . . .	34
1. История публикации основного труда Коперника . . . . .	34
2. Книга Первая . . . . .	38
3. Книги Вторая, Третья, Четвертая . . . . .	47
4. Книги Пятая и Шестая . . . . .	67
5. Другие произведения Николая Коперника . . . . .	70
6. Сопоставление научного трактата Коперника и сочинения «Альмагест» Птолемея . . . . .	76
7. Анализ роли в астрономии Клавдия Птолемея и его сочинения «Альмагест», выполненный Робертом Ньютоном . . . . .	80
III. ТОРЖЕСТВО ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОГО УЧЕНИЯ . . . . .	90
1. Доказательство истинности гелиоцентрической системы . . . . .	90
2. Борьба за признание гелиоцентрической системы мира в Западной Европе . . . . .	99
3. Николай Коперник и польская культура того времени . . . . .	102
4. Влияние учения Коперника на науку и культуру России . . . . .	103
5. О математических моделях для Солнечной системы . . . . .	111
6. Гелиоцентрическое учение и теория относительности . . . . .	117
7. Николай Коперник и космология . . . . .	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	131
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	142

## ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

В 1973 году все прогрессивное человечество широко отметило славный юбилей — 500-летие со дня рождения основоположника современного естествознания, великого польского астронома и мыслителя Николая Коперника. В связи с этим юбилеем в нашей стране, в Польской Народной Республике, в других странах социализма были организованы различные научные конференции, юбилейные сессии академий наук, на которых были сообщены новые, неизвестные ранее фактические материалы, касающиеся исторических аспектов гелиоцентрического учения и его повсеместного утверждения, а также высказаны новые идеи, отражающие влияние гелиоцентрического мировоззрения на современную науку.

Эти новые данные позволили сделать немало дополнений к содержанию нашей брошюры, первое издание которой готовилось к печати еще до празднования юбилея Коперника. Они относятся прежде всего к анализу влияния гелиоцентрического учения на культуру и общественное мнение различных народов, на уровень развития различных направлений естествознания.

Это первая причина, которая стимулировала нашу работу над вторым изданием.

Последние десятилетия характеризуются накоплением большого количества наблюдательного материала, дальнейшим развитием теоретических исследований в астрономии, физике, химии и других науках, новыми, выдающимися, порой неожиданными открытиями. Космологические исследования Вселенной в целом и отдельных ее частей, изучение пространственного устройства звездных скоплений, галактик, скоп-

лений галактик, наконец, Метагалактики, а также проблем происхождения и эволюции космических объектов галактических масштабов дали возможность ученым проникнуть в глубинные процессы, протекающие в пространственно-временных космологических масштабах. Все эти достижения современной астрономии и физики берут начало в гениальном учении Николая Коперника. Поэтому, излагая, хотя бы и весьма кратко, новые достижения современного естествознания, мы еще раз убеждаемся в непреходящем значении гелиоцентрического учения для всего естествознания. Это вторая причина, побудившая нас внести некоторые дополнения во второе издание.

Наконец, имеется еще одно обстоятельство, стимулировавшее нашу работу. Мы имеем в виду выход в свет большой исторической монографии американского небесного механика Роберта Ньютона с весьма интригующим названием «Преступление Клавдия Птолемея». Нам кажется, что книга Р. Ньютона появилась в наиболее подходящий момент. Независимо от того, насколько обоснованными являются выводы Р. Ньютона о роли и месте в истории науки Клавдия Птолемея и его сочинения «Альмагест», появление самой книги «Преступление Клавдия Птолемея» можно рассматривать как своего рода подарок к юбилею Коперника. Некоторые результаты анализа и идеи Р. Ньютона мы включили в предлагаемую читателю книгу о гениальном Копернике.

29 июля 1981 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

В этой брошюре мы хотим рассказать о великом научном подвиге, который совершил гениальный ученый Николай Коперник.

Достаточно полное изложение гелиоцентрического учения, содержащегося в бессмертном творении Николая Коперника «О вращениях небесных сфер», на наш взгляд, не представляется возможным без сопоставления и сравнения с достижениями астрономии в докоперников период, а значение и величие этого творения осознаются лишь в свете достижений естествознания в последующие эпохи. По этой же причине мы сочли необходимым уделить много места в брошюре фактам, доказывающим истинность гелиоцентризма, изложению некоторых его философских аспектов, борьбе ученых-материалистов за распространение и утверждение этого революционного учения, борьбе против догматизма и схоластики в науке. Этим объясняется включение в брошюру описания экспериментов, непосредственно доказывающих истинность гелиоцентрической картины мироздания, а также краткого исторического очерка о борьбе за признание гелиоцентризма в различных странах.

Меньшее внимание уделено биографии Николая Коперника, так как, по нашему мнению, главным в оценке роли выдающегося представителя науки является анализ его научного наследия и того влияния, которое оно оказало на развитие науки в последующую эпоху.

Именно из этого мы исходили, когда приступили к написанию брошюры.

20 сентября 1972 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Легче, кажется, двигать самые планы, чем постичь их сложное движение.

*Клавдий Птолемей*

В 1973 году исполнилось 500 лет со дня рождения гениального мыслителя, выдающегося реформатора науки, великого сына польского народа Николая Коперника. В ту далекую от нас эпоху гелиоцентрическое учение Коперника было равносильно революционной перестройке не только естествознания и древнейшей части его — астрономии, но и методов научного исследования и познания. Учение Николая Коперника закономерно привело к радикальным изменениям в образе мышления исследователей, повернув его от привычных и закоренелых догм, казавшихся в те поры бесспорными и незыблемыми, к непосредственному исследованию многогранной истины реального мира.

В отличие от знаменитых представителей науки античного мира, считавших видимые движения небесных светил безусловной истиной и сумевших с помощью остроумных догадок изобрести замечательные кинематические модели для их описания, Коперник ввел в науку принцип относительного восприятия движений, значение которого распространяется далеко за рамки науки о планетах и звездах. *Сущность этого принципа в том, что не всякое кажущееся, видимое движение действительно и не всякое действительное движение заметно, ощутимо.* Каждого исследователя этот принцип, несомненно, призывает к поиску истины



не на поверхности явления, а в глубине его, в его сущности.

Известный норвежский полярный исследователь Фритьоф Нансен (1861—1930) писал: «Когда Коперник посягнул на центр мироздания и швырнул Землю в мировое пространство на орбиту вокруг Солнца, свершилась великая революция человеческой мысли. В средние века центром Вселенной были Земля и человек. Отныне мы стали всего лишь незначительным звеном мирового движения». Коперник взглянул на Солнечную систему как бы со стороны и увидел ее такой, какая она есть на самом деле, а не какой она нам представляется в ежедневных восприятиях. Он дал возможность человечеству увидеть действительное положение вещей в картине мироздания.

Замечательные идеи Коперника, составляющие фундамент гелиоцентрического учения, разрушили до основания принципы церковно-теологического мировоззрения, господствовавшего в сознании людей на протяжении двух тысячелетий, и опровергли средневековую картину мироздания, основанную на геоцентрической доктрине древнегреческого ученого Клавдия Птолемея (II век н. э.). Своим творчеством Николай Коперник оказал огромное влияние на все последующее развитие естественных наук. Подобно могучей ракете, медленно и с неохотой отрывающейся от Земли, но постепенно приобретающей огромную скорость для того, чтобы лететь в бесконечные дали Вселенной, естествознание после Коперника развивалось и развивается все с большей и большей скоростью, проникая все глубже в окружающий нас бесконечный мир, частицей которого мы являемся.

Коперник не только выдвинул новые, не до конца понятые многими его современниками, фундаментальные научные идеи. Счастливое гармоничное сочетание выдающегося таланта, безграничной убежденности в истинности своих гипотез и удивительной работоспособности позволило Копернику, затратившему не один десяток лет кропотливого труда, убедительно обосновать и детально разработать свои идеи, доведя их до цельного, логически строгого и последовательного учения о мироздании.

К Копернику как нельзя лучше подходят прекрасные слова древнегреческого поэта-трагика Софокла (496—406 гг. до н. э.):

Много в мире сил великих,  
Но сильнее человека  
Нет в природе ничего.

Его бессмертный трактат «О вращениях небесных сфер» занимает достойное место среди сочинений, составляющих вершину достижений человеческого гения в области естествознания.

Поэтому 1973-й год по праву может быть назван годом Коперника.

## І. ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА

Коперник — человек высшего гения и, что в этих (астрономических) вопросах особенно важно, свободного мышления.

*Кеплер, 1618 год*

### 1. Детство и юность

Гениальный реформатор естествознания, основатель новой астрономии, Николай Коперник родился 19 февраля 1473 года в польском городе Торуне, расположенном на Висле. К этому времени Торунь, благодаря своему выгодному географическому положению, стал крупным торговым центром, через который шла оживленная торговля между странами Западной Европы, Польшей и Венгрией.

Известно, что задолго до завоевания этих районов Польши крестоносцами в 30-х годах XIII столетия на месте нынешнего города было древнее славянское поселение. В 1233 году магистр ордена крестоносцев выдал ремесленному и купеческому поселку «право города» и, таким образом, возник, наряду со старым Торунем, городом купцов и ремесленников, Новый Город (Новэ Място), заселенный в основном колонистами. Исключительно благоприятные экономические условия сделали Торунь одним из богатейших городов Польши, в состав которой он вошел в 1454 году. Расцвет архитектуры, градостроительства и искусства в XIV — XV веках позволили замечательному ученику и последователю Коперника Иоахиму Ретику (1514—

1576) сказать, что «Торунь до времени рождения моего учителя, Николая Коперника, славился во всем мире своим богатством и торговлей, отселе же прославлять его будет имя Коперника».

Отец великого астронома, Николай Коперник-старший, уроженец тогдашней столицы Польши (наиболее вероятно, что он родился в 1420 году), древнего

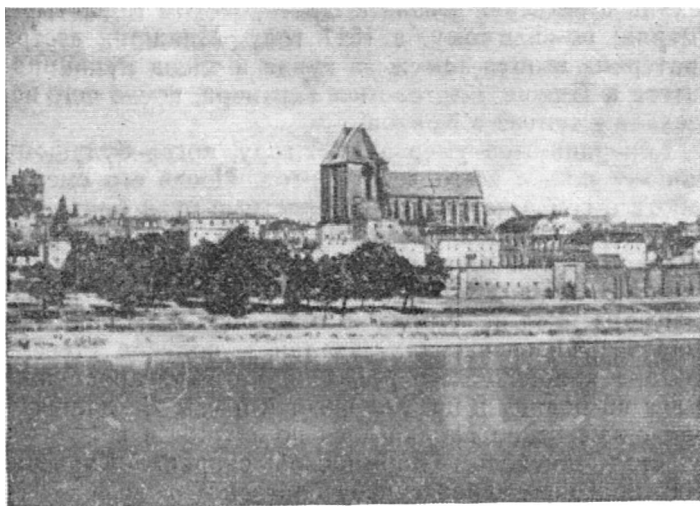


Рис. 1. Общий вид города Торунь. За Вислой — собор святого Яна (XIII век).

города Кракова, был видным представителем купеческих кругов. Около 1460 года, руководствуясь, по-видимому, своими торговыми интересами, он переехал из Кракова в Торунь, где и прожил остальную часть жизни. О нем известно также, что он был весьма уважаемым человеком в Торуне и пользовался авторитетом у горожан, избравших его в течение девятнадцати лет выборным городским судьей. В Торуне Николай Коперник-старший женился на дочери председателя городского суда, Варваре Ватзенроде, происходившей из богатой старинной торуньской семьи. Бракосочетание состоялось между 1458 и 1463 годами (более точная дата неизвестна).

От этого брака появилось четверо детей: старший сын Андрей, сестры Варвара и Екатерина, младший сын Николай. Наиболее вероятный год рождения старшего брата, Андрея, 1464-й. Свое образование он начал в Краковском университете, а завершил в Италии. После возвращения на родину занимал должность каноника во Фромборке, где и умер в 1518 или 1519 году. Старшая сестра Варвара постриглась в монахини и прожила жизнь в Цистерокском монастыре. Умерла, по-видимому, в 1517 году. Младшая сестра Екатерина вышла замуж за купца и члена муниципалитета в Торуне, Бартоломея Гертнера, после чего переехала с семьей в Краков.

Коперник-отец умер в 1483 году, когда будущему ученому пошел всего десятый год. После его смерти забота о семье переходит во властные руки брата матери, Луки Ватзенроде (1447—1512), сыгравшего в жизни Николая Коперника исключительную роль. Он учился в лучших университетах того времени и, по-видимому, был незаурядной личностью. Закончив Болонский университет в Италии и получив степень доктора канонического права, Лука Ватзенроде вернулся на родину и принял духовный сан. В дальнейшем он уверенно продвигался по службе и в 1489 году стал епископом Вармийской епархии. Карьера дяди предопределила судьбу братьев Андрея и Николая, которая, по замыслу Луки Ватзенроде, должна была быть похожей на его собственную.

В 1489 году умерла мать Коперника, Варвара Ватзенроде, и забота о всех детях стала обязанностью дяди.

Начальное образование Николай Коперник и его брат получили в торуньской школе, а несколько позже они были переведены в кафедральную школу во Влоцлавске с целью подготовки для поступления в Краковский университет, славившийся во всей Европе высоким научным уровнем преподавания и лучшими гуманистическими традициями. Хотя Краковский университет, основанный в 1364 году, был одним из младших европейских университетов, туда проникли из Италии новые веяния эпохи Возрождения. Преподавание вели профессора, снискавшие славу лучших педагогов не только в Польше, но и далеко за ее пределами. Преподавание в университете велось на

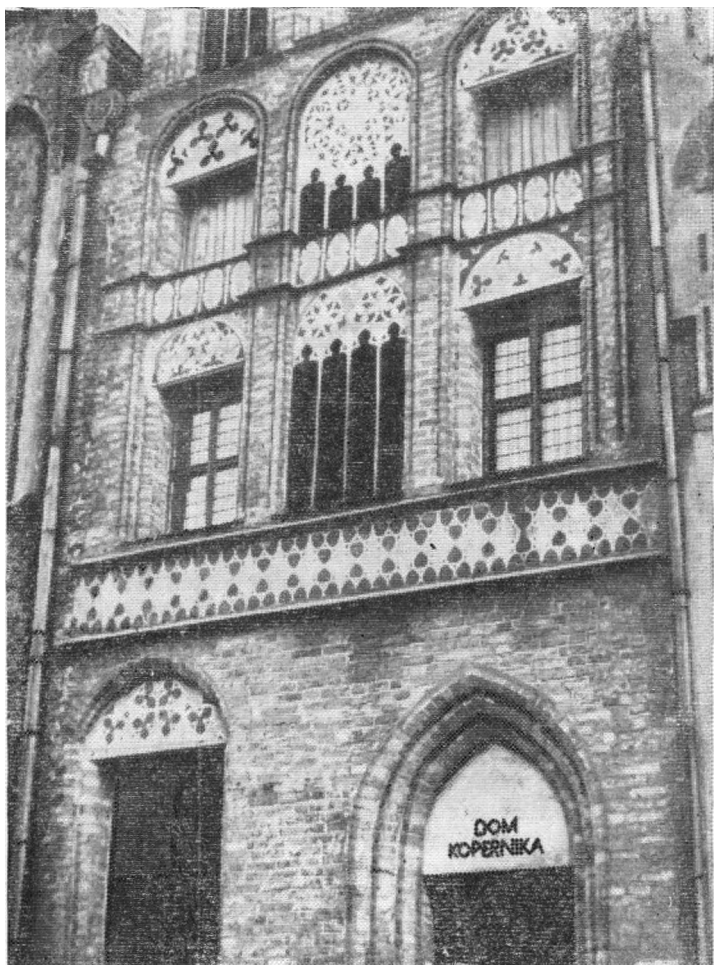


Рис. 2. Фасад дома, в котором родился Николай Коперник.



латинском языке, и каждый год на его факультеты зачислялось 300 студентов различных национальностей. На факультете свободных искусств, студентом которого был Коперник на первом году обучения, преподавались математика, астрономия, физика, теория музыки. Здесь же он получил и определенные познания в медицине.

В то время Краковский университет был известным астрономическим центром, накопившим определенные традиции в преподавании астрономии. Еще до 1410 года в университете работала кафедра астрономии и математики, которую основал житель Кракова Стобнер.

В 1459 году Мартин Круль создал в Краковском университете еще одну кафедру — кафедру астрологии, занимавшуюся, в частности, многими практическими вопросами астрономии.

Большое внимание в преподавании уделялось учению Аристотеля, литературе Древней Греции и Древнего Рима. Астрономию читал известный профессор Войцех (Альберт) Бляр Брудзевский (1445—1497), который в педагогической деятельности руководствовался лучшей в то время книгой по астрономии «Новые теории планет», написанной замечательным венским астрономом Пурбахом и изданной в 1472 году его учеником Региомонтаном. В отличие от других астрономических сочинений того времени, излагавших систему мира Птолемея не по первоисточникам, а по арабским трактатам средневековья, Пурбах написал свое сочинение, основываясь непосредственно на манускриптах Птолемея.

В «Новых теориях планет» были прекрасно изложены теории движения Солнца, Луны и планет, разработанные Гиппархом (II век до н. э.) и Птолемеем, а также основные методы наблюдения небесных светил. Ясность и высокая культура изложения сделали учебник Пурбаха классическим пособием по астрономии для всех европейских университетов в докоперникову эпоху.

Воспитывая в молодежи глубокое уважение к древним мыслителям, оставившим грядущим поколениям впечатляющие астрономические результаты, Брудзевский учил сравнивать и сопоставлять различные теории и идти дальше простого усвоения дости-

жений древней науки. Эту черту истинного исследователя Коперник пронес через всю жизнь. Ко всему этому следует добавить, что в университете была хорошая инструментальная база (астролябии, глобусы, армиллярные сферы), дававшая студентам возможность усвоить навыки наблюдательной астрономии и овладеть искусством наблюдателя. Однако в самые последние годы XV столетия преподавание в Краковском университете пришло в упадок из-за ожесточенной борьбы студентов — приверженцев гуманизма и сторонников средневековой схоластики. К тому же в процессе обучения все больше чувствовалась потребность в знании греческого языка, который здесь не преподавался. Поэтому студенты не могли изучать в подлиннике великие творения древних греков. Эти обстоятельства привели к тому, что Коперник, проучившись три года, покинул Краковский университет, не получив ученую степень.

По настоятельной просьбе Луки Ватзенроде Коперник возвратился в 1495 году из Кракова в Торунь. В связи с тем, что в это время появилась вакансия каноника Вармийской епархии (в соборном городе этой епархии, Фромборке), Копернику было предложено участвовать в выборах на это место, однако он избран не был. Не исключено, что в этом деле основную роль сыграло отсутствие у Коперника ученой степени, ибо по традиции каноники должны были иметь диплом об окончании университета.

В XV — XVI веках епархии (в том числе и Вармийская) были самостоятельными богатыми административными организациями во главе с епископом. Имуществом епархии считались земли, города и другие поселения, расположенные в пределах ее границ, а епископ имел право устанавливать налоги, назначать администраторов и управляющих в разных районах епархии, назначать членов суда и руководить судебными процессами. При епископе на правах совещательного органа создавался соборный капитул из 16 каноников и 5 священников. Члены капитула имели обеспеченное материальное положение, и, вероятно, этим прежде всего можно объяснить большую активность, проявленную Лукой Ватзенроде при устройстве Николая Коперника на место каноника в капитуле Фромборского собора.

После неудачи, постигшей его при баллотировке на вакансию каноника, летом 1496 года Коперник покинул родные края и отправился в Италию для продолжения своего образования в Болонском университете, где когда-то учился его дядя. Примерно через год снова освободилась вакансия каноника Фромборкского собора, входящего в Вармийскую епархию, и на этот раз старания дяди-покровителя принесли

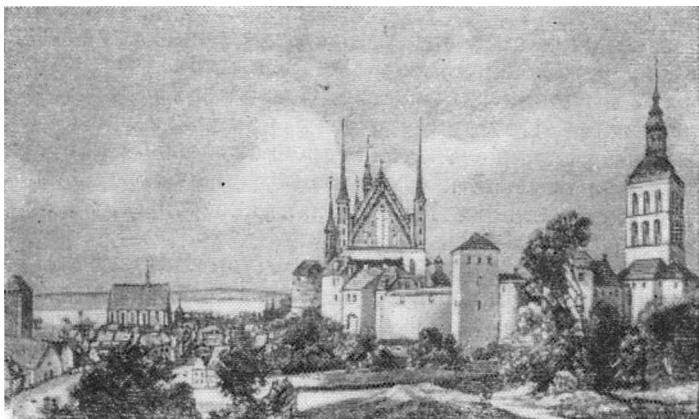


Рис. 3. Фромборкский собор на берегу Балтийского моря.

свои плоды. В августе 1497 года Коперник был избран каноником с официальным трехлетним отпуском для получения ученой степени в Италии. Место каноника давало ему средства свободно продолжать свои ученые занятия.

## 2. Годы, проведенные в Италии

Коперник провел в разных городах Италии почти десять лет, в течение которых он стал образованным и широко эрудированным ученым. Для этого в Италии той эпохи существовала особенно благоприятная обстановка, нужно было иметь лишь трудолюбие, способности и талант. Этих достоинств у Коперника было предостаточно, да к тому же они были в большой степени развиты и отточены во время обучения в Кракове.

Коперник жил в эпоху Возрождения и был современником выдающихся личностей, обогативших бесценными достижениями различные области человеческой деятельности. Это была эпоха возникновения новой энергичной общественной формации, пришедшей на смену застывшему средневековью. Буржуазия со свойственной ей предприимчивостью и жаждой накопления, не признающая никакой другой морали, кроме морали капитала, не могла основывать свою кипучую деятельность на феодальном мировоззрении. Ей нужна была развитая наука и техника, чтобы быстрыми темпами развивать производство, открывать и осваивать новые земли. Ей нужно было новое искусство, утверждающее и пропагандирующее новую мораль, мораль класса буржуазии, передового общественного класса той эпохи.

Конец XV и начало XVI столетий были временем великих географических открытий и блестящих достижений. В 1492 году Христофор Колумб (1451—1506) открыл американский континент, в 1498 году Васко да Гама (1460—1524) впервые прошел морским путем из Европы в Индию вокруг африканского материка, а Фернан Магеллан (1480—1521) предпринял в 1519—1521 годах первое кругосветное путешествие.

В ту динамичную эпоху бурно расцвели архитектура и градостроительство, литература и искусство, техника и естествознание. Новое мировоззрение, свободное от абсурдных закоряченных форм мышления, порожденных феодализмом, принесло с собой новые формы выражения прекрасного в живописи, утверждение новых идеалов красоты и гармонии в скульптуре и архитектуре; оно дало могучий толчок расцвету литературы и поэзии, воспевающих силу, красоту и любовь; оно, в конечном счете, выражало реализм новой общественной формации, свободной от тупости и ограниченности средневековья.

«Современное исследование природы,— писал Энгельс во Введении к «Диалектике природы»,— единственное, которое привело к научному, систематическому, всестороннему развитию, в противоположность гениальным натурфилософским догадкам древних и весьма важным, но лишь спорадическим и по большей части безрезультатно исчезнувшим открытиям арабов,— современное исследование природы, как и вся

новая история, ведет свое летосчисление с той великой эпохи, которую мы, немцы, называем, по приключившемуся с нами тогда национальному несчастью, Реформацией, французы — Ренессансом, а итальянцы — Чинквеченто и содержание которой не исчерпывается ни одним из этих наименований» \*).

Именно в это время появились бессмертные творения великих художников, скульпторов и ученых — Леонардо да Винчи (1452—1519), выведшего механику из затянувшегося летаргического сна и создавшего всемирно известный шедевр — портрет «Джоконда», Микеланджело Буонарроти (1475—1564), творчество которого представляет собой высочайший взлет человеческого гения в области живописи и архитектуры. Это была эпоха неповторимого Рафаэля Санти (1483—1520), обессмертившего свое имя знаменитой «Сикстинской мадонной».

В этот бурный и противоречивый период истории человечества жил итальянский политический и государственный деятель, историк Николай Макиавелли (1469—1527), прославившийся не только своим лицемерием, но одновременно резко выступавший против феодального дворянства и остроумно высмеявший пороки католического духовенства в своем произведении «Мандрагора». Это было время творчества одного из замечательных гуманистов Эразма Роттердамского (1466—1536), автора остроумного сочинения «Похвала Глупости», выдающегося естествоиспытателя и врача Филиппа Парацельса (1493—1541) и многих других.

Развитие промышленности и кораблестроения, металлургии и химии объективно способствовало расцвету естественных наук. Среди многих открытий той эпохи особое место занимает изобретение печатного станка, которое повлекло за собой быстрое распространение научных знаний в странах Западной Европы. Однако признание и утверждение новых идей в естествознании проходило в ожесточенной борьбе со многими лженауками (астрологией, алхимией, магией и др.), поощряемыми всемогущим тогда богословием.

«Исследование природы совершалось тогда в обстановке всеобщей революции, будучи само насквозь

---

\*) Ф. Энгельс. Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1975, с. 8.

революционно», — читаем мы у Энгельса в «Диалектике природы» \*).

Наконец, это была эпоха Реформации, эпоха становления протестантизма — новой ветви христианской религии, приспособленной к требованиям и нуждам формировавшегося класса буржуазии, желавшего с помощью религии и церкви узаконить свою систему эксплуатации. Чрезвычайно сложной и противоречивой была и политическая обстановка в Италии того времени. Всемогушим тогда Ватиканом руководил не гнушавшийся ничем Александр VI Борджа, на Неаполь шел со своими войсками французский король Карл VIII. Выдающийся оратор и проповедник Джироламо Савонарола (1452—1498) пробовал узаконить полутеократическую, полудемократическую конституцию для Флоренции, за что был отлучен от церкви и казнен по указу папы.

Это была сложная эпоха, но все же определяющими были веяния гуманизма, расцвет культуры и искусства, торговли и ремесел. Фридрих Энгельс так характеризует ее: «Это был величайший прогрессивный переворот из всех пережитых до того человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая породила титанов по силе мысли, страстности и характеру, по многосторонности и учености» \*\*). В этот период жил и творил Николай Коперник. В плеяде замечательных людей эпохи Возрождения благодаря своему бессмертному сочинению «О вращении небесных сфер» Николай Коперник занял достойное и почетное место.

Хотя Коперник был отправлен в Болонью для получения юридического образования (в то время государственное и гражданское право мало чем отличались от церковного права), на деле вышло не так, как было, по-видимому, задумано его дядей. Помня беседы по астрономии со своим профессором Брудзевским, Коперник увлекся астрономическими наблюдениями и стал помощником известного болонского астронома Доменико Мариа ди Новара (1454—1504), который также поощрял его посвятить себя астрономии. Пер-

---

\*) Ф. Энгельс. Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1975, с. 8.

\*\*) Там же, с. 7.



вое из двадцати семи собственных наблюдений, использованных Коперником в его знаменитом трактате, было сделано именно в Болонье 9 марта 1497 года.

Изучив в Болонском университете греческий язык и зная латынь, Коперник получил возможность читать в подлинниках классическую древнегреческую литературу, произведения Аристотеля (384—322 гг. до н. э.) и Платона (427—347 гг. до н. э.).

Проучившись в Болонье около трех лет, в 1500 году Коперник переехал в Рим, где читал лекции по математике «перед широкой аудиторией студентов и перед множеством замечательных людей, знатоков в этой науке», как об этом пишет Ретик. После годичного пребывания в Риме, в 1501 году, Николай Коперник вместе со своим старшим братом Андреем возвращается во Фромборк, где находился соборный капитул Вармийской епархии, чтобы просить у капитула новый отпуск для продолжения образования, получения ученой степени доктора канонического права и для изучения медицины.

В 1501 году такой отпуск был получен, и в октябре этого же года Коперник снова в Италии, в качестве слушателя Падуанского университета. Выбор этого университета для продолжения образования объясняется, по всей вероятности, тем, что здесь на очень высоком уровне преподавались медицина и философия. Здесь в совершенстве знали сочинения знаменитого врача и философа Авиценны (980—1037). В Падуе Коперник в течение четырех-пяти лет стал медиком высокой квалификации, в чем не раз позднее убеждались его коллеги (заметим, что в течение ряда лет Коперник являлся домашним врачом своего дяди).

В Падуанском университете большим почетом пользовалось философское учение Платона и Аристотеля. Преклонение преподавателей университета перед этими учеными древности, утверждавшими принцип идеальности движения небесных тел, сопровождалось критикой птолемея учения. Из этого учения вытекало существование неравномерных движений небесных тел относительно «центра мира», в котором находится Земля. Это была ненаучная, схоластическая критика птолемеевой системы, но она имела положительное значение, так как ставила под сомнение незыблемость принятой тогда системы мира.

Проучившись два года в Падуанском университете, весной 1503 года Коперник переехал в Феррару, где 31 мая ему во дворце архиепископа был вручен докторский диплом. После этого он снова возвращается в Падую и в течение двух или трех лет продолжает совершенствоваться в медицине. В конце 1505 или в начале 1506 года Коперник навсегда покидает Италию и возвращается в родные края.

За десять лет пребывания в Италии Коперник из талантливого молодого человека превратился в ученого-энциклопедиста, математика, астронома и медика, впитавшего в себя все достижения теоретических и прикладных наук того времени. Глубокое изучение гуманистических произведений, участие в научных диспутах, столь часто возникавших даже на улицах итальянских городов того времени, наконец, культура и искусство эпохи Возрождения — все это, несомненно, сделало Николая Коперника разносторонне образованной личностью.

### 3. Деятельность на родине

После годичного пребывания во Фромборке, по просьбе уже немолодого и часто болеющего дяди-епископа, Коперник переезжает в Лидзбарк, где находилась резиденция епископа Вармийской епархии. Здесь он в течение шести лет исполняет обязанности домашнего врача Луки Ватзенроде, помогает ему в управлении епархией и сопровождает его в различных поездках.

Коперник неоднократно участвовал в переговорах с представителями прусских городов и Тевтонского ордена, стремившегося ограничить влияние и власть епископа пределами епархии, хотя, согласно Торуньскому миру 1466 года, Вармийская епархия стала независимой. В 1507 году Коперник вместе с дядей участвовал в коронации польского короля Сигизмунда I, а позже, в 1508 и в 1509 годах, сопровождал дядю на заседания польского сейма в Кракове и Петрокове. Воспользовавшись своим пребыванием в Кракове, он передал в типографию для печати выполненный им перевод с греческого на латинский язык произведения византийского писателя VII столетия Феофилакта Симокатты «Нравственные, сельские и любовные

письма», увидевший свет в 1509 году. Остается неясным, почему Коперник выбрал для перевода именно это произведение Феофилакта Симокатты, а не одно из основных его сочинений, таких, как «История» или «Вопросы физики», пользовавшихся большой популярностью среди образованных людей той эпохи.

Все исследователи жизни и научной деятельности Николая Коперника сходятся на том, что в этот период им осмыслены постулаты гелиоцентрической системы мира и начата ее разработка.

В феврале 1512 года, по пути из Кракова в Лидзбарк, умирает Лука Ватзенроде. Огорченный этим печальным событием, Коперник покидает резиденцию епископа в Лидзбарке и после шестилетнего перерыва возвращается во Фромборкский собор для исполнения официальных обязанностей каноника. Не требующее больших затрат времени, положение каноника позволило ему заниматься самой разнообразной деятельностью и, в частности, вести астрономические наблюдения и разрабатывать в деталях гелиоцентрическую теорию.

Однако время спокойной работы длится недолго, всего четыре с половиной года. Осенью 1516 года Коперник избирается управляющим южными владениями Вармийской епархии вместо Тидеманна Гизе (1480—1550), своего друга и весьма образованного человека, сыгравшего большую роль в появлении трактата Коперника. В связи с этим он переезжает на четыре года в город Ольштын. В этот трудный для епархии период Коперник показал себя способным администратором, успешно исполняющим разнообразные обязанности. Дело в том, что в это время отношения между Тевтонским орденом и епархией обострились до крайности. Войска ордена захватывают часть Вармийских земель, разоряют и опустошают населенные пункты. В это трудное время Коперник организует оборону оставшихся незавоеванными городов епархии, интенсивно разрабатывает и строит различные укрепления и фортификационные сооружения. В отличие от других служителей капитула, он не покидает родные места, а организует работу по восстановлению хозяйства епархии и готовит фундаментальный доклад о состоянии финансов в связи с полным обесцениванием прусской монеты. Положение в некоторой степени

нормализовалось лишь весной 1521 года, когда между Польшей и Тевтонским орденом было заключено перемирие на четыре года.

После заключения этого перемирия Коперник освобождается от должности управляющего в Ольштыне и возвращается во Фромборкский собор. Некоторое сокращение административной деятельности позволило Копернику снова энергично заняться проведением



Рис. 4. Башня Фромборкского собора, где Коперник прожил большую часть жизни и написал свое гениальное произведение.

астрономических наблюдений и написанием своего основного трактата. В это же время (между 1520 и 1530 годами) он написал знаменитый «Малый комментарий», содержащий в сжатой форме основные предпосылки и результаты, касающиеся гелиоцентрической системы (существуют, однако, соображения, что «Малый комментарий» был написан еще раньше; например, польский ученый А. Биркенмайер относит время написания к 1515 году). К этому же периоду (1524 год) относится и критика Коперником сочинения Иоганна Вернера (1468—1528) «О движении восьмой сферы».

Эти события говорят о том, что к тому времени у Коперника в основном созрели все положения

гелиоцентрического учения, было необходимо лишь время для его изложения в большом сочинении.

Авторитет Коперника как крупного ученого-математика и астронома был настолько велик, что он получил от председателя комиссии по реформе календаря Павла Миддельбургского, назначенного римским папой Львом X, специальное приглашение высказать свое мнение относительно реформы. Дело в том, что

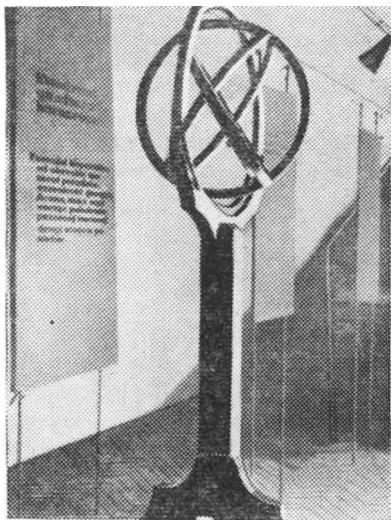


Рис. 5. Астролябия Коперника — инструмент для измерения угловых расстояний небесных светил.

согласно юлианскому календарю, введенному в 46 году до н. э. римским императором Юлием Цезарем (100—44 гг. до н. э.) и исправленному в 325 году н. э. Никейским вселенским собором, календарный год равнялся 365,25 суток, в отличие от истинного тропического года, равного 365,2422 суток. Легко сосчитать, что календарный год больше тропического года на 11 минут. Поэтому, если в какой-нибудь момент времени считать, что начала календарного и тропического годов совпадают, спустя 128 лет они будут отличаться на целые сутки, точнее, тропический год начнется на сутки раньше календарного. За период с 325 года и до начала XVI столетия это расхождение достигло девяти суток, и вопрос о реформе календаря стал весьма актуальным. Конечно, Ватикан интересовался реформой календаря прежде всего для установления дат религиозных праздников, а не просто для правильного объяснения движений Солнца и Луны.

В ответ на просьбу председателя комиссии Коперник ответил, что считает реформу преждевременной, так как для этого предварительно нужно существенно

уточнить теории движения Солнца и Луны относительно звезд. Эти соображения также, несомненно, говорят о том, что уже в 1514 году (именно в этом году был поставлен вопрос о реформе календаря) Коперник серьезно размышлял над разработкой гелиоцентрического учения.

После освобождения от должности управляющего в Ольштыне в 1521 году Копернику не раз приходилось исполнять ответственные административные

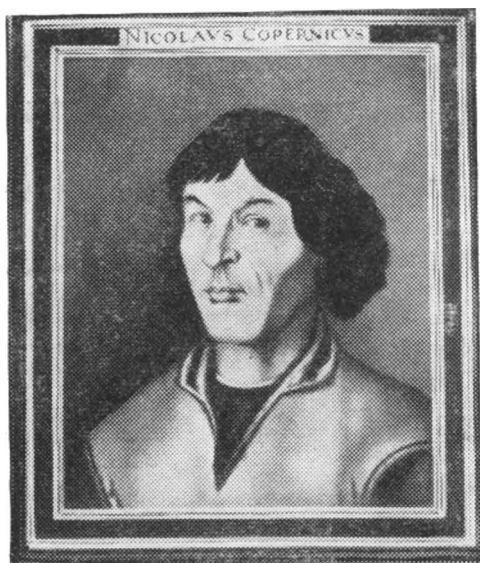


Рис. 6. Николай Коперник (портрет XVI века).

обязанности, возложенные на него капитулом. В частности, после смерти епископа Вармийской епархии Фабиана в январе 1523 года Коперник в течение почти целого года был генеральным управляющим епархии. В 1531 и 1538 годах Коперник назначался папским послом в Ольштын, а в декабре 1535 года инспектировал южную часть Вармийской епархии.

Замечательна деятельность гениального ученого в области денежного обращения и финансов. Он неоднократно выступал на заседаниях сейма с обоснованными предложениями, способствовавшими укреплению



курса находящейся тогда в обращении марки. В тот период из-за разрозненности и хаоса, царивших в королевстве, в обращении было много монет, поскольку каждый большой город чеканил свою монету.



Рис. 7. Памятник Николаю Копернику в Торуне.

Неконтролируемая чеканка монет в различных городах заметно мешала развитию внутренней и внешней торговли и объективно ослабляла государство. В связи с этим король в 1526 году упразднил старую прусскую монету и лишил города и Тевтонский орден, преобразованный в 1525 году указом короля в герцогство,

права чеканить свои монеты. Коперник внес предложения о централизации выпуска денег и об унификации монеты по весу и пробе, которые обсуждались на заседании сейма в марте 1528 года в Эльблонге. Предложения Коперника были направлены против огромной власти герцога, энергично противодействовавшего проведению денежной реформы.

Коперник никогда не отказывал в медицинской помощи не только коллегам — каноникам, но и беднякам — ремесленникам и крестьянам. Само собой разумеется, что он лечил всех бесплатно и пользовался во всей епархии славой опытного врача. Благодаря этому Коперника знали и уважали простые люди края, и это уважение передавалось из поколения в поколение в течение многих десятков лет.

Следует особо написать еще об одной стороне многогранного таланта Коперника.

В литературе можно найти сведения о том, что Коперник очень интересовался инженерно-техническими работами и принимал участие в проектировании ряда инженерных сооружений в городах епархии. Это и понятно. Ведь почти сорок лет он исполнял административные обязанности различного характера и масштаба, соприкасаясь с самыми разнообразными хозяйственными делами и практическими вопросами. В интересном исследовании Ф. Я. Нестерука «Инженерные работы Николая Коперника», опубликованном в сборнике «Николай Коперник» по случаю 410-летия со дня смерти (1543—1953) великого астронома, достаточно подробно освещена деятельность Коперника прежде всего в организации водоснабжения городов Вармийской епархии и использования водных ресурсов края для хозяйственных нужд.

Во Фромборке примерно в течение двух столетий действовало гидротехническое сооружение, к строительству которого был причастен и Коперник. Об этом можно судить по надписи на латинском языке, найденной в одной из башен собора:

Здесь покоренные воды течь принуждены на гору,  
Чтоб обильным ключом утолить жителей жажду.

В чем отказала людям природа, — искусством преодолел

Коперник.

Это творение, в ряду других, — свидетель его славной жизни.

Согласно исследованиям некоторых польских ученых, по проекту Коперника на реке Бауда, в двух километрах от Фромборка, была построена большая по тем временам водосливная плотина, перегородившая коренное русло реки, дамба, водохранилище и шлюз,

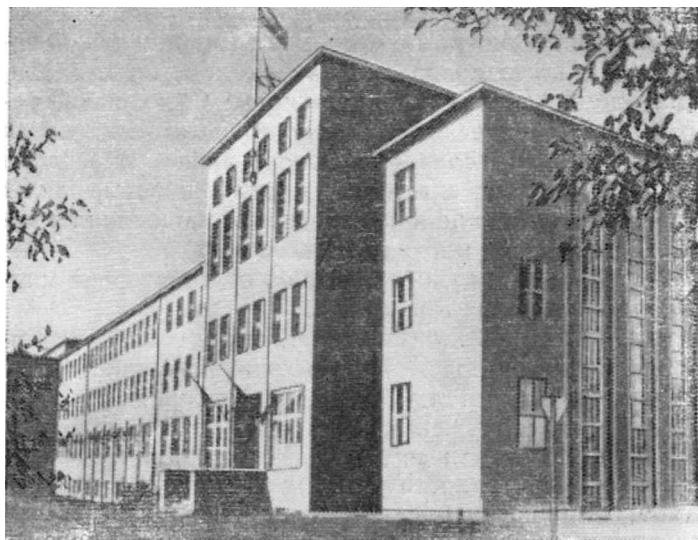


Рис. 8. Физический и химический факультеты университета им. Николая Коперника в Торуне.

регулировавший уровень воды в образовавшемся водохранилище. Из реки Бауда вода отводилась каналом, получившим название «Коперниковского». Трасса канала местами совпадала с руслом реки, но, не доходя двух километров до холма, на котором располагался Фромборкский собор, она круто поворачивала к нему. Благодаря особенностям местного рельефа здесь вода заметно убыстряла свое течение, и под напором воды вращались колеса мукомольной мельницы, построенной в конце канала. Далее вода проходила под башней, в которой было установлено механическое устройство со сливными ковшами, поднимающее часть воды на высоту 25 метров для хозяйственных нужд. Протекавшая дальше вода из

канала приводила в действие две водяные мельницы, а затем сбрасывалась в Балтийское море. Общая длина всего гидротехнического комплекса составляла около четырех километров.

Из исследований более позднего периода (XVIII и XIX столетий) весьма достоверно вытекает, что Коперник был инициатором и руководителем строительства водопроводов и гидротехнических комплексов и

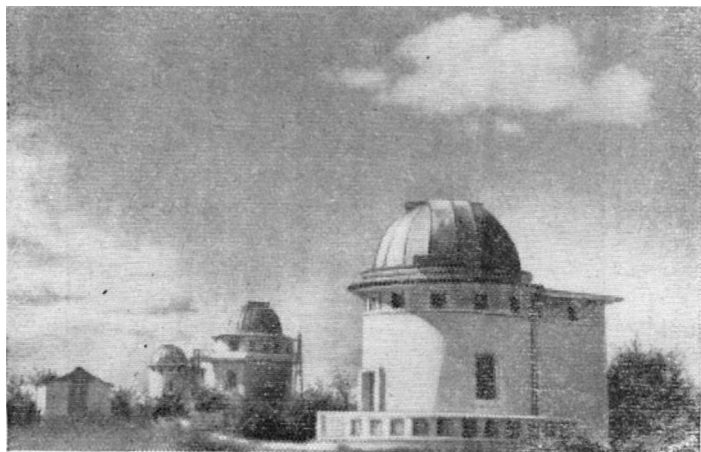


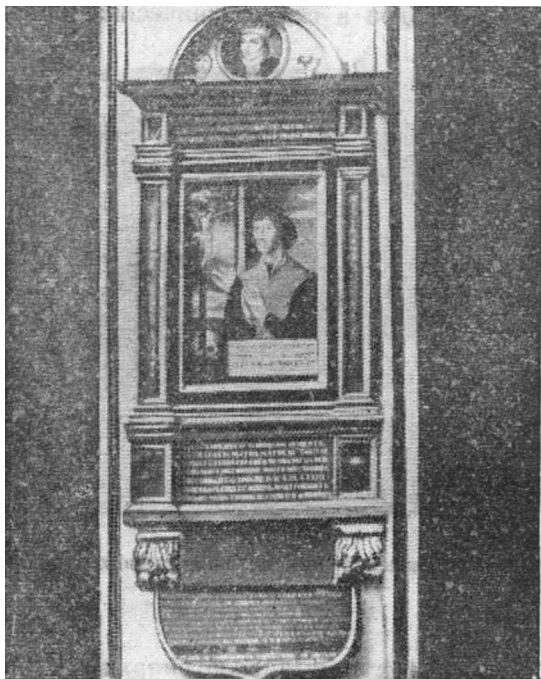
Рис. 9. Астрономическая обсерватория университета им. Николая Коперника.

в других городах Вармийской епархии: в Грудзёндзе, Торуне, Броневе, Любаве и др.

В 1521 и 1522 годах Коперник избирался депутатом от Вармийского капитула на Грудзёндзский сейм и в связи с этим неоднократно посещал Грудзёндз. По всей вероятности, в этот период он принял участие в проектировании городского водопровода в Грудзёндзе, действовавшего даже в 1794 году, т. е. два с половиной столетия спустя. Согласно этому проекту на реке Оссе, притоке Вислы, была построена плотина высотой 3,5 м, образовавшая водохранилище. Из водохранилища вода по каналу протяженностью в 2 км протекала в специальный огромный резервуар, из которого она поднималась на высоту 22 м и далее

распределялась по трубам в городские дома. Остальная часть воды сбрасывалась в Вислу.

В «Географическом словаре» 1882 года в разделе, посвященном городу Ольштыну, имеется обзац: «Еще сейчас в замке показывают жилище великого астронома и находящиеся в нем астрономические приборы.



**Рис. 10.** Мемориальная доска с портретом Николая Коперника, установленная в 1581 году в стене Фромборкского собора.

Коперник построил также водопровод, снабжавший город водой».

Следует отметить, что отдельными исследователями деятельности Коперника ставится под сомнение активное участие ученого в строительстве гидротехнических сооружений в городах Вармийской епархии. Однако нам представляется почти невероятным тот факт, чтобы Коперник, длительное время исполнявший разнообразные административные обязанности,

не имел никакого отношения к строительству различных сооружений (в том числе и гидротехнических) в пределах епархии.

В последние годы жизни немало огорчений принес великому ученому бывший друг, Дантиск, избранный и утвержденный Римом епископом Вармийской епархии в 1537 году. После избрания епископом Дантиск занял позицию противника лютеранства и стал преследовать наиболее образованных и мыслящих каноников, среди которых был и друг Коперника по имени Скультети. Скультети по распоряжению епископа был изгнан из капитула, и всем каноникам было запрещено иметь какие-либо связи с ним.

Коперник не мог согласиться с такой несправедливостью, и это обстоятельство привело к значительному ухудшению отношений между ним и епископом. Кроме того, епископ приказал удалить из Фромборка дальнюю родственницу Коперника Анну Шиллинг, помогавшую ему в ведении хозяйства. Даже после смерти Коперника ей был запрещен въезд во Фромборк.

Последние шесть месяцев жизни Коперник был очень тяжело болен. После кровоизлияния в мозг и паралича, охватившего правую часть тела, он в одиночестве постепенно терял физические и духовные силы. 24 мая 1543 года перестало биться сердце Коперника.

Один из величайших мыслителей человечества был похоронен во Фромборкском соборе без особых почестей. Лишь в 1581 году, т. е. спустя 38 лет после смерти, на стене собора против его могилы была установлена мемориальная доска.

Но Коперник заслужил право на бессмертие тем, что оставил нам знаменитое сочинение «О вращении небесных сфер», к изложению содержания которого мы сейчас переходим. Если иметь в виду сочинения по астрономии, то, пожалуй, лишь «Математические начала натуральной философии» Ньютона и «Альмагест» Птолемея могут быть поставлены рядом с сочинением Коперника.

## **II. БЕССМЕРТНОЕ СОЧИНЕНИЕ НИКОЛАЯ КОПЕРНИКА «О ВРАЩЕНИЯХ НЕБЕСНЫХ СФЕР»**

Центр Земли не является центром  
мира, но только центром тяготения  
и центром лунной орбиты.

*Коперник*

### **1. История публикации основного труда Коперника**

Сопоставляя различные высказывания Коперника и его современников, можно заключить, что сама мысль о движении Земли и других планет вокруг Солнца зародилась у гениального ученого задолго до появления в свет его бессмертного творения «О вращении небесных сфер». В письме папе Павлу III, датированном 1542 годом, Коперник пишет: «Но меня, долго медлившего и даже проявлявшего нежелание, увлекли мои друзья, среди которых первым был Николай Шонберг, капуанский кардинал,— муж, знаменитый во всех родах науки, и необычайно меня любивший человек Тидеманн Гизе, кульмский епископ, очень преданный божественным и вообще всем добрым наукам. Именно последний часто увещевал меня и настоятельно требовал, иногда даже с порицаниями, чтобы я закончил свой труд и позволил увидеть свет этой книге, которая скрывалась у меня не только до девятого года, но даже до четвертого десятилетия.

То же самое говорили мне многие и другие выдающиеся и ученейшие люди, увещевавшие не медлить дольше и не опасаться обнародовать мой труд

для общей пользы занимающихся математикой. Они говорили, что чем бессмысленнее в настоящее время покажется многим мое учение о движении Земли, тем больше оно покажется удивительным и заслужит благодарность после издания моих сочинений, когда мрак будет рассеян яснейшими доказательствами. Побужденный этими советчиками и упомянутой надеждой, я позволил, наконец, моим друзьям издать труд, о котором они долго меня просили».

Из слов Коперника можно заключить, что уже в 1506—1508 годах (возможно, даже в 1504 году) у него сложилась та стройная система взглядов на движения в Солнечной системе, которая и составляет, как принято сейчас говорить, гелиоцентрическую систему мира.

Но, как истинный ученый, Николай Коперник не мог ограничиться высказыванием гипотез, а посвятил много лет своей жизни получению наиболее ясных и наиболее убедительных доказательств своих утверждений. Используя достижения математики и астрономии своего времени, он придал своим революционным взглядам на кинематику Солнечной системы характер строго обоснованной, убедительной теории. Следует сказать, что во времена Коперника астрономия еще не владела методами, позволяющими непосредственно доказать вращение Земли вокруг Солнца (такой метод появился почти два столетия спустя).

Это обстоятельство еще раз подчеркивает величие научного подвига гениального реформатора естествознания, решительно отбросившего положение о неподвижности Земли, веками владевшее умами людей, ревностно поддерживавшееся государственной властью и церковниками.

Первое издание книги «О вращении небесных сфер» появилось в мае 1543 года в Нюрнберге благодаря усилиям упомянутых выше Тидеманна Гизе, Иоахима Ретика и нюрнбергского профессора математики Шонера, взявшего на себя просмотр корректур. По преданию, сам Коперник получил экземпляр своего гениального творения в день своей смерти, незадолго до того момента, когда он навсегда закрыл глаза. Таким образом, ему не довелось столкнуться с равнодушием, с которым вначале отнеслись к его



учению даже многие образованные люди, не пришлось испытать гонений, которые церковь впоследствии обрушила на его учение.

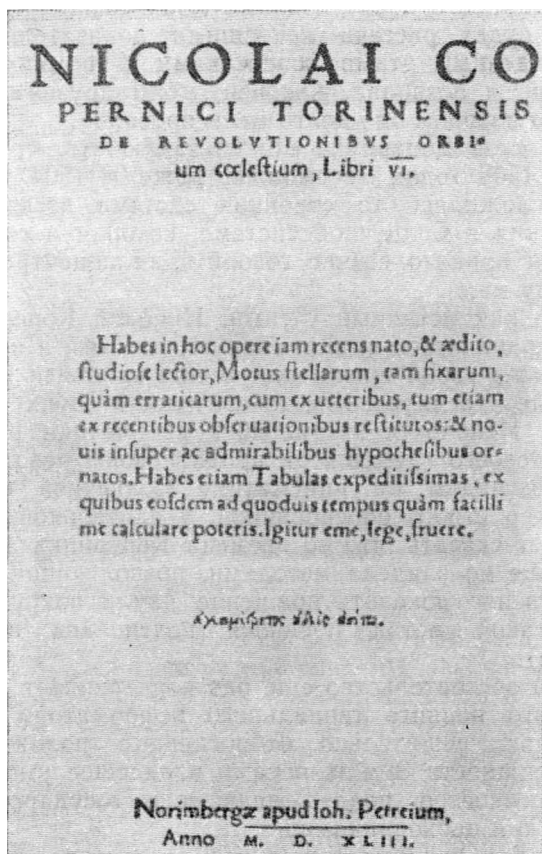


Рис. 11. Заглавная страница бессмертного сочинения «О вращении небесных сфер», изданного в Нюрнберге в 1543 году.

В соответствии с общепринятыми тогда традициями Коперник написал свой трактат на латинском языке под названием «De Revolutionibus Orbium Coelestium», которое буквально переводится «Об обращении небесных кругов». Есть веские основания

считать, что Коперник передал для печати рукопись под названием «De Revolutionibus», а другие два слова в названии добавлены Ретиком.

Издание начиналось с предисловия «К читателю. О предположениях, лежащих в основе этой книги», вставленного в книгу ее редактором, лютеранским богословом Андреасом Осиандером (1498—1552), скептически относившимся ко всем астрономическим теориям и вообще, по-видимому, полностью отрицавшим истинность научных познаний. В этом предисловии вся гелиоцентрическая система мира преподносится лишь как некий способ расчета видимых движений небесных светил, имеющий такое же право на существование, как и геоцентрическая система мироздания Клавдия Птолемея. Точка зрения Коперника в отношении предложенной им новой системы мира, была совершенно иной, так как она была строго научна и обоснованна. Это видно хотя бы из его собственного предисловия к книге, появившегося впервые в издании 1854 года. Он писал: «Если найдутся вздорные болтуны, которые, не имея понятия о математике и руководствуясь умышленно и хитро искаженными текстами писания, станут порицать меня и нападать на мой труд, то я намерен не обращать на них внимания и совершенно пренебречь их ни на чем не основанными доводами». Католическая церковь не сразу оценила мощь того удара, который нанесло коперниково учение по вековым, казалось, незыблемым, религиозным догмам. Только в 1616 году собрание богословов — «подготовителей судебных дел святой инквизиции» приняло решение об осуждении нового учения и о запрещении творения Коперника, мотивируя это тем, что оно противоречит «священному писанию». В этом постановлении говорилось: «Учение, что Солнце находится в центре мира и неподвижно, ложно и нелепо, еретично и противно священному писанию. Учение же, будто Земля не находится в центре мира и движется, обладая к тому же суточным вращением, ложно и нелепо с философской точки зрения, с богословской же по меньшей мере ошибочно».

На русском языке Академией наук СССР в серии «Классики науки» в 1964 году издан полный перевод сочинения «О вращении небесных сфер»,

выполненный профессором И. Н. Веселовским под общей редакцией академика А. А. Михайлова. Перевод сопровождается большим числом пояснений и примечаний, сделанных И. Н. Веселовским, в большой степени облегчающих чтение сочинения Коперника.

Сочинение «О вращениях небесных сфер» состоит из шести книг. В следующих разделах этой главы мы изложим содержание основного труда Коперника и сравним его главные идеи с результатами астрономии до Коперника и после него.

## 2. Книга Первая

Книга Первая может быть разделена по содержанию на две части. Главы с первой по одиннадцатую включительно посвящены качественному (описательному) изложению гелиоцентрической системы мира, сопровождаемому убедительной критикой основных положений геоцентризма.

Главы с двенадцатой по четырнадцатую содержат основные теоремы из планиметрии и тригонометрии (в том числе и сферической), необходимые автору для построения математической теории движения планет на основе гелиоцентрической системы. Эти главы были изданы в Виттенберге отдельной книгой под названием «О сторонах и углах треугольников» в 1542 году и характеризуют Николая Коперника как выдающегося математика своего времени. Небезынтересно, например, отметить малоизвестный факт, что так называемую «среднюю арифметическую величину», которую ныне широко применяют и в физике, и в механике, и в экономике, впервые эффективно использовал и оценил ее значение для математики Коперник. Любопытен в этом смысле и эпиграф к его сочинению: «Пусть не входит никто, не знающий геометрии» — надпись, помещенная, по преданию, на дверях Платоновой Академии. Коперник подчеркивает эпиграфом строгий математический характер своей теории.

Во второй главе Книги Первой Николай Коперник очень красиво и убедительно доказывает, что Земля имеет шарообразную форму, приводя как доводы древних ученых, так и свои собственные. Только

в случае выпуклой Земли при движении вдоль любого меридиана с севера на юг звезды, находящиеся в южной части неба, поднимаются над горизонтом, а звезды, находящиеся в северной части неба, опускаются к горизонту или совсем исчезают под горизонтом. Но, как совершенно правильно замечает Коперник, только в случае шарообразной Земли движениям на одном и том же расстоянии вдоль разных меридианов соответствуют одинаковые изменения высот небесных светил над горизонтом. Далее, по мере удаления корабля в море, для наблюдателя, оставшегося на берегу, сначала исчезает корпус корабля, а потом исчезает постепенно и мачта \*).

Четвертая глава заканчивается фразой: «Поэтому я прежде всего считаю необходимым тщательно исследовать, в каком отношении Земля находится к небу, чтобы мы, исследуя самое высшее, не забывали более близкого и в таком заблуждении не приписывали небесному того, что свойственно Земле».

По нашему мнению, эта фраза наилучшим образом характеризует исследовательское кредо великого естествоиспытателя, выражавшееся в том, что всякое явление требует детального анализа и изучения и ничто видимое не может приниматься на веру за действительное. Здесь очень хорошо видно принципиальное различие между подходом Коперника и Птолемея к геометрической картине мироздания.

Всё произведение Николая Коперника базируется на едином принципе, свободном от предрассудков геоцентризма и поразившем ученых того времени. *Это — принцип относительности механических движений*, согласно которому всякое движение относительно. Понятие движения не имеет смысла, если не

---

\*) Ради справедливости следует сказать, что Земля не является в точности шаром, а является сплюснутым у полюсов телом эллипсоидальной формы. Но это стало известно значительно позже, когда в первой половине XVIII столетия были организованы большие геодезические экспедиции, цель которых состояла в определении фигуры и размеров Земли. И тогда был окончательно решен научный спор в пользу Исаака Ньютона (1642—1727), считавшего, что Земля является сплюснутым у полюсов телом, в отличие от утверждения директора Парижской обсерватории Джованни Кассини (1625—1712), что Земля вытянута у полюсов. В настоящее время с помощью искусственных спутников удастся очень точно определить сжатие Земли.

выбрана система отсчета (система координат), в которой оно рассматривается.

Хотя этот принцип относительности неоднократно встречается в разных частях трактата Коперника, он особенно отчетливо сформулирован в пятой главе Книги Первой.

«Действительно, всякое представляющееся нам изменение места,— говорит Коперник,— происходит вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя или, наконец, вследствие неодинаковости перемещений того и другого, так как не может быть замечено движение тел, одинаково перемещающихся по отношению к одному и тому же (я подразумеваю движение между наблюдаемым и наблюдателем). А ведь Земля представляет то место, с которого наблюдается упомянутое небесное круговращение и открывается нашему взору».

Отсюда вытекает, что, поскольку наблюдатель находится на Земле, он не может непосредственно видеть само движение Земли, но оно может быть косвенно обнаружено в движении звездного неба, при этом вся видимая часть Вселенной перед взором земного наблюдателя должна двигаться с той же скоростью, но в противоположном направлении.

Вспомним, что эпоха Коперника предшествовала эпохе Галилео Галилея (1564—1642), Рене Декарта (1596—1650) и Исаака Ньютона, когда были открыты основные законы механики и был создан для этого соответствующий математический аппарат (дифференциальное и интегральное исчисления, координатный метод), и, конечно, Коперник подразумевал под принципом относительности движений не динамический, а кинематический принцип относительности. Поэтому легко передать содержание приведенного выше отрывка следующим образом: если два объекта имеют одинаковую по величине и направлению скорость относительно выбранной системы координат, то они имеют нулевую скорость друг относительно друга (неподвижны друг относительно друга). Во всех других случаях один объект будет двигаться относительно другого со скоростью, равной разности их скоростей относительно системы координат.

Идея об относительности движений небесных объектов неоднократно в неявной форме высказывалась

еще древними математиками и философами: Филолаем (470—399 гг. до н. э.), Евдоксом Книдским (408—355 гг. до н. э.), Гераклидом Понтийским (IV век до н. э.), Аристархом Самосским (310—230 гг. до н. э.) и другими.

Выдающийся представитель пифагорейской школы, современник Сократа, Филолай поместил в центре мироздания Огонь, вокруг которого вращается десять сфер: сфера неподвижных звезд, сферы пяти известных в древности планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн), сферы Луны и Солнца, сфера Земли и, наконец, сфера Противоземли — Антихтона. Вне этих десяти сфер, обнимая мироздание, пылает другой вечный огонь. К сожалению, до нас дошли лишь отрывки рукописей Филолая, причем подлинность отдельных отрывков сомнительна. Одновременно с Филолаем подобную систему мира пропагандировал пифагореец Гикет из Сиракуз.

Ученик Платона Гераклид и пифагореец Экфант снова признали Землю центром мира и суточное вращение звезд стали объяснять вращением Земли вокруг ее оси. Кроме того, они отказались от гипотезы Филолая о существовании центрального огня.

Согласно доктрине Евдокса, все планеты закреплены на концентрических сферах, вращающихся вокруг Земли. Наблюдаемые неравномерности в их движении он объяснил тем, что оси вращения сфер наклонены друг к другу.

Высшее достижение античной науки, относящееся к гелиоцентрической доктрине, связано с именем приверженца пифагоровой гипотезы движения Земли Аристарха Самосского. Аристарх исходил прежде всего из того положения, что Солнце в несколько сотен раз больше Земли, а раз это так, то нелогично предположить, что более массивное тело, Солнце, обращается вокруг менее массивного, Земли. Согласно Аристарху, Земля должна обращаться вокруг Солнца. Эта гипотеза в корне противоречила общепринятым тогда взглядам, согласно которым Солнце «величиной с Пелопоннес». Так же как и Гераклид, Аристарх не признавал существования центрального огня. Он считал, что Солнце само играет роль центрального огня и дает Земле свет и тепло. Таким образом, Земля становилась у него рядовой планетой,

совершающей один оборот вокруг Солнца за один год.

Все эти замечательные гипотезы древних мыслителей, основанные на относительном восприятии движений, сыграли огромную роль в развитии естествознания и философии, но только у Коперника относительность восприятия движения приобрела форму научного принципа астрономии.

Интересны и оригинальны соображения Коперника, приведенные в шестой главе и касающиеся размеров видимой части Вселенной. «...Небо неизмеримо велико по сравнению с Землей и представляет бесконечно большую величину; по оценке наших чувств Земля по отношению к нему как точка к телу, а по величине как конечное к бесконечному»,— читаем мы в этой главе, название которой «О неизмеримости неба по сравнению с величиной Земли» также достаточно ясно выражает взгляды ее автора на размеры Вселенной. Из этих слов мы видим, что Коперник придерживался правильных взглядов на размеры Вселенной, хотя происхождение мира и его развитие он объяснял деятельностью божественных сил.

В седьмой и восьмой главах дана убедительная критика геоцентризма древних астрономов. Если бы Земля обладала вращением вокруг оси, то тогда благодаря центробежному эффекту, который был хорошо известен уже в древности, Земля распалась бы на части. Раз этого нет, отсюда следует,— рассуждал Птолемей,— что Земля неподвижна, а вокруг нее движется все небесное. Но в таком случае,— замечает Коперник,— небо распалось бы еще быстрее, так как небесная сфера с многочисленными звездами обладает намного большими размерами, чем Земля, и, следовательно, центробежный эффект для нее еще больше. Не означает ли это на самом деле,— говорит Коперник,— что небесный свод неподвижен, а Земля, как маленькая частица в мироздании, обладает суточным вращением? Эти рассуждения Коперника для его времени были революционными, поскольку он отвергал точку зрения древних столпов науки, низводил небо с его пьедестала и применял как к земным явлениям, так и к небесным одни и те же закономерности.

Ради справедливости следует сказать, что Коперник придерживался аристотелевых взглядов на форму движений. Аристотель учил, что, кроме равномерных круговых движений небесных светил и вертикальных прямолинейных движений тяжелых и легких земных тел, все иные движения насильственны и прекращаются сами собой. Круговое движение, по Аристотелю, присуще только небесным телам. Признавая аристотелеву точку зрения, Коперник вместе с тем отвергал различие между земным и небесным. Он считал, что круговое движение должно быть присуще не только небесным светилам, но и Земле. По его мнению, прямолинейное движение может быть только тогда, когда тело выводится насильственно из его положения. В этом случае тела стремятся объединиться с однородными, тяжелые земные предметы — с Землей, а легкие пары — с воздухом.

Коперник уже предчувствовал законы тяготения, правда, только для однородных предметов. Об этом мы можем судить по следующим его словам: «Мне кажется, что тяжесть есть не что иное, как естественное стремление, сообщенное божественным промыслом всем мировым телам, сливаться в единое и цельное, принимая форму шара. Это стремление к соединению присуще, может быть, и Солнцу, и Луне, и другим подвижным светилам и составляет вероятную причину их шаровидности». Лишь 76 лет спустя после выхода в свет книги Коперника великий астроном Иоганн Кеплер, четырехсотлетие со дня рождения которого отмечала мировая научная общественность в 1971 году, при выводе своих знаменитых законов планетных движений доказал, что наряду с круговыми движениями небесных тел существуют и движения по эллиптическим орбитам, причем движения по таким орбитам происходят неравномерно.

В десятой главе описывается картина гелиоцентрической системы мироздания и приведен знаменитый рисунок, на котором указано расположение небесных сфер (рис. 12).

«Действительно, известно, что эти планеты (имеются в виду Сатурн, Юпитер, Марс) находятся ближе к Земле всегда около времени своих восходов вечером (т. е. когда они бывают в противостоянии с Солнцем, а Земля занимает место между ними и



Солнцем), в всего дальше они бывают от Земли около времени своих заходов вечером, когда скрываются вблизи Солнца, и Солнце, очевидно, бывает между ними и Землей», — рассуждает Коперник \*).

Как же определялись в то время относительные расстояния до планет? Существовавшие тогда астрономические инструменты позволяли сравнительно

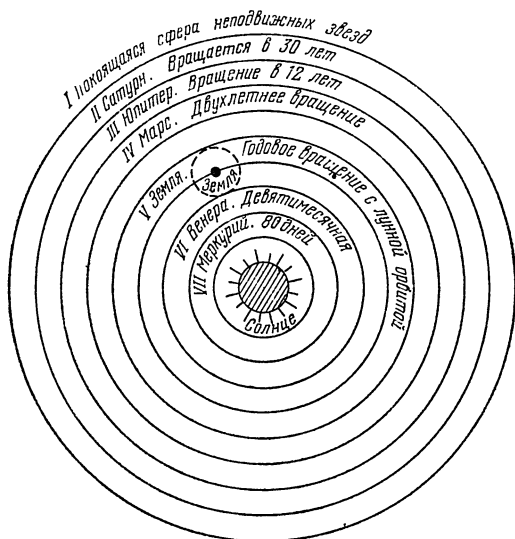


Рис. 12. Гелиоцентрическая система мира Николая Коперника.

точно измерять угловые расстояния между небесными светилами, а определить расстояние планеты от наблюдателя можно было по скорости перемещения относительно звезд.

Теория Коперника открывает еще одну возможность в этом отношении, а именно: только гелиоцент-

\*) Аналогичные выводы мы находим и у некоторых астрономов и философов, живших до Коперника. Например, в девяти-томной энциклопедии «Бракосочетание Филологии и Меркурия» латинского писателя Марциана Капеллы (V век н. э.) утверждается, что Меркурий и Венера обращаются по гелиоцентрическим орбитам, причем орбита Меркурия находится внутри орбиты Венеры.

рическая система мира дает простое объяснение тому факту, почему величина прямого и попятного движения у Сатурна относительно звезд меньше, чем у Юпитера, а у Юпитера меньше, чем у Марса, но зато на один оборот число смен прямых движений на попятные у Сатурна больше, чем у Юпитера, а у Юпитера больше, чем у Марса.

Если Солнце и Луна всегда движутся в одном направлении среди звезд с запада на восток, то планеты иногда движутся и в обратном направлении — с востока на запад. Поэтому с древних времен говорят, что планеты обладают прямым и попятным движением, а их путь относительно звезд, кажущихся нам неподвижными, имеет петлеобразный вид. Коперник дал абсолютно правильное объяснение этому интересному и загадочному явлению. Все объясняется тем, что Земля в своем движении вокруг Солнца догоняет и обгоняет верхние планеты Марс, Юпитер, Сатурн (и открытые позже Уран, Нептун и Плутон), а сама в свою очередь также оказывается в роли догоняемой и обгоняемой нижними планетами, Венерой и Меркурием, по той причине, что все они имеют различные угловые скорости относительно Солнца. Это явление и приводит к появлению видимых попятных движений планет относительно звезд. Звезды не обладают прямым и попятным движением, так как они находятся на «неизмеримой высоте», и, следовательно, они настолько далеки от Земли, что отражение движения Земли вокруг Солнца в видимом перемещении звезд не может быть замечено земным наблюдателем. Коперник оказался абсолютно прав. Спустя триста лет, в тридцатых годах XIX столетия, были измерены расстояния до ближайших звезд, и они оказались громаднейшими (расстояние от Земли до ближайшей к нам звезды Проксима Центавра в 270 000 раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца).

Интересны взгляды Коперника на природу, характеризующие его как глубоко мыслящего естествоиспытателя. «Но должно скорее следовать мудрости природы, которая как бы больше всего боится произвести что-нибудь излишнее или бесполезное, но зато часто одну вещь обогащает многими действиями», — пишет он.

Чтобы полностью объяснить кинематику небесной сферы, Копернику пришлось допустить, что Земля обладает тремя движениями (они описаны в главе одиннадцатой Книги Первой):

1. Суточное вращение Земли в направлении с запада на восток.

2. Годовое движение Земли вокруг Солнца, представляющее собой чистое вращение и происходящее в плоскости зодиакального круга также с запада на восток.

3. Деклинационное годовое движение, противоположное годовому вращению.

Вводя эти три движения, Коперник стремился объяснить, почему земная ось должна при движении Земли вокруг Солнца оставаться всегда параллельной самой себе. Он понимал, что иначе трудно объяснить наблюдаемую смену времен года. Но, придерживаясь аристотелевых принципов и не зная еще механического закона инерции, он считал, что земная ось, будучи предоставленной самой себе, при движении Земли вокруг Солнца будет сохранять постоянный наклон к плоскости эклиптики и описывать коническую поверхность вокруг оси эклиптики, делая по ней один оборот в течение года. Чтобы уничтожить это ненаблюдаемое движение, Коперник ввел деклинационное годовое движение земной оси.

Преемники Коперника вскоре обнаружили ошибку и отбросили деклинационное движение.

Земля в действительности вращается подобно волчку. Ее ось описывает коническую поверхность, но не за год, а примерно за 26 000 лет. Это движение оси Земли называется прецессией. Прецессионные эффекты в движении небесной сферы были обнаружены еще в глубокой древности. Введя третье движение Земли, Коперник использовал неточное равенство зодиакального и деклинационного периодов для объяснения прецессионного движения земной оси.

Исчерпывающее динамическое объяснение явления прецессии (древние астрономы, например Гиппарх, называли это явление предварением равноденствий) впервые было дано Ньютоном в его знаменитом трактате «Математические начала натуральной философии». Прецессия обусловлена притяжением экваториального избытка земной массы Луной и

Солнцем, и естественно, что во времена Коперника, когда еще не было ни динамики, ни данных о сплюснутости Земли, не могло существовать и правильного объяснения прецессии. Из-за лунно-солнечного притяжения земная ось поворачивается относительно звезд на  $50''$  в год, и поэтому полный оборот она совершает примерно за 26 000 лет. Вращение земной оси приводит в свою очередь к тому, что направление на точку весеннего равноденствия также

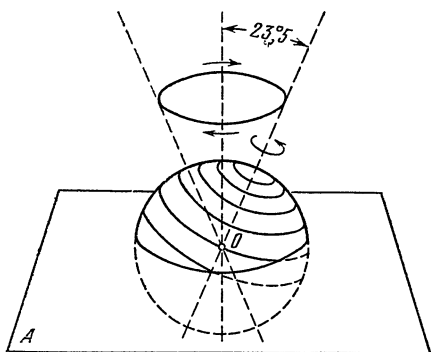


Рис. 13. Прецессионное движение земной оси. А — плоскость движения Земли вокруг Солнца (плоскость эклиптики).

сдвигается относительно звезд, и, следовательно, направление на Солнце в день весеннего или осеннего равноденствия относительно звезд не остается неизменным.

Таким образом, Книга Первая дает нам полное описание сущности революционной доктрины Коперника, освободившей науку от порочных положений геоцентризма. Научные положения Коперника поразили своей новизной и ясностью весь тогдашний ученый мир. Но нужно было не только выдвинуть эти гениальные идеи. Нужно было также дать по возможности строгое обоснование всех положений, выдвинутых в Книге Первой.

### 3. Книги Вторая, Третья, Четвертая

Книга Первая, как мы уже говорили, содержит весьма подробное изложение гелиоцентрической системы мира. Конечно, Коперник не имел прямых

доказательств истинности гелиоцентрического взгляда на Вселенную, однако он обосновал и разработал свое учение настолько, насколько позволили это сделать астрономия, математика, физика и астрономическое приборостроение того времени.

Коперник, отдавая дань великим древнегреческим предшественникам, Платону и Аристотелю, которые считали, что все небесные светила должны равномерно двигаться по самым совершенным, круговым орбитам, также последовал античной традиции и обосновал новую картину мироздания, опираясь на геометрию равномерных круговых движений.

Но не только в этом Коперник следовал античным представлениям. Так же, как и древние астрономы, Коперник считал, что сфера звезд неподвижна. Однако он допускал, что расстояние от Земли до нее практически бесконечно \*).

Прежде чем изложить содержание остальной части сочинения Коперника, ознакомимся с основными геометрическими понятиями и моделями, использовавшимися в астрономии на протяжении двух тысячелетий, начиная с эпохи Платона и Аристотеля и вплоть до эпохи Кеплера. Постулат Платона и Аристотеля об идеальности небесных движений никем, в том числе и Коперником, не подвергался никаким сомнениям и служил отправной точкой при построении кинематики Солнечной системы. Но древние астрономы прекрасно знали, что наблюдаемые движения Луны, Солнца и планет относительно звезд неравномерны, поэтому они считали, что их наблюдаемые неравномерные движения суть результат сложения нескольких равномерных круговых движений. Такой же точки зрения придерживался и Коперник, и мы увидим, что в некоторых деталях, касающихся точности расчета планетных движений, он был дальше от истины, чем Птолемей. Прекрасный очерк об эволюции теории планетных движений с древних времен и до эпохи Кеплера содержится в «Этюдах по истории планетных теорий» профессора Н. И. Идельсона, включенных в сборник «Николай

---

\*) Задолго до Коперника идею бесконечности Вселенной отстаивал известный философ и ученый Николай Кузанский (1401—1464).

Коперник», вышедший в 1947 году в Издательстве АН СССР. Дальше мы не один раз будем пользоваться материалами из этого очерка.

В основу древнейших, доптолемеевских теорий планетных движений (заметим, что Солнце и Луна также считались планетами) были положены геометрические понятия деферента, эпицикла и эксцента.

Пусть задан параллелограмм  $TOPN$ , стороны которого последовательно связаны шарнирами, позволяющими каждой из них вращаться вокруг смежной с ней, и пусть одна из сторон, например сторона параллелограмма  $TO$ , закреплена неподвижно в плоскости, в которой происходит равномерное вращение параллелограмма против часовой стрелки (рис. 14).

Очевидно, что при этом движение точки  $N$  является равномерным вращением по окружности с центром  $T$  и с радиусом  $TN$ . Окружность с центром в точке  $T$  и с радиусом  $TN$  называется *деферентом*. Так как сторона  $TO$  неподвижна, а  $NP$  всегда параллельна ей, отсюда следует, что сторона  $NP$  перемещается в плоскости параллельно самой себе и, следовательно, она совершает в плоскости *поступательное движение*. Но относительно стороны  $TN$  отрезок  $NP$  совершает вращение по часовой стрелке и точка  $P$  описывает равномерное круговое вращение вокруг точки  $N$  по окружности радиуса  $NP$ , называемой *эпициклом*. Нетрудно догадаться, что угловая скорость движения точки  $N$  по деференту вокруг точки  $T$  и угловая скорость движения точки  $P$  по эпициклу вокруг  $N$  равны между собой, так как один оборот точки  $N$  по деференту совершается за то же время, что и один оборот точки  $P$  по эпициклу.

Окружность, которую в равномерном движении описывает точка  $P$  вокруг неподвижного центра  $O$ ,

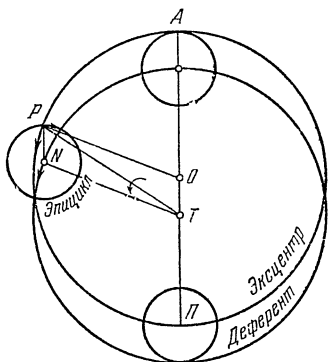


Рис. 14. Изображение деферента, эпицикла и эксцента.

называется эксцентрическим кругом (относительно центра  $T$ ) или *эксцентром*. Отношение сторон параллелограмма (или, что то же самое, отношение радиуса эпицикла к радиусу деферента)

$$\frac{OT}{OP} = e$$

называется *эксцентриситетом эксцентра*.

Радиусы эксцентра и деферента, естественно, равны между собой.

В теории движения планет приведенная кинематическая модель применяется следующим образом.

Если точка  $P$  представляет некоторую реальную планету, равномерно вращающуюся по эпициклу вокруг средней, «фиктивной» планеты  $N$ , а наблюдатель находится в точке  $T$  (как говорили древние астрономы, в «центре мира»), то относительно него планета  $P$  будет двигаться неравномерно, в точке  $\Pi$  (в перигее) она будет ближе всего к наблюдателю, а в точке  $A$  (в апогее) она будет дальше всего от наблюдателя.

Использование этих кинематических понятий древними астрономами значительно облегчалось благодаря изящной теореме Аполлония Пергского, жившего в III веке до нашей эры: *кинематическая модель эпицикла и деферента с равными и противоположно направленными вращениями эквивалентна неподвижному эксцентру*.

Эту теорему можно, следуя Аполлонию, сформулировать так: если средняя планета  $N$  обращается вокруг центра мира  $T$  по деференту в прямом направлении с постоянной угловой скоростью, а реальная планета  $P$  обращается по эпициклу с той же угловой скоростью, но в обратном направлении, то при этих условиях движение планеты  $P$  будет такое же, как если бы она обращалась с той же скоростью в прямом направлении по эксцентру, радиус которого равен радиусу деферента, а центр эксцентра  $O$  удален от центра мира на отрезок  $OT$ , равный и параллельный радиусу эпицикла  $NP$ .

При соответствующем подборе отношения радиусов деферента и эпицикла древним астрономам удалось свести *неравномерное вращение отрезка* (радиуса-вектора)  $TP$  (это единственное наблюдаемое движение) к равномерным вращениям. При этом сле-

дует сказать, что в этой кинематической схеме никакой роли не играют сами расстояния  $TN$  и  $NP$ , а лишь их отношение, т. е. эксцентриситет эксцентра  $\epsilon$ .

Это один из существенных пороков геоцентрической системы мира, так как такой подход к описанию движений небесных светил не стимулировал определение реальных расстояний между телами Солнечной системы и, следовательно, ее реальных размеров.

И тем не менее построенные античными астрономами описательные, чисто кинематические теории движения видимых невооруженным глазом и посему известных с древних времен пяти планет Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера, Сатурна, к которым добавлялись Луна и Солнце, оказались достаточно точными для предсказания положений этих небесных светил на протяжении многих веков. Это интересное обстоятельство обусловлено прежде всего двумя характерными особенностями планетных движений:

1. Плоскости орбит перечисленных выше планет и Луны почти совпадают с плоскостью воображаемой траектории движения Солнца вокруг Земли (иначе — с плоскостью земной орбиты вокруг Солнца), называемой *плоскостью эклиптики*.

Самый большой наклон \*) к плоскости эклиптики имеет орбита Меркурия; он равен  $7^\circ$ . Другие планетные орбиты (для известных в то время планет) имеют значительно меньшие наклоны: у Венеры  $i = 3^\circ 24'$ , у Марса  $i = 1^\circ 51'$ , у Юпитера  $i = 1^\circ 18'$ , у Сатурна  $i = 2^\circ 30'$ . Лунная орбита наклонена к плоскости эклиптики под углом  $5^\circ 9'$ .

Малые наклоны планетных орбит обуславливают малые изменения широт планет, и древним астрономам нужно было в основном объяснять изменения со временем только одной из координат — долготы планеты \*\*).

---

\*) Наклон — это двугранный угол между плоскостями орбит двух небесных тел. В астрономии чаще всего обозначается буквой  $i$ .

\*\*) Широта и долгота — две сферические координаты, определяющие положение светила на небесной сфере. Они аналогичны географической широте и географической долготе. Отличие состоит в том, что за основную координатную плоскость принята плоскость эклиптики (а не плоскость экватора).



2. Согласно законам планетных движений, открытым позднее Кеплером, каждая планета движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится Солнце. Как оказалось, сплюснутость эллиптических орбит невелика, и по этой причине даже в быстро изменяющейся координате (в долготе) замена истинных эллиптических планетных орбит движением по эксцентру приводит к очень малым ошибкам (они, однако, не ускользнули от проницательного ума Кеплера).

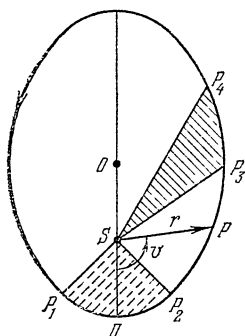


Рис. 15. Эллиптическое движение планеты  $P$  вокруг Солнца  $S$ , находящегося в фокусе эллипса.

Движение по эллипсу не является равномерным, т. е. за одно и то же время радиус-вектор планеты  $P$  (переменное расстояние от Солнца до планеты  $P$ ) описывает разные углы с вершиной в Солнце  $S$ , однако площади эллиптических секторов равны между собой (рис. 15):

*площадь  $P_1SP_2$  = площади  $P_3SP_4$ .*

Сплюснутость эллипса характеризуется его эксцентриситетом, который равен отношению расстояния  $SO$  от центра эллипса  $O$  до фокуса  $S$  к большой полуоси эллипса  $a = OP$ , т. е.

$$e = \frac{SO}{OP}.$$

Для планетных орбит эта величина мала, близка к нулю.

Зависимость между радиусом-вектором планеты  $r$  и ее истинной аномалией  $v$  дается формулой, справедливость которой доказывается в аналитической геометрии \*):

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos v}. \quad (1)$$

Положение планеты в плоскости орбиты в любой момент времени  $t$  полностью определяется координатами  $r$  и  $v$ , для чего достаточно знать истинную ано-

\*) Истинной аномалией  $v$  называется полярный угол текущей точки эллипса, отсчитываемый от большой оси эллипса (для планет — от направления на перигелий орбиты).

манию  $v$  в этот момент  $t$ , так как по написанной формуле легко можно вычислить  $r$ .

Из теории эллиптического движения, полностью разработанной уже после Кеплера и Ньютона, следует, что явная зависимость истинной аномалии  $v$  от времени  $t$  выражается бесконечным тригонометрическим рядом, коэффициенты которого зависят от эксцентриситета  $e$  планетной орбиты. Если отбросить в этом разложении все слагаемые, содержащие третьи и более высокие степени эксцентриситета ( $e^3$ ,  $e^4$  и т. д.), то для  $v$  получим приближенную формулу

$$v = M + 2e \sin M + \frac{5}{4} e^2 \sin 2M. \quad (2)$$

Величина  $M$  называется средней аномалией \*) планеты и вычисляется по формуле

$$M = n(t - t_0) + M_0, \quad (3)$$

в которой  $M_0$  — это значение средней аномалии в момент времени  $t_0$ , принятый за начальный,  $n$  — средняя угловая скорость поворота радиуса-вектора планеты (в небесной механике  $n$  называют средним суточным движением), получаемая из соотношения

$$n = \frac{360^\circ}{T}.$$

Здесь  $T$  — период обращения планеты вокруг Солнца, выраженный в сутках.

Разность

$$x = v - M = 2e \sin M + \frac{5}{4} e^2 \sin 2M \quad (4)$$

называется *уравнением центра*. Из последней формулы видно, что в случае круговой орбиты планеты (эксцентриситет  $e = 0$ )  $x = 0$  и истинная аномалия  $v$  совпадает со средней аномалией планеты  $M$ . Уравнение центра характеризует степень неравномерности движения по эллипсу по сравнению с равномерным круговым движением.

---

\*) Средняя аномалия представляет собой угол поворота радиуса-вектора планеты, вычисленный в предположении, что планета равномерно движется по окружности с центром в притягивающем теле, радиус которой равен большой полуоси эллиптической орбиты планеты (при неизменном периоде обращения).

Если воспользоваться уравнением центра, то из (1) и (4) в результате математических преобразований можно получить явную зависимость радиусавектора планеты  $r$  от средней аномалии  $M$  (или, что то же самое, от времени  $t$ ). С принятой выше точностью будем иметь

$$r = a \left( 1 + \frac{e^2}{2} - e \cos M - \frac{e^2}{2} \cos 2M \right). \quad (5)$$

Таковы современные формулы, определяющие невозмущенное кеплеровское движение.

Что же дает теория эпицикла и деферента или эквивалентная ей теория эксцента древних?

Если наблюдатель находится в центре эксцента  $O$ , то относительно него планета  $P$  будет двигаться

равномерно по эксцентру, следовательно, ее угловая скорость будет постоянной, а угол  $ПОР$  будет представлять собой линейную функцию времени. Другими словами,  $\angle ПОР$  есть средняя аномалия для теории эксцента. Можно показать, что она почти не отличается от средней аномалии эллиптического движения, и для наших рассуждений можно предположить, что они совпадают (поэтому мы сохраняем для этой средней аномалии то же самое обозначение  $M$ ). Угол  $ПSP = v$  будет играть роль истинной аномалии планеты  $P$ . Из рис. 16 видно, что величина  $x$ , входящая в уравнение центра, представляет

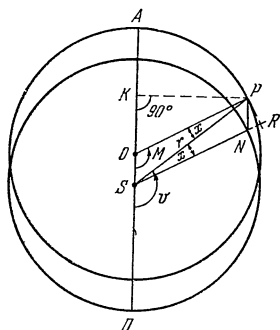


Рис. 16. Изображение основных углов в долготной теории планет.

угол  $OPS$ .

Итак, найдем теперь выражения для  $r$  и  $v$ , исходя из модели эксцента, и сопоставим их с кеплеровскими значениями для  $r$  и  $v$ , полученными выше. Это позволит нам оценить точность теорий Птолемея и Коперника.

Заметим, что древние астрономы и Коперник не пользовались тригонометрическими соотношениями, записанными в виде формул, а давали им словесные

описания, но мы здесь ради удобства будем использовать принятую в тригонометрии символику.

Из прямоугольных треугольников  $\triangle KPS$ ,  $\triangle KPO$ ,  $\triangle PRN$  и  $\triangle PRS$  имеем соотношения:

$$\left. \begin{aligned} r \sin (180^\circ - v) &= r \sin v = OP \sin M, \\ r \cos (180^\circ - v) &= -r \cos v = OS - OP \cos M, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} r \sin x &= PN \sin (180^\circ - M) = PN \sin M, \\ r \cos x &= OP + PN \cos (180^\circ - M) = OP - PN \cos M. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Из первых двух равенств легко получаем, что

$$r = \sqrt{OP^2 + OS^2 - 2OP \cdot OS \cos M},$$

или

$$r = a \sqrt{1 + \varepsilon^2 - 2\varepsilon \cos M}, \quad (8)$$

где  $a$  — радиус эксцента,  $\varepsilon$  — его эксцентриситет. Сохраняя в последней формуле величины  $\varepsilon$  и  $\varepsilon^2$ , с помощью обобщенной формулы бинома Ньютона \*) найдем

$$r = a \left( 1 + \frac{\varepsilon^2}{4} - \varepsilon \cos M - \frac{\varepsilon^2}{4} \cos 2M \right). \quad (9)$$

Приведенные формулы дают также соотношение

$$\operatorname{tg} x = \frac{PN \sin M}{OP - PN \cos M} = \frac{\varepsilon \sin M}{1 - \varepsilon \cos M}. \quad (10)$$

Пользуясь приближенными формулами

$$\operatorname{tg} x \approx x, \quad \frac{1}{1 - \varepsilon \cos M} \approx 1 + \varepsilon \cos M,$$

справедливыми для достаточно малых величин  $x$  и  $\varepsilon$ , получим

$$x = v - M = \varepsilon \sin M + \frac{\varepsilon^2}{2} \sin 2M,$$

---

\*) Справедлива следующая обобщенная формула бинома Ньютона:

$$(1 + x)^\alpha = 1 + \alpha x + \frac{\alpha(\alpha - 1)}{2!} x^2 + \dots,$$

где  $x$  мало, а  $\alpha$  — любое вещественное число. В данном случае следует положить

$$\alpha = \frac{1}{2}, \quad x = \varepsilon^2 - 2\varepsilon \cos M.$$

или

$$v = M + \varepsilon \sin M + \frac{e^2}{2} \sin 2M. \quad (11)$$

Формулы (9) и (11) дают соответственно радиус-вектор и уравнение центра планеты с точностью до квадрата эксцентриситета эксцента.

Полагая теперь эксцентриситет эксцента равным удвоенному эксцентриситету эллипса ( $\varepsilon = 2e$ ), для модели эксцента находим

$$v = M + 2e \sin M + 2e^2 \sin 2M, \quad (12)$$

$$r = a(1 + e^2 - 2e \cos M - e^2 \cos 2M). \quad (13)$$

Сравнивая теперь формулы для истинной аномалии эллиптического кеплеровского движения (2) и теории эксцента (12), получим, что ошибка  $\delta v$  в истинной аномалии (или ошибка в долготе  $\delta l$  \*), выраженная в радианах, равна  $\pm 0,75 e^2 \sin 2M$  и по модулю не превосходит  $\delta l_{\max} = 0,75 e^2$ .

Один из основоположников древней астрономии, Гиппарх, вычислил эксцентриситет эксцента Солнца (или Земли) и нашел его равным  $\varepsilon = 0,03348$ . Эксцентриситет земной эллиптической орбиты на самом деле равен  $e = 0,016751$ . Но  $\varepsilon = 2e$ , и, следовательно, мы имеем прекрасное согласие между этими числами.

Учитывая значение эксцентриситета орбиты Земли, находим, что наибольшая ошибка в долготе Земли, если бы Земля наблюдалась с Солнца, или в долготе Солнца для земного наблюдателя не превышает  $43''$  (это число получается, если  $\delta l_{\max} = 0,75 e^2$  преобразовать к градусной мере). Погрешность в долготе значительно меньше погрешности наблюдений древних, и этим объясняется длительное успешное применение теории эксцента для предсказания видимого положения Солнца относительно звезд. Заметим, что если эксцентриситет орбиты Земли был бы равен эксцентриситету орбиты Марса  $e = 0,09334$ , то тогда погрешность в долготе была бы в 30 раз больше (около  $21'$ ) и несостоятельность

---

\*) Долгота планеты  $l$  отличается от ее истинной аномалии на некоторый постоянный угол, поэтому ошибки в  $l$  и  $v$  всегда одинаковы.

теории эксцента была бы обнаружена намного раньше.

Но для вычисления расстояний теория эксцента с самого начала оказывается непригодной. Если погрешность в истинной аномалии планеты, обусловленная заменой эллиптической орбиты эксцентром, является величиной, пропорциональной квадрату эксцентриситета, то погрешность в величине радиуса-вектора планеты пропорциональна эксцентриситету. Действительно, сравнивая формулы (5) и (13), получаем, что погрешность

$$\delta r = a \left( e \cos M - \frac{e^2}{2} + \frac{e^2}{2} \cos 2M \right),$$

и даже для малых эксцентриситетов величина  $\delta r$  значительна. Но в древних планетных теориях вопросы определения реальных расстояний не затрагивались, и поэтому существенный изъян теории эксцента остался незамеченным.

Естественно, что большой погрешностью обременены также наименьшее и наибольшее расстояния от наблюдателя до эпицентра (расстояния от центра до перигелия  $\Pi$  и до афелия  $A$ ; см. рис. 16). Согласно теории кеплерова движения, эти расстояния равны

$$r_{\Pi} = a(1 - e), \quad r_A = a(1 + e), \quad (14)$$

в то время как из теории эксцента Гиппарха имеем

$$r_{\Pi} = a(1 - 2e), \quad r_A = a(1 + 2e). \quad (15)$$

Птолемей существенным образом улучшил теорию эксцента, по праву приписываемую Гиппарху, разработав красивый геометрический прием, получивший название «метода биссекции эксцентриситета». Смысл этого метода иллюстрируется на рис. 17. Птолемей предложил считать, что равномерным вращением обладает не радиус эксцента  $PC$ , центр которого, точка  $C$ , находится на расстоянии  $ae/2$  от наблюдателя, а прямая  $OP$  или, что то же самое, радиус  $OP'$  окружности, называемой *эквантом* \*).

С помощью тригонометрических соотношений, аналогичных приводившимся выше, для схемы

---

\*) Эквант — это круг равномерного движения (буквально — уравнивающий круг). Эквантом также называется и центр  $C$  — точка выравнивания. Эта точка делит на две равные части отрезок  $OT$ . Отсюда и название «биссекция эксцентриситета».

биссекции эксцентриситета можно получить приближенные формулы Птолемея:

$$v = M + 2e \sin M + e^2 \sin 2M, \quad (16)$$

$$r = a \left( 1 + \frac{3}{4} e^2 - e \cos M - \frac{3}{4} e^2 \cos 2M \right). \quad (17)$$

Сравнивая теперь формулы Птолемея (16) и (17) с формулами Кеплера (2) и (5), видим, что замена эллипса схемой биссекции порождает и в истинной аномалии  $v$  и в радиусе-векторе  $r$  погрешности, пропорциональные  $e^2$ . В силу этого формулы (16) и (17) при малых эксцентриситетах позволяют весьма точно найти не только долготу планеты  $l$ , но и ее радиус-вектор  $r$ , если известна величина радиуса деферента  $a$ . Эти погрешности равны

$$\left. \begin{aligned} \delta l &= \delta v = 0,25e^2 \sin 2M, \\ \delta r &= a(-0,25e^2 + 0,25e^2 \cos 2M). \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Гипотеза биссекции эксцентриситета представляет большой шаг вперед, так как в этой схеме движение планет не только кажется неравномерным относительно «центра мира»  $T$ , но и фактически оно неравномерно относительно центра эксцентра. Эта замечательная идея Птолемея о существовании реальных неравномерных вращений не находилась в согласии с принципом идеальности небесных движений Аристотеля и Платона. По-видимому, она оказала немалое влияние на Кеплера, полностью отказавшегося от догмы равномерных круговых движений в своей «Новой астрономии», содержащей два закона планетных движений.

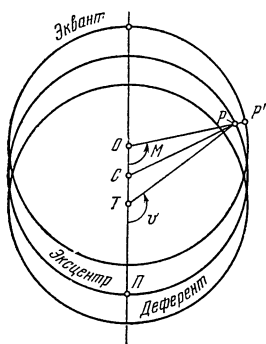


Рис. 17. Изображение кинематической схемы — биссекции эксцентриситета, изобретенной Птолемеем.

Признавая, что схема биссекции Птолемея более точна для предсказания положений планет, Коперник считал ее несовместимой с постулатами Аристотеля и Платона и поэтому счел необходимым заме-

нить ее другой кинематической моделью, описывающей движения планет практически с той же точностью. Сделав по сравнению с Птолемеем шаг назад в кинематических принципах Солнечной системы, Коперник, однако, дал красивое решение этой задачи, пользуясь схемой двойного шарнирного параллелограмма.

Пусть в двойном параллелограмме  $TRLPQN$  (рис. 18) неподвижной является сторона  $TR$ , а параллелограммы  $TRQN$  и  $RLPQ$  вращаются против часовой стрелки, первый с угловой скоростью  $\omega$  и второй с угловой скоростью  $2\omega$ .

Введем обозначения:

$$TN = RQ = PL = a,$$

$$TR + RL = 2ae.$$

В своих построениях Коперник полагает

$$TR = 1,5ae, \quad RL = 0,5ae.$$

Существуют три эквивалентные кинематические модели движения точки  $P$  относительно «центра мира»  $T$ . Это эпи — эпицикл, эксцентр — эпицикл и эксцентр — эксцентр.

Схема эпи — эпицикла состоит в движении планеты  $P$  против часовой стрелки с угловой скоростью  $2\omega$  по эпициклу с радиусом  $QP = 0,5ae$ . Его центр  $Q$  также описывает эпицикл с радиусом  $NQ = 1,5ae$  по часовой стрелке с угловой скоростью  $\omega$ , а центр последнего эпицикла, точка  $N$ , вращается по деференту с радиусом  $TN$  против часовой стрелки с угловой скоростью  $\omega$ . При этом предполагается, что угол  $TRL$  во время движения в два раза больше угла  $PRA$ .

Схема эксцентр — эпицикла состоит в движении точки  $Q$  по эксцентру против часовой стрелки со скоростью  $\omega$  вокруг точки  $R$ , а планета  $P$  описывает эпицикл с радиусом  $QP$  и с угловой скоростью  $\omega$ .

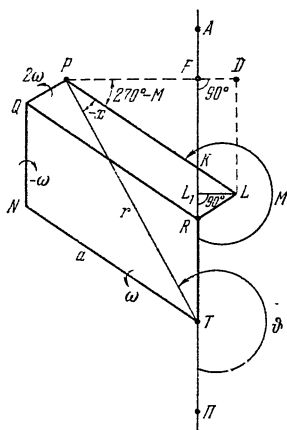


Рис. 18. Кинематическая модель — двойной параллелограмм, предложенная Коперником для объяснения неравномерных движений планет вокруг Солнца.



Наконец, схема эксцентр — эксцентриа заключается в том, что траектория точки  $L$  рассматривается как эксцентр относительно «центра мира»  $T$ , а орбита планеты  $P$  рассматривается как эксцентр относительно точки  $R$ .

Эти кинематические модели и доказательство их эквивалентности характеризуют Николая Коперника как глубочайшего геометра и кинематика своего времени.

Прежде чем говорить о приложении этих кинематических схем к описанию движений планет, сопоставим их с теорией эллиптического кеплерова движения.

На рис. 18 видно, что отрезки  $PF$  и  $TF$  равны

$$PF = PD - FD = PD - LL_1,$$

$$TF = TR + RL_1 + DL.$$

Из прямоугольных треугольников  $\triangle PFT$ ,  $\triangle PDL$  и  $\triangle LL_1R$  получаем тригонометрические соотношения:

$$PF = r \sin(v - 180^\circ) = -r \sin v,$$

$$PD = PL \cos(270^\circ - M) = -a \sin M,$$

$$LL_1 = RL \sin(180^\circ - 2M) = 0,5ae \sin 2M,$$

$$RL_1 = RL \cos(180^\circ - 2M) = -0,5ae \cos 2M,$$

$$DL = PL \sin(270^\circ - M) = -a \cos M.$$

Поэтому

$$r \sin v = a \sin M + 0,5ae \sin 2M, \quad (19)$$

$$r \cos v = -1,5ae + a \cos M + 0,5ae \cos 2M. \quad (20)$$

После возведения в квадрат и сложения формул (19) и (20) находим, что квадрат радиуса-вектора  $r$  планеты  $P$  выражается равенством

$$r^2 = a^2(1 + 2,5e^2 - 2e \cos M - 1,5e^2 \cos 2M).$$

Отсюда, пользуясь формулой обобщенного бинома Ньютона и сохраняя члены, пропорциональные  $e$  и  $e^2$ , получим

$$r = a(1 + e^2 - e \cos M - e^2 \cos 2M). \quad (21)$$

Далее, применяя теорему синусов к  $\triangle PКТ$ , находим

$$\frac{PT}{\sin (360^\circ - M)} = \frac{КТ}{\sin (-x)},$$

или

$$\sin x = \frac{2ae \sin M}{r}.$$

Для малых эксцентриситетов  $e \sin x \approx x$ , поэтому с принятой выше точностью из последнего соотношения можно вывести

$$x = v - M = 2e \sin M + e^2 \sin 2M. \quad (22)$$

Погрешности в истинной аномалии  $v$ , в долготе  $l$  и в радиусе-векторе  $r$  планеты  $P$ , обусловленные заменой эллиптической кеплеровой орбиты схемой эпи — эпицикла Коперника, равны

$$\left. \begin{aligned} \delta v &= \delta l = 0,25e^2 \sin 2M, \\ \delta r &= a(-0,5e^2 + 0,5e^2 \cos 2M). \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Сравнивая теперь погрешности схемы биссекции Птолемея (18) и двойного параллелограмма Коперника (23), видим, что погрешности  $\delta l$  в долготе планет с точностью до квадрата эксцентриситета орбиты планеты  $P$  совпадают, в то время как погрешность  $\delta r$  в радиусе-векторе по Копернику в два раза больше, чем у Птолемея. Эти соображения позволяют заключить, что кинематическая модель Коперника по сравнению со схемой биссекции Птолемея менее удачна для предвычисления положений планет в пространстве, но она объективно явилась источником очень важного замечания, недооцененного самим Коперником. В главе четвертой Книги Пятой утверждается, что орбита планеты  $P$  не может представлять собой в точности окружность не только для наблюдателя, находящегося в точке  $T$ , но и относительно любой точки, находящейся на линии апсид  $ПА$ , в том числе и относительно точки  $R$ .

В отличие от Птолемея, который в своей теории эквантов молчаливо нарушал принцип идеальности небесных движений и допускал неравномерные круговые движения, Коперник стремился к строгому соблюдению принципа равномерных круговых движений.

Поэтому отмеченная не только Птолемеем, но и Коперником невозможность абсолютно точного соблюдения этого принципа представляла собой чрезвычайно плодотворную идею, которая помогла Кеплеру найти истинное направление в поисках законов движения планет.

После этого краткого изложения теории планетных движений мы можем вернуться к содержанию остальной части сочинения Коперника «О вращении небесных сфер».

Книга Вторая, состоящая из четырнадцати глав, посвящена различным вопросам сферической астрономии: явлениям, связанным с суточным вращением небесной сферы, преобразованию различных систем астрономических координат небесных светил и т. д. Здесь определяются основные круги и точки на небесной сфере (небесный экватор, эклиптика, горизонт, меридиан и пр.), изучаются различные геометрические соотношения между ними, объясняются явления равноденствия и солнцестояния, восхода и захода звезд и многие другие видимые явления, обусловленные как суточным вращением Земли, так и годичным движением Земли по эклиптике.

Заканчивается Книга Вторая каталогом, содержащим долготы и широты (с точностью  $\pm 5'$ ), а также видимые звездные величины 1025 звезд.

Книга Третья посвящена детальному изложению разработанной Коперником теории движения Солнца \*) и объяснению явления прецессии земной оси. Для описания движения Солнца Коперник использовал кинематическую схему эксцента (деферента плюс эпицикла), но для того чтобы эта модель хорошо согласовывалась с наблюдениями средневековых астрономов, ему пришлось в схему эксцента ввести два изменения. По Копернику, центр орбиты Земли не совпадает с центром Солнца, а обращается с периодом в 3434 года вокруг некоторой фиктивной точки, которая в свою очередь делает один оборот вокруг Солнца за 50 000 лет.

---

\*) Коперник придерживался терминологии, введенной Гиппархом, и говорил о движении Солнца, хотя, конечно, всюду изучаются форма и свойства земной орбиты. Впрочем, и в настоящее время в учебниках по астрономии обсуждается видимое годичное движение Солнца.

Такая искусственная и громоздкая кинематическая модель, конечно, неприемлема с точки зрения современной динамики, однако она позволила довольно точно определить одну из основных единиц времени — длину *тропического года* \*). Ошибка в продолжительности тропического года у Коперника равна всего 29 секундам.

Как мы выше говорили, явление прецессии Коперник объяснял существованием так называемого «деклинационного движения». Хотя применяемые здесь теоретические предпосылки неверны, тем не менее величина годичной прецессии получилась очень близкой ( $50'',20$ ) к действительной ее величине для той эпохи ( $50'',17$ ).

Содержание Книги Третьей оказалось, пожалуй, дальше других от последующего направления развития астрономии, но при ее чтении поражает тот огромный объем знаний, которым владел великий ученый. Мы здесь также встречаемся с весьма и весьма большим объемом вычислений, сравнений и сопоставлений, с блеском выполненных Коперником.

Книга Четвертая содержит изложение теории движения Луны, разработанной Коперником. В ней Коперник отказался от кинематической схемы эксцентра и экванта, на которой зиждилась птолемеева теория движения Луны, и построил свою теорию на основе описанной выше схемы эпи — эпицикла.

Еще Гиппарху и Птолемею было известно, что истинная аномалия Луны  $v$  и ее средняя аномалия  $M$  связаны друг с другом более сложным соотношением по сравнению с уравнением центра (16).

Современная теория движения Луны, построенная в прошлом веке американским математиком Георгом Хиллом, дает для истинной долготы \*\*)

---

\*) Тропический год — промежуток времени между двумя последовательными прохождением Солнца в видимом годичном движении через точку весеннего равноденствия.

\*\*) Истинная долгота равна сумме двух дуг, лежащих в разных плоскостях:

а) дуги эклиптики, начинающейся в точке весеннего равноденствия и кончающейся на линии пересечения плоскости орбиты и плоскости эклиптики (линия узлов);

б) дуги, измеряющей угловое расстояние светила в рассматриваемый момент времени от линии узлов.

Луны  $l$  следующее равенство:

$$l = \lambda + [377' \sin M + 13' \sin 2M + \dots] + \\ + [76' \sin (2D - M) + 3' \sin (2D + M) + \dots] + \\ + [39' \sin 2D + 9'' \sin 4D + \dots] + \\ + [-11' \sin M' + \dots] + [-2' \sin D + \dots], \quad (24)$$

где  $\lambda$  — средняя долгота Луны,  $D = \lambda - \lambda'$  (разность средних долгот Луны и Солнца),  $M$ ,  $M'$  — средние аномалии Луны и Солнца\*). Формула (24) получена современными математическими методами и учитывает как притяжение Земли, так и притяжение Солнца.

Если пренебречь возмущающим влиянием Солнца, то в этом случае формула (24) переходит в уравнение центра:

$$v = M + [377' \sin M + 13' \sin 2M + \dots]. \quad (25)$$

Слагаемые в (25) называются в современной небесной механике *эллиптическими членами*. Они были найдены еще Гиппархом с помощью модели эксцетра. Пренебрежение влиянием Солнца на движение Луны приводит к значительным ошибкам в долготе, достигающим  $80' - 100'$ . Такие ошибки не могли остаться незамеченными древними астрономами. Птолемей первый обратил внимание на эти расхождения в наблюдаемых и вычисленных долготах Луны и существенно обогатил теорию движения Луны, открыв так называемое *неравенство эвекции*, выражаемое суммой

$$76' \sin (2D - M) + 3' \sin (2D + M) + \dots$$

В своем фундаментальном трактате «Альмагест» Птолемей с помощью модели эксцетра и экванта построил теорию движения Луны, учитывающую эллиптические члены и эвекцию, т. е. для истинной долготы Луны у древних астрономов имела формула\*\*)

$$l = \lambda + [377' \sin M + 13' \sin 2M + \dots] + \\ + [76' \sin (2D - M) + 3' \sin (2D + M) + \dots]. \quad (26)$$

\*) Средние долготы представляют собой долготы, вычисляемые в предположении, что исследуемое тело движется по орбите равномерно с угловой скоростью, равной среднему движению  $n$ .

\*\*) Остальные слагаемые из равенства (24) были найдены значительно позже Коперника.

Кинематическая схема эпи — эпицикла позволяла Копернику вычислять долготы Луны с той же точностью, что и теория Птолемея, и в этом смысле теории Коперника нельзя отдать какое-то предпочтение по сравнению с теорией Птолемея. Однако он значительно превзошел своего предшественника в определении лунных геоцентрических расстояний для различных положений на лунной орбите. Из теории движения Луны Птолемея следовало, что наибольшее расстояние от Земли до Луны равно 74 земным радиусам (около 470 000 км), а наименьшее расстояние составляет 33 земных радиуса (около 200 000 км). Действительные расстояния Луны от Земли изменяются в пределах от 405 000 км до 356 000 км (с учетом основных возмущающих факторов).

Коперник во второй главе Книги Четвертой очень убедительно критикует недостатки птолемеевой теории. «Больше всего в неправильности этого предположения убеждает нас,— пишет Коперник,— вид диска Луны, который точно так же должен был бы казаться имеющим вдвое больший или вдвое меньший диаметр». Отсутствие подобного явления при наблюдениях Луны и, следовательно, такого значительного изменения расстояния до Луны убедило Коперника в необоснованности применения к Луне модели эксцентра и экванта, и он в третьей главе с названием «Другое мнение о движении Луны» выдвигает свою модель эпи — эпицикла. Далее, в главах IV—XII, с помощью этой модели дается подробнейшее объяснение изменения со временем долготы Луны. Главу XVII Коперник посвящает определению геоцентрического расстояния Луны (выраженного в земных радиусах). Здесь приведено несколько значений лунного расстояния, и среди них имеется, в частности, значение для наибольшего расстояния, равного 64 земным радиусам (около 407 000 км), и значение наименьшего расстояния, равного 52 земным радиусам (около 332 000 км). Эти результаты намного лучше согласуются с действительными лунными расстояниями, чем птолемеевские определения лунных расстояний. Коперник достаточно хорошо определил также диаметр Луны в долях земного диаметра (согласно Копернику, диаметр Луны равен 0,2857

земного диаметра, а современные определения дают число 0,2725). Более ошибочны были представления Коперника о величине расстояния от Земли до Солнца.

В главах XXVIII—XXXII Книги Четвертой изложена теория лунных и солнечных затмений. Прежде всего Коперник излагает свой метод вычисления времени соединений и противостояний Луны и Солнца\*), когда происходят солнечные и лунные затмения. В главе XXVIII приведена таблица моментов соединений и противостояний Солнца и Луны на 12 *синодических месяцев*\*\*) и изменений широты Луны на этот промежуток времени. Если во время эклиптического соединения широта Луны меньше полусуммы угловых диаметров Луны и конуса земной тени, то будет иметь место лунное затмение. В случае солнечного затмения дело обстоит сложнее, так как видимое и истинное соединения этих светил не совпадают. Далее Коперник излагает метод определения продолжительности лунных и солнечных затмений. По сложившейся тогда традиции величина фазы солнечного затмения выражалась в дюймах и она указывала, сколько двенадцатых долей солнечного диаметра покрыто лунным диском. Эти вопросы настолько строго и подробно рассмотрены Коперником, что он, например, замечает, что промежуток времени, в течение которого происходит «затмение» диаметра Солнца, не равен промежутку времени, в течение которого солнечный диаметр «освобождается» от лунного диска. В конце Коперник излагает метод определения продолжительности затмений не по величине закрытой тенью части диаметра, а по величине закрытой тенью части площади диска.

---

\*) В момент соединения долготы Солнца и Луны одинаковы, а в момент противостояния разнятся на  $180^\circ$ . Если соединение происходит, когда Луна достаточно близка к плоскости эклиптики, в которой лежит видимый путь Солнца, то происходит солнечное затмение, так как Луна находится между Землей и Солнцем. При противостояниях Луны и Солнца возможны лунные затмения.

\*\*) *Синодический месяц* — это промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны. Его средняя продолжительность составляет 29,53 суток.

#### 4. Книги Пятая и Шестая

Эти книги содержат коперникову теорию движений планет (или, как их называли с древних времен, блуждающих светил). При этом в Книге Пятой излагается теория движения планет по долготе, а в Книге Шестой — теория их движения по широте.

В тридцати шести главах Книги Пятой рассматривается полная теория изменения долгот пяти известных в то время планет: Сатурна, Юпитера, Марса, Венеры и Меркурия.

Видимое движение блуждающих среди звезд светил — планет складывается, согласно теории Коперника, из двух отличных и независимых друг от друга движений по долготе. «Одно из этих движений,— читаем мы в первой главе,— получается вследствие движения Земли, второе для каждой планеты является собственным. Первое мы не без основания решили назвать параллактическим движением; это то самое движение, которое у всех планет производит стояния, прямые и попятные движения. Они происходят не потому, что планета, движущаяся всегда собственным движением вперед, увлекалась бы так в разные стороны, а потому, что это только так нам кажется в силу производимого движением Земли смещения, зависящего от различия в положении и величине планетных орбит».

Приведенный выше абзац, если не уточнять, каковым является собственное движение планеты вокруг Солнца, в точности совпадает с современной точкой зрения на видимые движения планет. Ведь мы сейчас говорим, что движение любой планеты относительно земного наблюдателя есть результат сложения гелиоцентрического движения планеты по эллиптической орбите (если не учитываются силы взаимного притяжения планет) и эллиптического движения Земли вокруг Солнца. Конечно, Коперник не знал, что неравномерности в видимых движениях планет (различные угловые скорости в различных местах орбиты) объясняются эллиптичностью планетных орбит, но сообразно с точностью наблюдений древних и средневековых астрономов он превосходно использовал кинематическую схему эксцентр — эпицикла для объяснения неравномерностей в видимых



движениях планет (и в первую очередь Сатурна, Юпитера и Марса), предварительно доказав тождественность схемы эксцентр — эпицикла и схемы эпи — эпицикла. Анализ этих общих кинематических вопросов посвящены первые четыре главы Книги Пятой.

В начале Книги Пятой Коперник приводит величины дуг на гелиоцентрических орбитах внешних планет, проходимых каждой из них в течение одного египетского года, равного 365 суткам, и они поражают своей точностью. Согласно современной теории движения больших планет, Марс за 365 суток проходит дугу, равную  $191^{\circ}16'19'',2$ , Юпитер —  $30^{\circ}19'41'',9$ , а Сатурн —  $12^{\circ}12'46'',1$ . У Коперника эти дуги равны  $191^{\circ}16'19'',9$ ,  $30^{\circ}19'40'',9$  и  $12^{\circ}14'46'',2$  соответственно. Относительные погрешности определения этих дуг чрезвычайно малы и равны 0,0001%, 0,001% и 0,0003%. Даже при обработке современных наблюдений далеко не всегда можно достичь такой точности в определении угловых величин.

Далее, в главах V—XXXII, дается весьма подробное и убедительное изложение долготной теории каждой из пяти планет, последовательно от Сатурна до Меркурия. Здесь приведены разработанные автором методы определения числовых характеристик кинематических схем и указывается, каким образом выбираются параметры эксцентр — эпициклов для Сатурна, Юпитера и Марса и эксцентр — эксцентров для Венеры и Меркурия. Кроме того, здесь же устанавливаются начала отсчета долгот каждой планеты. Наконец, в последних главах этой книги (главы XXXIII—XXXVI), на основе кинематики эксцентр — эпицикла и эксцентр — эксцентра объясняются петлеобразные видимые движения планет среди звезд, попятные движения пяти перечисленных планет, а также вычисляются промежутки времени, в течение которых происходят попятные движения. Кроме того, Коперник определил положения и величины дуг попятных движений планет относительно звезд.

Здесь Коперник очень наглядно и обстоятельно показывает, что, только принимая во внимание движение Земли вокруг Солнца, можно объяснить уменьшение размеров «петель» (дуг попятных дви-

жений) в видимом перемещении внешних планет (Марса, Юпитера, Сатурна) в зависимости от их расстояния от Солнца и вместе с тем увеличение числа петель у более далеких планет за один период их обращения вокруг Солнца.

Но здесь уместно одно замечание. Долготные теории Коперника для Сатурна, Юпитера и Марса оказались хорошими не только с точки зрения представления положений этих планет на небесной сфере, но и по существу были удачными моделями, так как замена эксцентр — эпициклов эллиптическими орбитами позволяет перейти к современной долготной теории. Этого нельзя сказать о долготных теориях Венеры и Меркурия, ибо для объяснения неравномерностей изменения их долгот Коперник привлек, кроме модели эксцентр — эксцентра, немалое число искусственных геометрических построений, не нашедших подтверждения в дальнейшем.

Коперникова теория движения пяти планет по долготе, основанная на принципе гелиоцентризма, просто и вместе с тем математически строго объяснила те исключительные ситуации во взаимном расположении планет и Солнца, которые возникали в птолемеевой теории. Действительно, кажется необъяснимым разумным образом, почему радиусы-векторы, проведенные из центров своих эпициклов к трем внешним планетам в птолемеевой теории (отрезки  $NP$  на рис. 14), всегда параллельны между собой и к тому же параллельны направлению Земля — Солнце. Не менее загадочным кажется и то, что центры эпициклов внутренних планет (Меркурия и Венеры) всегда располагаются на прямой «наблюдатель — Солнце», а времена обращений центров этих эпициклов вокруг Земли равны одному году. Почему, наконец, Луна и Солнце, которые в древности также считались планетами, не обладают попятным движением?

Все эти вопросы, неразрешимые в птолемеевой теории планетных движений, или попросту не возникают в коперниковой теории, или находят в ней наглядное объяснение.

Наконец, Книга Шестая, наименьшая по объему, содержит теорию движения пяти планет по широте. Она состоит из девяти глав и по содержанию

соответствует тринадцатой книге «Альмагеста» Птолемея. В отличие от Птолемея, который объяснял изменение широт планет тем, что их эпициклы наклонены к плоскости эксцента, Коперник в основу своей широтной теории планет положил идею о равномерном колебательном изменении наклона эксцента каждой планеты к плоскости эклиптики. Согласно его теории плоскости орбит пяти планет пересекают плоскость эклиптики по одной и той же прямой, совпадающей с диаметром земной орбиты. Для верхних планет, Сатурна, Юпитера и Марса, углы, образованные плоскостями орбит и плоскостью эклиптики, изменяются колеблющимся образом около линии пересечения указанных плоскостей. Для Венеры и Меркурия построена более сложная теория изменения широт путем введения им специального понятия девиации. Это девиационное колебание используется Коперником для того, чтобы можно было объяснить, почему широты Венеры и Меркурия, когда они находятся на линии пересечения своих орбит с плоскостью эклиптики, не равны нулю.

Следует сказать, что идеи широтных планетных теорий Коперника не согласуются с современными представлениями об изменениях положений планет по широте, однако они были удачно использованы им для нахождения наибольших и наименьших широт планет, а также для составления таблиц широт планет. Кроме того, в Книге Шестой изложен наглядный способ (мы бы назвали его тригонометрическим) определения величины наклонов орбит больших планет к плоскости эклиптики. Согласно вычислениям Коперника, наклон орбиты Сатурна равен  $2^{\circ} 3'$ , Юпитера  $1^{\circ} 6'$ , Марса  $1^{\circ} 42'$ , а у Птолемея они равны соответственно  $2^{\circ} 34'$ ,  $1^{\circ} 36'$ ,  $3^{\circ} 32'$ . Если сравнить их с современными значениями наклонов ( $2^{\circ} 29'$ ,  $1^{\circ} 18'$ ,  $1^{\circ} 51'$  соответственно), то мы видим, что Коперник намного точнее определил наклон орбиты Марса, но не наклоны орбит Сатурна и Юпитера.

## 5. Другие произведения Николая Коперника

Основное сочинение Коперника увидело свет в 1543 году, но весть о том, что он предлагает новую систему мироздания, распространилась раньше. Ве-

роятно, между 1530 и 1533 годами было написано полатыни и имело широкое распространение в рукописной форме сочинение Коперника, получившее название «Commentariolus» («Малый комментарий»).

Написан «Малый комментарий» в очень убедительном стиле, хотя краткое описание гелиоцентрической системы и не сопровождается строгими математическими доказательствами, подобными тем, которые излагаются в основном сочинении. Он состоит из введения и семи параграфов. Во введении приводятся семь основных утверждений, называемых Коперником аксиомами (требованиями) и служащих основой его теории. Они настолько ясно и обоснованно выражают квинтэссенцию гелиоцентризма, что мы сочли необходимым привести их здесь полностью в таком виде, в каком они написаны их творцом.

*Первое требование.* Не существует одного центра для всех небесных орбит или сфер.

*Второе требование.* Центр Земли не является центром мира, но только центром тяготения и центром лунной орбиты.

*Третье требование.* Все сферы движутся вокруг Солнца, расположенного как бы в середине всего, так что около Солнца находится центр мира.

*Четвертое требование.* Отношение, которое расстояние между Солнцем и Землей имеет к высоте небесной тверди, меньше отношения радиуса Земли к ее расстоянию от Солнца, так что по сравнению с высотой тверди оно будет даже неощутимым.

*Пятое требование.* Все движения, замечающиеся у небесной тверди, принадлежат не ей самой, но Земле. Именно Земля с ближайшими к ней стихиями вся вращается в суточном движении вокруг неизменных своих полюсов, причем твердь и самое высшее небо остаются все время неподвижными.

*Шестое требование.* Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений.

*Седьмое требование.* Кажущиеся прямые и попятные движения планет принадлежат не им, но Земле. Таким образом,—продолжает Коперник,—

одного этого движения достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей».

В сущности, вся гелиоцентрическая доктрина является логичным и последовательным развертыванием этих замечательных гипотез, сопровождаемых изумительными по простоте и наглядности кинематическими моделями и математическими доказательствами.

Далее в «Комментарии» Коперник описывает порядок сфер, начиная с самой «высшей», т. е. самой далекой, сферы звезд и кончая сферой Меркурия. Сфера Луны вращается вокруг Земли и вместе с последней обращается вокруг Солнца.

Во втором параграфе «О видимых движениях Солнца» излагается гипотеза Коперника о «тройном движении» Земли: суточное вращение, обращение вокруг Солнца и деклинационное движение (см. с. 46). Здесь приводится объяснение того факта, как в результате сложения двух движений (годового — гелиоцентрического и деклинационного) земная ось сохраняет неизменное положение относительно звезд.

В параграфе «О Луне» изложены основы теории движения Луны. Здесь мы впервые встречаем кинематическую схему эпи — эпицикла, блестяще использованную Коперником для объяснения всех неравномерностей в движении Луны, наблюдавшихся с помощью астрономических инструментов того времени. Теория движения Луны — одно из самых больших достижений Коперника.

Последние три параграфа «Малого комментария» посвящены схематическому изложению теории движения больших планет, в основу которой положена кинематическая модель эксцентр — эпицикла.

Отсутствие доказательств, подтверждавших истинность коперниковских гипотез, и требование римской церкви дать исчерпывающее объяснение взглядов Коперника на строение Солнечной системы делали весьма актуальным публикацию сочинения, более подробно излагавшего гелиоцентрическую систему, чем «Комментарий». Мы не знаем подлинных причин, почему Коперник долго не решался публиковать основное сочинение, но нашелся энергичный и умный приверженец гелиоцентризма, профессор математики

Иоахим Ретик, который сумел убедить Коперника в необходимости скорейшего издания книги.

Иоахим Ретик оказал такую неоценимую услугу гелиоцентрическому учению, что о нем мы вправе написать более подробно. Он родился в 1514 году в Тироле, входившем в древнюю римскую провинцию Ретия, и по этой причине носил фамилию Ретик. Получил образование в Цюрихе и Нюрнберге, а двадцати четырех лет от роду стал профессором математики в Виттенбергском университете, где преподавал математику и астрономию по учебникам, излагавшим птолемеево учение. Познакомившись с учением Коперника, изложенным в «Малом комментарии», Ретик решил изучить более детально новое учение.

Прибыв в марте 1539 года к Копернику во Фромборк и познакомившись с гелиоцентрической системой, он сразу стал горячим и убежденным коперниканцем и уже 23 сентября этого же года послал в Нюрнберг подробное изложение системы Коперника «О книгах вращений Николая Коперника» (*De libris revolutionum Copernici narratio prima*). Зимой 1539—1540 годов в Гданьске было напечатано это изложение, получившее название «Первое повествование». Конечно, в распоряжении Ретика не было убедительных категорических аргументов в пользу гелиоцентризма, однако его восторженно написанное «Первое повествование» заметно способствовало распространению идей Коперника. Оно формально не принадлежит перу гениального ученого, но поскольку это было первым печатным произведением, посвященным изложению основ гелиоцентрической картины мира, мы коснемся вкратце и его содержания.

«Первое повествование» написано в виде письма, с которым Ретик обратился к своему учителю, профессору математики в Нюрнберге Иоанну Шонеру, поэтому оно изобилует большим количеством высокопарных слов и эпитетов, заслуженно сказанных в адрес Коперника, которого всюду в письме Ретик называет «моим наставником», и в адрес Шонера.

Можно найти в «Повествовании» очень много ссылок на философские произведения древнегреческих ученых, прежде всего Аристотеля и Платона,

которых Ретик, судя по написанному, весьма почитает.

Это произведение состоит из шестнадцати пунктов-параграфов и может быть условно разделено на две части. В первой части (пункты 1—7) Ретик излагает теорию движения Солнца, являющуюся отображением теории движения Земли вокруг Солнца, и теорию движения Луны Коперника. Вторая часть (пункты 8—15) посвящена изложению коперниковых планетных теорий. Здесь мы находим очень убедительную критику геоцентрической доктрины (пункт 8), основанную прежде всего на расхождениях теории с наблюдениями. К XVI столетию предсказание времени наступления лунных и солнечных затмений с помощью птолемеевой теории заметно расходилось с действительным наступлением затмений. В связи с этим Ретик справедливо замечает, что либо следует стать на путь еще большего усложнения древних теорий, а это противоречит гармонии мироздания, либо следует принять теорию «его наставника» Коперника, значительно более простую и более точную. В пункте 9 Ретик перечисляет основные принципы гелиоцентрической системы мира, названные им «новыми гипотезами всей астрономии».

Кстати, следует заметить, что в вопросах терминологии Ретик более современен, чем его наставник. Если в «Малом комментарии» Коперник всюду говорит об аксиомах или о требованиях новой астрономии, не нуждающихся с современных позиций в доказательствах, Ретик в «Первом повествовании» говорит всюду о гипотезах нового учения, т. е. о положениях, которые требуют обоснования и доказательства. Конечно, и Коперник, и Ретик прекрасно понимали, что все положения гелиоцентрической теории требуют практического подтверждения в наблюдательной астрономии.

Выпадают из «Повествования» пункты 5 («О том, что соответственно движению эксцентра сменяются мировые монархии») и 16 («Похвала Пруссии»), в которых Ретик пытается установить мистическое влияние небесных явлений на эволюцию государств, на гибель и рождение новых империй и идеализирует государственное и общественное устройство тогдашней Пруссии.

В 1522 году нюрнбергский священник Иоганн Вернер опубликовал сочинение «О движении восьмой сферы», в котором доказывал неравномерность прецессионного движения. В письме, адресованном настоятелю Краковского собора Бернарду Ваповскому, написанном 3 июня 1524 года, Коперник убедительно доказал несостоятельность точки зрения Вернера. Это письмо известно теперь как «Послание Коперника против Вернера». Вернер утверждал, что прецессионное движение в эпоху от Евдокса до Птолемея было более медленным, чем в эпоху от Птолемея до времени издания Альфонсинских Таблиц (1252 год н. э.), а затем снова замедлилось. Коперник в письме Ваповскому показал, что эти неверные выводы Вернера основаны на элементарной ошибке, заключающейся в неправильном счете числа лет, составляющих продолжительность упомянутых эпох. Это послание интересно не столько критикой взглядов Вернера, хотя она очень убедительна и вместе с тем доброжелательна, сколько богатством астрономических фактов и сопоставлений, характеризующих Коперника как выдающегося ученого, каковым он представляется уже в 1524 году, задолго до провозглашения гелиоцентрической системы.

В библиотеке Упсальского университета в Швеции имеется оригинал еще одной известной работы великого Коперника, именуемой в нашей литературе «Упсальской записью». Это тетрадь, состоящая из 16 листов, в которую он вписывал на протяжении многих десятков лет необходимые ему данные. На этих листах записаны различные таблицы координат планет, таблица соединений и противостояний Солнца и Луны, указаны некоторые приемы вычисления планетных координат. На листах 15 и 19 приведены радиусы эпициклов для больших планет (из теории эпи — эпицикла).

С большой вероятностью следует предположить, что числовой материал из «Упсальской записи» послужил основой вычислений, выполненных Коперником в трактате «О вращениях небесных сфер».

Из других произведений Коперника известен его перевод с греческого на латинский язык литературного сборника «Нравственные, сельские и любовные письма» византийского писателя VII века н. э.



Феофилакты Симокатты. И. И. Толстой в сборнике «Николай Коперник», вышедшем по случаю 400-летия со дня смерти великого ученого, пишет, что перевод «Писем» Симокатты, увидевший свет в 1509 году, говорит о том, что молодой в то время Коперник прекрасно владел основными языками служителей науки своего времени: греческим и латинским.

## **6. Сопоставление научного трактата Коперника и сочинения «Альмагест» Птолемея**

Резюмируя все сказанное о содержании трактата Коперника, можно сказать, что он написан в стиле научной монографии в лучшем смысле этого слова. Все идеи, изложенные в нем, весьма глубоки и оригинальны и ни одна из них не приведена без тщательного обоснования. В то же время доказательства всех положений убедительны, в большинстве своем они достаточно просты, и в этом особенно чувствуется большой математический талант автора. Интересны и наглядны чертежи Коперника, число которых в сочинении довольно велико. Они во многих местах просто необходимы; надо иметь в виду, что в то время формулы геометрии и тригонометрии не выражались с помощью привычных для нас обозначений, а излагались «в прозе». Поражает также при чтении трактата широта затрагиваемых и решенных проблем, из которых многие относятся к философским вопросам науки.

Представляет не только исторический, но и познавательный интерес сравнение и сопоставление сочинения Коперника с основным трактатом по астрономии в докоперникову эпоху, «Альмагестом» великого древнегреческого астронома Клавдия Птолемея. Сочинение Птолемея первоначально носило название «Мегале синтаксис», что означает «Великое построение», но арабские переводчики средних веков стали употреблять название «Аль Маджисти», которое означает «Величайшее», а отсюда уже произошло русское название «Альмагест». В тринадцати книгах «Альмагеста» Птолемея изложил и систематизировал все достижения древнегреческих астрономов, и прежде всего Гиппарха, которым он всюду восхищается.

Первые две книги Птолемея содержат изложение наиболее простых фактов, известных из астрономических наблюдений: шарообразность Земли, суточное вращение небесного свода, главные, известные в то время особенности в движении Луны, Солнца и планет, продолжительность дня и ночи на различных широтах, времена восхода и захода звезд.

Основной интерес представляют положения, которые могут быть названы постулатами геоцентрической астрономии. Эти постулаты суть:

1. Земля шарообразна.
2. Она неподвижна, находится в центре небесного свода (мира) и ничтожно мала по сравнению с расстояниями до звезд.
3. Небосвод имеет сферическую форму и вращается как твердая сфера вокруг Земли, делая один оборот за сутки.
4. Планеты, к которым причислены Солнце и Луна, также вращаются вокруг Земли.

Кроме того, в первых двух книгах изложены необходимые для дальнейшего теоремы из геометрии и тригонометрии.

В третьей книге «Альмагеста» автор излагает теорию движения Солнца, разработанную за триста лет до этого Гиппархом.

Одно из основных достижений Птолемея содержится в четвертой книге, посвященной теории движения Луны. Здесь очень хорошо изложена та часть лунной теории, связанная с уравнением центра (см. п. 2 этой главы), которая была разработана еще Гиппархом на основе кинематической модели эксцентра. Но, кроме того, Птолемей нашел расхождение между теорией Гиппарха и наблюдениями Луны, произведенными в его время, причем величина этого расхождения существенно зависела от положения Луны относительно Солнца. Тем самым он открыл замечательное неравенство в теории движения Луны, названное впоследствии эвекцией, о которой говорилось выше. Для улучшения теории он также предположил, что эпицикл Луны обладает малым колебательным движением, названным им *просневзисом*, и после учета всех этих неравенств лунная теория Птолемея оказалась изумительно точной для того времени. Расхождение между наблюдениями и

теорией для любого положения Луны на орбите не превосходило  $10'$  — весьма малой величины для древней астрономии. В этой же книге впервые излагается знаменитая кинематическая модель — бисекция эксцентриситета, изобретенная Птолемеем для лунной теории.

Пятая книга «Альмагеста» состоит из двух частей. В первой части дается подробное описание основного астрономического инструмента того времени, *астролябии*, состоящей из нескольких концентрических окружностей с нанесенными на них градусными делениями, расположенных в различных плоскостях. Астролябия была наиболее распространенным инструментом и в средние века, и во времена Коперника. В другой части этой книги Птолемей излагает методы определения расстояний до Луны и Солнца.

Шестая книга посвящена теории солнечных и лунных затмений Гиппарха, заметно дополненной более строгими математическими расчетами и многими иллюстрациями.

Седьмая и восьмая книги содержат звездный каталог 1028 звезд, составленный в основном Гиппархом во II веке до нашей эры. Прямые восхождения этих звезд \*) исправлены Птолемеем за счет прецессии, которую он нашел равной  $36''$  в год. Следует заметить, что здесь Птолемей менее точен, чем Гиппарх, который считал, что это число представляет, возможно, наименьшее значение годичной прецессии, а Птолемей его рассматривал как точное значение. Попутно заметим, что это значение годичной прецессии, определенное древнегреческими астрономами, значительно расходится с ее действительным значением. У Коперника же мы находим почти точное совпадение.

Последние пять книг (с девятой по тринадцатую) посвящены планетным теориям. Здесь особенно ярко проявил себя выдающийся талант Клавдия Птолемея, сумевшего с помощью эпицикла и экванта объяснить замысловатые петлеобразные видимые движения планет на небосводе, в том числе стояния, прямые и попятные движения.

---

\*) Прямое восхождение звезды — сферическая координата, аналогичная долготе, но отсчитываемая вдоль небесного экватора.

Формально композиция трактата Коперника сложна со структурой «Альмагеста». Действительно, Книги Первая и Вторая Коперника содержат изложение основных постулатов гелиоцентрической доктрины, основных астрономических фактов, вытекающих из наблюдений, а также математические аспекты планетных теорий. Здесь мы имеем некоторое сходство по форме, но особенно выпукло усматривается принципиальное различие всего, что касается содержания. Если Птолемей преподносит читателю геоцентрическую доктрину как один из возможных способов описания движения планет\*), то Коперник дает весьма убедительную критику геоцентрического учения и излагает гелиоцентрическую систему как единственно возможную. Здесь же имеется звездный каталог, и эта часть Книги Второй соответствует седьмой и восьмой книгам Птолемея.

Книга Третья Коперника соответствует третьей книге Птолемея, так как в обеих содержатся теории движения Солнца. Кроме того, Коперник излагает здесь свою теорию прецессии. В Книге Четвертой Коперник трактует свою теорию движения Луны, впрочем, так же, как и Птолемей в четвертой книге излагает свою лунную теорию. Содержание последних глав (XXVIII—XXXII) Книги Четвертой аналогично содержанию шестой книги «Альмагеста». И здесь, и там приведена теория лунных и солнечных затмений.

Наконец, Книги Пятая и Шестая Коперника соответствуют девятой — тринадцатой книгам Птолемея, в которых, как уже говорилось, описаны долготные и широтные теории движения планет.

В некоторых местах Коперник даже придерживался стиля изложения Птолемея. Это особенно относится к Книге Шестой, в которой многие места суть переложение птолемеевой теории с учетом основных положений гелиоцентрического учения.

---

\*) Будучи знакомым с учением Аристарха Самосского, Птолемей понимал, что возможно иное геометрическое объяснение движения планет. На это недвусмысленно указывается и в «Альмагесте». Но, считая главным создание теории движения планет для практических нужд, Птолемей принимает гипотезу неподвижности Земли, ибо, как пишет он, «все, что трудно понимаемо, представляется широким кругам непригодным для практического применения».

Завершая характеристику труда Коперника, хочется подчеркнуть еще раз основное естественно-научное значение великого произведения Коперника «О вращениях небесных сфер», которое состоит в том, что его автор, отказавшись от геоцентрического принципа и приняв гелиоцентрический взгляд на строение Солнечной системы, открыл и познал *истину действительного мира*.

Гениальный трактат Коперника и заложенные в нем революционные истины оказали решающее влияние на развитие всего естествознания, а такие фундаментальные науки, как астрономия, математика и механика, стали развиваться быстрыми темпами. В течение столетия после выхода в свет «О вращениях небесных сфер» Кеплер открыл знаменитые законы планетных движений, Галилей сформулировал принцип относительности механических движений и с помощью основного астрономического инструмента — телескопа открыл многие невидимые до того времени небесные тела (прежде всего спутники планет), Джордано Бруно (1548—1600) провозгласил идею о бесконечности Вселенной и бесконечном числе обитаемых миров.

Великие научные открытия, сделанные этими убежденными поборниками всеобщего торжества гелиоцентризма в естествознании, обусловили расцвет новой астрономии, математики и механики. Логическим завершением усилий Коперника стало гениальное сочинение Исаака Ньютона «Математические начала натуральной философии», увидевшее свет в 1687 году, спустя 144 года после первой публикации сочинения Коперника.

## **7. Анализ роли в астрономии Клавдия Птолемея и его сочинения «Альмагест», выполненный Робертом Ньютоном**

Когда анализируется роль какого-либо сочинения, имеющего эпохальное значение, в первую очередь следует рассмотреть те исторические, общественные и социальные условия, которые сложились в обществе к моменту его появления. Вместе с тем неизбежно возникает множество вопросов, связанных с создани-

ем самого трактата. Среди них можно указать на следующие:

1. В какой мере основная, центральная идея анализируемого сочинения правильна, истинна?

2. Правильно ли, корректно ли выполнена «обработка» наблюдательного материала, на котором основаны содержащиеся в нем теоретические выводы и обобщения?

3. Насколько богата выборка из наблюдений, т. е. достаточно ли то количество наблюдений, имеющих в руках у автора, чтобы строго обосновать основные положения своей работы?

4. В какой мере автор является честным перед самим собой, коллегами и читателями и какова степень его компетентности, чтобы по возможности не были допущены грубые ошибки как на уровне обработки и интерпретации наблюдательного материала, так и на уровне теоретических построений?

Нам кажется, что эти вопросы, составляющие далеко не полный список, должны быть учтены при разработке критерия, оценивающего место, значение и роль анализируемого сочинения в той или иной области науки (а иногда и в науке в целом), а также место и роль его автора. Эти вопросы мы можем поставить и при анализе гениального сочинения Николая Коперника. В сущности, то, что нами изложено выше, и то, что написано дальше, в третьей главе, и дает более или менее полные ответы на поставленные вопросы.

Но эти вопросы в такой же степени правомочно поставить и при анализе основного, дошедшего до наших дней, астрономического сочинения древности — «Альмагеста» Клавдия Птолемея.

Сочинение Птолемея существует почти два тысячелетия, и, естественно, попытки провести его анализ «на истинность», по-видимому, предпринимались не раз. Вместе с тем в истории астрономии имели место обстоятельства, которые способствовали тому, что полный, исчерпывающий анализ «Альмагеста», сравнение изложенных в нем теорий движения планет с наблюдениями, на которых они должны были основываться, изучение самих наблюдений и их точности могли рассматриваться другими астрономами не как собственная творческая задача.

Первое обстоятельство заключается в том, что сочинение «Альмагест» касалось всех астрономических проблем, актуальных для древнегреческой астрономии, и в этом смысле оно имело энциклопедический характер. Именно энциклопедичность сочинения Птолемея способствовала росту его популярности, его распространению не только среди специалистов данной науки, но и в более широких кругах читателей античного периода. Довольно часто мы встречаемся с ситуацией, когда новое сочинение, так сказать, «принимается читателем», в него верят и уже позже наступает критический анализ, критическая оценка основных положений когда-то модного сочинения. Такая судьба должна была быть и у труда Клавдия Птолемея, но вспомним, что непосредственный послептолемеевский период — это третье, четвертое столетия нашей эры, когда шел интенсивный распад Римской империи. В период распада больших рабовладельческих государств и формирования феодальных отношений, характеризующихся разрозненностью, изолированностью людей, существенно затруднялись обмен научными идеями, развитие критики научных трудов или творчества ученых. В эпоху перехода от рабовладельческого строя к феодализму научные школы, подобные знаменитым греческим, практически перестали существовать. По-видимому, феодальная раздробленность, существование большого числа мелких, слабых государств привели и к раздробленности в науке, к образованию небольших групп ученых, деятельность которых протекала в пределах того или иного города. Мы мало знаем имен того периода, которые оставили бы заметный след в человеческой цивилизации. Отсюда, в частности, и вытекает, что могучих критиков геоцентрической теории в эпоху феодализма и не могло быть. Эти эвристические рассуждения можно отнести вообще к феодальной эпохе, т. е. к периоду времени, охватывающему более тысячи лет, от Клавдия Птолемея до Николая Коперника.

Второе обстоятельство касается отношения к «Альмагесту» астрономов и других ученых, живших уже после Николая Коперника. Нам кажется естественным, что после значительного распространения гелиоцентризма, особенно после появления выдаю-

щихся открытий, принадлежащих Кеплеру и Ньютону, интерес к геоцентрической точке зрения в кругах ученых практически исчез и уже не было важным и принципиальным развивать всесторонний критический анализ всего сочинения Клавдия Птолемея. Раз основная идея оказалась неверной, то стоит ли вдаваться в подробный разбор всех рассуждений, выкладок, выводов Птолемея?

Второе обстоятельство может оказаться решающим при попытке объяснения причин отсутствия серьезного, глубокого анализа знаменитого некогда сочинения Птолемея, устанавливающего, в какой мере «Альмагест» является научным трактатом, основные положения которого обоснованы дедуктивным путем из первоначальных предпосылок.

Появление ньютоновой механики, открытие закона всемирного тяготения и построение математического аппарата, позволяющего изучать и предсказывать динамику небесных тел, значительно облегчили задачу анализа и ревизии геоцентрической системы мира, хотя и связано это с выполнением большого количества вычислений, сравнений и сопоставлений. Но несмотря на относительную неактуальность такого разбора, все же следует приветствовать деятельность подобного рода, так как только она может окончательно указать на справедливое место того или иного трактата, его автора в истории науки, в истории цивилизации.

Предпринятый в последнее десятилетие американским ученым Робертом Ньютоном, специалистом в небесной механике, пересмотр и критический анализ того, что считалось на протяжении почти двух тысячелетий наиболее ценным и обоснованным в сочинении Птолемея, открывает перед нами новые, порой неожиданные факты из античной астрономии, а также неизвестные до сих пор обстоятельства, когда-то способствовавшие утверждению геоцентризма. Р. Ньютон выполнил подробный разбор «Альмагеста», проанализировал не только каждую из книг, составляющих это сочинение, и в них каждую главу, но в своем анализе дошел до каждого пункта, можно сказать, до каждого абзаца. Результатом этой огромной и кропотливой работы явилась сначала публикация нескольких больших научных статей, а совсем



недавно и издание объемистой книги под названием «Преступление Клавдия Птолемея» («The crime of Claudius Ptolemeus»).

Основной смысл книги Р. Ньютона состоит в том, что большинство наблюдений, на которых построена геоцентрическая картина мироздания, сфабрикованы Птолемеем или, точнее сказать, подделаны, а основные достижения античной, прежде всего греческой, астрономии, с большой вероятностью, изложены в «Альмагесте», мягко говоря, неполно и необъективно. Сам же Птолемей как ученый был посредственным астрономом, не сумевшим постичь и понять те замечательные результаты, которые принадлежали его предшественникам.

Каким образом обосновывает эти далеко идущие выводы Р. Ньютон? Прежде всего он провел тщательный анализ наблюдений, принадлежащих древним астрономам (Метону, Геминусу, Гиппарху и др.), жившим до Птолемея, самому Птолемею и приведенных в «Альмагесте».

В частности, в «Альмагесте» Птолемей приводит около сорока наблюдений, сделанных якобы им самим в период с 127 года до 160 года н. э. Среди них имеются и такие (8 наблюдений), которые не сопровождаются датой. Эти наблюдения относятся к Солнцу, Луне, планетам и к некоторым звездам. Наблюдения Солнца предназначались в первую очередь для определения равноденствий, солнцестояний и долготы Солнца, а наблюдения Луны (среди них имеются и наблюдения, выполненные во время затмений) — для вывода параметров лунной орбиты (наклон лунной орбиты, средняя высота Луны и др.). Такие наблюдения имели чрезвычайно большое значение для всего уклада жизни в античную эпоху, так как они позволяли определить продолжительность сезонов, продолжительность года. Р. Ньютон проанализировал таблицу птолемеевских наблюдений и пришел к огорчительному выводу, что почти все эти наблюдения являются поддельными, так как расхождения между положениями светил, вычисленными по геоцентрической теории и самими наблюдениями Птолемея иногда превышают любые допустимые даже для древней астрономии пределы. Но для того, чтобы сделать вывод о поддельности птолемеевских наблюде-

ний, надо иметь геоцентрическую теорию движения Солнца, Луны и планет с хорошо определенными параметрами. Эти параметры можно найти двумя способами: либо использовать для этого наблюдения других древнегреческих астрономов, либо «перевычислить» положения небесных тел на указанные Птолемеем даты, исходя из современных теорий. Помимо этого, пользуясь современными ЭВМ, можно найти точность теорий движения Солнца, Луны и планет с птолемеевыми параметрами, т. е. с теми «константами теории», которые были определены Птолемеем. Подобный анализ выполнен Р. Ньютоном, и он содержит доказательство существования принципиальных, не исправляемых дефектов птолемеевых теорий. К таковым относятся, например, вековой характер некоторых отклонений в долготе небесных светил (добавки в долготу растут пропорционально промежутку времени).

Анализ птолемеевских наблюдений дал непомерно большие отклонения. Например, ошибка в моменте летнего солнцестояния 25 июня 140 года н. э., данного Птолемеем, равнялась  $1\frac{1}{2}$  суткам, а различия в угловых величинах часто превышали  $1^\circ$ , что тоже недопустимо для астрономических инструментов даже того времени. Птолемей определил путем наблюдений и склонения 12 звезд, которые, по мнению Р. Ньютона, следует считать реальными, так как расхождения между теорией и наблюдениями не превышают  $7'$ , однако удивительным является то, что Птолемей их не использовал при определении величины прецессии.

Кроме собственно птолемеевских наблюдений, в «Альмагесте», как мы указывали, используются наблюдения, приписываемые Птолемею другим древним астрономам. Таких наблюдений не так уж мало (около семидесяти), и они охватывают достаточно большой промежуток времени, продолжительностью в шесть столетий. Здесь Р. Ньютон ставит вполне разумный вопрос: действительно ли наблюдения принадлежат тем астрономам, имена которых указаны Птолемею, и в какой мере, в связи с этим, увеличивается вероятность того, что эти наблюдения подлинны, а не сфабрикованы?

Ответ на такой вопрос, как правило, не является очевидным, и требуется применение не одного, а

нескольких, желательно независимых, тестов, чтобы с той или иной степенью уверенности обосновать такой ответ. Ситуация на самом деле еще сложнее, так как часто ответ не может быть однозначным и можно говорить лишь о более или менее вероятном ответе. Подлинность того или иного наблюдения может быть надежно установлена, пожалуй, только в одном случае, когда имеются литературные источники, независимые от Птолемея и «Альмагеста». Понимая сложность проблемы, Р. Ньютон проделал обстоятельный анализ всех наблюдений, и, что весьма ценно, там, где выводы не могли быть исчерпывающе обоснованы, он выбирал наиболее осторожный вариант для заключения. Например, для проверки утверждения Птолемея о принадлежности некоторых солнечных наблюдений выдающемуся древнегреческому астроному Гиппарху Р. Ньютон привлекает исследования предшественника Птолемея Геминуса (жившего в II—I веках до н. э.) и астронома Ценсоринуса (жившего после Птолемея, в середине III столетия н. э.). Рассуждения, связанные с трудами Геминуса и Ценсоринуса, представляют большой научный интерес и по той причине, что в трудах упомянутых ученых мы находим много полезной информации об античных солнечных календарях, непосредственно связанных с датами равноденствий и солнцестояний. Геминус пишет о продолжительности сезонов, отсчет которых идет от момента весеннего равноденствия и равных 94,5; 92,5; 88,125 и 90,125 суток соответственно. Эти же величины Птолемей приписывает Гиппарху, и они согласуются с промежутками времени между равноденствиями, измеренными Гиппархом. Отсюда, по-видимому, можно сделать вывод, что в этом случае Птолемей не исказил факты.

В работе Ценсоринуса написано о долговременном календаре Гиппарха, охватывающем промежуток времени в 304 года, из которых 112 лет состояли из 13 месяцев, а остальные 192 года — из 12 месяцев. Всего цикл Гиппарха состоял из 3760 месяцев. Откуда возник такой цикл в 304 года? Очень интересное объяснение этому факту дает Р. Ньютон. Самое древнее наблюдение, приведенное в «Альмагесте», принадлежит Метону и, вероятно, относится к 431 году до н. э. Также вероятно, что Метон изобрел солнеч-

ный календарь с циклом в 19 лет и содержащий 235 месяцев. Длина года в его календаре составляла  $(365 + \frac{1}{4} + \frac{1}{76})$  суток. Столетием позже Каллип объединил 4 девятнадцатилетних цикла в «Каллипов цикл», состоящий из 76 лет с 940 месяцами. Исключая сутки из промежутка в 76 лет, Каллип пришел к длине года в  $(365 + \frac{1}{4})$  суток. Гиппарх, по-видимому, объединил четыре Каллипова цикла в один цикл и снова опустил одни сутки. Следовательно, получился Гиппархов цикл длиной в 304 года с 3760 месяцами. Легко определить, что продолжительность года в календаре Гиппарха составляла  $(365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{304})$  суток, т. е. 365,2467 суток. Отметим, что различие между продолжительностью гиппархова года и современным значением тропического года составляет величину, меньшую пяти минут. Отсюда следует, что великий Гиппарх и его предшественники умели весьма точно определять даты равноденствий и солнцестояний.

Анализируя наблюдения летнего солнцестояния, приведенные в «Альмагесте», Р. Ньютон нашел четыре наблюдения, которые дают длину года, отличающуюся от длины гиппархова года на величину, меньшую часа. Но среди них только два наблюдения, в том числе и наблюдение, приписываемое Гиппарху, сопровождаются малыми ошибками в определении момента наблюдения, в то время как другим двум (в том числе и птолемеевскому наблюдению 140 года) присущи ошибки больше суток. Отсюда Р. Ньютон делает осторожный вывод о том, что Птолемей, приписывая наблюдение 134 года до н. э. Гиппарху, также не искажает факты.

Приведенные рассуждения в достаточной мере убеждают читателя в тщательности и обоснованности стиля критического анализа, которым пользовался Р. Ньютон при разборе «Альмагеста». Подобный стиль позволил критику сделать вывод, что если не большинство, то многие наблюдения, приписываемые другим астрономам, искажены и подделаны. В этом Р. Ньютон видит одно из самых вредных последствий для науки, связанных с именем Птолемея. Из-за этого до нас дошли не те истинные наблюдения

древних астрономов, которые могли оказаться по-настоящему полезными, а лишь искаженные, сфабрикованные, т. е. фиктивные, наблюдения небесных светил, затруднившие, в частности, Николаю Копернику согласование гелиоцентрической системы с наблюдениями.

Анализ математической части сочинения «Альмагест», который выполнил Р. Ньютон также достаточно тщательно, показывает, что Птолемей допустил немалое число математических ошибок в области сферической тригонометрии, в вычислениях и, по-видимому, не владел той несовершенной теорией ошибок, которую интуитивно понимали и применяли на практике другие античные астрономы. Конечно, никакой строгой математической теории ошибок тогда не существовало, если не считать правила «среднеарифметического», требующего для получения уверенного результата повторения и увеличения числа наблюдений небесных объектов. В связи с этим Р. Ньютон ставит вопрос о степени компетентности Птолемея в астрономической науке в целом и дает в общем отрицательный ответ.

Следует также указать еще на одно интригующее обстоятельство. В той части «Альмагеста», где описаны античные астрономические инструменты, Птолемей дает достаточно подробное их внешнее описание, но основные параметры, каковыми являются цена деления на их градуированных кругах и их размеры, не приводит, а это является самым главным при определении точности наблюдений. Создается впечатление, что такое описание инструментов не было случайным.

Мы здесь коснулись лишь некоторых рассуждений и фактов, приведенных Р. Ньютоном в книге «Преступление Клавдия Птолемея». В самой книге таких рассуждений и сопоставлений неизмеримо больше, и это позволило Р. Ньютону сделать вывод о том, что общепринятое место и роль Клавдия Птолемея в истории астрономии не соответствуют истинному положению вещей. Сочинение «Альмагест» порочно не только с мировоззренческой, философской точки зрения, но оно нанесло большой ущерб объективным знаниям о Вселенной, так как в нем в большинстве случаев мы находим искаженные, подделанные

наблюдения, а теоретические модели подогнаны под фиктивные наблюдения. По мнению Роберта Ньютона, Птолемея ни в коем случае нельзя отнести к категории величайших астрономов древнего мира. Наоборот, Р. Ньютон считает его «наиболее преуспевшим обманщиком за всю историю науки».

Книга Роберта Ньютона описывает события двухтысячелетней давности, и поэтому ее основные выводы, какими бы обоснованными они ни были, не могут оказать большое влияние на дальнейшие пути развития астрономии. Современная астрономия и, можно сказать, в целом современное естествознание опираются на фундамент, заложенный Николаем Коперником, и на дальнейшее развитие механики и физики, и по этой причине анализ роли Птолемея имеет в первую очередь исторический интерес.

Вместе с тем не все ученые, наши современники, согласны с оценкой Клавдия Птолемея, данной Р. Ньютоном. В этом смысле заслуживает внимания статья Овена Гингериха «Был ли Птолемей обманщиком?», опубликованная в ежеквартальном журнале Английского Королевского астрономического общества в 1980 году.

Суть позиции Гингериха, не лишенной, на наш взгляд, оснований, состоит в том, что у нас нет достаточной информации, чтобы сделать единственный, однозначный вывод о научной нечестности Клавдия Птолемея.

### III. ТОРЖЕСТВО ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОГО УЧЕНИЯ

Кристалл небес мне  
не преграда боле.

*Джордано Бруно*

#### 1. Доказательство истинности гелиоцентрической системы

Смелые революционные научные принципы Коперника, сопровождаемые замечательными пояснениями и доказательствами, никого не оставили равнодушными: у одних они вызвали восхищение и удивление, а у других — смятение и растерянность. Как всегда бывает в исключительных ситуациях, среди ученых нашлись горячие приверженцы нового учения о Вселенной, но нашлись и последовательные противники гелиоцентризма.

К числу последних относился и знаменитый датский астроном Тихо Браге (1546—1601). Если Земля и все остальные планеты обращаются вокруг Солнца, то движение Земли по орбите должно вызвать видимое (параллактическое) смещение звезд,— рассуждал Тихо Браге,— и при этом перемещения более близких к Земле звезд относительно более далеких должны периодически повторяться с интервалом в один год. Но систематические наблюдения многих звезд на протяжении ряда лет, выполненные Тихо Браге на точных астрономических приборах, не выявили ни одного параллактического смещения. Именно этот факт считался наиболее уязвимым для системы Коперника и делал ее неприемлемой для Тихо Браге.

С другой стороны, Тихо Браге вполне сознавал простоту и ясность, с которой система Коперника распутывала сложность планетных движений, и не скупился на похвалы великому ученому. Он полностью отрицал существование громадных расстояний до звезд, приписываемых последним коперниковской системой, и никак не мог представить движение Земли. Эти соображения послужили отправной точкой для системы мироздания, заявленной ученому миру Тихо Браге в 1583 году. Согласно доктрине Тихо Браге, планеты движутся вокруг Солнца, которое обращается в свою очередь вокруг неподвижной Земли с годичным периодом. Вокруг Земли обращается также Луна с месячным периодом и вся небесная сфера с суточным периодом. Система Тихо Браге являлась компромиссом между птолемеевой и коперниковской теориями и поэтому не имела серьезных последователей. Но, так или иначе, Тихо Браге ниспроверг систему Птолемея и подготовил почву для решительной и окончательной победы системы Коперника. Благодаря громкой и заслуженной славе, которой пользовался Тихо Браге, его система стала общеизвестной, и, после того как такой авторитет отрекся от Птолемея, никто уже не отстаивал последнего.

Утверждения о суточном вращении Земли вокруг собственной оси и о годичном обращении Земли вокруг Солнца — эти два постулата, на которых базируется вся коперниковская система мира, требовали от сторонников гелиоцентризма получения непосредственных доказательств их истинности.

Заслуживающие большого внимания мысли о доказательстве истинности гелиоцентрической системы принадлежат академику В. А. Амбарцумяну. По-видимому, не существует простого однозначного алгоритма, который бы позволил провести разграничение между непосредственными и косвенными доказательствами какого-либо положения или утверждения, относящегося к явлениям природы. Всякое природное явление имеет бесконечное множество сторон, характерных черт, находящихся во взаимной связи и проявляющихся по-разному в различных ситуациях, поэтому и арсенал относящихся к нему утверждений может быть весьма богатым, с различными оттенками и чертами. Отнесение какого-либо доказательства



к категории прямых или косвенных доказательств по сути своей является диалектическим обстоятельством.

В. А. Амбарцумян обращает внимание на то, что одним из самых уязвимых мест в геоцентрической системе является совпадение периодов обращения вокруг Земли внешних планет Сатурна, Юпитера и Марса (по соответствующим эпициклам), а также внутренних планет Меркурия и Венеры (по деферентам) с периодом обращения Солнца. Это совпадение необъяснимо в системе Птолемея и является очевидным и естественным в системе Коперника. Более того, именно совпадение этих периодов и может рассматриваться как прямое доказательство истинности гелиоцентрической системы. Как справедливо отмечает В. А. Амбарцумян, причина видимых движений планет по эпициклам и деферентам и видимых движений неподвижных звезд по годичному параллактическому эллипсу одна и та же (обращение Земли вокруг Солнца); поэтому в корне неправильно считать параллактическое смещение звезд (кстати, очень незначительное) прямым доказательством истинности гелиоцентризма, а параллактическое движение планет (гораздо более масштабное) не считать таковым. Таким образом, было бы неправильно думать, что в эпоху Коперника отсутствовали прямые доказательства движения Земли вокруг Солнца.

Множество фактов и астрономических явлений, косвенно подтверждающих справедливость научной доктрины Коперника, обнаружил великий Галилей. Прежде всего открытие в 1610 г. спутников Юпитера опровергло ошибочное утверждение приверженцев геоцентрической системы, что Земля является единственным физическим центром движений во Вселенной, и доказало, что вращательные движения возможны и вокруг движущихся в пространстве небесных тел (ведь Юпитер и в птолемеевой и в коперниковой системах не покоится в пространстве). Таким образом, очень красиво и убедительно был опровергнут один из древнейших догматов: вращательные движения возможны лишь вокруг покоящегося тела, так как в противном случае тело, совершающее вращательное движение, отставало бы от движущегося центрального тела. Следовательно, обращение Луны

вокруг Земли и гелиоцентрическое движение самой Земли вполне могут реализоваться одновременно, и стало ясно, что критика лунной теории Коперника его противниками, основанная на этом древнем догмате, не имела под собой никакого научного подтверждения.

Наблюдения Галилеем лунной поверхности доказали ее сходство с земной поверхностью, и тем самым древнему философскому принципу Аристотеля о совершенстве всего небесного и несовершенстве земного был нанесен чувствительный удар. Далее, 1610—1612 годы характерны еще одним замечательным открытием. Галилей и независимо от него еще несколько астрономов из Англии, Голландии и Германии обнаружили темные пятна на Солнце, с помощью которых было открыто вращение Солнца вокруг своей оси. Но если Солнце обладает соответствующим вращательным движением, то почему Земля или другие планеты должны быть лишены такого движения?

И древние эллины, и средневековые жрецы науки, и многие современники Коперника сходились на том, что во Вселенной все светила, за исключением Земли, находятся в непрестанном движении, но лишь Галилей довел до научного принципа это непосредственно наблюдаемое явление. Если Коперник дал науке принцип относительного восприятия движений, то Галилей, изучая свободное падение тел, открыл один из основных законов классической динамики — закон инерции и принцип относительности. Из последнего вытекает, что все системы координат, в которых справедлив закон инерции, равноправны. Все они движутся друг относительно друга поступательно и равномерно. А отсюда мы заключаем, что различие между покоем и движением относительно.

Прекрасную иллюстрацию этого дают стихи А. С. Пушкина:

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.  
Другой смолчал и стал пред ним ходить.  
Сильнее бы не мог он возразить,  
Хвалили все ответ замысловатый.  
Но, господа, забавный случай сей  
Другой пример на память мне приводит:  
Ведь каждый день пред нами Солнце всходит,  
А все же прав упрямый Галилей!

Многие астрономы, жившие в XVII—XIX столетиях, придерживались мнения, что для окончательной победы гелиоцентрической системы необходимо иметь доказательство того факта, что Земля движется относительно звезд, определяющих как бы абсолютную систему координат. Не углубляясь в вопрос, где же должен быть центр тяжести рассуждений ученых о более убедительных или менее убедительных доказательствах, лишь заметим, что наиболее распространенная точка зрения того времени не лишена своей внутренней логики. С позиции современных концепций мы бы сказали, что речь шла о доказательстве существования движения Земли относительно инерциальной системы координат, которая «привязана» к совокупности слабых звезд, считающихся с некоторым приближением неподвижными в части пространства космологических размеров.

Систематические попытки обнаружить параллактические смещения звезд, отражающие годичное движение Земли, предпринимавшиеся на протяжении 180 лет после смерти Коперника, не увенчались успехом. Лишь в 1725 году английский королевский астроном Джеймс Брадлей открыл явление, названное *абберацией света*, непосредственно доказывающее, что Земля не покоится в пространстве. Абберация света — это результат сложения движения световой волны, имеющей очень большую, но все же не бесконечную скорость, с движением Земли по гелиоцентрической орбите.

Пусть наблюдатель, движущийся вместе с Землей в направлении  $AB$  (рис. 19) со скоростью  $v$ , наблюдает звезду  $S$ , из которой исходят перпендикулярные к  $AB$  световые лучи. Если зрительная труба установлена перпендикулярно к  $AB$ , то свет от звезды  $S$ , попавший в объектив астрономической трубы  $O$ , затратит некоторое время  $t$  на преодоление расстояния  $OC$  (длина астрономической трубы). Но за время  $t$  вследствие движения Земли наблюдатель переместится в точку  $D$  и не увидит изображение звезды  $S$ . Чтобы наблюдать звезду  $S$ , необходимо, наклонив трубу, сдвинуть окуляр зрительной трубы в точку  $E$  ( $EC = CD$ ), и в этом случае, пока за время  $t$  свет пройдет путь  $OC$ , окуляр переместится как раз в точку  $C$ . Поэтому звезда  $S$  будет видна не в

направлении  $CS$ , а в направлении  $ES'$ , т. е. звезда окажется смещенной в сторону движения Земли в данный момент времени.

Угол  $k$  и представляет аберрацию света. Легко найти, что

$$\operatorname{tg} k = \frac{vt}{ct} = \frac{v}{c},$$

где  $c$  — скорость света. Так как  $c = 299\,792,5$  км/с, средняя скорость Земли по орбите  $v = 29,7$  км/с, то можно найти, что  $k = 20'',5$  (эта величина называется *постоянной аберрации*).

Для открытия параллактических смещений звезд Джеймс Брайлей избрал звезду  $\gamma$  Дракона, находящуюся на небосводе недалеко от полюса эклиптики. Наблюдения  $\gamma$  Дракона, которые он выполнил в течение года, позволили обнаружить смещение этой звезды относительно других звезд. Но это смещение не было параллактическим смещением, так как выяснилось, что все наблюдавшиеся Брайлеем звезды, находящиеся вблизи полюса эклиптики, описывают окружности *одинакового радиуса* (около  $20'',5$ ), и, следовательно, эта величина не зависит от расстояния от наблюдателя до звезды.

Брайлей не только заметил при наблюдениях  $\gamma$  Дракона в 1725 году ее аберрационное смещение, но и правильно его объяснил в 1728 году в докладе, представленном Королевскому Обществу Англии. Это было новое доказательство одного из двух постулатов Коперника — *Земля не покоится в пространстве, а движется относительно звезд*.

Спустя столетие после этого выдающегося открытия удалось, наконец, измерить так называемые годовые параллаксы трех звезд, и, когда были получены их численные значения, стало ясно, что об измерении таких величин в эпоху Коперника и Тихо Браге не могло быть и речи. За время, прошедшее

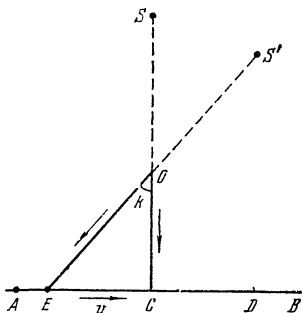


Рис. 19. Явление аберрации света.

от Коперника и до 30-х годов XIX столетия, были построены более совершенные астрономические инструменты и разработаны новые методы измерения звездных положений. Свершился качественный скачок в наблюдательной астрономии, позволивший добиться в угловых измерениях точности порядка долей секунды дуги.

Годичный параллакс звезды — это угол, под которым виден со звезды  $E$  радиус орбиты Земли  $ST$  (на рис. 20 это  $\angle SET = p$ ). Для определения угла  $p$

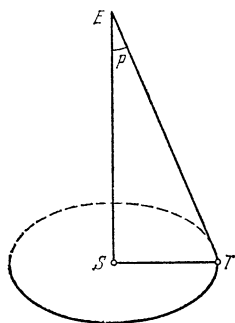


Рис. 20. Годичный параллакс звезды.

необходимо измерять с большой точностью в течение года смещение звезды  $E$  относительно других звезд, расположенных в пространстве на существенно больших расстояниях (при расчетах считается, что последние удалены в бесконечность). Траектория этого видимого перемещения звезды представляет собой маленький эллипс, в точности совпадающий по форме с земной орбитой, видимой воображаемым наблюдателем, находящимся на звезде. В 1837—1840 годах первым директором Пулковской об-

серватории Василием Яковлевичем Струве (1793—1864), Фридрихом Бесселем (1784—1846) и Томасом Гендерсоном (1798—1844) были определены соответственно годичные параллаксы звезды Веги из созвездия Лиры, 61 Лебеда и  $\alpha$  Центавра.

Параллакс звезды 61 Лебеда оказался равным  $0'',338$ , т. е. эта звезда от Земли отстоит в 700 000 раз дальше, чем Солнце (точное значение  $0'',3$ ). По вычислениям Струве, параллакс Веги был равен  $0'',25$  (его точное значение равно  $0'',125$ ), а Гендерсон нашел параллакс  $\alpha$  Центавра равным  $1''$  (точное значение  $0'',75$ ). Эти числа подтвердили догадку Коперника об огромных расстояниях до звезд.

Еще одним доказательством истинности гелиоцентризма и одним из самых впечатляющих достижений небесной механики и всего естествознания явилось открытие большой планеты Нептун путем теоретических расчетов.

После открытия в 1781 году Урана Вильямом Гершелем из наблюдений русский академик А. И. Лексель (1740—1784) вычислил его орбиту, оказавшуюся круговой с радиусом, примерно в два раза превышающим большую полуось орбиты Сатурна. Более точные теоретические исследования показали, что учет притяжения Урана известными тогда большими планетами (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн) не объясняет его истинного движения в пространстве. Получилась парадоксальная ситуация: либо движение Урана не подчиняется закону всемирного тяготения, либо существует еще одна неизвестная планета, сильно возмущающая движение Урана.

Знаменитый французский астроном XIX столетия Урбан Жан Жозеф Леверрье (1811—1877) и английский астроном Джон Адамс (1819—1892) одновременно создали высокоточную аналитическую теорию движения Урана и на ее основе определили орбиту неизвестной планеты и ее положение на небосводе. 23 сентября 1846 года берлинский астроном Иоганн Галле (1812—1910) обнаружил новую планету примерно в том месте неба, на какое указал Леверрье. Впоследствии эта планета была названа Нептуном.

Аберрация света, звездные параллаксы и открытие Нептуна служат прямыми доказательствами лишь годового движения Земли, и, если говорить абсолютно строго, из них не вытекает однозначно факт суточного вращения Земли, с описания которого и начинается знаменитое сочинение Коперника.

Одно из самых убедительных доказательств суточного вращения Земли вокруг собственной оси было дано в 1851 году изобретателем гироскопа, французским физиком Леоном Фуко (1819—1868). Он заметил, что колебания маятника происходят в плоскости, сохраняющей независимое положение в пространстве.

Если сообщить маятнику, состоящему из тяжелого металлического шара (весом 10—20 кг) и длинной (в несколько десятков метров) тонкой металлической нити (такая конструкция малочувствительна к силам воздушного торможения), колебательное движение в определенной плоскости, то маятник будет колебаться в этой неизменной плоскости достаточно долго. Под маятником необходимо иметь горизонтальный

круг (радиусом в несколько метров) с нанесенными на нем равноотстоящими друг от друга метками.

Вращательное движение Земли вокруг своей оси легко усматривается в медленном вращении плоскости колебаний маятника, которое можно заметить при помощи горизонтального лимба (в северном полушарии это вращение происходит по направлению движения часовой стрелки).

На самом деле Земля поворачивается под маятником, но земной наблюдатель этого не замечает, так как он «жестко» связан с Землей. Именно такой эксперимент осуществил Фуко в Парижском Пантеоне, пользуясь маятником длиной более 60 м.

Другое явление, указывающее на вращательное движение Земли с запада на восток,— это отклонение падающих тел к востоку. Из физики известно, что точки, имеющие одну и ту же угловую скорость вращения, но расположенные на различных расстояниях от центра вращения, имеют различную линейную скорость, так как  $v = \omega R$ , где  $R$  — радиус вращения,  $\omega$  и  $v$  — угловая и линейная скорости соответственно. Поэтому вследствие суточного вращения вершина высокой башни имеет большую линейную скорость и, следовательно, перемещается к востоку быстрее основания этой башни. Тело, падающее с вершины башни, сохраняя большую линейную скорость вершины, не будет падать прямо по отвесу, а получит небольшое отклонение к востоку (для высоты в 100 м это отклонение на экваторе равно 2,5 см). Сопоставление этих чисел говорит о том, что такой эксперимент требует тщательной подготовки, устраняющей влияние посторонних факторов, поэтому здесь уверенный результат впервые был получен лишь в 1802 году. Древние ученые, которым не был известен закон инерции, открытый Галилеем, считали, что тело, падающее вниз, должно отклониться к западу, если Земля обладает вращением вокруг оси. Но так как такое отклонение никем не наблюдалось, отсюда в древности делали неправильный вывод о неподвижности Земли. Это древнее ненаучное положение остроумно раскритиковано Галилеем в «Диалоге о двух главных системах мира, птолемеевой и коперниковой».

## 2. Борьба за признание гелиоцентрической системы мира в Западной Европе

Утверждение гелиоцентрической системы мира представляет собой наглядную иллюстрацию к той бескомпромиссной борьбе, которую на протяжении тысячелетий вели прогрессивные, передовые мыслители, стремящиеся познать объективную истину и законы развития мира, с представителями реакционных взглядов, сторонниками церковных догматов. Следует, правда, заметить, что гениальное творение Коперника не сразу подверглось гонению со стороны римской церкви.

Основная причина этого состоит прежде всего в том, что трактат Коперника мог быть понят только высокообразованными людьми, умевшими разбираться в математических выкладках и формулах. Определенную роль сыграло и упоминавшееся предисловие к книге, написанное Осигандером.

Раньше всех поняли опасность учения Коперника для религии представители протестанства. Первые весьма резкие и оскорбительные нападки на Коперника со стороны основателей протестантского вероисповедания Мартина Лютера (1483—1546) и Филиппа Меланхтона (1497—1560) относятся уже к 1531 году.

Так, например, Лютер назвал Коперника глупцом за то, что он ставит всю астрономию с ног на голову, игнорируя «священное писание», в котором утверждается, что Иисус Навин, вождь иудейского народа, для продления дня велел остановиться Солнцу, а не Земле. Эти представители протестанства сразу заметили глубокие расхождения и непримиримые противоречия между блестящими идеями Коперника и догмами библейских писаний и повели против нового учения фанатическую борьбу.

Мы уже говорили, что первым ревностным защитником коперниковой системы был Ретик, издавший «Первое повествование» еще при жизни Коперника и опубликовавший в 1550 году свое второе сочинение — «Эфемериды», основанное на коперниковых принципах. Вслед за Ретиком убежденным и последовательным коперниканцем стал виттенбергский математик Эразм Рейнгольд (1511—1553), который на основе сочинения Коперника издал в 1551 году так



называемые «Прусские таблицы», содержащие координаты небесных тел. В «Прусских таблицах» Рейнгольд провел более детальную разработку вычислительных методов Коперника и тем самым значительно способствовал распространению среди математиков и астрономов коперниковых взглядов. В предисловии к своему труду Рейнгольд писал: «Мы глубоко обязаны Копернику за его многотрудные наблюдения и в особенности за восстановление истинного учения о движении небесных тел».

В 60—70 годах XVI столетия благодаря трудам Джона Фильда, Роберта Рекорда (1510—1558) и Томаса Диггса (год рождения неизвестен, умер в 1595 году) коперниково учение получило некоторое распространение в Англии.

Однако эти работы еще не делали систему Коперника известной широким массам. Лишь после того как в Европе раздалась страстная проповедь доминиканского монаха Джордано Бруно, гелиоцентрическая система мира заняла прочное место в умах людей.

Познакомившись с коперниковой системой мира, Джордано Бруно пошел дальше. Он смело и горячо пропагандировал идею о бесконечности Вселенной и о бесконечном множестве обитаемых миров. Если для Коперника звездная сфера была непроницаемой твердью, которая и служила границей Вселенной, и вопрос о том, что происходит дальше ее, даже не возникал, для великого провидца Джордано Бруно «кристалл небес» не мог быть более преградой. «Высшая» сфера Вселенной перестала быть таковой в буквальном смысле слова и превратилась в беспредельный мир небесных светил, разбросанных в бесконечном пространстве. Свое научно-философское кредо великий Джордано Бруно лучше всего выразил в следующих стихах:

Века ль, года, недели, дни, часы ли,  
Твое оружие время — их потока  
Ни сталь и ни алмаз не сдержат, но жестокой  
Отныне их я не подвластен силе.  
Отсюда ввысь стремлюсь я, полон веры,  
Кристалл небес мне не преграда боле,  
Разрушивши его, подъямлюсь в бесконечность.  
И между тем как в новые все сферы  
Я проникаю сквозь эфира поле,  
Внизу — другим я оставляю Млечность.

Но эти прекрасные по форме и революционные по сути научные мысли стоили Джордано Бруно жизни. Он был сожжен фанатичными церковниками на костре в 1600 году.

В ряду борцов за коперникову истину особое место занимают гениальные ученые Галилей и Кеплер, к которым особенно применимо привычное для нас утверждение, что они не столько на словах, сколько на деле помогали утверждению и распространению гелиоцентрического учения\*). Галилей, выдвинувший много новых научных идей и сделавший не одно великое открытие в самых различных областях естествознания, ознакомившись с теорией Коперника, сразу стал ее приверженцем, о чем им было публично объявлено в 1613 году в трактате, посвященном открытию и изучению солнечных пятен. В дальнейшем во всех своих сочинениях он в различных формах, порой весьма закамуфлированных (надо иметь в виду, что инквизиция и папизм в судебном порядке запретили Галилею поддерживать новые взгляды о строении мира), подчеркивал свою приверженность к системе Коперника.

Вся астрономическая деятельность другого гения, Кеплера, базировалась на идее о правильности гелиоцентрической системы. Признавая раз и навсегда правильность основной идеи Коперника, Кеплер проанализировал тщательнейшим образом причины расхождений между наблюдаемыми и вычисленными по «Прусским таблицам» (*Tabulae prutenicae*) положениями светил и пришел к выводу о том, что кинематические модели эпи — эпицикла, эксцентр — эпицикла и эксцентр — эксцентра не позволяют устранить эти расхождения, а этот факт в свою очередь привел к выдающимся открытиям, впоследствии названным законами планетных движений.

Большую поддержку гелиоцентрической системе мира оказал один из величайших ученых своего времени Христиан Гюйгенс (1629—1695). Через три года

---

\*) Учитель Кеплера, тюбингенский профессор Мэстлин (1550—1631), первоначально следовавший системе Птолемея, убедившись в ее ошибочности, обратился к последователю Коперника. В этом духе он воспитал и Кеплера. Своей лекцией, прочитанной в Италии, Мэстлин оказал огромное влияние и на Галилея.

после смерти Гюйгенса, в 1698 году, была опубликована написанная им книга «Теория космоса», содержащая прекрасное изложение системы Коперника. Кстати, перевод этой книги на русский язык, вышедший в 1717 году, представлял собой второе произведение такого рода, появившееся в России. Она вышла под названием «Книга мирозрения, или мнение о небесно-земных глобусах и их украшениях».

### 3. Николай Коперник и польская культура того времени

В первой главе мы отмечали, что традиции Ягеллонского университета оказали решающее влияние на становление Николая Коперника как ученого-исследователя, как гражданина-патриота. В связи с проведением в Польской Народной Республике в 1973 году Года Науки в честь юбилея Коперника появились новые фактические материалы, проливающие дополнительный свет на обстановку того времени и на роль Коперника и его учения в Польше\*). Еще в XV столетии появилась большая группа польских ученых-астрономов, которые вели систематические наблюдения небесных тел. Это Вавживей из Ратибожа, Сендзивуй из Чекля, Мартин Круль из Журавницы, жившие в первой половине, Анджей Гжимала из Познани, Петр Гапповец, Войцех Бляр Брудzewский и Мартин Былица из Олькуша — во второй половине XV столетия. Среди перечисленных астрономов особое место занимает Войцех из Брудзева, о котором мы неоднократно упоминали раньше.

Польская культура в эпоху Возрождения была на подъеме. В Ягеллонском университете преподавали выдающиеся профессора (общественно-политические науки преподавал Фрич-Моджевский, естественные науки — Ваповский, Унеховский и др.). Расцвет искусства и архитектуры, укрепление экономических связей в обществе также создавали благоприятную почву для великого открытия.

Общественно-политическая жизнь тогдашней Польши характеризовалась стремлением к парламен-

---

\*) См. речь президента Польской Академии наук В. Тшебятовского из сборника «Николай Коперник»,

тарному стилю руководства, к некоторому ограничению власти церкви, а это способствовало (или по крайней мере не мешало) проведению различных философских и теологических диспутов среди студентов и преподавателей Краковского университета. Краков — столица польского государства — процветал как большой культурный центр, украшенный выдающимися архитектурными сооружениями. Многие источники говорят о развитии в то время польского языка и польской национальной культуры. Можно, пожалуй, констатировать, что в целом XVI век для Польши характеризуется преобладанием гуманистических начал над реакционными.

Имя Коперника после его смерти встречается на страницах многих изданий того времени, наряду с именами других польских ученых-гуманистов XVI столетия Рея, Кохановского, Мацея Меховиты и др., внесших большой вклад в национальную культуру Польши. Ситуация резко изменилась в худшую сторону на рубеже XVI и XVII столетий, во время правления короля Зигмунта III, сторонника и проводника политики абсолютной монархии.

Хотя в Краковском университете гелиоцентрическое учение официально не признавалось, «гипотезой Коперника» пользовались для вычисления координат небесных тел. Большое влияние на общественное мировоззрение оказала речь «Похвала Николаю Копернику», произнесенная в 1782 году молодым профессором Яном Снядецким, впоследствии изданная в виде отдельной книги и переиздававшаяся много раз на протяжении столетия. XIX столетие характеризуется широким распространением гелиоцентрического учения в Польше.

#### **4. Влияние учения Коперника на науку и культуру России**

В связи с 500-летним юбилеем Николая Коперника в печати появилось много серьезных научных исследований, посвященных бессмертному учению и его влиянию на культуру, науку и общественное сознание разных народов. В них мы находим очень много новых, ранее неизвестных исторических фактов, связанных с распространением гелиоцентри-

ческого учения в Российском государстве, с пересмотром многих общепринятых тогда канонов и взглядов.

Большинство из этих публикаций представляются достаточно содержательными и весьма поучительными. Поэтому автор не ограничился лишь их чтением, а основательно изучил и извлек из них полезную и интересную для широкого читателя информацию. Мы имеем в виду прежде всего сборник статей под названием «Николай Коперник. К 500-летию со дня рождения», выпущенный издательством «Наука». Он содержит статьи и историко-астрономические исследования наиболее авторитетных советских и польских ученых — астрономов и историков астрономической науки. Все это позволило по-новому, с использованием значительно более богатого, по сравнению с первым изданием, фактического материала, изложить вопрос о распространении гелиоцентрической доктрины среди народов, населявших Российское государство.

Следует также упомянуть очень содержательную книгу Б. Е. Райкова «Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России», которая была издана относительно давно (второе, последнее издание вышло в 1947 году) и в настоящее время стала библиографической редкостью.

Исторические исследования показывают, что до середины XVII столетия в России мало кто знал о гелиоцентрической картине мира. Как пишет Л. С. Минченко, догмы православной русской церкви, отвергая даже птолемеевское учение, были основаны на библейских идеях о плоской Земле, над которой стоит неподвижное небо — шатер, а движение небесных светил происходит под шатром и управляется волей ангелов. Эта сверхнаивная картина мира официально признавалась церковью и царской властью.

Во второй половине XVII столетия ситуация в России стала меняться. В 1655—1657 годах образованные монахи из Киево-Могилянской академии Епифаний Славинецкий, Арсений Сатанский и Исай перевели на русский язык книгу по космографии Иоганна Блеу «Атлас», изданную в Амстердаме в 1645 году. В «Атласе» хотя и были изложены обе си-

стемы мира, птолемеяевская и коперникова, симпатии автора были на стороне гелиоцентрической системы. В. М. Ничик и М. Д. Рогович в статье из названного сборника отмечают в целом положительную роль Киево-Могилянской академии в распространении идей гелиоцентризма в юго-западных и западных областях Российского государства. Вообще следует сказать, что гелиоцентрическое мировоззрение проникло в Россию благодаря деятельности очагов культуры, находившихся в ее западных областях, которые имели возможность систематического общения с культурными центрами Западной и Центральной Европы. Несколько позже, в 1672—1682 годах, был осуществлен перевод трактата «Селенография» Иоганна Гевелия, содержащего серьезные аргументы в пользу гелиоцентрической системы. Но знакомиться с этой системой могли лишь очень немногие, так как перечисленные сочинения не были размножены типографским способом и существовали в виде рукописей.

Положение стало значительно более благоприятным в первой четверти XVIII столетия, характеризующейся для России общим подъемом политической и культурной активности в масштабах всего государства.

Многосторонняя прогрессивная деятельность Петра I (1672—1725), бесспорного сторонника коперникова учения, начала приносить ощутимые плоды. В учебных заведениях началось преподавание астрономии, впервые были изданы карты звездного неба, государственные институты признавали гелиоцентрическое учение. Православная церковь упорно противодействовала всем начинаниям Петра I, за что, согласно указу царя, была поставлена под контроль государства. Весьма положительную роль в петровский период играл его ближайший помощник Яков Брюс, по инициативе которого были переведены на русский язык уже упомянутая выше книга Гюйгенса и «Генеральная география» Бернгарда Варения (в 1718 г.).

Создание Петром I Петербургской Академии наук имело огромное значение для Российского государства, для развития науки, образования и культуры в России. По замыслу Петра I Академия наук не должна была замыкаться на кабинетной науке, а

должна была объединить усилия выдающихся ученых того времени (Леонард Эйлер, Даниил Бернулли, Иосиф Делиль и др.) для решения государственных задач в области науки, образования и просвещения. Естественно, что представители Академии наук стали активно участвовать в диспутах и выступать в научной печати с утверждениями, относящимися к геоцентрической и гелиоцентрической системам мира. Н. И. Невская в статье, опубликованной в часто цитируемом нами сборнике, приводит очень интересные сведения о первом диспуте, состоявшемся в Петербургской Академии наук 2 марта 1728 года и посвященном обсуждению вопросов: «Можно ли доказать одними только астрономическими фактами, какова истинная система мира? И вертится Земля или нет?». На диспуте с основным докладом выступил директор академической обсерватории Иосиф Делиль, а с ответной речью — выдающийся математик и механик Даниил Бернулли. Результатом этого научного диспута был дальнейший рост интереса к учению Коперника, но, пожалуй, самым главным была выработка некоторой долгосрочной научной программы, выходящей за пределы тематики диспута и касавшейся дальнейшего развития астрономической науки в России.

После смерти Петра I к руководству Российским государством пришли посредственные политики, воспитанные в реакционном духе, считавшие букву и дух библейского писания святой истиной. В Синоде руководство захватили самые реакционные представители духовенства. Церковные круги противодействовали любым шагам, предпринимавшимся прогрессивными учеными по распространению гелиоцентрического учения. Для иллюстрации сложившейся тогда в научных и просветительных кругах России тяжелой обстановки мы приведем один показательный пример.

Реализуя один из пунктов программы Делиля, воспитанник Петербургской Академии, талантливый поэт и дипломат Антиох Кантемир (1709—1744) перевел в 1730 году сочинение французского писателя Бернара Фонтенеля (1657—1757) «Разговоры о множестве миров», но оно было опубликовано лишь десять лет спустя, в 1740 году. Однако реакционеры не ограничились этой задержкой. В 1756 г. Синод обра-

тился к императрице Елизавете с просьбой вообще запретить эту книгу. Подобные репрессивные меры и грубое гонение на учение Коперника хотя и мешали, но не могли остановить распространение действительно революционного учения о мироздании. Блестящую работу в этом направлении осуществляли академики Петербургской Академии наук Л. Эйлер, Д. Бернулли, Н. И. Попов, И. Делиль и особенно М. В. Ломоносов.

Великий русский ученый и мыслитель М. В. Ломоносов (1711—1765), будучи ревностным защитником гелиоцентризма, горячо его пропагандировал среди своих коллег-естествоиспытателей.

В статье «Явление Венеры на Солнце, наблюдаемое в Санкт-Петербургской Императорской Академии Наук майя 26 дня 1761 года», в которой Ломоносов описывает открытие атмосферы у Венеры, имеется «Прибавление», посвященное, в частности, сравнению двух систем мира: коперниковой и птолемеевой.

«Но сей спор,— пишет Ломоносов,— имеет начало свое от идолопоклоннических, а не от христианских учителей. Древние астрономы (еще задолго до рождения Христова): Никита Сиракузянец признал дневное Земли около своей оси обращение, Филолай — годовое около Солнца. Сто лет после этого Аристарх Самийский показал Солнечную систему яснее. Однако эллинские жрецы и суеверы тому противились и правду на много веков погасили». Приведенные слова явно подчеркивают приверженность гениального ученого к гелиоцентризму.

Наконец, многим известно замечательное стихотворение, в котором в остроумной форме Ломоносов говорит об истинности коперниковой системы:

Случились вместе два астронома в пиру,  
И спорили весьма между собой в жару.  
Один твердил: Земля, вертясь, круг Солнца ходит;  
Другой — что Солнце все с собой планеты водит;  
Один Коперник был, другой слыл Птолемея,  
Тут повар спор решил усмешкою своей.  
Хозяин спрашивал: — Ты звезд течение знаешь?  
Скажи, как ты о сем сомненье рассуждаешь?  
Он дал такой ответ: — Что в том Коперник прав,  
Я правду докажу, на Солнце не бывав.  
Кто видел простака из поваров такого,  
Который бы вертел очаг кругом жаркого?



Все, что было изложено выше, имеет отношение в основном к столице Российского государства, Петербургу. Вместе с тем в сборнике «Николай Коперник» имеется обширный материал о влиянии учения Коперника в других регионах, впоследствии присоединившихся к России.

Р. Плечкайтис пишет о распространении в Литве гелиоцентрической точки зрения на строение наблюдаемой в то время Вселенной. Организация в 1579 году Вильнюсского университета сыграла в этом деле большую роль. Преподавание математики, астрономии, натурфилософии и других дисциплин велось таким образом, что студенты знакомились с именами выдающихся ученых: Тихо Браге, Кеплера, Галилея, Декарта и др. Хотя в лекциях по астрономии учение Коперника не преподносилось как истинное учение о мироздании, все же упоминание о нем объективно способствовало распространению гелиоцентризма в студенческой среде. Р. Плечкайтис отмечает большую роль лекций по астрономии профессора Освальда Кригера, прочитанных им в 1645 году. В лекциях Кригера отдается явное предпочтение системе Коперника перед учением Птолемея. Есть основание считать, что это наиболее раннее признание гелиоцентрической системы на территории нашей страны.

Влияние католицизма в Литве и запрет учения Коперника 5 марта 1616 года папой римским существенно осложняли работу прогрессивных профессоров в Вильнюсском университете. Большинство из них, формально соблюдая каноны церкви, излагали основные положения гелиоцентрического учения и особенно системы Тихо Браге, которая не противоречила принятым в то время церковным догмам и поэтому не была запрещена католической церковью. Это также наносило ощутимые удары по учению Птолемея. Создание в 1753 году астрономической обсерватории Вильнюсского университета, развитие физики, астрономии и математики в Европе обусловили дальнейшее распространение гелиоцентрического мировоззрения в Литве.

И. М. Рабинович считает, что в Латвии самой давней публикацией, в которой упоминается учение Коперника, была работа «О длительности дней», выполненная в 1688 году абитуриентом Рижской акаде-

мической гимназии Давидом Хеппенем. На протяжении XVIII столетия в различных диспутах в Рижской академической гимназии высказывались идеи учения Коперника, причем в такой форме, чтобы не вызвать ответной реакции церковных догматиков. Представляет большой интерес книга пастора Ротхарда Фридриха Стендера, вышедшая на латышском языке в 1774 году под названием «Книга высокой мудрости про мир и природу», в которой последовательно проводятся идеи гелиоцентрического учения. В XIX столетии учение Коперника стало излагаться и в латышских школьных учебниках, что говорит о распространении гелиоцентрической системы не только в кругах интеллигенции, но и в более широких народных массах.

В заметке А. И. Бабня обсуждается вопрос о распространении гелиоцентрического учения в Молдавии. Большую положительную роль в этом деле сыграл молдавский просветитель Амфилохий Хотинский, подробно изложивший в своем труде «Грамматика физических наук» (1796 год) гелиоцентрическую систему Коперника, научные идеи Кеплера, Галилея, Ньютона и других выдающихся ученых. Последовательным сторонником и популяризатором учения Коперника был молдавский физик Т. Стамати, который в 40-х годах XIX столетия опубликовал ряд научных и популярных статей, посвященных критике учения Птолемея и обоснованию теории Коперника. По-видимому, следует считать, что к середине XIX столетия учение Коперника стало среди молдавской интеллигенции доминирующим.

Б. Е. Туманян пишет в том же сборнике, что слухи о гелиоцентрической системе мира дошли до Армении через сто с лишним лет после смерти Николая Коперника. В рукописи Исаака Джугаеци, написанной в 1667 году и хранящейся в знаменитом хранилище древних рукописей Матенадаран в Ереване, мы находим рассуждения о вращении Земли вокруг своей оси и о направлении оси вращения Земли в сторону Полярной звезды. Первое определенное упоминание о гелиоцентрической системе мира содержится в рукописи Егия Карнеци, написанной в 20-х годах XVIII столетия. Позже в 1796 году, в Риме была издана книга Ст. Абкаряна, называемая «Основой

естественных наук». Это первая печатная книга на армянском языке, в которой подробно изложено гелиоцентрическое учение. Здесь Земля считается рядовой планетой, движущейся, как и другие планеты, вокруг Солнца. В XIX веке армянский просветитель Хачатур Абовян написал научно-популярную книгу по космографии, в которой содержится не только изложение учения Коперника, но также рассматриваются с материалистических позиций узловые вопросы философии и естествознания. Вообще XIX столетие может считаться эпохой повсеместной победы гелиоцентрического учения и проявления бессилия церковных догм и канонов.

Признание гелиоцентрической системы в Грузии относится ко времени царствования Вахтанга VI (1703—1712), осуществившего ряд прогрессивных реформ и ориентировавшего государственную политику Грузии на связи с Россией, Римом и Францией. Позже, в XVIII и в начале XIX столетия, гелиоцентрическая система мира излагалась в наиболее распространенных в Грузии книгах того времени, каковыми были «Грамматическое сочинение» католика Антона I, философский сборник «Книга высказываний» и др. За более подробной информацией мы отсылаем читателя к статье члена-корреспондента АН СССР Е. К. Харадзе и Г. Г. Георгобиани из того же сборника.

Приведенные выше данные далеко не полно характеризуют борьбу за признание гелиоцентрического учения в России, которая, естественно, происходила в тяжелых, иногда в жестоких условиях. Сложное переплетение исторических событий, опыт борьбы с прогрессивными учениями, накопленный веками православной и католической церковью, альянс государственной власти с реакционными кругами мешали и подчас заметно тормозили распространение гелиоцентрического учения среди широких масс. Вместе с тем борьба реакционных кругов России против учения Коперника не имела никаких шансов на успех, так как она была по сути своей антинаучной, порочной.

Неоценимую роль в утверждении гелиоцентрических взглядов на строение мира, как мы подчеркивали и раньше, сыграло выдающееся произведение «Ма-

тематические начала натуральной философии», написанное гениальным основоположником современных точных наук Исааком Ньютоном. Глубокие обобщения всех достижений науки и выдвижение Ньютоном новых принципов и методов исследования в точных науках (прежде всего в астрономии, математике и механике) само собой подразумевало истинность учения Коперника. Открытие закона всемирного тяготения и толкование законов Кеплера как следствий, из него вытекающих, убедительно объясняло факт планетных движений вокруг Солнца и наглядно подтверждало одну из основных коперниковых гипотез — гипотезу об обращении Земли вокруг Солнца.

Борьба за гелиоцентрическое мировоззрение Коперника закончилась в России в восьмидесятых годах XVIII века, когда оно стало изучаться в общеобразовательной народной школе. Позднее отступила римская католическая церковь, которая еще в 1819 году своим «Индексом запрещенных книг» запрещала труды Коперника, Галилея, Кеплера. Лишь в 1831 году папа римский снял запрет с этих трудов, но это уже не имело значения, так как с этим запретом, по существу, уже почти никто не считался.

Несмотря на все запреты, учение Коперника, будучи по природе своей революционным учением, стало к началу XVIII столетия преобладающей концепцией о строении Вселенной. Выдающиеся открытия XVIII и XIX столетий, описанные в предыдущем разделе, непосредственно доказали истинность учения Коперника.

## **5. О математических моделях для Солнечной системы**

История естествознания убеждает нас в том, что процесс познания окружающего нас мира и его закономерностей неразрывно связан с применением математических методов, математических моделей. С тех пор как познание стало приобретать все более и более научный характер, в процессе изучения мира и его свойств практически все ученые-естествоиспытатели использовали метод моделирования (иногда сознательно, а в древнюю эпоху чаще всего бессознательно, интуитивно) для построения различных

теорий. Любое явление (астрономическое, физическое, химическое и др.) имеет бесконечное число свойств и характерных особенностей, поэтому уже на первоначальном этапе его исследования сама собой возникает задача о выделении из этого бесконечного множества некоторого конечного количества основных, существенных свойств и об отбрасывании всего несущественного. Конечно, классификация характерных свойств данного явления по принципу «существенные» или «несущественные» должна строиться с учетом диалектического единства предмета и цели его исследования. Другими словами, в зависимости от задачи, которую ставит исследователь при изучении данного явления, одни и те же его свойства могут рассматриваться в некоторой ситуации как существенные, а в другой — как несущественные. Отсюда следует, что применение методов моделирования при исследовании астрономических явлений невозможно без определенной степени абстрагирования от несущественных свойств. С помощью моделирования мы заменяем реальное астрономическое (или какое-либо другое) явление некоторой идеализированной моделью, абстрактным, не существующим в природе объектом, но обладающим одним весьма важным свойством: для исследования этого идеализированного объекта можно применять математические методы, вычислительную технику и другие средства.

Рассматривая различные системы мира под этим углом зрения, можно сказать, что и Птолемей, и Коперник, и Тихо Браге строили модели для видимой ими Вселенной. Моделирование Солнечной системы сводилось к созданию такой модели, которая учитывала бы в первую очередь ее кинематические свойства и пространственное устройство. Естественно, что на первом этапе при построении какой-либо модели человек учитывает прежде всего внешние признаки. Так обстояло дело с геоцентрической доктриной Птолемея.

На заре зарождения науки внешние, легко наблюдаемые признаки явлений часто отождествлялись с их сущностью. Не допускалась мысль о том, что сущность явления скрыта от наблюдателя, что его внешние, поверхностные свойства на самом деле могут ввести наблюдателя в заблуждение. Человек счи-

тал, что то, что он видит, чувствует, это и представляет собой саму реальную действительность. Наивное восприятие окружающего нас мира было свойственно, конечно, и древним астрономам. Гносеологическая ошибка Клавдия Птолемея и вытекала из того, что между кажущимся, видимым и реальным он ставил знак равенства. Эта ошибка и привела к разработке такой модели планетной системы, которая представлялась полностью гармонирующей с видимым миром, тем не менее дальнейший прогресс науки и культуры показал, что ее основные признаки не только не согласовывались с истинным положением вещей, а наоборот, противоречили ему.

Вместе с тем, по нашему мнению, гносеологическая ошибка Птолемея почти однозначно вытекала из того состояния, из того уровня научного познания, который сложился к началу нашей эры. Наивное умозаключение о строении мира, выработанное тысячами и опирающееся на непосредственное восприятие человеком движений небесных светил, замена реального мира его видимым отображением, что, естественно, было в древнюю эпоху общепринятой концепцией, обусловили в большой степени появление именно геоцентрической доктрины. Концентрированным выражением этой общепринятой в древнем мире концепции строения мира являлась аристотелева физика, приписывающая природе в качестве основных, существенных свойств ее внешние признаки и проявления. Человеческий организм не ощущает вращения Земли вокруг своей оси или движения Земли вокруг Солнца, поэтому зачем приписывать Земле то, что не ощущает ни один человек? Человечество в то время еще не было подготовлено к тому, чтобы появилась другая, истинная теория. Хотя и в древнюю эпоху мы встречаем проблески истинного знания о Вселенной, все же они были исключением, а не правилом, поэтому они не могли играть роль научных революционных идей, на основе которых была бы создана истинная теория строения нашей планетной системы.

Гелиоцентрическая система мира Николая Коперника также может рассматриваться нами как математическая модель реальной Солнечной системы, описывающая ее пространственно-кинематические

свойства. В чем суть принципиальных различий между геоцентрической и гелиоцентрической моделями?

Настоящая наука начинается там, где появляется мысль о том, что видимое, с одной стороны, и истинное, реальное, с другой стороны, могут не совпадать и даже как будто друг другу противостоять, противоречить. Когда Николай Коперник пришел к выводу, что видимые движения небесных светил не являются реальностью, а лишь внешним ее проявлением, что существуют скрытые от наблюдателя причинные связи и закономерности в этих движениях, которые надобно еще распознать, в тот момент произошло революционное событие, касающееся не только астрономии, но и всего естествознания. В этом проявилась гениальность Коперника. Его система не была очевидной и, казалось, противоречила повседневному опыту людей, но он сумел увидеть различие между сущностью явления и его внешними свойствами.

Нам такая точка зрения, в которой форма не эквивалентна содержанию, а лишь его дополняет, представляется сама собой разумеющейся, но надо иметь в виду, что мы живем после той эпохи, когда были сделаны великие открытия в естествознании. В далекую коперникову эпоху, когда религиозные догмы преподносились как единственно правильные, как истина в конечной инстанции, гносеологический подход Коперника к изучению Вселенной, по сути своей глубоко материалистический, был действительно революционным шагом. Быть может, самое ценное, самое новаторское в учении Коперника и состоит в том, что он своим бессмертным трудом направил энергию и ум других естествоиспытателей на путь проникновения в сущность явлений, а не на изучение их внешних признаков и свойств.

Интересно еще раз вернуться к системе мира Тихо Браге. Казалось, что она должна была иметь в XVII столетии наибольшие шансы на успех. Действительно, модель Вселенной по Тихо Браге находилась в лучшем согласии с астрономическими наблюдениями того времени, чем система Коперника, и, главное, она казалась неуязвимой именно в том месте, где гелиоцентрическая система Коперника подвергалась наибольшей критике. Мы имеем в виду отсутствие тогда наблюдений, устанавливающих годичное парал-

лактическое смещение звезд. Получилась в некоторой степени парадоксальная ситуация. Наиболее подходящая с точки зрения наблюдений того времени модель планетной системы в конце концов тоже оказалась несостоятельной. По нашему мнению, Тихо Браге допускал ту же самую гносеологическую ошибку, что и Птолемей. Считая видимые движения по небосводу планет и звезд истинными, Тихо Браге не смог сделать глубоких выводов из своих же блестящих астрономических наблюдений и не смог стать на точку зрения Коперника. Пример Тихо Браге является поучительным во многих отношениях.

Ученый, не владеющий диалектическим методом познания или отошедший от него, рано или поздно начинает допускать принципиальные ошибки, поэтому маловероятно, чтобы таким ученым могло быть сделано большое, эпохальное открытие. Тихо Браге не допускал иной трактовки астрономических наблюдений, кроме птолемеевой, фетишизировал значимость своих наблюдений. Можно утверждать, что замечательное положение «практика — это критерий истины» он понимал не диалектически, а метафизически. Ведь само понятие «практика» имеет различное содержание в различные эпохи. Это обусловило ошибочность основных положений модели мира, предложенной Тихо Браге, и, следовательно, ее бесперспективность для естествознания.

Все сказанное относится к анализу известных систем мира как кинематических, механических моделей. Вместе с тем следует сказать, что как математические модели они обладают большой степенью завершенности, внутренней непротиворечивости. В этом смысле даже модели Птолемея и Тихо Браге, не говоря уже о гелиоцентрической модели Коперника, можно рассматривать как завершенные математические построения. Это, несомненно, говорит о математическом таланте их авторов.

И все же математический гений Коперника, по нашему мнению, проявился ярче и глубже. Именно его математические построения сделали вопрос о размерах Солнечной системы абсолютно естественным. Вспомним, что в системе Птолемея этот вопрос был надуманным и лишним.



Если для описания одного и того же явления создается несколько конкурирующих между собой моделей, обладающих, допустим, одинаковой точностью, то сам собой возникает вопрос о выборе из них наиболее предпочтительной. Мы имеем в виду выбор наиболее предпочтительной модели из множества правильных, не противоречащих истине, моделей. Здесь имеется достаточно универсальный критерий отбора. Он состоит в том, что предпочтение следует отдавать той модели, которая построена на минимальном числе априорных предположений. Теоретики — астрономы и физики — говорят, что та модель лучше, которая содержит меньшее количество «констант теории».

Применяя этот критерий к моделям Солнечной системы, мы моментально делаем выбор в пользу гелиоцентрической системы Коперника. В этой системе достаточно допустить два априорных предположения (вращение Земли вокруг своей оси и обращение Земли вокруг Солнца), чтобы объяснить пространственно-кинематическое устройство Солнечной системы. В модели Птолемея таких предположений намного больше.

Не будет преувеличением сказать, что математическое моделирование в современной астрономии играет роль одного из самых эффективных теоретических средств изучения Вселенной. От кинематики и динамики планет астрономы постепенно перешли к проблеме движения звезд и звездных систем, что привело к решению проблемы строения и кинематики нашей Галактики. Эта проблема, ставшая актуальной в конце XVIII и в начале XIX столетий, в основном была решена в первой половине нашего столетия. Была установлена принадлежность нашей Галактики к типу спиральных галактик со средней степенью открытости рукавов. От первой космологической задачи, которую блестяще решил Николай Коперник, астрономия перешла к решению второй космологической задачи. Если на первом этапе исследовалась кинематика и динамика планет и планетных систем, то на втором этапе — кинематика и динамика звезд и звездных скоплений в масштабах Галактики. И этим в целом характеризуется четырехсотлетний путь развития астрономии. Отметим, что первый

правильный шаг на этом пути сделал гениальный Коперник.

Проникновение физических и химических методов в астрономию, зарождение астрофизики, позволяет по-новому ставить и решать вопросы динамики и структуры планетных, звездных и галактических образований. Представляются особенно перспективными применение электронно-вычислительных машин и построение вычислительных экспериментов — нового метода математического моделирования, позволяющего «проиграть» на ЭВМ ситуации и процессы, аналогичные тем, которые разворачиваются во Вселенной на больших космологических промежутках времени. Современный уровень развития астрономии, физики и приборостроения таков, что ученым под силу решение третьей, по классификации В. А. Амбарцумяна, космологической проблемы в познании Вселенной. Мы имеем в виду космологическую проблему в масштабе Метагалактики — проблему строения гигантской системы галактик. Как отмечает В. А. Амбарцумян, изучение кинематики и динамики галактических систем неотделимо от изучения происхождения и развития таких систем, и в этом смысле решение третьей космологической проблемы принципиально отличается от решения первой космологической проблемы, данной Коперником. Для исследований метагалактического масштаба приходится решать уравнения тяготения, которые служат математической моделью для процессов космологических размеров. Но и эта модель, как отмечают современные космологи, нуждается, по-видимому, в уточнениях, так как она не может объяснить факт островного строения Метагалактики, состоящей из множества пространственно-изолированных друг от друга звездных систем.

## **6. Гелиоцентрическое учение и теория относительности**

Переходим теперь к рассмотрению гелиоцентрического учения в свете теории относительности, но для этого нам необходимо вспомнить принципы классической (ньютоновой) механики и познакомиться с основными положениями теории относительности.

Механика как наука о движении материальных объектов в пространстве стала наукой в истинном смысле этого слова в XVII столетии, когда Галилео Галилей и Исаак Ньютон сформулировали ее принципы и разработали основы ее методов. Основные кинематические характеристики механического движения — это скорость и ускорение тел, поэтому совершенно ясно, что говорить о движении вне пространства и времени представляется абсурдным. Отсюда следует, что трактовка понятий пространства и времени и их взаимосвязи в механике имеет принципиальное значение.

Радикальное отличие классической механики от теории относительности заключается именно в различной трактовке понятий пространства и времени и пространственно-временных отношений между материальными телами, ибо эти отношения не могут существовать сами по себе, в отрыве от материального мира. Чтобы говорить об изменении относительных положений между телами со временем, необходимо рассмотреть некоторую систему отсчета, в которой введены единицы времени и расстояния.

Под системой отсчета мы понимаем систему пространственных координат  $(x, y, z)$  и способ отсчета времени  $(t)$ , так что система отсчета, вообще говоря, — это четырехмерная система координат  $(x, y, z, t)$ .

Классическая механика возникла в результате изучения свойств твердых тел, движущихся с небольшими скоростями, в то время как теория относительности появилась в конце XIX и в начале XX столетий при изучении электромагнитных явлений, для которых характерны огромные скорости распространения. Известно, что скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света, составляющей 299 792,5 км/с.

В сочинении «Диалог о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой» Галилей, помимо убедительной критики геоцентрической доктрины Птолемея, формулирует один из основных принципов классической механики — *принцип относительности*, развитый впоследствии Ньютоном в «Математических началах натуральной философии». Этот принцип гласит, что *прямолинейное и равномер-*

*ное движение системы, рассматриваемой как единое целое, не влияет на ход механических процессов, происходящих внутри системы.*

Согласно механике Галилея — Ньютона механическое движение тел происходит в трехмерном пространстве (пространстве с тремя измерениями: длиной, шириной и высотой), в котором справедливы аксиомы и теоремы евклидовой геометрии, и по этой причине оно называется *евклидовым пространством*. Наряду с евклидовым пространством и независимо от него рассматривается время.

Со школьной скамьи нам хорошо известны три основных закона классической механики, открытых Галилеем и Ньютоном (закон инерции, пропорциональность силы и ускорения, равенство действия и противодействия), но в теории пространства и времени, характерной для ньютоновой механики, наиболее важным является первый закон механики, постулирующий существование таких систем отсчета, в которых тела, не подверженные действию внешних сил, движутся прямолинейно и равномерно. Такие системы отсчета называются *инерциальными*, и они играют ключевую роль как в ньютоновой механике, так и в теории относительности.

Если рассматривать две инерциальные системы отсчета  $(x, y, z, t)$  и  $(x', y', z', t')$ , движущиеся одна относительно другой поступательно, равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью  $v$ , проекции которой на оси координат суть  $v_x, v_y, v_z$ , то связь между пространственно-временными координатами в этих двух системах выражается так называемыми *преобразованиями Галилея*:

$$x' = x - v_x t,$$

$$y' = y - v_y t,$$

$$z' = z - v_z t,$$

$$t' = t.$$

Последнее равенство утверждает, что *время имеет абсолютный характер и его течение в различных инерциальных системах отсчета неизменно*. Именно оно и выражает основное различие ньютоновой механики и теории относительности.

Из преобразований и принципа относительности Галилея вытекает, что в инерциальных системах отсчета длина и промежутки времени неизменны.

Эти выводы вполне согласуются, более того, вытекают из многовековой человеческой деятельности в области механики, для которой характерны скорости, пренебрежимо малые по сравнению со скоростью света.

В 60-х годах прошлого столетия знаменитый английский физик Джеймс Максвелл (1831—1879) вывел основные уравнения электродинамики. Из этих уравнений следует, что если рассматривать явление распространения света как движение волновой поверхности, каждая точка которой движется по нормали к поверхности\*) со скоростью света  $c$ , то *скорость света является универсальной постоянной*.

Тот большой раздел современной физики, который принято в наше время называть теорией относительности, может быть разделен на две части: *специальная (частная) теория относительности* и *общая теория относительности*.

Специальная теория относительности базируется на тех же принципах, что и классическая механика Галилея — Ньютона, но к ним добавляется еще одно существенное положение, согласующееся с электродинамикой: скорость света  $c$  не зависит от скорости источника, излучающего свет. Другими словами, во всех инерциальных системах скорость распространения электромагнитных волн (т. е. скорость света) одна и та же.

Сочетание принципов ньютоновой механики (принцип относительности Галилея, первый закон Ньютона) с принципом независимости скорости световой волны от скорости источника позволяет вывести новые соотношения между двумя инерциальными системами отсчета, впервые полученные Гендриком Лоренцем (1853—1928).

Рассмотрим снова две инерциальные системы отсчета  $(x, y, z, t)$  и  $(x', y', z', t')$ , из которых вторая поступательно движется относительно первой со скоростью  $v$  вдоль оси  $x$ .

---

\*) Нормаль — это перпендикуляр к поверхности, точнее, к касательной плоскости, проведенной через данную точку поверхности.

Формулы преобразования координат и времени в специальной теории относительности имеют такой вид:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = \frac{t - \frac{xv}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Эти формулы называются *преобразованиями Лоренца* и являются основополагающими в специальной теории относительности. Из них следует, что не только координаты, но и время также подвергается преобразованию, и, следовательно, каждой системе отсчета свойственно свое собственное время, в отличие от классической механики, где время считалось одним и тем же во всех инерциальных системах отсчета. Если предположить, что скорость движения  $v$  одной инерциальной системы относительно другой настолько мала по сравнению со скоростью света  $c$ , что отношением  $v^2/c^2$  можно пренебречь, то тогда формулы преобразования Лоренца переходят в формулы классической механики Галилея, приведенные выше.

Из формул преобразования Лоренца, в частности, следует вывод, что по отношению к движущейся системе отсчета длины движущихся тел представляются укороченными в направлении движения. Можно показать, что два события, происходящие одновременно в одной системе отсчета, не будут одновременными в другой системе отсчета.

Принципы классической механики исходили из того, что скорость света бесконечна, и это приводило к понятию *абсолютной одновременности событий* в различных системах отсчета, независимо от того, с какой скоростью одна система отсчета движется относительно другой. В специальной теории относительности, одним из постулатов которой является конечность скорости света, неодновременные события

в одной системе отсчета могут оказаться одновременными в другой системе отсчета, и наоборот.

Все сказанное относится к специальной (частной) теории относительности, в соответствии с которой свет распространяется прямолинейно.

В общей теории относительности, созданной знаменитым физиком XX столетия Альбертом Эйнштейном (1879—1955), луч света распространяется непрямолинейно. Это заключение вытекает из того факта, что световая волна, обладая энергией, обладает и массой, в соответствии с фундаментальным соотношением, выведенным Эйнштейном:

$$E = mc^2,$$

где  $E$  — энергия,  $m$  — масса.

Но вследствие всемирного тяготения всякая масса (в том числе и световой луч), находящаяся в поле тяготения, испытывает притяжение других масс и сама в свою очередь притягивает другие массы. Отсюда следует, например, что световые лучи, идущие к нам от далеких звезд и проходящие вблизи Солнца, искривляют свой путь около Солнца.

Таким образом, общая теория относительности — это часть современной физики, которая объединяет в единое целое теории тяготения, пространства и времени. Создание общей теории относительности повлекло за собой расширение теории пространства и времени. Геометрические свойства реального физического пространства и времени на самом деле оказались гораздо более сложными, чем в классической механике, и они не объяснимы в рамках геометрии Евклида. Как доказал в 1909 году известный математик и физик Герман Минковский (1864—1909), математическим образом для свойств пространства и времени в общей теории относительности является риманова геометрия, названная так в честь ее создателя, выдающегося немецкого математика XIX столетия Бернарда Римана (1826—1866).

В общей теории относительности считается, что свойства пространства и времени зависят от распределения и движения материальных объектов и в конечном итоге обусловлены тяготением.

Существуют различные трактовки основных исходных идей общей теории относительности. Одна трак-

товка принадлежит ее создателю, Альберту Эйнштейну, и заключается в том, что ускорение, подобно скорости, имеет относительный характер. Это означает, что любые системы отсчета, в том числе неинерциальные (системы отсчета, движущиеся одна относительно другой с отличным от нуля ускорением), равноправны. Вспомним, что в специальной теории относительности равноправными считаются лишь инерциальные системы отсчета. В свете такой трактовки никакой системе отсчета (связана ли она с Солнцем, с Землей, или с каким-нибудь третьим телом) нельзя приписать преимущественное положение. Другими словами, нельзя считать, что утверждение о том, что Земля движется вокруг Солнца, правильно, а утверждение о том, что Солнце движется вокруг Земли, неправильно. Следовательно, с такой точки зрения геоцентрическая система Птолемея и гелиоцентрическая система Коперника равноправны.

Согласно другой трактовке, развитой академиком В. А. Фоком, общая теория относительности не является обобщением специальной теории относительности на случай ускоренно движущихся систем отсчета, а является теорией тяготения, так как она связывает закон всемирного тяготения с пространственно-временными характеристиками материи.

С точки зрения теории тяготения птолемея и коперника системы мироздания не являются равноправными. Если учесть, что Солнечная система находится на значительном расстоянии от других звезд, составляющих поле тяготения в нашей Галактике, то оказывается, что к ней применимы основные принципы специальной, а не общей теории относительности, а согласно специальной теории относительности ускорение имеет, вообще говоря, абсолютный характер. Поэтому можно сделать вывод о том, что теория тяготения Эйнштейна не поколебала истинный приоритет системы Коперника перед системой Птолемея.

Г. М. Идлис в статье из сборника «Николай Коперник» отмечает, что желание сделать эквивалентными в рамках общей теории относительности две системы мира, Птолемея и Коперника, равносильно введению дополнительного гравитационного поля, не существующего в природе. Следовательно, лишь с



помощью допущения, имеющего фиктивный, нереальный характер, можно добиться эквивалентности, равноправия геоцентрической и гелиоцентрической систем. Очевидно, что такое допущение лишено всякого смысла, поскольку установление истинности гелиоцентрической системы мира не нуждается в подобном допущении.

## 7. Николай Коперник и космология

Астрономические наблюдения указывают на существование крупномасштабных процессов, происходящих в галактиках, их скоплениях, в Метагалактике, хотя нам пока неизвестны те законы, которые обуславливают происхождение и развитие космических объектов галактических или метагалактических размеров, подобно тому как во времена Николая Коперника не были известны законы, определяющие планетные движения.

С самых древних времен люди интересовались не только движением небесных тел, но и их происхождением, а позже и их развитием, изменением. Поэтому наука космогония как часть астрономии, которая изучает проблемы происхождения и развития космических тел и их систем, имеет самые древние истоки. Естественно, что на первоначальной стадии мы встречаем лишь наивные, подкрашенные дозой мистики идеи о происхождении небесных тел. Правда, ради справедливости следует упомянуть, что уже древние греки высказывали и в некоторой степени обосновывали идеи о происхождении и эволюции Солнца, Луны и планет, пользуясь научными соображениями. Отличительная черта всех научных гипотез и теорий о происхождении и эволюции небесных тел состоит в том, что для объяснения картины мира привлекается по возможности вся сумма знаний, накопленных человечеством, а не какие-то сверхъестественные, мифические силы или существа. Еще древние греки (Демокрит, Левкипп и др.), несмотря на слишком созерцательное и наивное восприятие ими мира, пытались разрешить космогонические проблемы с помощью науки того времени.

Космогонические исследования стали привлекать все большее внимание ученых-естествоиспытателей

после зарождения современного естествознания, т. е. после эпохи Коперника — Кеплера — Ньютона. После открытия закона всемирного тяготения и законов планетных движений появился прочный фундамент для развития научной планетной космогонии. Публикацию космогонических гипотез Ж. Бюффона (1745 год), И. Канта (1755 год) и П. Лапласа (1796 год), объясняющих происхождение планет и пространственной структуры Солнечной системы на основе ньютоновой физики, можно расценить как фундаментальный вклад в естествознание XVIII столетия. Благодаря плодотворной (можно сказать, выдающейся) научной и конструкторской деятельности В. Гершеля в конце XVIII столетия была разработана первая научная гипотеза об образовании звезд из туманностей путем процесса сгущения последних. Отсюда берет начало звездная космогония. XIX и XX столетия характеризуются дальнейшим развитием планетной, звездной, галактической космогонии, но мы здесь об этом более подробно говорить не будем. Упоминание начального этапа развития космогонии в большой степени оправдано тем, что именно в то время гениальные идеи Коперника оказывали огромное непосредственное, а не косвенное влияние на космогоническую науку.

Наряду с космогонией, в новейшую эпоху и особенно в наше время очень интенсивно развивается новая астрономическая наука — космология. Из ее названия следует, что это учение о Вселенной, рассматриваемой как единое целое, и о той части Вселенной, которая наблюдается современными астрономическими инструментами. Появился даже термин «астрономическая Вселенная», под которым сегодня подразумевается часть космического пространства, занятая Метагалактикой и простирающаяся на сверхогромные расстояния в 3000—6000 Мегапарсек. В переводе на световые годы — это расстояние порядка 10—20 млрд. световых лет\*).

В предшествующие эпохи «астрономическая Вселенная» была существенно меньше, а в докоперникову эпоху ее размеры (правда, тогда еще не измеренные) не выходили за пределы Солнечной системы.

---

\*) Световой год — расстояние, которое свет проходит за один год, и оно равно 9 460 800 000 000 км.

Космология как система знаний базируется на всех известных в настоящее время научных знаниях, и в первую очередь на физических законах, на астрономических наблюдениях и на философских принципах, одним из которых является объективность законов природы и, следовательно, возможность их экстраполяции на космологические масштабы, хотя они получены и проверены в весьма небольшой части космического пространства, связанной прежде всего с Землей или с Солнечной системой.

Мы всегда должны помнить о первичной и решающей значимости астрономических наблюдений для выработки правильного, материалистического взгляда на Вселенную, и вместе с тем мы должны учесть, что абстрактная теория эволюции Вселенной может оказаться полезным инструментом в руках исследователей при накоплении знаний о мироздании. Конечно, такая теория хороша, если она «равняется» на практику и, в свою очередь, подсказывает практике наиболее актуальные направления проведения нового эксперимента. Можно сказать, что между астрономической практикой и теорией всегда должно быть состояние взаимной поддержки, взаимной помощи и взаимного понимания.

Космогония и космология проникают друг в друга, дополняют друг друга и в том случае, когда изучаются космические объекты или системы галактических или еще больших масштабов. Как совершенно справедливо отмечал В. А. Амбарцумян, нельзя отделять космологические проблемы от космогонических, и наоборот. Точнее, единственно правильный подход к решению космологических проблем — это тот, который не отрывает проблемы строения и развития Вселенной в целом от проблемы происхождения и эволюции галактических образований, скоплений. Вот почему мы, переходя к космологическим структурам, должны всегда помнить о неразрывной связи, можно сказать, о неделимости космогонических и космологических проблем.

Возвращаясь к выдающейся роли Николая Коперника в естествознании, можно сказать, что он был первым космологом, рассмотревшим пространственно-динамическую структуру тогдашней «астрономической Вселенной» с научных, материалистических по-

зиций. Гелиоцентрическая теория, как первая правильная космологическая теория, послужила сильным импульсом для всего естествознания и, в частности, для открытия основных физических законов, на которые опирается современная космология.

Рассмотрим сначала основные факты, лежащие в основе современной космологии. В 20-х годах нашего столетия было установлено, что наша Галактика (старинное название которой «Млечный Путь») не является единственной в природе, что давно наблюдавшиеся космические объекты, так называемые спиральные и эллиптические туманности, являются такими же галактиками. Это обстоятельство поставило на повестку дня вопрос о взаимодействии галактик и галактических систем между собой, о существовании более крупномасштабных систем галактик, т. е. о Метагалактике.

К настоящему времени установлены следующие три фундаментальные научные истины:

1. Наблюдается неравномерное распределение галактик в пространстве. Большинство из них образуют скопления или группы.

2. Справедлив закон Хаббла, т. е. закон взаимного удаления галактик. Скорость удаления приблизительно пропорциональна взаимным межгалактическим расстояниям. Закон Хаббла является экспериментальным законом, вытекающим из физического принципа Доплера. Вывод о взаимном разбегании галактик делается на основе обнаружения так называемого *красного смещения*, т. е. смещения спектральных линий в спектрах галактик к красному концу спектра. Это грандиозное явление часто называется *расширением Вселенной*.

3. Существует так называемое реликтовое излучение, представляющее собой остаток процессов, происходивших в отдаленную эпоху, на начальном этапе существования Метагалактики.

Перечисленные факты, к которым будут, несомненно, добавлены и другие, учитываются, по возможности, космологической теорией.

Эффект красного смещения указывает на то, что в прошлом Метагалактика была более плотным космическим объектом и, следовательно, находилась в качественно другом состоянии. Наиболее удаленные

от нас небесные объекты — квазары — находятся на расстоянии в 10 миллиардов световых лет. Иначе говоря, свет от квазаров доходит до Земли за время, равное 10 миллиардам лет, и приносит информацию о прошлом Метагалактики, относящемся к эпохе, отстоящей от нашей на 10 миллиардов лет. Астрономам удалось получить наиболее вероятное значение постоянной Хаббла, т. е. того коэффициента, который позволяет провести количественные оценки расширения Вселенной. Если принять постоянную Хаббла равной 60 км/с·Мпс, то получается, что время, необходимое для расширения Метагалактики до современного состояния, составляет приблизительно 17 млрд. лет.

Правда, некоторые специалисты считают, что красное смещение в спектрах квазаров имеет не космологическое происхождение, а это означает, что крупномасштабная структура Вселенной может быть абсолютно иной, чем та, которая в наши дни наиболее «принята».

Астрономическими наблюдениями установлено, что не только Метагалактика по существу неоднородна, но и многие галактики характеризуются существенными неоднородностями. Таким образом, можно сделать вывод, что процесс перемешивания звезд в галактиках далеко не завершен. Не исключено, что каждая галактика совершила за время своего существования несколько десятков оборотов вокруг своей оси. Например, период обращения нашей Галактики составляет примерно 200 миллионов лет, а ее возраст — около 10 миллиардов лет. Большинство галактик приблизительно того же возраста.

Методами внегалактической астрономии установлено, что существуют неустойчивые группы галактик, которые распадаются через 200—500 миллионов лет. Наблюдения свидетельствуют о том, что в Метагалактике существуют и молодые галактики, и, по-видимому, процесс возникновения новых галактик никогда не прекращается. Фундаментальным вопросом космологии является вопрос о физической структуре звездной и галактической материи, т. е. о состоянии вещества, входящего в состав звезд и межзвездной среды. В основном вещество в наблюдаемой Вселенной находится в состоянии плазмы (двухком-

понентный ионизованный газ, состоящий из ионов и электронов).

Опираясь на выдающиеся достижения современной наблюдательной астрономии, на современные философские концепции и законы физики, космологическая наука разрабатывает математико-физические модели, качество которых должно проверяться с помощью наблюдений. Если построенные модели согласуются с разнообразными наблюдениями, то весьма желательно, чтобы эти модели предсказывали и новые, неизвестные эффекты и явления, обнаружение которых, в свою очередь, должно стимулировать не только дальнейшее развитие самой теории, но и дальнейшее совершенствование методики эксперимента и наблюдений.

К настоящему времени наиболее признанной и известной среди специалистов моделью является модель однородной, изотропной, нестационарной и горячей Вселенной, которая согласуется с частными решениями А. А. Фридмана, полученными им в 1922 и 1924 годах при исследовании уравнений общей теории относительности, или общей теории тяготения. Каковы особенности этой модели? Прокомментируем каждое из прилагательных, входящих в ее определение. В модели однородной Вселенной предполагается, что вещество распределено непрерывно и равномерно. Изотропная модель — это такая модель, в которой физические и другие свойства вещества одинаковы по всем направлениям (временному и геометрическим), т. е. не зависят от направления. Нестационарная модель имеет в виду изменяемость со временем геометрических, физических, химических и других параметров и характеристик Вселенной. Наконец, горячая Вселенная означает, что на ранней стадии ее эволюции температура вещества была весьма высокой. Так вот, фридмановские модели Вселенной — это модели, обладающие одновременно всеми перечисленными свойствами. Эти модели играют большую роль в космологической теории, поэтому внимательно изучались многими космологами\*). Появились модифицированные фридмановские

---

\*) Желаящим познакомиться с проблемами космологии мы рекомендуем книгу И. Д. Новикова «Эволюция Вселенной» (М.: Наука, 1979).

модели (модели Фридмана — Леметра и др.), но мы всегда должны иметь в виду следующее решающее обстоятельство. Все космологические модели, независимо от того, описывают они «открытую» Вселенную или «замкнутую», все же являются лишь моделями и служат удобным средством для познания закономерностей и процессов в реальной бесконечной Вселенной.

При этом возникает один из фундаментальных вопросов современной космологии. Всякую динамическую или астрофизическую модель для удобства ее исследования мы «погружаем» в некоторое «геометрическо-временное» пространство, точнее, любая такая модель изучается лишь совместно со свойствами некоторого четырехмерного пространства. Спрашивается: каковы масштабы космогонических или космологических моделей, для которых их «погружение» в евклидово пространство или в галилеево пространство — время следует считать допустимым и разумным? Иными словами, до каких астрономических размеров (имеются в виду не только пространственные координаты, но и время) можно пользоваться геометрией Евклида или свойствами галилеева пространства? Изучение космических объектов с размерами, равными размерам Солнечной системы или отдельного звездного скопления, когда можно говорить об изолированной системе, на основе свойств галилеева пространства — времени представляется бесспорным и естественным. Однако при рассмотрении моделей Вселенной, в частности, решений Фридмана общих уравнений тяготения, свойства пространства совпадают со свойствами геометрии Лобачевского, поэтому пространственно-временное пространство, в котором изучаются свойства космологических моделей галактических и метagalактических масштабов, можно назвать пространством Лобачевского — Фридмана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Никогда не перейдут светила  
предписанных границ.

(Латинский стих) \*)

Ничто в природе не является застывшим, неизменным. Спутники вращаются вокруг своих осей и вокруг планет, планеты совершают поступательно-вращательное движение вокруг Солнца, которое в свою очередь движется среди звезд вокруг ядра нашей Галактики. Двигутся и миллиарды звезд, члены нашей «родной» Галактики. На поверхности планет, в их недрах и атмосферах постоянно происходят физические и химические превращения. В микромире, находясь в непрестанном движении, рождаются и умирают элементарные частицы — кирпичики, из которых состоят такие сложные образования, как атомы. Конечно, эти явления происходят во времени и пространстве и каждому из них свойственны свои масштабы. Если в мире звезд «привычными» промежутками времени являются сотни миллионов и миллиарды лет (продолжительность активной жизни большинства звезд примерно 10 миллиардов лет), а для измерения межзвездных расстояний незначительной является такая единица расстояния, как световой год, то в микромире события происходят за миллиардные доли секунды.

---

\*) Этот латинский стих был взят Анри Пуанкаре эпиграфом и девизом к его работе «О проблеме трех тел и об уравнениях динамики».



Самому процессу познания, отражающему объективные закономерности развития материи, также свойственно непрерывное развитие. Все, что мы имеем в «копилке» знаний, добыто людьми в непрерывной деятельности, в борьбе с могучей, скрывающей свои тайны природой, в борьбе нового, передового со старым, отжившим. Поиск, признание и утверждение истины часто сопровождалось ошибками и заблуждениями, еще чаще тормозились догматиками, приверженцами различных религиозных течений. Многовековое строительство прекрасного здания, называемого наукой, ставшей в наше время огромной материальной силой человеческого общества, не обошлось без больших жертв со стороны великих ученых, обессмертивших свое имя научными подвигами.

За два с половиной тысячелетия человечество постигло многие тайны природы, проникнув в глубины природы на 42 порядка вдоль воображаемой шкалы расстояний и на 42 порядка по шкале времени. В наши дни ученым удалось заглянуть в области Вселенной, значительно более далекие по сравнению с теми, которые были доступны во времена Коперника. Современные радиотелескопы позволили обнаружить объекты, удаленные от нас на расстояния порядка  $10^{25}$  см, в то время как изучаемые в современной физике элементарные частицы имеют поперечники порядка  $10^{-17}$  см и меньше. Известно, что характерные расстояния при сильных взаимодействиях элементарных частиц имеют порядок  $10^{-13}$  —  $10^{-14}$  см, а при слабых взаимодействиях характерные расстояния еще меньше, порядка  $10^{-17}$  см. Что касается временной шкалы, то мы знаем, что возраст нашей Галактики составляет 10—20 миллиардов лет ( $\sim 10^{10}$  с), а время существования  $\rho$ -мезона и  $f$ -мезона порядка  $10^{-23}$  с.

Естественно, что на воображаемых шкалах расстояний и времени расположилось великое множество объектов с превеликим множеством порой неожиданных, порой «потрясающих» свойств, предписанных им Великой Природой.

Насколько велико это множество, говорит то, что в видимой части Вселенной размещается около 10 миллиардов галактик, и если учесть, что в нашей

Галактике приблизительно 100 миллиардов звезд, то мы имеем дело с невообразимо большим числом:  $10^{21}$  звезд. Это число в 100 раз больше знаменитого числа  $2^{64}$  (число зерен пшеницы, которые потребовал, согласно древнеиндийской легенде, изобретатель шахмат у индийского правителя). Чтобы представить грандиозность этого числа, можно для сравнения сказать, что если засыпать всю поверхность Земли (включая и водные пространства) пшеничными зернами, то образовался бы слой толщиной в 10 м.

Современные астрономы занимаются не только механикой небесных тел, которая в эпоху Коперника, Кеплера, Ньютона составляла основное содержание астрономии, но и, главным образом, физикой небесных объектов.

В макромире галактических масштабов удивительными образованиями являются прежде всего новые сверхмощные источники энергии, звездные объекты с такими свойствами, которые ставят в тупик не только ученых-исследователей, но и самых неудержимых фантазеров.

У нас нет никаких сомнений в том, что Великая Природа, как мудрый учитель, не раз будет ставить перед нами и в будущем головоломные задачи, а мы, как прилежные ученики, будем искать их решения. В этом и состоит процесс познания мира. Человечество последовательно и систематически собирает по крупицам относительные истины об окружающих явлениях и целеустремленно движется к достижению истины абсолютной — к познанию объективного мира во всех его проявлениях, разворачивающихся на бесконечных шкалах расстояний и времени, причем процессу познания свойственно убыстряющееся развитие. В наш век одно великое открытие приходится на несколько лет, в то время как раньше открытия, считающиеся великими, совершались одно в несколько десятков и даже сотен лет.

Еще раз следует подчеркнуть, что у начала пути современного, научного естествознания стоял гений Николая Коперника. Время неумолимо проходит, и многое из того, что сделано предшествующими поколениями ученых, в наши дни часто имеет лишь исторический интерес. Но многое не означает все. Именно принципиальная, научно обоснованная постановка

коренных вопросов познания окружающего нас мира составляет сущность бессмертного учения Коперника. Гносеологический подход к познанию сути явлений, предложенный великим ученым, является единственно правильным в процессе познания, и в наши дни он играет такую же фундаментальную роль, какую он играл в предыдущую эпоху. Поэтому мы имеем полное право говорить, что значение бессмертного сочинения Коперника «О вращениях небесных сфер» выходит далеко за пределы астрономической науки и касается всего современного естествознания.

Из коперниковского принципа относительного восприятия движений возник знаменитый галилеевский принцип относительности в механике, который позже стал универсальным физическим принципом. У астрономов имеется прекрасная лабораторная база — Вселенная, которая с древних времен используется для проверки астрономических теорий. С момента зарождения современной физики (со времени Кеплера, Галилея, Ньютона) она использовалась как общезначимая лаборатория для проверки законов классической механики, закона всемирного тяготения, основных положений специальной и общей теории относительности. При этом следует сказать, что размеры названной научной лаборатории к настоящему времени существенно выросли. От Земли к Солнечной системе и далее к Галактике и Метагалактике росли размеры лаборатории, в которой работают астрономы, физики и другие естествоиспытатели. Но ясно, что Метагалактика должна рассматриваться нами как часть неисчерпаемой Вселенной, в которой существуют другие космические системы или образования любого размера или, лучше сказать, любого масштаба. Диалектическое сосуществование противоборствующих физических образований (начиная с элементарных частиц микромира и кончая галактиками — рядовыми компонентами макрокосмоса) подтверждает единственно правильное утверждение о неисчерпаемости материи, о неисчерпаемости объективно существующего реального мира.

Но достаточно говорить о загадочных явлениях во Вселенной в общезначимом плане; вернемся теперь к конкретным астрономическим результатам, полученным в последний период.

Ныне, в отличие от эпохи Коперника, исследовавшего на основе наблюдений кинематику Солнечной системы, человечество получило широкие возможности для разнообразных экспериментов в космосе.

Начиная с 1957 года, когда в нашей стране был запущен первый искусственный спутник Земли, астрономия и космонавтика добились замечательных успехов. 12 апреля 1961 года — это особый день в истории человечества. В этот день советский летчик, гражданин нашей Родины, Юрий Гагарин совершил первый околоземный космический полет и тем самым положил начало новому этапу в исследовании космического пространства. Началась новая эра — эра космических полетов.

Ближайшие к Земле планеты Венера, Марс и украшающая земные ночи вечная спутница Луна перестали быть объектами созерцания для землян, а превратились в научные базы для проведения экспериментов. Систематические исследования нашими автоматическими станциями серии «Венера», начатые в 1961 году, помогли разгадать многие тайны Венеры, спрятанные под покровом ее могучей атмосферы.

Самые большие успехи космонавтики связаны с покорением и изучением Луны. К настоящему времени на Луне побывали многие советские и американские автоматические станции, а также американские космонавты.

Первыми землянами, побывавшими на Луне, были американские космонавты Нил Армстронг и Эдвин Олдрин, которые высадились на поверхность Луны в районе Моря Спокойствия 20 июля 1969 года. После этой экспедиции было организовано еще несколько удачных американских экспедиций на Луну. Советские автоматические станции и американские астронавты доставили на Землю лунные породы из разных ее районов. Анализ лунных пород позволил объяснить многие вопросы, касающиеся происхождения и эволюции спутника Земли. Большим успехом космонавтики следует считать совместный советско-американский полет по программе «Союз» — «Аполлон», состоявшийся в середине июля 1975 года. Представляет большой научный интерес разнообразная информация о планетах нашей системы и их спутниках, полученная с помощью американских космических

кораблей типа «Пионер» и «Вояджер». Измерение сильных электромагнитных полей самых больших планет, Юпитера и Сатурна, активное взаимодействие планет со своими спутниками, движущимися вблизи поверхности планет, открытие новых, неизвестных ранее спутников этих планет, детализация структуры колец Сатурна — все это указывает на крупномасштабные и бурные физические и химические процессы на планетах и спутниках, считавшихся ранее не только холодными, но и спокойными небесными телами.

Поразительным и неожиданным открытием, сделанным с помощью электронной, телевизионной и оптической аппаратуры, установленной на американских космических кораблях типа «Вояджер», является «вулканическая» деятельность на спутнике Юпитера Ио, обусловленная, по-видимому, в первую очередь, интенсивным обменом корпускулярными заряженными потоками частиц, происходящим между центральной планетой и ближайшими ее спутниками в сильном магнитном поле планеты.

Выдающимся достижением современной космонавтики следует считать реализацию долгосрочной программы по изучению планеты Венера, разработанной в Советском Союзе. Эта реализация начата в 1959 году и ведется уже более 20 лет в соответствии с планами исследования космического пространства Солнечной системы. Одним из последних осуществленных этапов в этой долгосрочной программе является запуск с Земли в конце 1981 года космических аппаратов «Венера-13» и «Венера-14», которые совершили мягкую посадку в заданных районах на поверхности Венеры 1 и 5 марта 1982 года. Комплексное исследование атмосферы планеты, ее поверхности и верхнего слоя грунта, а также динамических процессов в атмосфере, позволило советским ученым сделать большое число открытий. Некоторые из них состояли в проверке и уточнении результатов, полученных на космических кораблях серии «Венера», запущенных в предыдущие годы. Аппаратура, изучающая химические и динамические свойства атмосферы Венеры, включилась в работу сразу после освобождения спускаемого аппарата от защитных полусфер на высоте около 60 км. Обнаружение в весьма

малых количествах инертных газов — неона, ксенона, аргона и криптона — позволит в дальнейшем высказать обоснованные суждения относительно процессов, приведших к современному состоянию атмосферы Венеры, характеризующейся сверхвысокой температурой (около  $500^{\circ}$  по Цельсию) и сверхвысоким давлением (порядка сотни атмосфер).

Одна из особенностей динамики атмосферы Венеры — это очень большая скорость ветра на высотах 50—70 км в направлении вращения планеты вокруг своей оси, но с гораздо большей скоростью. На указанных высотах период вращения атмосферы равен примерно четырем земным суткам, хотя твердое тело планеты вращается, как известно из других космических экспериментов, с периодом около 243 суток. Оптический спектрофотометр, установленный на космических аппаратах, показал, что именно на высотах 50—70 км над поверхностью планеты происходит наиболее сильное поглощение солнечного излучения, вызывающее масштабные турбулентные и конвективные перемещения «воздушных» масс. Специальный влагомер позволит, быть может, разгадать одну из наиболее интригующих загадок Венеры — проблему наличия воды и водяных паров, так как предыдущие эксперименты указывали на весьма малое их количество. Не исключено, что количество воды намного больше на высотах 50—60 км, чем на поверхности планеты. Наконец, замечательным достижением этих экспериментов следует считать забор венерианского грунта с поверхности планеты, его анализ в лаборатории на спускаемом аппарате и передачу рельефных панорам поверхности планеты в черно-белом и цветном изображениях.

Не менее поразительны успехи современной астрономической науки при исследовании космоса в метagalактическом масштабе. Исследование кинематических свойств Метагалактики привело к открытию американским астрономом Хабблом закона красного смещения, указывающего на расширение Метагалактики. Важно отметить, что эмпирическое правило Хаббла согласуется с решением Фридмана (см. с. 129), а это подтверждает (к сожалению, косвенно) применимость основных уравнений общей теории

относительно к таким космическим структурам, какой является Метагалактика.

По Хабблу, Метагалактика представляет собой космологическую структуру с почти равномерным распределением галактик, а неоднородности обусловлены существованием отдельных скоплений галактик, вкрапленных в гигантское образование галактик. Но эта модель Метагалактики не находится в полном согласии с наблюдениями. Цвикки на основе большого количества добротных наблюдений показал, что Метагалактика состоит из огромного числа отдельных скоплений галактик, т. е. представляет собой множество пространственно-изолированных друг от друга звездных образований. Как мы указывали выше, этот космологический факт требует своего объяснения, и для этого, по-видимому, потребуются дальнейшее развитие пространственно-временной теории Вселенной, а может быть, и пересмотр некоторых априорных предположений, на которых основана теория тяготения. Изучение структуры и кинематики Метагалактики самым тесным образом связано с проблемой ее происхождения и развития, поэтому здесь становится особенно важным, можно сказать, принципиальным такой подход, в котором из наблюдений выводятся закономерности развития и эволюции Вселенной. Моделирование явлений и процессов метагалактического масштаба должно быть неразрывно связано и согласовано с наблюдательными данными.

Метод исследований, основанный на обработке и интерпретации наблюдений, особенно эффективен в тех случаях, когда мы наблюдаем космические образования, находящиеся на поворотной стадии своего развития. Наблюдения перехода из одного качественного состояния в другое, сильно отличающееся от первого, позволяют выявить в относительно короткое время закономерности развития космических объектов. В. А. Амбарцумян приводит в качестве такого убедительного примера планетарные туманности. Будучи нестационарными образованиями, планетарные туманности имеют явную тенденцию к расширению. Удалось также установить, что планетарная туманность выбрасывается из звезды-родоначальницы, а затем в течение промежутка времени порядка

100 000 лет рассеивается в межзвездном пространстве. Процесс выброса межзвездного газа и релятивистского газа (т. е. частиц, обладающих высокой энергией) из звезд или более масштабных образований — ядер галактик можно отнести к наиболее поразительным астрономическим открытиям, хотя, конечно, следует допускать и существование другого механизма, порождающего газовую среду во Вселенной. Известны диффузные туманности (туманность Ориона, Розетка и др.), возраст которых не меньше возраста звезд из звездных ассоциаций, расположенных в спиральных рукавах нашей Галактики. Здесь, по-видимому, происходит параллельный во времени процесс образования туманности и звездных ассоциаций из плотных прототел, существовавших до рождения звезд.

Если непосредственными наследниками таких космических прототел являются галактические ядра, то в таком случае мы должны наблюдать компактные космические объекты, существующие относительно изолированно в пространстве, без окружения, состоящего из звезд и туманностей. Не исключено, что открытые на протяжении последнего десятилетия квазизвездные образования (квазары), будучи весьма компактными объектами, и являются космическими прототелами, дающими начало галактикам и галактическим скоплениям. В космологических масштабах происходят взаимно противоположные процессы. С одной стороны, происходит фрагментация материи, в результате которой образуются сначала гигантские сверхскопления галактик, потом скопления галактик и, наконец, отдельные галактики, звезды и туманности, а с другой стороны, по-видимому, происходит процесс аккумуляции, сгущения диффузного вещества в звезду и в более масштабные космические структуры.

Наша цель состояла не в том, чтобы рассказать в этом популярном издании обо всех замечательных достижениях астрономии и космонавтики последних лет, хотя мы старались основные, эпохальные достижения, по меньшей мере, упомянуть. Но мы вправе поставить следующий вопрос: какова связь между гениальным сочинением «О вращениях небесных сфер» и современной астрономией и достигла бы



наука наших дней таких грандиозных успехов, если бы в конце XV столетия Польша не дала человечеству гениального ученого и мыслителя Николая Коперника?

На первую часть поставленного нами вопроса ответ очевиден. Непреходящее значение бессмертного творения «О вращениях небесных сфер» заключается не только о том, что оно дало миру новую, единственно правильную картину строения Солнечной системы, но, быть может, в значительной степени в том, что оно разрушило догматизм в методах мышления и положило начало развитию наиболее прогрессивных методов исследования. Гелиоцентрическое учение Коперника представляет собой образец борьбы против консервативных, закостенелых, лженаучных гипотез и положений, образец борьбы за установление истинного строения окружающего нас реального мира. Каждая страница, каждый абзац этого сочинения проникнуты идеей о бесконечном многообразии и грандиозных масштабах Вселенной по сравнению с Землей и даже Солнечной системой. Оно призывает к познанию многогранной истины, которая чаще всего не лежит на поверхности, а скрыта в глубине явлений. Оно оказало революционное влияние на последующее развитие всего естествознания и указало ученым на то, что только путем отказа от непроверенных практикой постулатов, хотя иногда, быть может, и привлекательных, можно способствовать развитию и накоплению объективных знаний о Природе.

Только после появления гелиоцентрического учения естествознание, и в первую очередь астрономия, математика, физика и механика, начали развиваться все более быстрыми темпами, и это обусловило в конечном счете такое развитие науки и техники в нашу эпоху, которое общепринято называть научно-технической революцией.

Вторая часть вопроса имеет «академический» характер. Диалектический и исторический материализм нас учит, что развитие природы и человеческого общества происходит в соответствии с объективными законами и появление новых качественных состояний обусловлено всем предыдущим развитием. Изменение

и развитие материальной и духовной жизни людей оказывают решающее влияние на развитие науки, призванной в свою очередь помогать удовлетворению всех потребностей общества.

В конце XV и в начале XVI столетий, когда в ряде стран Западной Европы, и прежде всего в Италии, начал быстро развиваться новый общественный класс — буржуазия, для развития науки и техники, искусства и литературы появились новые условия и предпосылки. Эти условия объективно должны были поставить рано или поздно под категорическое сомнение геоцентрическую доктрину и привести к новому учению о мироздании. Конечно, учение Коперника не появилось на пустом месте. История человечества пережила к этому времени и блестящий взлет античной науки и культуры, и заметный спад этих общественных явлений в эпоху средневековья, и начало бурного динамизма, обусловленного появлением класса буржуазии.

Читая бессмертную книгу «О вращениях небесных сфер», невольно склоняешь голову перед ее гениальным творцом и бесконечно восхищаешься блестящими, непреходящими идеями, сопровождаемыми замечательными, ясными и убедительными доказательствами.

Французский писатель Эрнест Ренан (1823—1892) писал: «Назначение человека состоит не в том только, чтобы быть счастливым... Он должен открыть для человечества нечто великое».

«Нечто великое», открытое для человечества Николаем Коперником, — это гелиоцентрическая система мироздания, сделавшая имя ее творца бессмертным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Энгельс Ф.* Диалектика природы. — М.: Политиздат, 1965.
2. *Коперник Николай.* О вращениях небесных сфер. Малый комментарий. Послание против Вернера. Упсальская запись. — М.: Наука, 1964. (Серия «Классики науки».)
3. Николай Коперник: Сборник статей к четырехсотлетию со дня смерти. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1974.
4. Николай Коперник: Сборник статей и материалов к 410-летию со дня смерти (1543—1953). — М.: Изд-во АН СССР, 1955.
5. *Баев К. Л.* Создатели новой астрономии: Коперник, Бруно, Кеплер, Галилей. — М.: Учпедгиз, 1955.
6. *Белый Ю. А.* Иоганн Кеплер. — М.: Наука, 1971.
7. *Берри А.* Краткая история астрономии: Пер. с англ. — М.; Л.: Гостехиздат, 1946.
8. *Волков Г.* У колыбели науки. — М.: Молодая гвардия, 1971.
9. *Воронцов-Вельяминов Б. А.* Очерки о Вселенной. — 8-е изд., перераб. — М.: Наука, 1980.
10. *Гребеников Е. А., Рябов Ю. А.* Что такое небесная механика. — М.: Наука, 1966.
11. *Гребеников Е. А., Рябов Ю. А.* Поиски и открытия планет. — М.: Наука, 1975.
12. *Гурев Г. А.* Учение Коперника и религия. — М., 1961.
13. *Демин В. Г.* Судьба Солнечной системы. — 2-е изд. — М.: Наука, 1975.
14. *Корлисс У.* Загадки Вселенной: Пер. с англ. — М.: Мир, 1970.
15. *Кузнецов Б. Г.* Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. — М.: Наука, 1966.
16. *Кузнецов Б. Г.* Эволюция картины мира. — М.: Изд-во АН СССР, 1961.
17. *Куликовский П. Г.* Справочник любителя астрономии. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1971.
18. *Перель Ю. Г.* К вопросу о времени признания учения Коперника в России. — Историко-астрономические исследования, 1966, вып. IX, с. 179—199.
19. *Перель Ю. Г.* Развитие представлений о Вселенной. — 2-е изд. — М.: Физматгиз, 1962.
20. *Райков Б. Е.* Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России. — М.: Изд-во АН СССР, 1937.
21. *Ревзин Г.* Николай Коперник (1473—1543). — М.: Молодая гвардия, 1949.
22. *Рябов Ю. А.* Движения небесных тел. — 3-е изд., перераб. — М.: Наука, 1977.

23. *Фок В. А.* Теория пространства, времени и тяготения. — М.: Гостехиздат, 1955.
24. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1980.
25. Николай Коперник: К 500-летию со дня рождения; Сборник статей. — М.: Наука, 1973.
26. Космология: Теории и наблюдения; Сборник статей. — М.: Мир, 1979.
27. *Newton Robert R.* The crime of Claudius Ptolemy. — Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press, 1977, 411 p.
28. *Gingerich Owen.* Was Ptolemy a Fraud? — Quartal Journal of Royal Astronomical Society, 1980, v. 21, No. 3, September, p. 253—286.

*Евгений Александрович Гребеников*

## НИКОЛАЙ КОПЕРНИК

Редактор *И. Е. Рахлин*

Технический редактор *В. Н. Кондакова*

Корректоры *Т. С. Плетнева, М. Л. Медведская*

ИБ № 12109

Сдано в набор 05.01.82. Подписано к печати 03.06.82. Т-11126. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 7,56. Уч.-изд. л. 7,32. Тираж 100 000 экз. Заказ № 23. Цена 20 коп.

Издательство «Наука»

Главная редакция

физико-математической литературы

117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.



20 коп.

