

А.И.Еремеева
Ф.А.Цицин

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

(основные этапы развития
астрономической картины мира)

Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию
в качестве учебника для студентов университетов,
обучающихся по специальности «Астрономия»

Издательство
Московского
университета
1989

ББК 22.6
Е 70
УДК 52 (09)

Рецензенты:

кафедра астрономии и геодезии
Уральского государственного университета
им. А. М. Горького;
проф. *И. А. Климишин*

Еремеева А. И., Цицин Ф. А.
Е 70 История астрономии: Учебник. — М.: Изд-во МГУ,
1989. — 349 с.: ил.
ISBN 5—211—00347—0.

В учебнике, в основу которого положен курс лекций, читаемый на физическом факультете МГУ, на богатом фактическом материале прослеживается развитие основных представлений человека о Вселенной. Освещаются длительные этапы количественного накопления новых астрономических данных и эпохи революционных преобразований астрономической картины мира. Подробно рассматриваются астрономия древних цивилизаций (Двуречья, Египта, Китая, Индии, Древней Греции, Центральной Америки), эпохи эллинизма, средних веков, великая коперниканская революция в астрономии, развитие астрономии под знаком господства ньютоновской гравитационной картины мира. Изложение охватывает вторую революцию в астрономии в 20-е гг. XX в. и доведено до современного периода, когда проявляются признаки назревания новой революции в астрономической картине мира.

Э 1605010000(4309000000)—150
077(02)—89 98—89

ББК 22.6

ISBN 5—211—00347—0

© Еремеева А. И.,
Цицин Ф. А., 1989

Предисловие

Наука всегда усваивается полнее, когда она рассматривается в состоянии рождения.

Максвелл

Для чего необходимо изучать историю науки? Чтобы иметь возможность подняться к истокам современных фундаментальных идей, проследить их эволюцию, а порой и сложную судьбу — путь через отрицание и возрождение, понять закономерность этого процесса; узнать, как шло человечество к раскрытию тайн Вселенной, какие препятствия преодолевало на этом пути; понять, что ускоряло, а что тормозило научный процесс в отдельные эпохи и на протяжении всей истории человечества. Знание истории науки позволяет специалисту в той или иной ее области выйти за пределы «трехмерного мира» своей современности и, проникнув в четвертое измерение — в глубь времен, увидеть современные представления в их развитии. Изучение истории науки помогает лучше ориентироваться и в современных событиях, и в тенденциях развития знаний, т. е. видеть перспективы науки.

Как всякий предмет научного исследования, история науки требует не только накопления фактического материала, его систематического изложения, но и теоретического анализа для выявления закономерностей развития науки. Для нашего времени и даже шире — для всей второй половины XX в. — характерным становится именно такой, аналитический подход к истории науки. На этом пути уже появилась обширная исследовательская литература и выделились крупные теоретики-научковеды. Оформились две основные концепции развития знаний. Согласно одной — эволюционной — процесс развития науки состоит в непрерывном приращении, расширении и углублении знаний — в открытии новых фактов, явлений, закономерностей и в непрерывном совершенствовании теории путем расширения, углубления, обобщения прежних теорий. Другая концепция — революционная, — утверждает, что в развитии науки периоды накопления, количественного роста знаний (эволюционные периоды) чередуются с этапами качественной перестройки фундаментальных теорий и общих представлений в той или иной области, когда старые идеи отбрасываются и заменяются новыми, несовместимыми с ними, когда происходит смена всей картины мира либо по крайней мере ее существенных частей. Такие этапы получили название научных революций. Ко второй концепции примыкают и авторы настоящей книги.

Само понятие научной революции еще далеко не полностью осознано, оно интенсивно обсуждается (см., например, [4, 26, 134]). По крайней мере сейчас ясно, что история науки становится наукой в полном смысле этого слова лишь при аналитическом подходе на основе той или иной общей концепции, а

ее летописный, хронологический аспект, безусловно важный и сам по себе, является своего рода экспериментальной базой для такого анализа, для выявления закономерностей развития науки.

Насколько известно авторам, общих курсов истории астрономии, построенных по «аналитическому» принципу, пока еще нет, и настоящую книгу можно рассматривать как первую попытку такого рода. Аналитический подход к истории астрономии при ограниченности объема книги требует достаточно жесткого отбора исторического материала, выделения наиболее представительного аспекта истории науки. В предлагаемой книге в качестве такого аспекта, дающего возможность проследить главные закономерности развития познания Вселенной, взято развитие астрономической картины мира, которую можно определить как совокупность наиболее общих, целостных представлений о Вселенной. Основанием для такого выбора послужило то соображение, что понимание устройства Вселенной в целом и ее происхождения было конечной целью изучения неба во все века.

Развитие астрономии рассматривается в книге как сложный, но закономерный эволюционно-революционный процесс, в котором астрономическая картина мира играла существенную роль как основная цель, результат и одновременно условие развития науки. С точки зрения авторов, астрономическая (вернее, космофизическая) картина мира сыграла определяющую роль в самом возникновении научного исследования окружающей действительности.

Такая концепция развития науки, в частности астрономии, обосновывается необходимым фактическим материалом — историей ключевых открытий, изобретений, методов, углубляющих знания о Вселенной и одновременно создающих фундамент для нового, очередного выявления недостаточности существующей общепринятой астрономической картины мира. Это стимулирует выдвижение новых фундаментальных идей, которые в борьбе со старыми формируют новую картину мира.

История науки (и астрономии в особенности) убедительно показывает, что развитие знаний закономерно и происходит в соответствии с общей диалектической теорией развития: периоды постепенного количественного роста на базе данного круга идей сменяются глубокими качественными изменениями фундаментальных представлений, порой протекающими весьма бурно и драматично.

Понять объективные законы развития науки — значит избежать бесполезной траты сил на тупиковые споры, не быть глухим к нетрадиционному мнению и, оказавшись в преддверии новой эпохи, новой научной революции, не впасть в разочарование от мнимого бессилия человеческого разума... Если же научиться использовать опыт истории науки и в трудные переломные моменты обращаться к ее урокам и к великим мыслителям прошлого, — многие идеи которых были отброшены, а затем забыты лишь потому, что оказывались преждевременными для своей эпохи, — то индивидуальные силы современного исследователя могут возрасти за счет коллективного опыта человечества на его сложном пути познания.

В осмыслении Вселенной как целого очень важен человеческий фактор — интеллект, а также эмоционально-психологическая сторона научного творчества, интуиция, воображение. Поэтому приходится сожалеть о том, что объем настоящей книги не позволил уделить достаточно внимания творческим портретам деятелей науки, с именами которых связаны крупнейшие прорывы в неизвестное, иногда — настоящие подвиги во имя научной истины.

Чтобы в некоторой степени возместить вынужденную неполноту изложения фактического материала в основном тексте, в конце книги дан специальный раздел «Хронология астрономии». При его составлении авторы встретились с многочисленными случаями расхождений в датах, приводимых в различных источниках (чаще всего на 1 год из-за неучета нулевого года при счете лет нашей эры), и постарались устранить расхождения или же указывали обе даты, разделяя их косой чертой.

Там же помещен хронологический список-указатель авторов фундаментальных идей, сыгравших существенную роль в развитии представлений о Вселенной.

К книге прилагается также список рекомендуемой литературы в области истории и философско-методологических проблем астрономии. В работе над книгой использован более чем десятилетний опыт чтения одним из авторов (Ф. Ц.) традиционного для МГУ курса истории астрономии.

Вместе с тем авторы отдают себе отчет в том, что их первый опыт составления аналитического курса истории астрономии далек от совершенства, а потому будут признательны за критические замечания.

Авторы выражают искреннюю и глубокую благодарность первым читателям рукописи — профессору И. А. Климишину, сделавшему большое число ценных и стимулирующих замечаний; профессору К. А. Бархатовой, а также коллективу кафедры астрономии и геодезии Уральского государственного университета, особенно доценту В. В. Сыровому, пожелания и замечания которых также были учтены при доработке рукописи.

Решаясь на публикацию этой книги, авторы хотели бы в свое оправдание сослаться на древнеримского писателя Марциала, который в сходной ситуации, обращаясь к читателю, сказал: «Есть в моей книге хорошее. Кое-что слабо. Немало есть и плохого. Других книг не бывает, мой друг!»

Введение

Глава I

ЧЕЛОВЕК И ВСЕЛЕННАЯ. О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПОЗНАНИЯ МИРА

Наука — это непрерывная многовековая работа мысли с целью свести вместе посредством системы все познаваемые явления нашего мира.

Эйнштейн

На протяжении веков человек стремился разгадать тайну ощущавшегося им великого мирового «порядка» Вселенной, который древнегреческие философы и называли Космосом (букв. — порядок, красота), в отличие от Хаоса, предшествовавшего Космосу.

Зарождение астрономии было продиктовано практическими потребностями (прежде всего необходимостью ориентации в пространстве и во времени) на самых ранних стадиях существования человеческого общества. Поэтому астрономия оказалась древнейшей из наук.

На пути познания окружающего мира человек никогда не ограничивался простым использованием подмеченных сочетаний явлений в виде правил и примет, собиранием сведений об отдельных, разрозненных фактах небесного мира. Наблюдения и факты всегда объединялись в целостную систему представлений — картину мира. Именно астрономические явления и связанные с ними явления на Земле — смена дня и ночи, смена сезонов — помогли первобытному человеку сделать первое и величайшее открытие, что мир вокруг него закономерен, что каждое явление и событие имеет причину, по крайней мере одним событиям всегда предшествуют одни и те же другие события. Это позволяло предсказывать небесные явления и связанные с ними изменения на Земле: например, приближение весны и оживление природы с ростом полуденной высоты Солнца и т. п. Представить механизм Вселенной, т. е. построить картину устройства и главных законов ее,

означало получить возможность более уверенно ориентироваться не только в пространстве и во времени — по звездам, Солнцу и Луне, но «ориентироваться» в самой цепи событий на Земле и на Небе, а быть может, даже влиять на них!

Опыт удачных предсказаний (например, затмений) вселял уверенность в силе человеческого разума, в познаваемости мира, формировал мировоззрение как некое взаимоотношение, взаимосвязь человека и природы. Но и само понятие «познаваемости» изменялось от эпохи к эпохе, отражая уровень развития познающего человеческого интеллекта. Первобытное одухотворение природы, стремление поэтому лишь «уловить» сигналы Неба в наблюдаемых явлениях, причинами которых считали злую или добрую волю неких могущественных сверхъестественных существ, с течением времени, с накоплением фактов сменялось объяснениями на основе «естественных законов природы», а на долю сверхъестественной разумной силы — Бога — оставлялось «только» само творение материи и всего материального мира. Возникшее уже в древности иное, материалистическое объяснение природы положило в основу общей космофизической, а следовательно, и астрономической картины мира идеи вечности и самодвижения, саморазвития материи.

Многотысячелетняя история астрономии наполнена ожесточенной борьбой между этими двумя мировоззрениями уже потому, что древняя астрономическая картина мира, одухотворявшая природу, стала в свое время одной из основ для возникновения и формирования всевозможных форм религии как веры в высшую, творящую и организующую разумную силу, стоящую над природой. К иной точке зрения проявлялась крайняя нетерпимость. Драматизм развития астрономической картины мира в течение многих веков (в Европе вплоть до XVIII в.) объяснялся именно и главным образом нетерпимостью церкви ко всему новому. Не приемля исследовательского отношения к миру, религия сначала отвергала и преследовала новые астрономические теории, а приняв их (под давлением фактов), превращала живую мысль, развивающуюся теорию в окаменелость, объявляя теперь и ее (к тому же истолкованную в религиозном духе!) последней истиной, предметом веры.

На пути научного прогресса немалым тормозом становились и до сих пор выступают порой привычка и инерция мышления, чрезмерное доверие к научным авторитетам, что также ведет к попыткам закрепить конкретные выводы науки в качестве «вечных» истин.

На пути осмысления глубочайших закономерностей окружающей действительности вставало не только идеалистическое мировоззрение, ставившее предел возможностям познания. Тормозом нередко служило и неразвитое, недialeктическое материалистическое мировоззрение, которое пыталось навязать природе те или иные конкретные (и всегда ограничено справедливые!) результаты науки, ошибочно и навечно объявляя их чуть ли не основами материализма.

Уже в древнейшие времена человек мог улавливать важные, порой фундаментальные черты окружающего мира, высказывая в связи с этим глубокие идеи. Некоторые из них, выдержав испытание временем, живут и в наши дни: идея причинности, тяготения, цикличности изменений, идея нарушения равновесия как предпосылки к развитию...

А между тем построенные на этих идеях — и на выводах из непосредственного опыта наблюдений — системы представлений («картины мира») рано или поздно обнаруживали свою несостоятельность и отбрасывались в процессе драматической борьбы нового со старым. В неизбежной смене фундаментальных представлений о мире отражается один из главных, на наш взгляд, законов восприятия и познания окружающего мира: *безграничная экстраполяция известного на неизвестное*, т. е. проверяемого знания — на область недоступного опыту, и формирование, таким образом, целостной картины мира.

Господствовавшая несколько тысяч лет тому назад, вынесенная из непосредственных ощущений картина огромной плоской Земли, накрытой низким куполом неба, была поставлена под вопрос гениальной идеей изолированности Земли в пространстве. Но вплоть до победы гелиоцентризма картина плоской Земли все еще имела некое основание, поскольку Земля мыслилась неподвижной, т. е. как бы на что-то опиралась. И такая картина плоской Земли действительно возрождалась в средние века.

Победа другой гениальной идеи — подвижности Земли — в корне изменила не только астрономическую, но и физическую картину мира и открыла широчайшие горизонты для познания Вселенной. Почва для попыток возрождения не только идеи плоской Земли, но и ее выделенности в пространстве была утрачена навсегда.

Однако и в гелиоцентрической картине мира появилась новая универсализация частного: абсолютный гелиоцентризм, согласно которому Солнце — центр всего мыслимого мира. Эту картину сменила картина однородной бесконечной евклидовой Вселенной Ньютона с пространством, временем и материей как независимыми абсолютными сущностями, с неограниченно изменяющимися любыми величинами, с гравитацией как врожденным качеством материи. Но и эта картина оказалась невечной, в ней обнаружились необъяснимые парадоксы, и она уступила место новой космофизической картине Вселенной Эйнштейна—Планка—Фридмана. В этой картине после длительного господства ньютоновства, отказавшегося от поиска причины тяготения, давалось физико-геометрическое объяснение гравитации как эффекта неразрывной связи материи и пространства, утверждалась идея кривизны пространства при наличии в нем материи (чем полностью отрицалась прежняя картина бесконечного плоского абсолютного пространства Вселенной Ньютона). Утверждалась взаимосвязанность пространства, времени и материи; квантованность фундаментальных физических величин и их ограниченность как снизу, так и сверху (последнее проявилось в максимально возможной скорости взаимодействий — скорости света). Даже для всей Вселенной в целом не исключалась конечность!

Но и эта картина релятивистской Вселенной также оказалась лишь этапом на бесконечном пути ко все более глубокому пониманию действительности.

Другой особенностью познания является антропоцентризм. Сначала он проявился как топоцентризм (место проживания своего племени люди некогда считали центром Вселенной), позднее — как гео-, гелио-, галактико- и Метагалактикоцентризм... Он проявляется и в XX в. — в особом понимании тесной связи самой жизни с физическими константами Вселенной, связи, которую на-

звали «антропным принципом». Порой эта естественная обусловленность нашего возникновения и существования физическими свойствами «нашей» Вселенной переворачивается с ног на голову и понимается как ... обусловленность, «заданность» всей Вселенной нашими «потребностями», т. е. теми условиями, в которых могли возникнуть «мы» — живая материя.

Именно безграничное экстраполирование ограниченного знания на всю действительность и стремление исследовательского ума человека ничего не оставить за пределами объяснения приводило не раз и к смене представлений о свойствах и составе Вселенной.

От первобытного представления о единстве Неба и Земли (земными, но гипертрофированными свойствами наделялось небо) совершился переход к абсолютному разделению физики неба и физики Земли, что сменилось утверждением вещественного, т. е. физико-химического (а не только обобщенно-материального!) единства Вселенной. Эта новая абсолютизация ставится под вопрос в наши дни, когда не кажутся уже слишком «сумасшедшими» рассуждения о районах Вселенной с иными фундаментальными физическими и геометрическими свойствами. В таком, более терпимом отношении к «новому» сказывается опыт человечества, растущее понимание неизбежной ограниченности наших знаний и неизбежности смены картины мира.

Глава II

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРИНА МИРА

...Как бы ничтожна ни была сумма людских знаний, всегда находились... мудрецы, пытающиеся на основании постоянно ничтожных научных данных воссоздать картину мира.

А. А. Фридман

§ 1. О науке и научной картине мира

1. Наука и ее структура. Науку обычно определяют как особый вид духовной, прежде всего интеллектуальной деятельности, целью которой является выработка достоверного, т. е. устойчиво подтверждаемого опытом, наблюдениями, практикой знания об окружающей нас действительности. Здесь наука выступает как процесс. Вместе с тем наукой называют и сам результат такой деятельности — систему достоверных знаний в виде совокупности сведений о той или иной группе или области объектов и явлений, закономерно связанных между собой. Квинтэссенцией этих сведе-

ний является целостная совокупность постулатов, принципов, законов, объединенных в строгие количественные теории, описывающие механизм явлений.

Наука как процесс — вечна: это бесконечное движение по восходящей и развертывающейся спирали, накопление новых и новых знаний (включая и знание об ошибочности прежнего знания!). Но как система знаний, достоверных всегда лишь с точки зрения данной эпохи, она в принципе имеет относительный, приближенный и поэтому временный характер.

В науке как *системе знаний* можно усмотреть определенную *структурность*. По мере развития средств и методов получения информации из окружающего мира и ее обработки (в том числе и прежде всего математической) происходит накопление наиболее достоверных, устойчивых знаний, которые составляют растущее *ядро* науки. В него входят, помимо набора открываемых явлений и объектов, законы их взаимосвязей и взаимодействий, более общие принципы и постулаты, увязанные в систему в виде математических, т. е. строгих количественных теорий. Подчеркнем, что сюда не входит *качественная*, или описательно-объяснительная сторона теорий.

Дело в том, что даже способность той или иной теории предсказывать новые явления (а это главный критерий ее истинности) не исключает, вообще говоря, того, что данная теория правильно отражает лишь количественную сторону явлений (в пределах определенной точности). Но при этом она может давать и ошибочное объяснение природы, механизма явлений¹. В отличие от количественной *качественная*, описательная сторона теории всегда представляет собой некую построенную по аналогии с уже известным *модель* действительности². Поскольку в модели, согласованной с наблюдениями, отражена какая-то часть истины — элементы реальной аналогии между использованными в модели и изучаемыми явлениями, то она в течение некоторого времени может *восприниматься* как *достоверное* знание, обслуживая науку и ее практические приложения. Но с ростом точности наблюдений подобные модели приходят в противоречие с опытом и заменяются новыми. Поэтому *описательные* стороны теорий составляют менее устойчивую часть системы знаний — *оболочку* ядра.

Теории наподобие весьма прочных мостов объединяют изучаемые явления и объекты. Там же, где такие мосты еще не наведе-

¹ Хрестоматийным примером этого в астрономии служит теория Птолемея. В ней уже весьма точно были отражены количественно (на языке геометрии) законы видимого движения Солнца, Луны и планет. Но природа этих явлений объяснялась ошибочно — на основе принципа геоцентризма, умозрительно принятого сначала как очевидность, а позднее обоснованного в космофизической картине мира Аристотеля.

² Сюда не входят математические модели явлений, которые обычно, по крайней мере по мысли их авторов (как это и было, например, у Птолемея), не претендуют на раскрытие самой природы явлений. Такая роль им приписывается лишь эпигонами.

ны, их функции временно выполняют *рабочие гипотезы*, составляющие наиболее изменчивую составную часть науки как системы знаний — как бы *внешнюю оболочку* ядра. Гипотезы возникают как на основе ядра науки — в виде новых комбинаций и обобщений уже известных идей и фактов, так и на основе некоторых общепринятых или вновь выдвигаемых представлений о мире. Проверка гипотез осуществляется по мере развития техники наблюдений, эксперимента, приемников информации, методов ее обработки — логического и математического анализа. В результате гипотеза либо переходит в ранг строгих, т. е. долговечных количественных теорий и в своей количественной, математической части пополняет ядро науки, а в модельной — его оболочку, либо же отбрасывается как ошибочная. Бывает, что отбрасывается и верная гипотеза, для которой в данную эпоху еще нет средств проверки и которая, главное, противоречит общепринятым представлениям в данной области. (Такова, например, была судьба первой гелиоцентрической гипотезы Аристарха Самосского.)

Качественные, описательно-объяснительные части теорий и рабочие гипотезы, как уже говорилось, представляют собой модельный элемент науки. Строго говоря, моделями являются также постулаты и принципы, но моделями, так сказать, в метастабильном состоянии: воспринимаемыми в течение очень больших периодов времени как достоверное знание и проникшими поэтому в ядро науки. Их замена — это уже ревизия основ, происходит она несравненно реже и с огромным сопротивлением (борьба геоцентризма с гелиоцентризмом).

Таким образом, в науке как системе знаний может быть выделено ядро прочных, долговечных знаний, его устойчивая оболочка — модельные, качественные части теорий и, наконец, самая внешняя и наиболее подвижная оболочка из новых рабочих гипотез.

2. Научная картина мира и ее структура. Одновременно с развитием науки как процесса познания и роста ядра достоверных знаний, на основе последнего формируется идейная атмосфера — целостная система представлений о главных, определяющих чертах мира в данном его аспекте (физическом, астрономическом, биологическом и т. д.). Эту модель целого называют *научной картиной мира*. В отличие от собственно науки (конкретной науки), непосредственно опирающейся в своих выводах на опыт, наблюдение, практику, научная картина мира формируется как результат *неограниченной экстраполяции* этих знаний за пределы возможных в данную эпоху опытов и наблюдений. Подсознательно, стихийно она распространяется на *всю мыслимую действительность*.

Вторая, определяющая черта научной картины мира — ее *системность*. Она представляет собой не просто сумму неких экстраполяций в рамках отдельных теорий, а результат их взаимоувязывания, взаимоограничения, т. е. организации их в новую, высшую систему.

На каждом этапе развития науки формируется и *система методологических, логических, этических* и даже *психологических норм* научного познания (что называют иногда стилем мышления). Именно эту систему своего рода «правил» поведения исследовательского ума и представляется более обоснованным называть *парадигмой* (греч. — образец), а не всю картину мира, как это сделал Т. Кун [84], вводя в науковедение этот термин.

Научная картина мира как результат безграничной экстраполяции ограниченно достоверного знания в отличие от системы конкретных знаний не может уже по определению содержать вечных достоверных знаний: ведь это были бы неограниченные и вместе с тем неизменные, сохраняющиеся, несмотря на развитие науки, экстраполяции прошлых ограниченных знаний! И все же в картине мира также можно выделить своего рода «ядро», но существующее как бы инкогнито — совокупность не вечных, но особенно устойчивых гипотез-экстраполяций. Речь идет о принципах и постулатах, включаемых на очень длительных промежутках времени в ядро науки как системы знаний. Как уже говорилось выше, они представляют собой на самом деле не что иное, как сверхустойчивые элементы картины мира и проникают в ядро науки под видом достоверных знаний.

Таковыми до сих пор считаются принципы сохранения энергии и роста энтропии (I и II Начала термодинамики), принцип постоянства ряда фундаментальных физических величин, принципы, характеризующие мир элементарных частиц. В космофизической картине мира некогда таким постулатом-принципом было утверждение неподвижности и центрального положения Земли в мире.

В целом *картина мира* — это *принципиально модельное, гипотетическое построение*, хотя отнюдь не произвольное, поскольку, напомним, экстраполируются достоверные знания.

Картина мира также имеет определенную структуру. В каждую данную эпоху это небольшой набор фундаментальных идей-постулатов, относящихся к представлениям о *материальном носителе* явлений и процессов в природе, о *способе и механизме взаимодействий* между природными объектами и о *способе существования* элементов материального мира (организация их в систему, генезис, развитие).

§ 2. Место и роль научной картины мира в развитии знаний

Научная картина мира зародилась в процессе формирования самого человека как мыслящего существа, творческой индивидуальной и общественной личности. Зародышем научной картины мира было осознание (открытие!) закономерности окружающей природы. Главную роль в таком осознании сыграли астрономические явления: движение звездного небосвода, Солнца, Луны, смена лунных фаз, смена сезонов, связанная с изменением полу-

денной высоты Солнца. Вначале интеллектуальное осознание действительности не выделялось из эмоционального отображения ее в рисунках, мифах, сказках. Вместе с тем уже на самом примитивном уровне существования человеческих сообществ появились и мифы космологического (в современном нам смысле, т. е. и космогонического) содержания, не только изображавшие наблюдаемый мир, но и пытавшиеся объяснить его. К этому вынуждали потребности жизни — необходимость лучше приспособиться к действию грозных сил природы и даже использовать их.

Выделившись из эмоционального, картинного, т. е. целостного отображения мира, интеллектуальное его осознание также формировалось как целостное картинное отображение видимого мира. Первобытная мифологическая антропоморфная картина мира с течением времени абстрагировалась в виде натурфилософии и лишь затем произошло разделение ее на отдельные ветви дифференцированного наблюдательно-теоретического знания — исследования «натуры» и на философию — выявление универсальных законов бытия. Таким образом, именно астрономическая, вернее, «космофизическая» картина мира стала колыбелью самой науки как специфического рода духовной деятельности человека. Но и дальнейшее, несравненно более глубокое, детальное изучение теперь уже отдельных сторон действительности каждой наукой не могло успешно развиваться без выработки представлений о целом, без создания научной картины мира.

В истории развития различных аспектов картины мира возникали и тупиковые направления. И здесь особо выделяется астрономическая картина мира. Отголоском наиболее древних попыток моделировать космические закономерности на основе самых примитивных антропоморфных представлений являются разнообразные формы религии, хотя со временем она и развилась в самостоятельный вид духовной деятельности человека. Особенно живучим оказался «религиозный», догматический стиль мышления. На трудных рубежах развития науки при осмыслении вновь открываемых глубочайших закономерностей природы даже в наши дни некоторыми учеными дается идеалистическое, религиозное истолкование их (например, антропного принципа).

Первые и еще мало обоснованные попытки активного использования природных сил и закономерностей нашли отражение в возникновении других тупиковых направлений познания: шаманства, знахарства, астрологии, алхимии. Но в отличие от религиозного мировоззрения, превратившего древнейшее мифологическое антропоморфное объяснение мира в символ веры, знахарство, астрология и т. п. содержали и некие элементы объективных знаний, почерпнутых из длительного житейского опыта или даже из специальных наблюдений; так, в астрологии это были первые попытки уловить действительно существующие взаимосвязи процессов в Космосе и на Земле. Но абсолютизация чрезвычайно ограниченных и неточных наблюдательных данных, крайняя переоценка своих возможностей в установлении тех или иных связей между

явлениями завели эти направления в тупик, породив феномен «лженауки».

Историческая роль научной картины мира в каждую эпоху развития науки — создавать некий эскиз действительности (всегда целостный), который накладывает определенные ограничения на характер допустимых, «разумных» новых гипотез для объяснения тех или иных явлений и объектов. Подобно силовому полю, картина мира как бы направляет движение мысли, организует ее в постановке задач и выборе путей решения, в осмыслении полученных результатов.

Так, геоцентрическая картина мира Аристотеля—Птолемея запрещала как ненаучные идеи и объяснения, опиравшиеся на идею подвижности Земли или идею сходства земного и небесного миров. Напротив, гелиоцентризм, стержневой идеей которого была идея подвижности Земли, освобождал мысль и подсказывал целый ряд новых идей: о множественности центров тяжести, о сходстве Земли и Луны, Солнца и звезд.

Формируясь на основе достоверных знаний и теорий, наиболее устойчивых гипотез, научная картина мира намечает как бы генеральный план, стратегию развития науки, выделяя главные, перспективные направления научных исследований, а порой и подсказывая решение, прежде чем это станет доступно конкретной, наблюдательной науке.

Двигаясь по намеченным картиной мира направлениям, конкретная наука подтверждает часть ее гипотетических конструкций и, таким образом, переводит их в ранг элементов достоверного знания, в ядро науки, а часть отбрасывает как не выдержавшие испытания на новом уровне средств и методов познания.

Так, традиционные объяснения синхронности изменений лучевых скоростей и блеска у δ Цефея двойственностью звезды (конец XIX в.) или пульсаров как белых карликов особого типа, очень быстро пульсирующих (конец 60-х гг. XX в.), весьма быстро уступили место новым идеям — пульсации звезд в первом случае и быстрого вращения магнитных сверхплотных (нейтронных) звезд во втором.

И хотя заранее известно, что научная картина мира — это лишь временная модель действительности, без ее построения и без восприятия ее как достаточно надежного (на значительном промежутке времени), адекватного отображения действительности человеческий разум не мог бы продвигаться дальше в познании мира или, во всяком случае шел бы только на ощупь, действуя малоэффективным для человека методом ЭВМ — перебором очень многих вариантов. Такой «машинный» путь познания можно назвать линейным процессом. Другой путь познания (единственный возможный для человека), включающий создание общей научной картины мира и использование ее как идейной опоры в дальнейшем продвижении в изучении природы, вводит в действие обратную связь: созданная на основе ядра науки картина мира сама начинает воздействовать на научный процесс, ускоряя (или замедляя!) его и делая нелинейным.

Таким образом, картина мира является и результатом и условием развития конкретной науки.

§ 3. О различии закономерностей развития конкретной науки и научной картины мира

Что касается эволюционных периодов развития, то различие изменений в конкретной науке как системе знаний и в научной картине мира состоит в следующем: чисто эволюционно (т. е. в виде количественного роста) изменяется лишь фактологическая и количественная часть ядра науки. С открытием новых явлений, объектов, закономерностей отдельные качественные описательно-объяснительные гипотезы могут переходить в строгие количественные теории, укрепляя тем самым на какое-то время и модельную часть этой теории.

Принципиально по-иному изменяется в эти периоды картина мира. Она обогащается новыми экстраполяциями, распространением на всю окружающую мыслимую действительность вновь найденных явлений, закономерностей. Но, поскольку ее пополняют *не факты*, законы, а именно их безграничная, не поддающаяся контролю в данную эпоху экстраполяция, универсализация, картина мира в принципе продолжает оставаться лишь *гипотезой*, умозрительной *моделью*. В эти же эволюционные периоды развитие конкретной науки (т. е. знания, получаемого экспериментально-теоретическим путем) может подтвердить справедливость той или иной гипотезы, входящей в картину мира, и таким образом перевести эту гипотезу в ранг достоверного знания. Но это *знание* одновременно становится лишь ограниченно справедливым и *перестает* таким образом *быть элементом картины мира*, т. е. безгранично справедливым.

Существенно различаются изменения, происходящие в конкретной науке и в картине мира на революционных этапах их развития.

С течением времени вновь открываемые явления, наблюдения на более высоком уровне точности все труднее объясняются в рамках той или иной теории или даже в рамках картины мира. Правда, творческий ум настолько изобретателен, что в принципе любое явление может «объяснить» в рамках принятых представлений. Но такие объяснения все более грешат излишней сложностью, искусственностью, т. е. неизбежно начинают нарушать требования парадигмы науки (в вышеуказанном смысле — ее методологии и стиля мышления). Яркий тому пример — переусложнение птолемеевой теории к XVI в., на что в первую очередь и обратил внимание Коперник. Таким образом, рано или поздно становится необходимой смена объяснительно-модельных частей отдельных теорий или даже всей картины мира в целом, т. е. наступает революционный этап в развитии науки или картины мира. Причина неизбежности этого — в существовании самого процесса моделирования действительности. В нем всегда имеется элемент творчества, изобретательства, конструирования. Поэтому каждая модель индивидуальна и несет на себе отпечаток творческой лич-

ности ее автора. С другой стороны, сами явления (для каждого данного уровня точности их наблюдений) допускают неоднозначность их моделирования, что отметил еще Гиппарх во II в. до н. э. При этом возможно даже зеркально перевернутое (т. е. в том или ином смысле *обратное*) и вместе с тем весьма точное количественно или весьма убедительное логически отображение действительности в модели. Но поскольку любая модель — только приближение к действительности, то смена ее неизбежна, и рано или поздно происходит.

Революционная смена модельных частей теорий (не говоря уже о рабочих гипотезах) — это проявление естественной жизнедеятельности науки, не вызывающее обычно мировоззренческих потрясений. При этом старая модель нередко оставляет в наследство новой свой язык, образы, схемы: «атом», «поток» (энергии), «емкость», «сила». В астрономии до сих пор используется удобная в ряде случаев геоцентрическая схема описания движений небесных тел — Солнца, метеорных потоков, например. Но принципиальная разница между временем господства старых моделей и новым их использованием в науке состоит в том, что старая модель (или ее элемент) используется теперь лишь как метод или язык с полным осознанием их условности. (Вместе с тем в самой живучести такого языка, метода проявляется тот факт, что и в старой модели были отражены некоторые характерные свойства действительности.) Но говорить здесь о сохранении какого-либо «ядра» прежней теории нет оснований: ведь сохраняется лишь некая удобная форма, а не содержание.

Революционная смена картины мира, по существу, конечно, не отличается от революционной смены модельной части отдельной теории: и там и тут нарушается принцип соответствия, сводимости нового знания к старому. Но *смена картины мира* отличается *масштабом* и своим *общественным резонансом*. Познание мира — это сложный социально-психологический процесс, в котором участвует не только отдельная творческая личность, но и общественное сознание. Личности свойственна инерция мышления; личности и обществу — выработка традиций и подчинение им. Это порождает даже в узком кругу научного сообщества сопротивление всему тому, что возникает не в собственной голове. Революционный процесс смены модельных частей отдельных теорий преодолевает это сопротивление не сразу и с трудом. Но резонанс от перестройки и смены таких теорий не выходит обычно за пределы узкого круга специалистов.

Не то происходит в случае смены научной картины мира, или даже ее отдельных стержневых идей. Дело в том, что *картина мира*, хотя и является только моделью действительности, с течением времени по мере своего утверждения и укрепления все более широко *воспринимается* как *истинное* объяснение ее, а методологические и даже этические нормы науки, т. е. парадигма науки, — как единственно верный и допустимый способ постижения истины. Поэтому гипотеза или теория, подрывающие основы кар-

тины мира, встречаются ожесточенное сопротивление не только со стороны ученых, но иногда даже в еще большей степени со стороны более широких и менее самостоятельных в мышлении кругов общества — со стороны общественного сознания, поскольку для этих широких кругов (как, впрочем, и для многих специалистов) в определенном смысле картина мира становится объектом *веры*, неколебимым догматом. Так, особенно ожесточенное сопротивление встретила смена геоцентризма гелиоцентризмом, а в наше время — смена представлений о бесконечности и вечности всей мыслимой Вселенной идеей о ее конечности и начале во времени.

При этом особая устойчивость и сопротивляемость *астрономической* картины мира объясняется, конечно, ее теснейшей связью с философией и *мировоззрением*.

Одним из главных вопросов философии природы был и остается вопрос о взаимоотношении человека и Вселенной, о взаимовлиянии природы и человека, наконец, о познаваемости окружающего мира. Решение этого фундаментального вопроса определяет и успех человека в освоении им природных богатств, и ответственность за это вмешательство...

Тесная связь первобытной астрономической картины мира с религией и социальной идеологией, а затем весьма тесная связь астрономической картины мира с философией и через нее с мировоззрением и опять-таки идеологией общества наложили существенный отпечаток на роль и характер изменения и развития астрономической картины мира, придавая этому процессу форму *глубоких социальных потрясений*, что сближает этот процесс по его общественному резонансу и последствиям для общественного сознания с социальными революциями. Поэтому смена астрономической картины мира (точнее — астрономического аспекта картины мира) с полным основанием (и смена картины мира в других областях знания, — с меньшим основанием) получила название *научной революции*. Процессы социальной и научной революций сближаются и по своим последствиям: победа новой революционной идеи, закладывающей фундамент новых представлений, вернее, системы представлений о данной области действительности, о ее закономерностях, — более адекватной самой действительности — открывает новые горизонты в той или иной области знаний. Уже поэтому научные революции оказывают сильнейшее воздействие на последующее развитие науки, в том числе и прикладных ее областей и организационных ее форм.

§ 4. О судьбе прежних вариантов картины мира

АБОНЕМЕНТ

В результате научной революции элементы прежней картины мира либо отбрасываются как изжившие себя, либо переходят из ранга безграничных экстраполяций в ранг ограниченного, но достоверного знания, т. е. уходят из картины мира

Так, всеобъемлющая Солнечно-планетная гелиоцентрическая модель мира Коперника со звездами как весьма второстепенным элементом, помещенным на

Центральная
ЛЕНИНСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
Библиотека

некую бесконечно удаленную единую сферу, оказалась достоверным фактом лишь в отношении планетной системы. В качестве картины мира она была недолговечной, но открыла новые перспективы для познания Вселенной, уступив место картине бесконечной однородной изотропной Вселенной, заполненной звездами-солнцами, — Вселенной Николая Кузанского—Бруно—Ньютона. Эта картина возникла в результате безграничной экстраполяции (на третье измерение) картины звездного небосвода (еще у Кеплера воспринимавшегося как тонкий сферический слой, более или менее равномерно заполненный звездами). Умозрительная же картина беспредельной Вселенной с рассеянными в ней звездами смежилась картиной структурной Вселенной: островной — Т. Райта, иерархической — Канта и Ламберта, возрожденной вновь в начале XX в. Шарлье. По мере развития наблюдательной астрономии островной характер Вселенной перешел из картины мира в ранг достоверных фактических знаний — сначала в результате промеров нашей Галактики В. Гершелем и окончательно после открытия Хабблом звездного состава спиральных туманностей. Достоверность иерархической же структуры Вселенной (равно как и ограниченная справедливость этого типа структурности) получила убедительное подтверждение лишь в последнее десятилетие. Тогда же получила подтверждение зародившаяся в 30-е гг. и оформившаяся в 70-е картина новой крупномасштабной филаментарно-ячеистой структуры Вселенной — из галактик, их скоплений и сверхскоплений, сосредоточенных в «тонких» стенках объемной сети с огромными пустотами-ячейками (войды). Эти представления о структуре Вселенной стали элементами конкретной науки. А современная, еще формирующаяся астрономическая (космологическая, космофизическая) картина мира в качестве стержневой идеи принимает вывод новой космологической теории, так называемой «раздувающейся Вселенной», о множественности и бесконечном разнообразии вселенных-метagalactic вплоть до различия фундаментальных физических законов в них и даже размерности пространства.

Аналогично можно было бы проследить смену представлений и о состоянии Вселенной, и о характере процессов и основных физических законов, действующих в ней, — от классических представлений к релятивистским и квантово-механическим, а в наши дни — к вырисовывающимся на горизонте современной фундаментальной физики квантово-гравитационным.

Таким образом, в отличие от развития конкретной науки революционная смена научной картины мира сопровождается «выпадением в осадок» из раствора гипотетических экстраполяционных представлений достоверного, но теперь уже ограниченно справедливого знания, в которое превращается прежняя картина мира или ее элементы. Эти знания, повторим, уже не являются элементами новой картины мира, а пополняют собой ядро конкретной науки в качестве достоверных фактов (заметим, кстати, что даже геоцентрическая картина мира оставила свой достоверный «сухой остаток» в ядре науки — *истинную геоцентрическую систему* «Земля—Луна», весьма локальное, с современной точки зрения, но зато вполне достоверное знание). Как видим, конкретная наука и картина мира обеспечивают два пути познания — индуктивный и дедуктивный соответственно.

В последующих главах этой книги мы проследим многотысячелетний путь формирования и развития астрономической картины мира как главной цели изучения небесных явлений. На этом пути мы не раз будем изумлены проникательностью наших далеких предков, идеи которых порой принимают за изобретение XX в. . .

Раздел первый

У ИСТОКОВ АСТРОНОМИИ

Во все века людям хватало наличных сведений для объяснения всего на свете.

Л. Леонов

Глава I

ОТ КОСМИЧЕСКИХ МИФОВ К НАУКЕ

§ 1. Человек и небо

Астрономия — древнейшая из наук. Родившись из необходимости для «человека общественного» ориентироваться в пространстве и времени, она стала результатом и условием его трудовой деятельности. Наряду с этим наблюдение (а сначала простое созерцание) неба с древнейших времен в какой-то степени сформировало самого человека как мыслящего существа. Возвышающее дух воздействие необъятного звездного неба на человека воспето поэтами и отмечено философами всех времен — от Гомера до Уолта Уитмена, от Лукреция Кара до Ломоносова, от Джордано Бруно до Сент-Экзюпери.

Следы астрономической деятельности обнаружены в самых ранних известных письменных документах (3—2 тыс. до н. э.). Они оставлены древнейшими цивилизациями Междуречья, Малой Азии, Индии и Китая, Средиземноморья. Судя по косвенным источникам — древним историческим текстам, описывающим еще более ранние времена, астрономическая деятельность существовала в некоторых областях Земли уже в 4 тыс. до н. э. (например, в Египте), а то и раньше. В еще более отдаленные тысячелетия уходит астрономический фольклор. Наконец, в неизмеримые глубины времен уводят нас так и называемые «солярные знаки» — наскальные и пещерные рисунки первобытного человека, в которых просматриваются изображения небесных светил. В последние десятилетия расшифрованы некоторые старейшие археологические памятники как свидетельства систематической астрономической деятельности людей еще на неолитическом уровне развития человечества. Это — мегалитические сооружения, т. е. сооружения из громадных каменных глыб и столбов, упорядоченно расставленных, обычно на обширной плоской площадке, с выделением астрономически значимых направлений. Эти направления совпадают

с точками восхода Солнца, например в равноденствия и солнцестояния, с видимостью Луны в определенные моменты года и даже в определенные периоды — годы «высокой» и «низкой» Луны. Самым древним из известных таким сооружением и наиболее хорошо изученным к настоящему времени является Стоунхендж

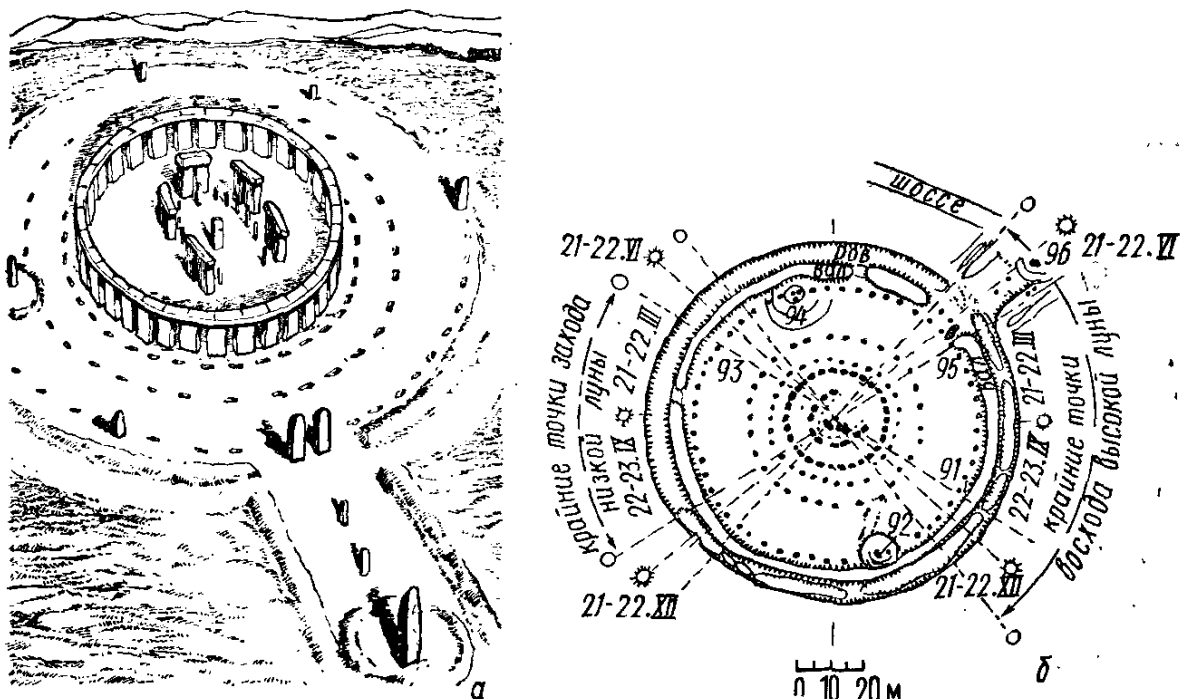


Рис. 1. Древнейшая (2 тыс. до н. э.) культовая астрономическая обсерватория: а) макет, б) схема астрономически значимых направлений. Стоунхендж, Южная Англия

(букв. — «Висячие камни») в Южной Англии, расшифрованный в результате детального изучения как сложная лунно-солнечная обсерватория 2-го тыс. до н. э. Подобные наблюдательные площадки, использовавшиеся, видимо, в основном для культовой астрономии, обнаружены или подозреваются и в других местах, в том числе и в нашей стране (например, в Армении, в Прибалтике).

§ 2. Что такое «доисторическая астрономия»! Немного об архео- и фольклорной астрономии

В отличие от сведений, сохранившихся в письменных источниках, сведения, дошедшие до нас лишь в виде археологических, материальных памятников минувшего, относят к «доисторическим».

В этом же смысле доисторическими называют и сведения, в том числе об астрономических явлениях, дошедшие до нас от самых истоков каждой культуры только через фольклор. Это астрономические мотивы в древнейших мифах, сказках, песнях, танцах, имевших когда-то ритуальный смысл. Таков обряд масленицы — след поклонения древних славян Солнцу, обрядовые песни и танцы народов Прибалтики, в которых отражена не только память

ю явлениях, например кометах, но и некоторые метеорологические приметы, связанные с Луной, Солнцем. Космологические и космогонические мотивы особенно свойственны сказкам и мифам народов Африки, Океании, Филиппин, отчасти Индии, Китая.

В последнее время укрепляются два новых термина — археоастрономия и фольклорная (или народная) астрономия. Первая позволяет, хотя и с немалым трудом, устанавливать, что именно могли наблюдать древние астрономы, и реконструировать объект и цели астрономической деятельности, даже степень развитости ее в данном месте, наконец, уточнить саму эпоху наблюдений.

Что касается фольклорной астрономии, то при всей фантастичности и наивности с современной точки зрения ее описаний и «объяснений» астрономических явлений нельзя забывать, что перед нами здесь предстают не только образцы древнего искусства, но и древнейшее миропонимание — гипотезы о причинной связи окружающих человека явлений. Как уже говорилось, именно небесные явления, смена дня и ночи, восходы и заходы светил, смена сезонов впервые продемонстрировали закономерность Вселенной.

§ 3. Роль астрономического фольклора в истории науки. Картина мира

Некоторые историки науки подчеркивают, что фольклорная астрономия, отражавшая явления фрагментарно и поверхностно, выражала связь человека со Вселенной через чувства и эмоции и потому не сделала четкого вклада в сумму астрономических знаний [100; 119]. Однако роль этого этапа развития астрономии с точки зрения развития науки заключается в ином. В космолого-космогонических сказках и мифах отразились не отдельные астрономические сведения, а целостная картина мира, хотя и опиравшаяся на очень небольшую сумму сведений о Вселенной, но уже представлявшая ее как закономерную систему явлений и сил. Это и было самым ранним космологическим открытием человека. Такая точка зрения в последнее время находит очень серьезных защитников (например, К. Леви-Строс).

В стремлении понять, объяснить весь мир в целом как систему причинных взаимосвязанных явлений проявилась коренная особенность формировавшегося человеческого интеллекта. В гипотетических реконструкциях связей во Вселенной человек не действовал, по крайней мере непосредственно, ради выполнения трех главных задач всего живого: добыть пищу, укрытие и продолжить род. Человек (уже подготовленный к этой фазе творческим трудом) проявил себя, возможно, впервые истинным исследователем: задал вопрос «Почему?» и стал искать ответ на основе аналогий с известным из своего жизненного опыта. Это и было первым шагом, по существу, к научному исследованию окружающего мира. Ведь при всей «наивности» и произвольности гипотез пер-

вобытного человека о мироздании в них уже учитывались определенные реальные закономерности — цикличность большинства небесных явлений, мощь природных сил, а вместе с тем формировалось ощущение, что человек — важнейшая часть окружающего мира.

Конечно, стимулом к возникновению интереса к небесным и вообще природным явлениям было далеко не только любопытство, а прямая необходимость, жизненно важная связанность существования самого человека с закономерностями Вселенной (зависимость от тепла и света Солнца, от дождя и бурь, от смены теплых, холодных, засушливых сезонов...), равно как и ложная, иллюзорная зависимость от появления комет, затмений, метеоритных дождей, падающих звезд... Отсюда можно сделать общий вывод: одной из особенностей начальной «астрономической деятельности» было то, что формирование целостной, хотя и мифологической по форме, астрономической картины мира предшествовало зарождению дифференцированного и специализированного исследования явлений (в чем и состоит в основном современный этап научного познания).

Важным переходным этапом между начальной (фольклорной) и современной (аналитической) стадиями осознания мира было натурфилософское, также целостное, хотя и умозрительное еще осмысление Вселенной.

§ 4. Стимулы зарождения и первые следствия астрономической деятельности. **Практические цели наблюдений неба**

1. Хозяйственно-практические стимулы. Раннее понимание своей зависимости от Вселенной, своего места в мире явлений вызвало попытку активно воздействовать на окружающий мир путем поклонений и жертвоприношений. Недаром и древние китайцы, и майя верили, что нарушение порядка жертвоприношений может... нарушить порядок смены сезонов!

С другой стороны, свою связь с окружающим миром человек мог ощутить и в обнаруженных им небесных «указателях»: например, предутренний восход одних и тех же ярких звезд сигнализировал о наступлении теплого сезона (так, египтяне выделили Сириус, майя — «Большую звезду», чак-ек, Венеру). Такая подмеченная связь стала экономическим стимулом для развития наблюдений неба. Но, чтобы начать использовать астрономические явления в практической деятельности, необходимо было сначала обратить на них внимание и не раз сопоставить события, чтобы установить существование устойчивой связи между появлением той или иной звезды или другой небесной приметы и соответствующими событиями на Земле (наступлением тепла, разливом рек, созревaniem урожая).

Небесные метки-звезды использовались человеком уже на самых ранних стадиях его развития как собирателя, охотника, ко-

чующего скотовода. Ориентация в пространстве и во времени по звездам и Солнцу доступна и животным на уровне рефлексов, и даже... растениям (подсолнух и другие цветы-часы). Однако предсказание земных явлений по небесным знакам (разлива Нила — по первому появлению на предутреннем небе Египта ярчайшей звезды неба Сириуса, и т. п.) оказалось свойственным только человеку. Наиболее эффективными такие предсказания стали после перехода к оседлому, земледельческому образу жизни, когда с развитием производительных сил сложились условия для систематических наблюдений неба в одной и той же географической местности. Улучшились материальные условия, освободив человека от необходимости непрерывного поиска пищи.

Таким образом, определяющей чертой раннеисторической научной деятельности был существенно прикладной характер, который, однако, не исчерпывался использованием небесных явлений в хозяйственной жизни людей.

2. Проблема космическо-земных связей как стимул зарождения астрономии. Существовал еще один мощный стимул для прикладного направления развития астрономических знаний, но прикладного в более высоком смысле, нежели обеспечение непосредственных жизненных материальных нужд. С развитием хозяйственного использования астрономических примет, накоплением сведений о различных астрономических явлениях росла уверенность в существовании неразрывной глубокой связи Вселенной и человека, воспринимавшего себя ее центром. Так сформировалась древнейшая, антропоцентрическая картина мира.

В поисках ответа на вопрос о причине явлений первобытный человек опирался на единственный имевшийся в его распоряжении опыт — наблюдения причинных связей на Земле и прежде всего в своем племени, перенося на небо свои познания о различной силе разных живых существ, о социальных взаимоотношениях в своей общине. Одушевлялись звезды, Луна, Солнце, планеты, молния и гром, метеоры и многие метеорологические явления, долгое время не различавшиеся от космических: все они считались небесными. Так, астрономическая картина мира становилась еще и мифологической: звезды, светила, созвездия не просто одухотворялись, но и отождествлялись с героями или животными-«предками» (тотемизм).

Страх перед такими явлениями, как молния и т. п., заставлял преклоняться перед светилами, грозой, падающими с неба камнями. Таким образом, религиозное мировоззрение имело и астрономические корни — древнейшую антропоцентрическую модель Вселенной.

Одушевление могучего неба вызывало в свою очередь почитание в древнейших цивилизациях и земных владык как «Сыновей Неба». Таким образом, астрономия с самого начала оказалась тесно связанной с формированием общественного, социального сознания и мировоззрения.

Исполнение обрядов поклонения светилам требовало предсказания их появлений в том или ином месте неба, а потому и гораздо более точных астрономических наблюдений, нежели фиксирование приблизительной приметы наступления того или иного сельскохозяйственного сезона. Для последнего достаточно было жизненного опыта простых земледельцев. Духовные же и идеологические потребности общества были на первых порах едва ли не главными стимулами развития точной «практической астрономии», получившей культовое направление. Поэтому и первыми астрономами стали жрецы, которые начали систематическое наблюдение неба за тысячи лет до н. э., для чего «обсерватории» устраивались нередко на крышах храмов.

Древнейшим направлением и целью таких наблюдений было выявление непосредственной зависимости от небесных явлений тех или иных жизненно важных явлений на Земле, в жизни общества, государства. Небесное явление рассматривалось как сигнал, знак, которым некое высшее существо предупреждало жителей Земли о грядущих событиях — войне, засухе, о наступлении счастливого или несчастливой дня для важных дел и т. п. Расшифровка «небесных знаков» сначала не отличалась от простого гадания. Так зародилась астрология.

Стимулом к поискам причинно-следственных связей Земли и Космоса могли служить и подмечавшиеся реальные зависимости, например, некоторых биологических ритмов в жизни человека и живой природы от фаз Луны. Недаром астрология была тесно связана и в древности и особенно в средние века с медициной.

3. О первых тупиковых направлениях в познании Вселенной. Хотя и первобытные формы религии, и особенно астрология, сыграли роль определенных стимулов для развития астрономических наблюдений, и та и другая оказались порочными, тупиковыми направлениями «осознания» окружающей действительности. На этих направлениях человек попытался без достаточных оснований, опираясь лишь на примитивные, далекие от истинных законов природы представления, раскрыть универсальные причинно-следственные связи как в Космосе, так и между Космосом и Землей, вплоть до выяснения по «звездам» конкретной судьбы человека. Именно в такую «гороскопическую» (предсказывающую судьбу при рождении человека) и в «юдициарную» (судебную) превратилась зародившаяся на Востоке (в Вавилоне или Египте) астрология, когда она попала на благодатную социальную почву в Римской империи.

4. Астрономия и зарождение «железного века» на Земле. Быть может, существенную роль в развитии цивилизации сыграло еще одно космическое явление — падение метеоритов. За несколько тысячелетий до н. э. человечество Старого Света начало переход от бронзового (а кое-где и каменного еще) к железному веку. Выплавка железа началась со 2 тыс. до н. э. и приобрела широкое распространение сначала в Египте. Однако древнеегипетский иероглиф, обозначающий железо, по мнению ряда специалистов,

может быть расшифрован как «камень с неба». Установлено, что железо употреблялось человеком уже в 3, а то и в 5 тыс. до н. э. И, как показали исследования (например, хранящихся в Эрмитаже украшений из захоронения в среднем течении Енисея), эти изделия были изготовлены из метеоритного никелистого железа. Один из старейших железных метеоритов (возможно, дождь) многотонный «Siratik», выпавший, видимо, в доисторические времена в Африке (на территории Сенегала), с незапамятных времен использовался местным населением для изготовления домашней утвари. Известно также давнее, до изобретения в этих местах выплавки железа из руды, использование метеоритного никелистого железа (первой, «природной» стали) для изготовления оружия и украшений некоторыми племенами индейцев, а также, быть может, и предками хакасов в среднем течении Енисея (индоевропейцами дин-линами в VII в. до н. э., которые это железо называли «синим»; именно такой вид имеет обычно свежесвыпавший железный метеорит, покрытый корой плавления).

Таким образом, напрашивается мысль о том, что по крайней мере стимулом к усиленным поискам металлического железа (а это могло привести в свою очередь к открытию железных руд и изобретению выплавки железа из руды) стали первоначально находки так называемого самородного железа в виде глыб на поверхности земли. За редким исключением, все такие находки (порой в десятки тонн!) оказались метеоритами. Самородное земное железо хотя и встречается, но представляет собой гораздо большую редкость. То, что первая встреча человека с железом произошла еще в доисторические времена и что железо это было метеоритным, находит подтверждение в наши дни [6].

Глава II

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВСЕЛЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ ДРЕВНЕГО МИРА

§ 1. Древнейшие очаги зарождения астрономии. Общее и особенное

В районах возникновения древнейших цивилизаций на Земле, от которых сохранились письменные документы, начинается своя история и развитие астрономических знаний. Само изобретение письменности стало эффективным условием развития знаний вообще. Письменность позволяла более надежно хранить и систематизировать получаемые из наблюдений сведения об окружающем мире. Это привело к выявлению более сложных и глубоких закономерностей и в астрономии и сделало знания еще более прием-

ственными, объединяя творческие усилия далеких друг от друга поколений.

Известно несколько древнейших очагов цивилизации: Междуречье (Месопотамия — греч.), или Двуречье — между реками Тигром и Евфратом на территории нынешнего Ирака; полуостров Малая Азия, Палестина, определенные области Египта, Индии, Китая, Средиземноморья (остров Крит), а в Новом Свете — цивилизация майя (на территории Мексики, Белиза, Гватемалы и Гондураса) и др. Письменная история астрономической деятельности восходит к 3—2 тыс. до н. э. Но по косвенным признакам — например, по принципу наименования созвездий, звезд и планет — начало изучения неба можно отнести по меньшей мере к 4 тыс. до н. э.

Осознание окружающей Вселенной начиналось с формирования конкретной, образной картины мира, почти неотделимой поначалу от художественного творчества. С другой стороны, небесные «знаки» и указатели использовались в практической жизни, в обслуживании духовных и идеологических нужд общества. Главным образом эти последние цели стимулировали уточнение наблюдений неба — развитие наблюдательной астрономии, которая рассматривалась как прикладная часть главной, теоретической «науки» — астрологии. Необходимость повышения точности наблюдений наиболее заметных светил — Луны, Солнца, иногда Венеры — вызвала к жизни два изобретения: древнейший астрономический инструмент — гномон и астрономический календарь. Последний вытеснил более ранний примитивный сельскохозяйственный календарь — деление года на сезоны по этапам роста и созревания тех или иных культур. Гномон — шест для определения высоты Солнца по длине тени — развился в различные системы солнечных часов. Он позволял оценить продолжительность солнечного тропического года и вести счет времени в течение дня. Для счета времени при отсутствии Солнца были изобретены водяные и песочные часы. К древнейшим изобретениям относятся и угломерные инструменты типа отвеса с подвижной относительно него линейкой, направляемой на светило для оценки его углового расстояния от зенита.

По мере накопления наблюдательных устойчивых сведений о закономерностях небесных явлений начинала работать внутренняя логика развития знаний. Как при всякой творческой работе, зажигался внутренний источник творческой энергии человека: стремление узнать новое начинало превышать требуемое для достижения конкретной практической цели. Появился чистый интерес к «лишнему» знанию, к познанию ради самого познания. Это повело к специализации — к появлению деятельности по выработке нового знания, к развитию конкретной науки.

Начало этого сложного процесса уходит в глубокую древность. И уже тогда выступили различия между цивилизациями. Они проявились в различии методов решения конкретных задач, описания и моделирования явлений, прежде всего движения светил.

Но главное различие было в соотношении наблюдательной и «теоретической», объяснительной астрономии. Это определялось, видимо, главным образом социально-экономическим укладом жизни общества. Особенно резко различались в этом отношении, с одной стороны, абсолютистские государства бюрократического типа — Вавилон, Египет, Китай, а с другой — децентрализованные Греция и отчасти Индия (хотя между этими регионами уже в глубокой древности существовали торговые и государственные связи, благодаря которым и в области науки имело место взаимное влияние). Вершиной древнекитайской астрономии, которая была поставлена в жесткие условия государственной чиновничьей службы с четкими целями прикладного характера, стала регистрация и систематизация явлений. Даже открыв новое явление, китайские астрономы не задерживали на нем внимания, если оно было в стороне от «главных», практических задач астрономической службы (так случилось с открытием в Китае за 1000 лет до Галлея собственного движения звезд). Напротив, вершиной греческой и индийской астрономии древних эпох стала, порой, чрезвычайно глубокая натурфилософия, пришедшая на смену мифологическому осмыслению Вселенной. Именно такие регионы с развитой свободной мыслью при прочих благоприятных обстоятельствах становились очагами формирования науки в наиболее полном ее выражении, как синтеза наблюдений и теории, вплоть до философского обобщения конкретных и всегда фрагментарных знаний. Синтез вавилонской и египетской наблюдательной астрономии и математических методов с древнегреческой натурфилософией (возможно, не без некоторых древнеиндийских влияний) привел к небывалому взлету науки в период эллинизма.

§ 2. Астрономия Вавилона

1. **Начало и организация астрономических занятий.** В Месопотамии, по берегам Евфрата с 5—4 тыс. до н. э. существовали города-государства шумеров, а со 2 тыс. по VI в. до н. э. — объединенное шумеро-аккадское государство Вавилон. Последние несколько десятилетий его существования им правили халдеи — выходцы из скотоводческих племен, пришедших с северо-западного побережья Персидского залива. Уже в 3 тыс. до н. э. шумеры изобрели письменность, которая развилась у них в клинопись, и шестидесятиричную систему счисления. Судя по письменным источникам, систематическое наблюдение неба шумерами также восходит ко второй половине 3 тыс. до н. э. Сначала оно сводилось к фиксированию небесных явлений и светил (которые воспринимались как астральные божества) и к выявлению астрономических примет, использовавшихся в практической жизни государства. Лишь с VII в. до н. э. и особенно в последние три века до н. э. стала интенсивно развиваться вавилонская математическая астрономия — количественное изучение и описание с помощью оригинальных моделей и методов движений светил, преж-

де всего Луны (выделенной на небе раньше всех в качестве главного бога Нанны). К наиболее древнему периоду относится также выделение и наименование ярких звезд и созвездий: Сириус, Орион, Плеяды (как их в дальнейшем называли греки). Они описаны на глиняных табличках 2 тыс. до н. э. На этих табличках сохранились вычисления «удаленности» от Земли восьми различных «богов» (светил) и соответственно восьми небес, начиная с неба Луны [100, с. 108].

Регулярно велись наблюдения гелиакических восходов светил, положения среди звезд Луны и планет. К 1 тыс. до н. э. вавилоняне уже знали пять планет. Но их общее название «биббу» («козлы», которые с древнейших времен использовались в качестве вожakov овечьих стад) свидетельствует о гораздо более раннем времени выделения планет на небе у скотоводческих племен. Меркурий называли просто «биббу», Юпитер — «звездой-Солнцем». Особое внимание привлекала Венера — наиболее яркое светило вечернего и утреннего неба после Луны. Возможно, уже в 3 тыс. до н. э. шумеры знали, что «вечерняя» и «утренняя» звезда — одно и то же светило (греки до середины 1 тыс. до н. э. принимали их за два). В сравнительно быстрых изменениях положения и блеска Венеры шумерские звездочеты пытались уловить смысл небесных предзнаменований. На сохранившихся табличках 1 тыс. до н. э. обнаружены тысячи (!) предсказаний, сделанных по наблюдениям Венеры. В отличие от семи подвижных светил остальные звезды неба сравнивали с овечьим стадом.

С VII в. до н. э. в Вавилоне существовала официальная должность придворного астронома. Его задачей была систематическая запись наиболее важных изменений и явлений на небе.

2. Выделение экваториально-эклиптикального пояса созвездий.
Календарь. Уже к началу VII в. до н. э. вавилоняне выделили на небе круговую зону шириной около 30° , в которой перемещались Луна, Солнце, планеты (первоначально она располагалась ближе к небесному экватору, поскольку «очевиднее» было суточное движение светил). В этом круге были выделены 15 созвездий, почти все названные именами животных [143, с. 190].

В VII—VI вв. для слежения за Луной вавилоняне делили эту приэкваториальную зону на 36 участков по 10° (как это делали задолго до них египтяне; позднее греки называли эти участки «деканами»). В IV в. до н. э. мелкие участки были объединены по три, и вся зона оказалась разделенной на 12 (30° -градусных) участков-созвездий (ее и переняли греки, назвав Зодиаком — Кругом животных). Кроме того, вся полоса была приближена к эклиптике, что говорит о накоплении сведений и о «годовых» движениях светил. В общем разделении круга неба на 360° нашла применение в астрономии шумерская 60-ричная система счета.

Ко 2 тыс. до н. э. относится изобретение шумерами лунного календаря. В 1 тыс. он был усовершенствован: состоял из 12 синодических лунных месяцев по 29 и 30 дней поровну, так что год составлял 354 дня. Шумеры знали солнечный тропический год.

определяя его как промежуток времени между моментами, когда тень от гномона в полдень была наименьшей (летнее солнцестояние). Для согласования с ним лунного календаря в нем сначала (до V в. до н. э.) делали от случая к случаю вставки 13-го месяца.

В 450 г. до н. э. вавилонские астрономы открыли 19-летний лунно-солнечный цикл: нашли систему вставок в лунном календаре, которая обеспечивала почти точное совпадение его с солнечным через каждые 19 лет, поскольку период из 19 солнечных годов оказывается приблизительно равным целому числу (235) синодических лунных месяцев (так называемый метонов цикл, независимо открытый позднее в Греции).

3. Служба затмений и зарождение математической астрономии. Вавилоняне оставили практически полный список затмений, начиная с 763 г. до н. э. (часть их использовал Птолемей для улучшения теории движения Луны). Регулярность наблюдений позволила вавилонским астрономам подметить некоторые закономерности затмений. Они установили, что солнечные затмения происходят лишь в начале месяца (т. е. близ новолуния), а лунные — в середине (в полнолуние) и что затмения происходят не каждый месяц, а с перерывами в 5—6 месяцев (они возможны лишь вблизи лунных узлов).

Нужды календаря, предсказание затмений — все это требовало развития математических методов в астрономии¹. Если в самых древних документах положения подвижных светил отмечались просто относительно ярких звезд², то в IV в. до н. э. уже была изобретена первая, эклиптическая, по существу, система небесных координат. Измерялись в основном эклиптические долготы светил, но отсчитываемые в пределах каждого знака «зодиака» — от его западной границы к востоку³. Лишь для Луны измерялось и отклонение от эклиптики — широта. Так, день лунного затмения предсказывался в результате накопления тщательных измерений широты Луны во время сизигий (моменты новолуний и полнолуний).

Для описания неравномерного движения Луны вавилоняне нашли оригинальный арифметический способ — «линейную зигзагообразную функцию». Путь Луны по созвездиям разбивали на равные участки, в пределах которых скорость принималась за постоянную, но от участка к участку она изменялась скачком. Другой способ состоял в записи изменяющейся длины синодического месяца в виде арифметической прогрессии, попеременно возрастающей и убывающей.

¹ Успехи вавилонян в математике были весьма высоки. Они знали стереометрию; за сто лет до греков открыли теорему, известную теперь как «теорема Пифагора».

² А их положение отмечалось относительно второго наблюдателя, сидевшего перед первым спиной к югу: «звезды над правым ухом»... и т. п.

³ Единый нуль-пункт отсчета эклиптических долгот (и прямых восхождений) был введен лишь в начале XIX в.

В результате были составлены таблицы лунных «эфмерид», позволявшие весьма точно предсказывать положения Луны. На том же основании были составлены таблицы солнечных и лунных затмений, вернее, моментов тех соединений и противостояний Луны и Солнца, которые происходили при положениях Луны близко к эклиптике. Неравномерное движение Солнца также представлялось зигзагообразной функцией, и по ней составлялись солнечные «эфмериды». Но относительно солнечных затмений вавилоняне могли определять лишь дни, когда они были невозможны.

Долгое время в исторической литературе вавилонским астрономам приписывалось открытие цикла чередования лунных и солнечных затмений — сароса⁴. Однако один из крупнейших исследователей науки Древнего Востока О. Нейгебауэр утверждает, что астрономы Вавилона открыли не сарос, а 18-летний цикл повторений последовательности только лунных затмений (иначе, период движений лунных узлов). Не представляя причины затмений, они лишь использовали эту эмпирическую закономерность на практике для предсказания лунных явлений.

Невероятно трудно было для вавилонских астрономов-регистраторов явлений установить закономерности в поведении планет. Они представляли его как ряд дискретных появлений, закономерно повторяющихся. Выявляя эту сложную последовательность, изучая неправильности в периодичности появления планет, улавливая повторяемость самих неправильностей, вавилонские астрономы в результате изучения очень длинных рядов наблюдений устанавливали закономерный ряд дискретных положений данной планеты и методом интерполяции предсказывали ее промежуточное положение.

Имеется версия, что вавилоняне нащупали периодичность и в

4. **Астрономическая картина мира вавилонян** имела еще чисто мифологический характер. Так, с одним из самых старых вавилонских созвездий — Дракона — связана легенда о борьбе бога Мардука с чудовищем женского рода Тиамат, из шкуры которого, усеянной бриллиантами, и было якобы сделано небо. Сторожить же его был приставлен Дракон. Выделение этого созвездия, очевидно, связано с тем, что именно ярчайшая его звезда — α Дракона была в те времена, в 3 тыс. до н. э., ближе всех к Северному полюсу мира. Существовал в Вавилоне и культ Солнца (рис. 2).

⁴ Напомним, что сарос составляет 18 лет 11,3 дн. (или 18 лет 10,3 дн., если на указанный промежуток времени пришлось 5 високосных лет). Указанный период содержит целое число (с точностью до полусуток) четырех несоизмеримых величин, сочетание которых обеспечивает то или иное затмение: 19 драконических лет и целое число месяцев (223 — синодических, 242 драконических, 239 аномалистических). За этот период происходит в среднем 43 солнечных и 28 лунных затмений. Вопрос о времени и месте открытия сароса не вполне ясен. Но слово «сарос» — древнеегипетское и означает «повторение».



Рис. 2. Культ Солнца в Вавилоне
(по кн. Шейцера, 1733)

Жесткая централизация общественной жизни, в том числе и астрономической деятельности как государственной службы, не способствовала развитию свободного размышления о космологических проблемах. Все и так было ясно: небо посылало сигналы, оставалось лишь прилежно считывать их.

Видимо, и дискретный арифметический способ описания явлений, лишенный наглядной модельности, не способствовал развитию интереса к механизму явлений. Астрономия Вавилона была чисто феноменологической.

Как уже говорилось, большúю роль вавилонские наблюдения сыграли в подъеме древнегреческой астрономии в эллинистическую эпоху (с III в. до н. э.), тогда как в Римской империи более по вкусу пришлась «халдейская» премудрость — астрология.

В современной науке наследием вавилонской наблюдательной астрономии является разделение круга на 360 градусов (и далее — на минуты и секунды, — названия латинские), изобретение Зодиака из 12 созвездий (как, видимо, и названий большинства созвездий, которые дошли до нас в греческом переводе), а также изобретение астрономических координат.

§ 3. Астрономия Древнего Египта

1. Начало и организация астрономической деятельности. Переход к оседлой жизни земледельцев и формирование египетского народа датируется 4 тыс. до н. э. Разделение неба на 36 созвездий (видимо, экваториально-эклиптических) уже существовало к эпохе Среднего Царства (ок. 2050—1700). От периода Нового Царства (1580—1070) сохранились некоторые их изображения для северного полушария (рис. 3).



Рис. 3. Символы созвездий северного неба, изображенные на крышке древнеегипетского саркофага

Первым стимулом интереса к небесным явлениям стало, видимо, сельское хозяйство, целиком зависевшее от своевременного использования разливов Нила. Хотя они не имели строго периодического характера, их сезонность, связь с полуденной высотой Солнца была подмечена давно. Это и привело к поклонению Солнцу как главному богу Ра. (Любопытно, что еще раньше египтяне поклонялись некоему священному камню «бен-бен». Не исключено, что поклонение камням могло быть вызвано наблюдением их падений с неба, что должно было нередко сопровож-

даться громовыми раскатами, эффектным явлением хвостатого огненного шара — болида и т. д.)

Утвердившаяся на тысячелетия власть обожествлявшихся фараонов рано сделала астрономию в Египте (как и в Вавилоне) государственной придворной службой с прикладными целями не только хозяйственными, но и социально-политическими. Астрономией занимались жрецы и специальные чиновники, ведшие запись астрономических явлений.

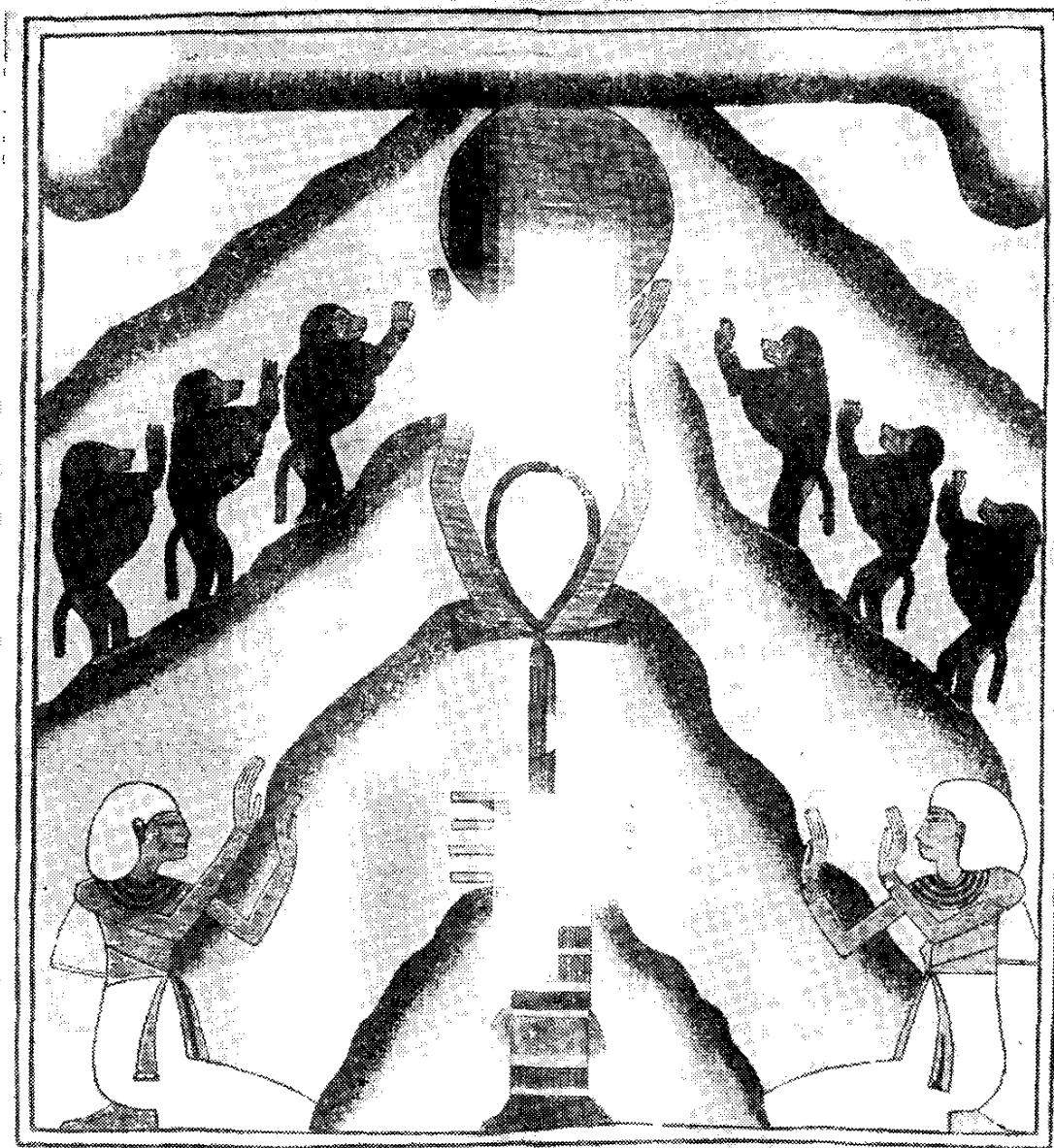


Рис. 4. Восход Солнца, по представлениям древних египтян (по Грузину, 1893)

2. Календарь. Разливы Нила происходят в начале лета. В 3 тыс. до н. э. это совпадало с первым, после периода невидимости, гелиакическим восходом ярчайшей звезды неба — Сириуса (по древнеегипетски — Сотис). Так, в Египте появился уни-

кальный местный солнечный календарь — «сотический». Год в нем был солнечным, но не тропическим, а сидерическим, составляя промежуток между двумя соседними гелиактическими восходами Сириуса. Он был введен в начале третьего, а быть может, еще в четвертом тысячелетии до н. э. [19, 100].

В повседневной жизни употреблялся целочисленный «гражданский» календарь. Год принимался в 365 дней и делился на 12 (30-дневных) месяцев, а в конце добавлялось 5 дней как «дни рождения основных богов». Месяц делился на три декады. Попытка согласовать гражданский календарь с сотическим не удалась, и он остался удобным для расчета исторических событий календарем без вставок с непрерывным счетом дней. Употреблялся в Египте и лунный календарь, который путем введения цикла типа метонова согласовывался с условным, гражданским календарем.

Египтяне ввели деление суток на 24 часа задолго до вавилонян. Это было связано с изобретением в Древнем Египте (намного раньше, чем в Индии) десятичной системы счета (но еще без позиционного обозначения). Сначала было введено разделение на 10 частей светлой части суток и по одному часу добавлялось на утренние и вечерние сумерки. Позднее на 12 частей разделили и всю темную часть суток. Длина ночных и дневных часов изменялась по сезонам, и лишь с конца IV в. до н. э. в эллинистическую эпоху ввели единые «равноденственные» часы.

Тогда же вместо старого деления на 36 (10-градусных) участков (деканы) области неба, более близкой к экватору, был принят вавилонский «Зодиак» — деканы объединили по три в 12 созвездий, а весь круг Зодиака приблизили к эклиптике.

О сложном взаимовлиянии вавилонской и древнеегипетской астрономии может свидетельствовать развитие астрологии. Уже в египетском папирусе XIII—XII вв. до н. э. имеются предсказания по астрономическим знакам счастливых и несчастливых дней. Сильно развившаяся на вавилонской почве астрология новой волной проникает в Египет эллинистический. По числу подвижных светил в Египте вводится семидневная неделя, и теперь уже каждый день получает в покровители планету, Солнце или Луну.

3. Инструменты, наблюдательная и математическая астрономия. Астрономические инструменты — солнечные и водяные часы, угломерные инструменты для наблюдений звезд в кульминациях употреблялись и в древнеегипетской астрономии. Но здесь, например, водяные часы появились на два века позднее, чем в Вавилоне (где их употребляли с XVIII в. до н. э.).

Чрезвычайно различные мнения до сих пор существуют об уровне развития науки в древнем, доэллинистическом Египте. По мнению одних, астрономические знания египтян были невысоки, так как примитивным был применявшийся в астрономии математический аппарат. Египтяне не знали тригонометрии и едва владели действиями с дробями. Как утверждал Нейгебауэр, в более древние времена математика в Египте хотя и развива-

лась, но в полном отрыве от астрономии. Лишь в эллинистическую эпоху произошел некоторый подъем математической сферической астрономии и стали развиваться необходимые для нее геометрические методы. Напротив, известный советский историк науки И. Н. Веселовский считал, что в 3—2 тыс. до н. э. астрономия египтян по уровню была выше вавилонской. По Нейгебауэру, эти занятия астрономией на более высоком уровне могла проводить лишь узкая группа людей, и они не были египтянами.

Появившиеся в XIX в. представления о том, что в формах и пропорциях пирамид, в ориентации и наклоне коридоров в них (например, в знаменитой пирамиде Хеопса), помимо явной, но довольно грубой ориентации по странам света, скрыты точные математические и астрономические соотношения (число π , направление на Полярную звезду и т. д.), в наши дни подвергаются критике (ведь и сама «полярная» была иной — α Дракона!). Вместе с тем вряд ли греки называли себя «учениками египетских астрономов» лишь ввиду таинственности иероглифических астрономических текстов египетских жрецов-астрономов. Ведь многие греческие натурфилософы-астрономы доэллинистической эпохи общались с египетскими астрономами непосредственно.

Сведения о египетской астрономии неполны и оценки противоречивы. Так, современные историки утверждают, что египтяне не вели регулярных наблюдений, например не фиксировали затмений Солнца. Но еще Диоген Лаэртский (греческий писатель II — начала III в.) сообщал об упоминании египтянами 373 солнечных и 332 лунных затмений (!), якобы происшедших до эпохи Александра Македонского за период в ... 48 863 года [39, с. 55]. Конечно, подобное сообщение не вызывает никакого доверия. Но не нашло в нем отражение (если вспомнить, что «сарос» — слово древнегреческое) наличие гораздо большего интереса к затмениям у египтян, чем это известно по сохранившимся документам?

4. Представления о Вселенной и «египетская» система мира. Древнейший египетский космогонический миф производил Солнце из цветка лотоса, а тот из первичного водяного хаоса (это перекликается с космогоническими мифами Древней Индии, см. ниже). С 4 тыс. до н. э. у египтян уже существовал религиозно-мифологическая «картина мира» с астрономической основой. Совершенно иной уровень представлений о Вселенной отражен в так называемой «египетской» системе мира. Ее впервые описал в IV в. до н. э. современник Аристотеля Гераклид Понтийский, непосредственно общавшийся с египетскими жрецами. Согласно этой модели мира Земля является центром Вселенной, вокруг которого обращаются все светила. Но Меркурий и Венера при этом обращаются еще и вокруг Солнца.

Если эта система действительно была заимствована греками от египтян (а ее приводили в числе четырех главных систем мира именно как «египетскую»), то это означало бы, что древние египтяне должны были наблюдать и планеты. В мировоззренческом

аспекте это была первая компромиссная система — попытка увязать «очевидное» центральное положение Земли с подмеченными особенностями движений Венеры и Меркурия, «сопровождающих» Солнце. Во всяком случае нет сомнения, что именно эта система послужила истоком математических образов эпицикла и деферента, использованных спустя сто лет Аполлонием Пергским как метод описания неравномерных движений через равномерные круговые, что сыграло столь большую роль во всем последующем развитии астрономии.

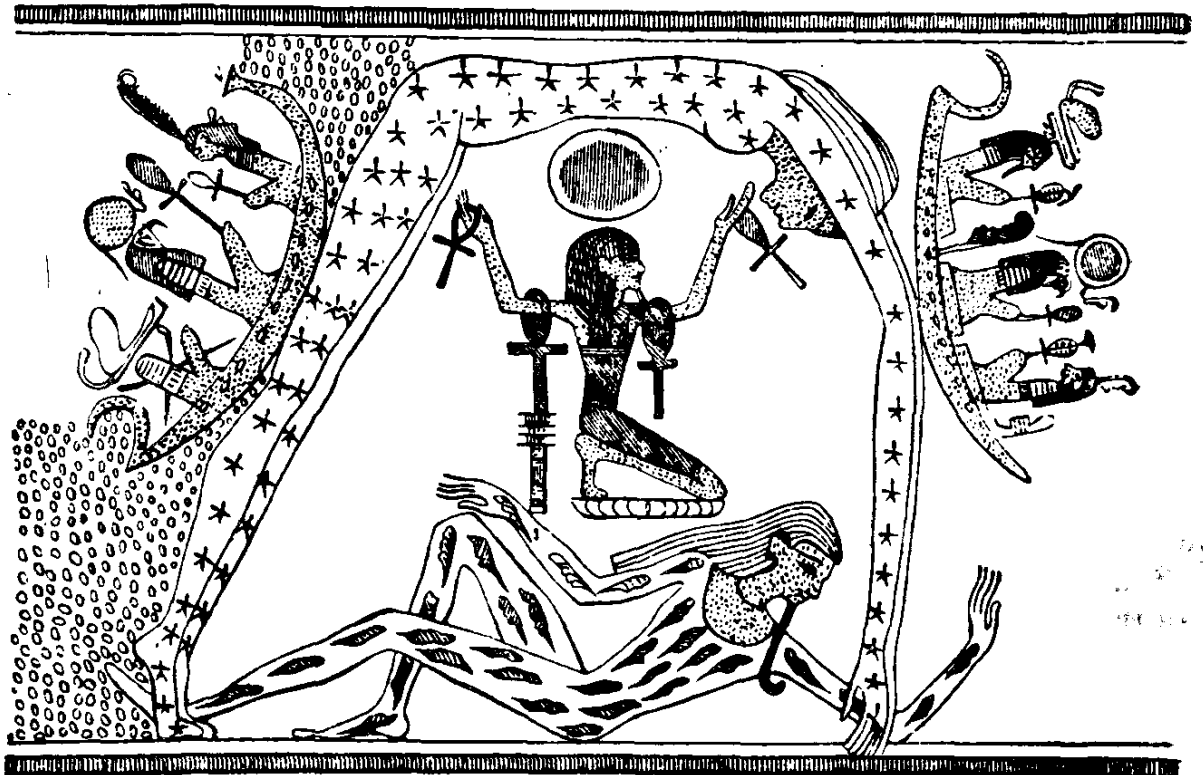


Рис. 5. Мифологическая картина мира древних египтян (по кн. Фламариона)

Наследием, доставшимся более поздней астрономии от древних египтян, стал прежде всего 365-дневный гражданский календарь без вставок. Как удобная система непрерывного счета дней он использовался европейскими астрономами вплоть до XVI в. (не следует его путать, однако, с непрерывным счетом дней «юлианского периода», введенным в 1583 г. Ж. Скалигером, см. ниже). В нашу жизнь вошли также египетские 24-часовые сутки, 30-дневные месяцы с делением на три декады. Семидневная неделя и планетные названия дней ее, возможно, также пришли в Европу из Египта (через греков), но они были характерны и для других регионов Древнего Мира ввиду своей очевидной планетно-лунной основы.

§ 4. Астрономия Древнего Китая

1. **О начале и связях с другими регионами.** Наиболее ранние известные астрономические тексты в Китае (на гадальных пластинках — черепаших панцирях и лопаточных костях) относятся к XV в. до н. э. На них уже отмечены группы ярких звезд — «Огненные» (Скорпион), «Птичьи» (Гидра) и др. Наиболее древние известные китайские книги частично астрономического содержания относятся к середине 1 тыс. до н. э. Это «Шуцзин» (Книга преданий) и «Шицзин» (Книга песен)⁵, составленные под редакцией выдающегося китайского мыслителя Конфуция (Кун-цзы, 551—479 гг.), современника Анаксагора. События, описываемые в них, начинаются со времен легендарной династии Ся (конец 3 тыс. — нач. 2 тыс. до н. э.). В частности, сообщается, что уже тогда при дворе правителя существовали две официальные должности астрономов — чиновников. Современный китайский исследователь относит начало истории китайской астрономии к XII в. до н. э. [124], когда уже существовали государственные контакты с Египтом, а еще раньше — с Вавилоном. Позднее, как уже говорилось, сложились условия для более тесных связей с Индией (со II в. до н. э.) и с Римом (I в. н. э.).

2. **Наблюдения звездного неба.** На рубеже 2—1 тыс. до н. э. китайские астрономы разделили область неба, в которой перемещались Солнце, Луна и планеты, на 28 участков-созвездий (явно для слежения за перемещением Луны) и, кроме того, на четыре «сезонных» участка по три созвездия в каждом (аналог Зодиака). Как и в Египте, этот пояс созвездий был ближе к небесному экватору.

Уже к VI в. до н. э. китайцы выделили Млечный Путь как некое явление неизвестной природы. Его называли «Молочным Путем», «Серебряной Рекой», «Небесной Рекой» и т. д. Все названия, кроме первого, пришли явно из фольклорной китайской астрономии. Сходство первого с греческим любопытно.

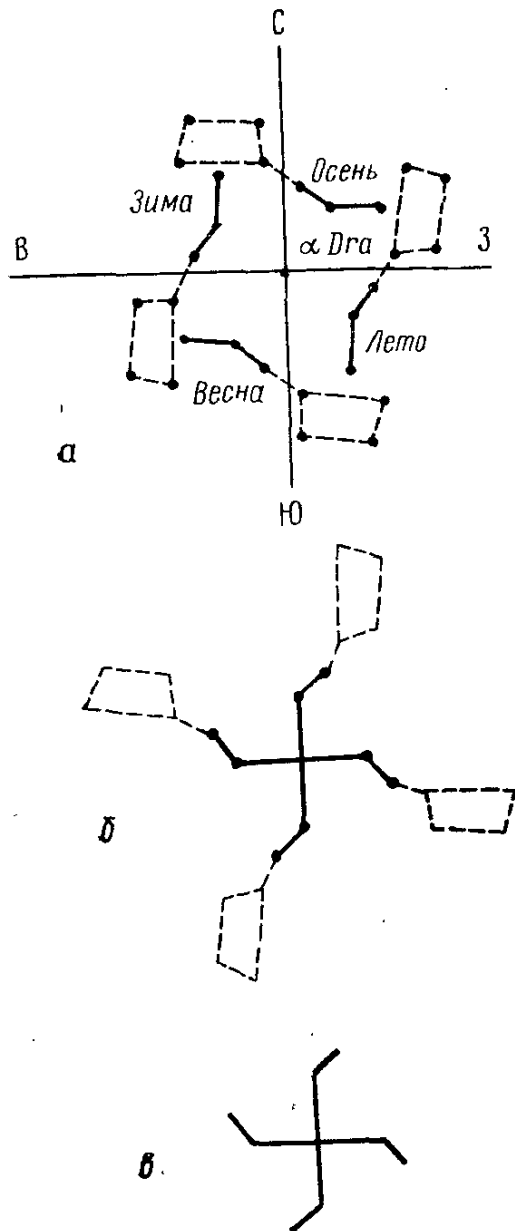
Наиболее ранний известный список свыше 800 звезд с указанием эклиптических координат для 120 из них составили Гань Гун (он же Гань Дэ [150]) и Ши Шэнь приблизительно в 355 г. до н. э. (т. е. на сто лет раньше Тимохариса и Аристилла в Греции). Первый был автором астрологического сочинения «Синьчжан» (Гадание по звездам), а второй астрономом-наблюдателем и автором, быть может, первого в Китае специального астрономического сочинения «Тяньвэнь» (Астрономия). Их звездный каталог включал содержание обеих этих книг и назывался «Книга звезд Гань и Ши».

Знаменитый астроном Чжан Хэн (78—139) разделил все небо на 124 созвездия и оценил общее число звезд, ясно видимых

⁵ Они были уничтожены (вместе с 460 учеными!) в III в. до н. э. при го-
нениях на конфуцианство; восстановлены уцелевшими учеными по памяти.

одновременно, в 2,5 тысячи. Все небо китайцы делили на 5 участков-зон: четыре по странам света и пятая — центральная. Число слабых звезд в этой пятой части Чжан Хэн оценивал в 10 тысяч (видимо, традиционное у китайцев обозначение «очень большого» числа). Напомним, что современник Чжан Хэна Птолемей, вслед за Гиппархом, делил небо на 48 созвездий.

3. Служба смены сезонов. Понятие сезонов выработалось в Китае, как и везде, из сельскохозяйственной практики. В дальнейшем было подмечено, что каждый сезон сочетается с появлением на небе в момент захода Солнца тех или иных ярких звезд или их компактных групп — созвездий. Еще на костяных табличках эпохи Шан-Инь (XVIII—XIII вв.) смена сезонов записывалась по положению Солнца в разных созвездиях, а рубежами сезонов назывались звезды α Скорпиона, α Ориона, Плеяды и созвездие Большой Медведицы.



Особенный интерес представляет последняя метка. В этом случае имелось в виду вечернее положение на небе ручки «ковша», различно ориентированной в разные сезоны. Из-за расположения всего созвездия более близко к Северному полюсу мира той эпохи (α Дракона) ручка Ковша как бы вращалась вокруг полюса [124, с. 17]. Внимательно присмотревшись к смене положений — ориентации созвездия в момент захода Солнца, не-

Рис. 6. Положения созвездия Большой Медведицы как символы сезонов (в древнекитайской астрономии). К происхождению знака вечности

трудно увидеть астрономический источник древнейшего символа — «знака вечности» — известного по его санскритскому названию как «свастика» (рис. 6). Происхождению этого загадочного символа посвящена немалая литература. Его истолковывают как символическое изображение солнечных лучей, как символ вращения неба. Есть и попытки реконструировать его из положений на небе Большой Медведицы. Но, насколько известно,

причина особого внимания в данном случае к этому именно созвездию (кроме его заметности) в литературе не отражена. Если же древние китайцы действительно использовали его как своеобразную стрелку небесных «часов», как указатель вечно повторяющейся смены сезонов, возникновение характерного «знака вечности» становится понятным.

К древнейшим временам — эпохе легендарного императора Яо (3 тыс. до н. э.) — относят определение продолжительности сезонов и солнечного тропического года. Продолжительность его была установлена сначала в 365 дней. К V—III вв. оценка была уточнена (365, 25 дн.).

4. Инструменты, обсерватории. С III в. до н. э. в Китае использовались солнечные и водяные часы. Последние в I—II вв. употреблялись и для приведения в движение глобусов (Чжан Хэн). Это был, по существу, первый часовой механизм при астрономическом инструменте. К III в. до н. э. относится изобретение китайцами компаса. (Он был устроен в виде способного свободно поворачиваться на гладкой подставке ковша-ложки, ручка которого указывала на юг. В этом можно видеть некоторое подтверждение особой роли ковша Большой Медведицы в китайской астрономии.)

В I—II вв. в Китае в ходу были армиллярные сферы, теория и изготовление которых, как считают, принадлежали также Чжан Хэну. Okружность в них делилась на $365 \frac{1}{4}$ градуса (градус определялся как часть окружности, проходимая Солнцем за сутки, — 0,98546 европейского, или $59' 11,266''$; он делился на 100 частей).

Уже в XII в. до н. э. астрономические наблюдения в Китае велись со специальных площадок-обсерваторий (сохранились остатки древнейшей — Чжоугунской).

5. Календарь, летосчисление. Различные системы календарей, лунных и солнечных употреблялись в Китае по меньшей мере с XV в. до н. э. Согласование лунного и солнечного календарей было значительно улучшено к VII в. до н. э., когда в Китае был открыт 19-летний лунно-солнечный цикл (во всяком случае он был известен здесь уже к 595 г. до н. э., т. е. раньше, чем в Вавилоне, и за полтора столетия до Метона). За начало года было принято зимнее солнцестояние, за начало месяца — новолуние, суток — полночь. Сутки делились на 12 «двойных часов» и, кроме того, по десятичной системе — на сто частей. Длина дня и ночи в частях изменялась от сезона к сезону. Названием двойных часов обозначались и месяцы. Время от времени проводились реформы календаря.

За начало летосчисления в Древнем Китае была принята расчетная дата, когда в день зимнего солнцестояния начало суток (полночь) совпадало с началом месяца — новолунием, а все пять планет находились в одной стороне неба. Историческое летосчисление в Китае, по некоторым сведениям (правда, полулегендарного характера), велось с 3 тыс. до н. э., с эпохи императора

Хуанди (2696—2597). Именно тогда была введена циклическая система счета лет по принципу «ганьчжи» («ствол и ветви»). Каждому году придавалось название одного из 12 животных (сравни Зодиак из 12 созвездий) и одновременно одной из пяти основных стихий — элементов материального земного мира. Получился повторяющийся цикл их сочетаний — 60 лет. Его удобство состояло в непрерывности счета (наподобие счета в гражданском египетском календаре или в так называемых юлианских днях). Циклический счет лет употреблялся в Китае до революции 1911 г. Но при описании истории Китая летосчисление начинали каждый раз от воцарения новой династии.

6. Астрология и служба неба, связанная с ней, появились в Китае по меньшей мере с эпохи Шан-Инь. В ее задачи входило слежение за движением планет и регистрация всех неожиданных явлений на небе — появления комет, новых звезд, падающих звезд, болидов. К неожиданным относили сначала и затмения, пока не убедились в их цикличности. Но не менее важным стало их предсказание.

Стремление вовремя принять небесный сигнал заставляло императоров держать при себе чиновников-астрономов, ответственность которых была очень велика. В хрониках сохранились записи о датах солнечных затмений с 22.X.2137 г. до н. э., после которого согласно легенде были казнены два незадачливых астронома Хо и Хи, не сумевших его правильно предсказать. С 720 г. до н. э. за 2,5 века было отмечено 37 затмений Солнца, из которых 33 подтвердились современными ретроспективными расчетами.

Китайские астрономы первыми зарегистрировали пятна на Солнце (в 301 г. до н. э.). С I в. до н. э. до XII в. они были замечены более ста раз. Отмечалось, что пятна «прячутся» через несколько дней. Таким образом, китайцы первыми зарегистрировали явления, связанные с вращением Солнца (но не поняли этого). Как считают отдельные исследователи, они первыми отметили в начале XIV в. н. э. и протуберанцы. Однако приводимое описание этого явления [124, с. 59] представляется сомнительным.

Любопытно, что в календарях II—I вв. до н. э. не говорилось ничего о солнечных затмениях, — очевидно, потому, что китайцы тогда воспринимали затмения и появление пятен на Солнце как указание на несправедливое правление императора. Однако уже в III в. н. э. в новом календаре Ян Вэя указывался и тип затмения, и район его видимости.

Хорошо поставленная в Древнем Китае государственная служба систематического непрерывного слежения за небом и фиксирование всех небесных явлений оказали неоценимую услугу астрономам последующих эпох, особенно нашего времени. В китайских хрониках отмечены появления новых звезд («звёзды-гости»), начиная с 532 г. до н. э., включая и ту, что в 134 г. до н. э. наблюдал Гиппарх. Появление комет отмечалось как феномен

«звезд-метел». Наиболее ранняя запись о комете относится к 1058/1057 г. до н. э. Это самое древнее из известных наблюдение кометы Галлея. (А начиная с 240 г. до н. э. китайцы не пропустили ни одного ее возвращения.) Китайские астрономы первыми отметили и характерные направления хвостов комет — прочь от Солнца, но не пытались объяснить это. В целом же кометы рассматривались как вестники несчастья.

Начиная с VII в. до н. э. отмечались также звездные дожди, хотя далеко не столь регулярно.

7. Зарождение теоретической астрономии в Китае. Китайские астрономы VIII—V вв. уже знали о пересечении путей Солнца и Луны, т. е. о существовании «лунных узлов» и даже об их перемещении по небу. Они установили, что затмения происходят лишь тогда, когда Луна и Солнце одновременно оказываются близ этих точек. Ян Вэй первым подметил, что, если Луна приходит к пересечению с Солнцем в начале месяца (в новолуние), возможно солнечное затмение, а если в середине — лунное. В III в. до н. э. китайцы могли предсказывать даты и тип затмения. Чжан Хэн первым в Китае сделал заключение, что Луна светит отраженным от Солнца светом, и правильно объяснил явление лунных затмений.

В I в. н. э. было сделано еще одно из крупнейших открытий в древнекитайской астрономии — астроном Цзя Куи обнаружил неравномерность движения Луны, а позднее Лю Хун очень точно (с ошибкой всего около минуты) измерил период возвращения ее к точке наиболее медленного движения (аномалистический месяц). (Более раннее измерение его принадлежит Гиппарху, результаты которого уточнил затем Птолемей.)

В IV в. до н. э. китайцы измерили сидерический период Юпитера, оценив его в 12 лет (вместо 11,86), и пытались ввести на этом основании летосчисление по 12-ричной системе счета, но безуспешно. В III в. до н. э. китайские астрономы знали о синодических и сидерических периодах движения всех планет и к I в. до н. э. с высокой точностью измерили их для Марса, Юпитера и Сатурна (см. таблицу, в скобках — современные данные).

Уже в XII в. до н. э. китайцы знали «теорему Пифагора». Под влиянием китайской математики, где главными фигурами считались круг и квадрат, и в натурфилософии Китая сложились представления, что «все вещи и окружающие явления состоят из кругов и квадратов» [152, с. 39].

Т а б л и ц а

*Синодические (в сутках, слева)
и сидерические (в годах) периоды движения планет,
найденные в Древнем Китае*

Марс	780,50 (779,94)	1,88 (1,88)
Юпитер	398,7 (398,88)	11,92 (11,86)
Сатурн	377,60 (378,09)	29,79 (29,46)

В целом китайская астрономия в древности была феноменологической и не стремилась проникнуть в причины явлений. Характерно в этом отношении заключение, сделанное в книге Мэн-цзы (372—289): «Независимо от того, как высоко небо и как далеки звезды, если только мы изучим связанные с ними явления, мы можем, сидя у себя дома, предсказывать солнцестояние на тысячу лет вперед» [150, с. 38]. Отсюда следует, что Вселенная воспринималась как отлаженный, устойчивый, вечный механизм.

8. Астрономическая и физическая картина мира. Общие представления в Вселенной у китайцев сформировались уже в конце 3 тыс. до н. э. Как и у других народов древности, они имели вначале мифологический характер. Центром мира считалась даже не просто Земля, а Китайская империя («Поднебесная» или «Серединная империя»), историю которой в летописях вели со времени ... создания небесным повелителем Паньгу Солнца, Луны, звезд, всякой живности и самого человека из камня.

В древнекитайской модели Вселенной (трактат IV в. до н. э.) Земля представлялась плоской, четырехугольной, неподвижной, а небо — круглым куполом, вращающимся над Землей вокруг точки севера. При помощи гномона якобы определялась высота неба (80 тыс. ли, 1 ли = 576 м), сторона «квадрата» Земли (810 тыс. ли). Небо, по сравнению с размерами Земли, довольно низко «висело» над ней (представление о близости неба к Земле в начале существования Вселенной характерно для многих древнейших космологических и космогонических мифов, например Океании, Индии, Филиппин).

Совершенно иные представления о строении и масштабах Вселенной изложил в своей теории мира «хунтянь» (беспредельное небо) старший современник Птолемея Чжан Хэн. Он представлял Вселенную безграничной в пространстве и времени. Небо же изображалось в форме яйца, где Земля играла роль желтка (т. е. была сферической!), и считалось намного бóльшим, чем Земля. На его поверхности и «внутри» него мыслилась вода.

Чжан Хэн дал четкую кинематическую модель видимых движений Солнца и звездного неба. Последнее представлялось вращающимся вокруг оси, проходящей через северный и южный полюсы мира. Все светила он считал шарообразными. Солнце в его модели движется среди созвездий, и его путь наклонен к небесному экватору на 24 (китайских) градуса.

История физико-космогонических представлений в Древнем Китае, дошедшая до нас в хрониках династий, начинается с эпохи династии Шан-Инь. В эту эпоху зародилось и к VIII—VII вв. приобрело философскую форму (одновременно с аналогичным процессом в Древней Греции!) учение о пяти земных (т. е. «грубых») первоэлементах-стихиях («унсин»), несколько отличавшихся от древнегреческих. Это были вода, огонь, металл, дерево и земля. Их число связывают с древним делением на пять сторон света. Число элементов соответствовало и числу подвижных звезд-планет. Символически это представлялось в сочетаниях

вода-Меркурий-север, огонь-Марс-юг, металл-Венера-запад, дерево-Юпитер-восток, земля-Сатурн-центр. Но был еще и шестой, небесный первоэлемент «ци» (воздух, эфир).

Тогда же, в VIII—VII вв., появляется идея всеобщего изменения в природе и возникновения самой Вселенной в результате борьбы двух противоположных начал или принципов — положительного, светлого, активного, мужского («ян») и отрицательного, темного, пассивного, женского начала («инь»).



Рис. 7. Варианты изображения символа единства противоположностей (инь—ян)

Наиболее ранние учения, связанные с определенными именами, дошли до нас с VI в. до н. э. Космологические и космогонические элементы содержались в наиболее авторитетном в Древнем Китае этико-политическом учении Конфуция, согласно которому первоначалом всего существующего была божественная воля. Но в том же VI в. до н. э. в Китае другой философ, Цзы Хань, высказал идею, что все земные первоэлементы порождены особым тонким небесным первоэлементом «ци». А его современник Сян-гун утверждал даже существование шести видов «ци», через посредство которых небо проявляет себя и влияет на Землю и людей. Это «ян-ци», «инь-ци», ветер и дождь, свет и тьма. От

нарушения в природе, их чередования и соотношения происходят несчастья. Человек не должен поэтому неосмотрительно вмешиваться в устройство окружающей природы — разрушать горы, менять режим рек, чтобы не нарушать гармонию шести «ци».

Сама идея «ци» была высказана еще в VII в. до н. э. неким придворным историографом династии Чжоу, который начал поиски причины явлений в самой природе. Всеобъемлющее ци он считал неразрывным соединением двух частей — ян-ци и инь-ци. Учение о ци было попыткой объяснить всю действительность естественными причинами и соответствовало утверждению материального единства мира.

В VI в. до н. э. китайский натурфилософ Лао Цзы создал свое учение о возникновении и развитии всех вещей независимо от «воли неба», по естественным законам, главными среди которых была борьба противоположностей (ян и инь) и направляющий события принцип «дао» (буквально — путь). Под этим последним термином разумелся естественный круговорот событий, закономерность в мире вещей. Вместе с тем «дао» представляли и первоисточником всего сущего, как нечто вечное, единое, беспредельное, «родившееся прежде неба и Земли» и являющееся «матерью всех вещей». Иногда его толковали как судьбу, «жизненный путь всех вещей». Но постепенно дао приобретало более обобщенный философский смысл закономерности, необходимости.

В IV в. до н. э. в учении Ши Мо идея единства противоположностей выразилась в утверждении парности всех вещей и качеств: наличие левой и правой стороны, существование тепла и холода, влажности и сухости и т. п. Ши Мо учил, что лишь благодаря «соединению разнородного» возникают все вещи, а «соединение однородного лишает их продолжения». В книге «Шицзин» зарождались, еще в антропоморфной, одушевленной форме, элементы диалектического мышления, представления об изменении в природе от ступени к ступени через борьбу противоположных качеств, о смене одних качеств другими. Там же была предпринята попытка физически объяснить связь Неба и Земли: через взаимодействие небесного ци и некоего земного ци путем подъема одного и опускания другого.

В IV—III вв. китайские натурфилософы Куэй Ши и Гунсунь Лун развили учение о единстве мира, его бесконечности в пространстве и времени. Спустя четыре столетия эти идеи, как мы видели, возродил астроном Чжан Хэн. Философ-конфуцианец III в. до н. э. Сунь Цзы (296—238) основал материалистическое направление в конфуцианстве. Он утверждал, что небо не имеет сверхъестественной силы и материально, что и небо, и Земля, и все светила и явления, как например смена дня и ночи, времен года, метеорологические явления — грозы, дожди, бури — всё это части и явления самой природы, вызываемые ее естественными законами (возможно, с этими «еретическими» идеями и были связаны упоминавшиеся гонения на конфуцианство в III в. до н. э.).

Чрезвычайно любопытно в наше время звучит учение китайского философа II в. до н. э. Лю Аня о том, что вся Вселенная, Земля и небо возникли «из пустоты», что первоосновой всего сущего является «первоначальный жизненный [т. е., видимо, внутренне активный, саморазвивающийся, самодвижущийся. — А. Е., Ф. Ц.] эфир». Речь шла о том же ци, но уже как о качественно более сложном образовании. Таким образом, «пустота» (как и в наши дни!) оказывалась весьма условной. По Лю Аню, из легкой составляющей эфира образовались небесные тела и само небо, а из тяжелой — Земля. (Идеи эти явно перекликаются с аристотелевскими.) Но существенную роль в возникновении всех вещей продолжает играть, по учению Лю Аня, борьба противоположностей — ян и инь.

В I в. н. э. появилось глубокое материалистическое учение о Вселенной великого китайского философа Ван Чуня, изложенное в его книге «Критические рассуждения». В прежние эпохи «ци» истолковывали нередко как «воздух». Теперь же Ван Чунь, развивая в материалистическом направлении учение Лао Цзы (даосизм), утверждал вечное существование ци как особой первичной тонкой материальной субстанции, а принципу дао отводилась роль главного закона развития действительности (но уже не первоисточника мира). Отвергалось действие в природе сверхъестественных сил и утверждался принцип самодвижения и саморазвития материи. Утверждая беспредельность и вечность Вселенной в целом, Ван Чунь сделал естественный в таком случае, логичный вывод о ее неизменности в целом (впервые такую идею высказал древнегреческий философ Парменид в VII в. до н. э., см. ниже). Но Ван Чунь распространил последний вывод и на ограниченное образование — Землю, утверждая, что вечными и неизменными должны быть и небо и Земля.

Чертой натурфилософии, общей всем древним цивилизациям, в том числе и в Китае, было восприятие природы, мира как единого закономерного целого, в чем решающую роль сыграли астрономические наблюдения.

К сожалению, усилившаяся с веками замкнутость, самоизоляция китайской цивилизации надолго выключила китайскую науку из обмена идеями с европейской наукой. Между тем натурфилософские, содержавшие уже элементы диалектики космолого-космогонические концепции являются не менее ценным наследием древнекитайских мыслителей, нежели высокоценимые в наше время и действительно очень информативные списки затмений или редких нерегулярных астрономических явлений, вроде появлений новых звезд и комет.

§ 5. Астрономия и астрономическая картина мира Древней Индии

1. Начало. Наиболее древние сохранившиеся документальные источники сведений об астрономических представлениях и знаниях

обитателей Древней Индии — это печати с изображениями на мифологические космологические и космогонические сюжеты. Краткие надписи на них до сих пор не расшифрованы. Эти документы относятся к индской цивилизации, существовавшей уже в 3 тыс. до н. э. в долине реки Инд, на территории нынешних Индии (Западный Пенджаб) и Пакистана (район Мултана). Главными культурными центрами ее были города Хараппа, Мохенджодаро, Калибанган, обнаруженные в начале 20-х гг. нашего столетия (археологи дали им и современные названия). Всего было обнаружено свыше 500 памятников, в том числе селений, крепостей, морских портов, свидетельствующих о высокоразвитой экономической и культурной жизни их обитателей, имевших сухопутные и морские связи с городами Месопотамии и Древнего Египта. К XVII—XVI вв. центры индской культуры были ослаблены как стихийными бедствиями (землетрясениями и наводнениями), так и внутренними противоречиями, экологическими неурядицами и войнами, и были окончательно разрушены нашествием ариев, индо-ираноязычных племен, пришедших с северо-запада и давших начало основному современному индоевропейскому населению Индии.

Сведений об астрономических знаниях периода индской культуры очень мало. Письменная история древнеиндийской астрономии начинается для нас лишь со времен утверждения арийской цивилизации. В древнем собрании религиозных гимнов «Ригведа», создание которых относится к периоду с конца 2 до первой половины 1 тыс. до н. э., нашли отражение и некоторые астрономические познания древних индийцев. Из этих фрагментов

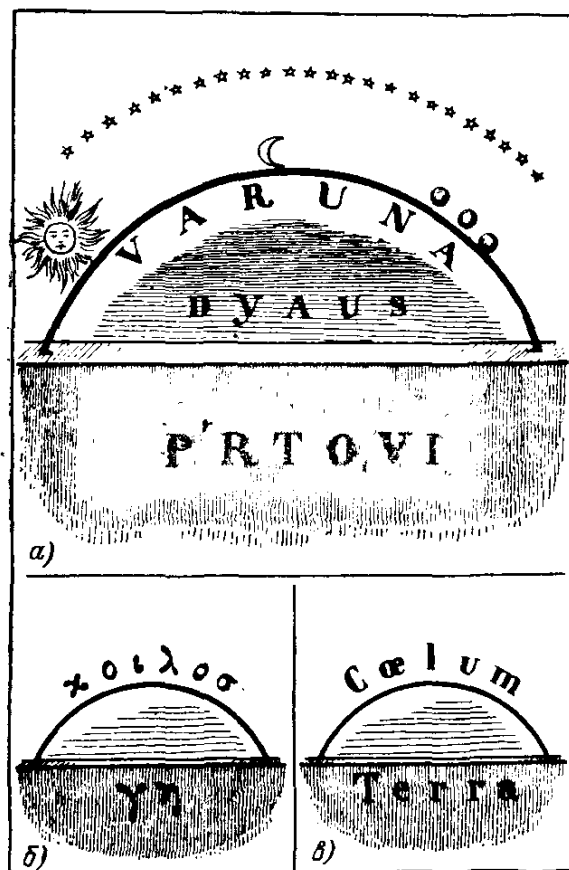


Рис. 8. Наиболее древние неантропоморфные картины мира:
а) древнеиндийская (по «Ригведе»),
б) древнегреческая и в) древнеримская (по Фламариону)

вырисовываются их общие представления о Вселенной, т. е. астрономическая картина мира. Вопрос о том, не отразились ли в этих представлениях еще более ранние, доарийские знания и представления, пока остается дискуссионным.

2. Фрагменты наблюдательной и математической астрономии. Первыми объектами исследования на небе для древних индийцев

стали Солнце и Луна. Как и в других регионах Древнего Мира, их наблюдением регулярно занимались жрецы, а первым практическим применением астрономии стало составление календаря. Особый интерес проявился к созвездиям, по которым совершала видимое движение Луна. Эта область неба, выделенная сначала также ближе к небесному экватору, разделялась на 28 (иногда упоминается 27) «лунных стоянок» — накшатр. Каждая накшатра, согласно «Ригведе», соответствовала либо яркой звезде (например, Арктуру), либо группе звезд (Плеяды, Орион, Пегас).

Сведений о каких-либо систематических наблюдениях древними индийцами планет не сохранилось. Но если присмотреться к старинному рисунку, отражающему картину Вселенной в соответствии с «Ригведой» (рис. 8, а), то можно убедиться, что по меньшей мере три планеты были отмечены как постоянный элемент неба. И так как они изображены далеко от Солнца, то можно заключить, что наблюдались (во всяком случае изображены на рисунке) Марс, Юпитер и Сатурн.

Из других астрономических явлений в «Ригведе» упоминается некое парное явление «Раху» и «Кету». Некоторые исследователи расшифровывали это как наблюдение комет либо падающих звезд, либо затмений, т. е. явлений кратковременных, неожиданных. Но не исключено, что парность Раху и Кету отражала наблюдение утренней и вечерней видимости Венеры, которая, быть может, еще воспринималась как два разных объекта, но все же парных, как-то связанных с Солнцем.

Не сохранилось указаний и на систематическое наблюдение звезд в этот период в Древней Индии. Впрочем, религиозно-философский характер единственного дошедшего до нашего времени письменного памятника ведической эпохи — «Вед» исключает отражение в них таких результатов.

Из математических достижений древних индийцев наиболее широко известно изобретение ими десятичной системы счета с позиционной записью чисел. К VI в. до н. э. им были известны уже арифметические действия с целыми числами и дробями, решение неопределенных и квадратных уравнений, приближенное нахождение значений иррациональных величин. За несколько столетий до греков здесь также была известна теорема, названная позднее именем Пифагора (есть версия, что Пифагор побывал в Индии).

Сведений о каких-либо астрономических инструментах у древних индийцев, как и остатков наблюдательных площадок, пока не обнаружено.

3. Календарь. О том, что астрономические наблюдения по меньшей мере Луны и Солнца все же велись индийцами уже в глубокой древности, свидетельствует существование у них в эпоху «Ригведы» уже в VI в. до н. э. нескольких календарных систем. Основой их были и лунный год в 354 дня, и близкий к тропическому солнечному год в гражданском календаре (360 дней + 5 дней «для жертвоприношений»), и сидерический месяц в

27 дней (год состоял либо из 12, либо из 13 таких месяцев) [68; 123].

Прямых упоминаний о планетах в ведических гимнах не обнаружено. В «Ригведе», однако, упоминается среди божеств «семь адитьев» (семь солнц), и некоторые историки не без основания истолковывают это как «семь светил» — пять планет, Луна и Солнце.

В индийских календарях с VI в. до н. э. в названиях дней семидневной недели стали использоваться имена семи подвижных светил, в том же порядке, что и, например, в Египте: первый день Луны, второй — Марса, третий — Меркурия, четвертый — Юпитера, пятый — Венеры, шестой — Сатурна, седьмой — Солнца.

Некоторое сходство с египетским календарем проявилось и в разделении месяца на две половины. В древнеиндийской астрономии это были светлая половина, до полнолуния (шукла) и темная (кришна).

4. Натурфилософия Древней Индии и космолого-космогоническая картина мира. В философском осмыслении Вселенной, космофизической картине мира древнеиндийские натурфилософы опередили древнегреческих мыслителей. Сквозь традиционную для той эпохи мифологическую и религиозную форму изложения пробиваются порой идеи такой глубины, к каким человечество в своем развитии вновь подошло лишь в наши дни.

Древние индийцы времен «Ригведы» делили Вселенную на три сферы: Земля, небо и разделяющее их (или связующее!) воздушное пространство. Для древней космологии (да и только ли для древней?) было характерным преувеличение роли и масштабов осязаемого окружающего мира, в данном случае «воздушного пространства». Оно представлялось как существенная часть всей Вселенной и простиралось от Земли до неба с его светилами. В этой промежуточной области действовали боги ветра (Ваю), грозы и бури (Рудра), бог молнии, грома и вообще разрушительных стихий (Индра). Последний считался царем среди богов, который поражал темные силы с помощью «космической молнии» — ваджры (наподобие Зевса-громовержца). Но у индийцев было и особое, оригинальное представление об Индре как о символе «Солнца в зените» — палящей неизменной силы, воплощении абстрактной сущности центрального явления природы. Ночью его заменял брат-близнец — бог Агни, иначе жертвенный огонь. В свою очередь Сурья означало «Солнце в движении» — с востока к западу. Причем считалось, что не поведение Солнца вызывает явление дня и ночи, а, напротив, само оно зависит от смены дня и ночи и к ночи должно скрываться! В этом проявилось одно из самых ранних «зеркальных» отображений действительности.

У древних индийских философов выработалось представление о существовании во Вселенной универсального организующего начала, или принципа упорядоченности мира. Такой принцип они

называли «рита», в противоположность «анрите» — хаосу, тьме. Под мировым порядком разумелось циклическое движение Солнца, смена сезонов года, возвращение Луны к одной и той же накшатре. Все это говорит о существовании наблюдательной основы появления идеи «риты».

Существование Вселенной состояло в борьбе риты и анриты. Вначале носители упорядочивающих и разрушительных сил имели мифологический зоо- или антропоморфный характер. Покровительницей матери-Земли была богиня Притхиви. Земля представлялась бесконечным плоским «обширным пространством» (это и означало «притхиви», см. рис. 8). Промежуточной воздушной зоной управлял бог неба Варуна, «творец и хранитель природы», защитник мирового порядка. В одном из гимнов «Ригведы» говорилось: «Высоко протолкнул он небосвод, двойко [создал] светило⁶ и разостлал Землю».

Для древнеиндийской космологии, также начавшей свое формирование с мифологического описания Вселенной, характерен был, однако, ранний переход к абстрактным натурфилософским идеям тех или иных сил природы. «Боги природы», как правило, не имели конкретных черт в отличие, например, от богов древних греков (последние перешли к абстрактным представлениям позднее)⁷.

Существенным элементом древнеиндийской натурфилософии (как и вообще натурфилософии всех древних цивилизаций) было представление о тесной связи каждого живого существа со всем мировым порядком, с «ритмом бытия». Так учили составители «Ригведы» три тысячи лет тому назад. Это же пронизывало и учение их последователей — авторов концепции «упанишад» (букв.— «сидящих вокруг учителя»), а затем буддизма.

Другой особенностью древней натурфилософии было представление, что связь Вселенной и человека обоюдная, активная и со стороны человека. Считалось, что человек может и обязан своим поведением, нормами жизни поддерживать не только свое благополучие, но и весь мировой (!) порядок.

Для индийской натурфилософии характерной была также идея «единой вселенской безличной силы», которой подчиняются не только люди, но и (!) боги-небожители. В связи с этим и древнеиндийская философия пронизана весьма глубокими догадками.

Уже в некоторых древних ведических гимнах провозглашалось, что самих богов создало «бесформенное, не имеющее зримого облика первоначало всех вещей», которое называли «Брахманаспати» («Властитель молитвы»). Иногда это абстрактное божество отождествляли с Солнцем, иногда — с идеей знания, мудро-

⁶ Иногда это поясняется как создание дневного и «ночного» пути Солнца, под Землей [11]. Но возможно и другое толкование: не «создал», а «двинул» Солнце годовым и суточным движениями.

⁷ В одной из версий мифа о возникновении мира бытие (Сат) родилось из небытия (Асат), и бытие состояло из твердого Неба и Земли (т. е. было материальным).

сти. В «Ригведе» этому «созданию всего» предшествовало появление «первого зародыша» (пратхама гарбха) или «золотого яйца» (брахманды), которое появляется в первозданном океане⁸. Идея зародыша мира небезынтересна: ведь в нем заключались даже все будущие боги, как и все вещи и существа. Этот космический зародыш, как гласил один из гимнов «Ригведы», был тем, «что есть по ту сторону неба, по ту сторону этой Земли, по ту сторону богов и асуров [демонов]». Зародыш мира считался либо «нерожденным», «вечным», либо возникшим в водах. Согласно мифу I тыс. до н. э. Земля плавала в мировом океане в виде цветка лотоса, и одним из лепестков была Индия. Вся Вселенная опиралась на спины слонов. Солнце ходило по небу вокруг Меру — горы в центре плоской Земли.

Существенной в древнеиндийской натурфилософской космогонии была идея первоначального космического жара («тапас»). Иногда он отождествлялся с понятием «напряжения», «желания». В «Ригведе» говорится:

Закон [рита] и истина родились
Из воспламенившегося жара.
Отсюда родилась Ночь,
Отсюда — волнующийся Океан.

Из Океана появляется год, «распределяющий дни и ночи, Солнце, Луна и все существа».

Вселенная, по представлениям древних индийцев, бесконечно повторяла некий многоступенчатый цикл «развития» — от зарождения до гибели и снова к возрождению.

В качестве главной черты древнеиндийской космогонии исследователи культуры Древней Индии отмечают особый «дух искания», отсутствие аксиоматичности суждений. Отсюда возникал и дух сомнения, самокритичности. Древние космогонисты задавали вопросы, не претендуя на получение однозначного ответа, а размышляя и давая другим «информацию для размышления». В «Ригведе» есть «Гимн о сотворении мира», который начинается так:

Не было не-сущего, и не было сущего тогда,
Не было ни воздушного пространства, ни неба над ним.
Что двигалось туда и сюда? Где? Под чьей защитой?
Что за вода — глубокая бездна?

Кроме уже упоминавшейся идеи в учении упанишад, что бытие родилось из небытия, допускалось еще и существование чего-то третьего, несводимого ни к тому, ни к другому. Гимн о

⁸ В одном гимне описано создание Вселенной из частей тела великана. Но здесь уже звучит четкий социальный заказ — оправдать существование неравноправных каст: высшие — брахманы — вышли из его уст, а низшие — пшри — создавались из ... ступней.

сотворения мира заканчивается размышлениями, полными сомнений, свидетельствующих прежде всего о понимании степени глубины и неохватности поднятой проблемы — происхождения Вселенной:

Кто воистину знает? Кто здесь провозгласит?

Откуда родилось, откуда это творение?

Далее боги появились посредством сотворения этого [мира,— а не *перед* его сотворением!]

Так кто же знает, откуда он появился?

Откуда это творение появилось:

Может, само создало себя, может, нет —

Тот, кто надзирает над этим [миром] на высшем небе,

Только он знает или же не знает [!]

5. Зарождение материалистической натурфилософии в Древней Индии. В философии природы, изложенной в Ведах, первоначалом всего мыслилось нечто нематериальное: «небытие», моральный принцип порядка «рита», «властитель молитвы», знание, мудрость...

В противоположность этому мировоззрению жреческих кругов уже во II в. до н. э. сформировались первые материалистические философские учения в Древней Индии — «санкхья» и «локаята». Наиболее близкой к диалектическому и материалистическому мировоззрению была философская школа санкхья (что означает «рациональное», «анализирующее», «количественное», «численное»). Сформировавшееся ранее II в. до н. э., это учение дошло до нас лишь по пересказу в более поздних сочинениях IV—V вв. Согласно учению санкхья Вселенная материальна, а все вещи в ней, все существа возникают из саморазвивающейся материи. Причем вначале материя находилась в нерасчлененном состоянии, в «непроявленной» форме (авьякта). Благодаря существованию трех качеств — «гун», она превращается в «проявленную» форму (вьякта) — наблюдаемую Вселенную, в мир предметов и существ. Качества эти — «тáмас» (тьма, инерция), «рáджас» (страсть, огонь, энергия, активность, красный) и «сáттва» (сущность, истина, равновесие, успокоение, белое).

Учение локаята (букв. распространенное в народе, идущее путем земного мира, материалистическое, поскольку «лока» и означает материальный мир) утверждало, что единственной сущностью всего живого является тело, душа же — чистая иллюзия. В этом учении, быть может, возрождались более древние идеи, уходящие корнями в доарийскую цивилизацию. Труды локаятиков беспощадно уничтожались. Идеи их дошли до наших дней только через критику этих идей их противниками.

Была также предпринята попытка материалистического описания «первостихии» Вселенной в форме «дыхания» (праны) как признака самого существования. Такая идея высказывалась более поздними последователями Вед.

§ 6. Астрономия и представления о Вселенной в древних цивилизациях Нового Света

1. Историческая справка. Во II—X вв. н. э. в южной части Мексики (полуостров Юкатан и штат Чиapas) и на территории нынешних Гватемалы, Гондураса и Белиза существовала весьма высокая и чрезвычайно своеобразная культура индейцев майя. Предки этого народа, как полагают, пришли откуда-то севера в III—I вв. до н. э. (возможно, с севера Мексики или юга современной территории США). Цивилизация майя существовала в виде городов-государств, иногда довольно изолированных друг от друга непроходимыми тропическими лесами. Большинство этих городов разрушено в конце IX в. н. э. В XVI в. культура майя была окончательно уничтожена испанскими колонизаторами, которые, искореняя местную религию, сожгли практически все рукописи, содержавшие и познания, и саму историю народа. Когда в XIX в. начали открывать развалины городов майя, были обнаружены и остатки колоссальных храмов-обсерваторий. Один из наиболее знаменитых городов майя, основанный в VIII в., Чичен-Ица (на севере Юкатана) представлял собой развалины уже ко времени испанцев. Но остатки его грандиозных культовых и астрономических сооружений (включая обсерваторию «Караколь») и сейчас поражают исследователей.

В найденных пока всего четырех рукописях майя были обнаружены и восходящие к разным эпохам до новой эры сведения об астрономических, космогонических и космологических знаниях и представлениях этого народа. Ряд текстов обнаружен также на каменных плитах-стелах.

2. Начало, стимулы и содержание ранней астрономической деятельности майя. Как и у других народов в древности, накопление и совершенствование астрономических знаний у майя было связано с переходом от охоты и собирательства к оседлому земледельческому образу жизни. То же можно сказать и о других индейских государствах — ацтеков и инков.

К глубокой древности восходит поклонение майя, инков, ацтеков Солнцу и Луне. И здесь от космических не отличали явления метеорологические. Наряду с богом Солнца, Неба, не менее важными были бог дождя (поскольку сельскохозяйственный год делился на периоды засухи и дождя), бог ветра или бури. Поэтому жрецы на своих обсерваториях — площадках, располагавшихся на плоских вершинах грандиозных, в десятки метров высотой, ступенчатых пирамид, вели систематическое слежение за небом, полагая, что все явления на Земле и в государстве определяются его законами.

Особое внимание уделялось затмениям и перемещению подвижных светил — планет, которым приписывалось большое влияние на жизнь и дела людей и государства в целом. Жрецы майя по небесным светилам предсказывали счастливые или несчастли-



Рис. 9. Жертвоприношение в честь Солнца у инков (по кн. Пикара, 1723)

вые дни для тех или иных действий не для отдельных лиц, а для определенных общественных слоев или возрастных групп населения.

3. Календарь. Летосчисление. В результате систематических наблюдений жрецы-астрономы майя с довольно большой точностью определили синодические периоды всех известных планет. Особое внимание уделялось наблюдениям «Большой звезды» — Венеры (главным образом, видимо, в астрологических целях).

И хозяйственные и культовые цели сделали необходимым раннее возникновение календаря. При первом же знакомстве с рукописями майя (а календарь был расшифрован ранее письменности) европейцев поразила его точность (правда, некоторые современные историки календаря скептически относятся к такой оценке [68, с. 82]). Так или иначе, но совершенствование календаря майя было связано не столько с хозяйственными, сколько с идеологически-политическими целями правящей элиты — жрецов. В так называемый классический период развития цивилизации майя (II—X вв.) календарь уточнялся и одновременно усложнялся, особенно «священный», использовавшийся жрецами. В последующие века происходил упадок цивилизации майя из-за внутренних причин и войн с соседями. Ряд важных достижений, в том числе и в астрономии, при этом был утрачен.

У майя была принята 20-ричная система счета⁹, что отразилось и на структуре календаря. Другим, помимо 20, основным числом в астрономии и космологии майя было число 13. Область неба, по которой среди звезд проходило в течение года Солнце, майя разделили на 13 участков-созвездий («Зодиак»). Такое деление могло быть связано с тем, что, помимо солнечного тропического года, некогда в основе календаря лежал период, близкий к сидерическому лунному месяцу, в течение которого Солнце проходит около $1/13$ окружности неба.

В классический период в основе календаря лежала 13-дневка («неделя»), в пределах которой дни различались лишь номерами, и 20-дневка («месяц»), в пределах которой дни имели и номер, и наименование. Месяцы также имели название. Каждая дата в календаре имела, таким образом, четыре признака: номер в пределах 13-дневной «недели», название и номер дня в пределах 20-дневного месяца, наконец, название самого месяца. Сочетание всех четырех признаков повторялось раз в 52 года. Непростой была и астрономическая основа классического календаря майя. Во-первых, это был солнечный тропический год. Он составлялся из 18 месяцев по 20 дней (360 дней), к которым прибавляли 5 лишних дней без названия для «смены власти основных богов». Майя знали о расхождении 365-дневного календарного года с истинным солнечным, для учета чего вводили систему вставок. Эта неизвестная нам система вставок давала длину года всего

⁹ По числу пальцев на руках и ногах, древнейшая система счета; ее следы есть и в Европе (во французском и английском языках).

на 20 секунд меньше истинной (ошибка нашего григорианского календаря в полтора раза больше) [79, с. 35]. В календаре майя учитывались якобы и синодические периоды движения всех пяти планет [72; 73].

За начало своего летосчисления майя принимали мифическую расчетную дату — 5 041 738 г. до н. э. Но свою историческую хронологию они вели с конца 4 тыс. до н. э. — в европейском счете с 3113 г. до н. э. Эту дату историки также считают мифической. Немалой загадкой представляется то, что майя в свою систему летосчисления вводили периоды, охватывающие колоссальные промежутки времени. Если у европейцев крупнейшими «временными блоками» служили тысячелетия, у китайцев — 10 тыс. лет, то у майя существовала целая иерархия периодов. Начиная с 1 кина (1 день) шли кратные 20 (за одним единственным исключением) периоды: виналь = 1 кин × 20; тун = 1 виналь × 18 = 360 кин; к'атун = 20 тун (ок. 20 лет); ...алав'тун = 64 000 000 лет!

Таким образом, кратность 20 нарушилась один раз, для согласования счета с реальным солнечным годом, чтобы дальнейшие периоды были кратными приблизительно годам, т. е. реальной астрономической единице счета времени. Для чего вводились эти периоды и как рассчитывали майя нулевую дату своего летосчисления, остается пока неизвестным. Этот интерес цивилизации майя к особо большим числам и эпохам сближает их с натур-философами Древней Индии.

4. Фрагменты наблюдательной астрономии майя. О совершенно изолированном характере развития цивилизации майя по отношению к цивилизациям Старого Света говорит уже упоминавшийся 13-значный «Зодиак» майя. Вот его созвездия: 1) ?; 2) ?; 3) Летучая мышь; 4) Лягушка; 5) Попугай; 6) Змей с хоботом; 7) Сова; 8) Скорпион; 9) Черепаха; 10) Гремучая змея; 11) ?; 12) Ягуар; 13) Обезьяна.

В рукописях майя имеются свидетельства о систематическом наблюдении планет. Найдены таблицы движения Венеры, Марса (у майя — Тапир, или Клыкастый). Упоминается и синодический период Меркурия (117 дней вместо 116 [71, с. 100]). Некоторая сумбурность сохранившихся сведений может быть объяснена тем, что уцелевшие рукописи неполны, а главное, это в основном упрощенные сельские жреческие «справочники».

5. Астрономическая картина мира майя. Вселенную древние майя называли «йок-наб» («Над Землей») и представляли ее устройство по аналогии с устройством древнего жилища: центральный столб (а сначала просто дерево, отчего его образ и вошел почти во все древнейшие космологии) и четыре столба-подпорки по углам удерживали небо над плоской Землей. Небес насчитывалось также 13, причем в перечислении их нет никакого следа правильного астрономического порядка, т. е. представления об относительной удаленности от Земли тех или иных светил. За нижним «небом Луны» (богини Луны) следовало

«небо звезд и бога Земли» (?!), затем «небо Солнца и богини воды», а после него «небо Венеры и бога Солнца». (Последнее наводит на мысль, что майя могли подметить — Венера не отходит далеко от Солнца). Еще выше располагалось «небо комет и богини любви». Шестое небо — «черное небо ночи и бога смерти», седьмое — «голубое небо дня и бога кукурузы». Над ним «небо бурь и бога дождя», а затем «белое небо бога ветров», «желтое небо Ум-цек» (т. е. бога смерти) и «красное небо бога жертвоприношений» (в религии майя была даже богиня самоубийства). Предпоследнее небо было отдано богу зерна, а последнее, тринадцатое, связывалось с богом в виде Совы и в некоторых рукописях расшифровывается как принадлежащее тому, «кто владеет небом» [71, с. 245].

Особенно сильное влияние на людей, по представлениям майя, оказывали, помимо Венеры, Луна и падающие звезды. Майя верили, что если падающая звезда «посещала» (в виде «мистического отца») женщину, которая готовилась стать матерью, у нее рождались сыновья.

Под землей предполагалось существование девяти кругов — слоев подземного мира мрака и каждым управлял свой бог.

Бросается в глаза диссонанс между достижениями наблюдательной и вычислительной астрономии майя (последнее проявилось в сложности священного календаря, введении огромных временных циклов неизвестного назначения), с одной стороны, и примитивной, мифологической картиной мира — с другой. Конечно, «философское» развитие мысли и здесь должно было подавляться централизованной государственной и духовной властью жрецов, как это было в доэллинистическом Древнем Египте, отчасти и в Китае. Но если межгосударственные связи стран Старого Света неизбежно приводили к взаимовлиянию культур, то народы американского континента, по современным данным, пришедшие сюда из Азии не менее 20 тыс. лет тому назад, развивались в несравненно большей изоляции, да и «начали позже».

Следует принимать во внимание и то, что подлинные философские и натурфилософские идеи и представления об окружающем мире у майя и других индейских народов Нового Света, возможно, остались неизвестными для нас в связи с почти полным уничтожением всего их духовного наследия, особенно письменных памятников, завоевателями испанцами. О существовании более глубокого философского осмысления действительности и у коренных народов Америки свидетельствует исследование выдающегося этнографа К. Леви-Строса, изучавшего культурный и интеллектуальный уровень, изолированных индейских племен, еще сохранившихся в глухих уголках Южной Америки.

**ВЗЛЕТ И ПАДЕНИЕ ПЕРВОГО
ЕВРОПЕЙСКОГО ЦЕНТРА КУЛЬТУРЫ.
ДРЕВНЯЯ ГРЕЦИЯ**

Мудр — кто знает нужное, а не
многое.

Эсхил

Глава I
**«НАТУРФИЛОСОФСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОСМОСЕ
В ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ АНТИЧНОГО ПЕРИОДА
(VII—IV вв.)**

§ 1. Историческая справка

Древнейшие памятники цивилизации на территории Греции относятся к 3—2 тыс. до н. э. Во 2 тыс. здесь уже существовали города с развитой металлургией, мореходством, торговлей с другими странами. Последнее делало необходимым развитие практической мореходной астрономии. Но подобные знания не оставили письменных следов.

К этой эпохе доантичной (крито-микенской, или эгейской) прото-греческой культуры восходят самые древние мифы о мироздании, почерпнутые, как полагают, из мифологии хеттской культуры (на полуострове Малая Азия). После гибели крито-микенской культуры, ослабленной в XV в. до н. э. стихийными катастрофами и окончательно уничтоженной в XI в. до н. э. нашествием с севера племен дорийцев, в истории древнегреческого региона наступили «темные века» (X—IX вв.). Наиболее ранними сохранившимися письменными памятниками древнегреческой культуры являются поэмы Гесиода и Гомера (IX—VII вв.). В них нашли отражение мифологические представления о Вселенной, которая рисовалась грекам, как арена борьбы антропоморфных богов (отражение беспокойной жизни на Земле).

В представлениях древних греков о Вселенной сказались влияние более ранних культур — египетской, шумеро-вавилонской, а быть может, и древнеиндийской, а также цивилизации этрусков. Имеются в ней отголоски и доантичной местной эгейской культуры. У греков существовали связи с Египтом, Вавилоном, а позднее с государствами Ближнего Востока, возникшими на месте Хеттского царства — Персией и Сирией. Из Сирии через Финикию в Грецию пришло алфавитное письмо, из Малой Азии — известное там уже во 2 тыс. до н. э. искусство выплавки железа,

из Египта — первые математические знания — методы счета, начала геометрии.

Из поэм Гесиода «Теогония», «Труды и дни» и Гомера «Илиада» и «Одиссея» известно, что уже в IX—VII вв. грекам были знакомы созвездия Медведицы, Ориона, Волопаса, ярчайшая звезда неба «Сверкающая» (по греч.— Сириус), Плеяды,— известные и теперь под этими греческими названиями. Греки различали два светила — Утреннюю звезду (Фосфор) и Вечернюю (Геспер), еще не подозревая, что это одно и то же светило (Венера). Гомер писал, что все созвездия, за исключением Медведицы, «купаются» в течение ночи в океане, из чего следует, что древние греки обращали внимание также главным образом на области неба близ экватора и эклиптики. Они подметили, что наступление дня весеннего равноденствия совпадает с гелиакическим восходом Плеяд (что как раз соответствует 3—2 тыс. до н. э.). Но на их небе еще не было заметной «полярной» как указателя полюса мира: он приходился на пустое место между α Дракона и нынешней Полярной (в «Одиссее» упоминаются запад и восток, но нет упоминания севера и соответствующего привычного нам ориентира на него).

§ 2. Астрономическая деятельность в ранний античный период

1. Истоки и начало наблюдательной астрономии. Календарь. Письменная история наблюдательной греческой астрономии начинается с VII—VI вв., когда Греция переживала свою эпоху «Возрождения». Этому способствовали тесные контакты с Нововавилонским царством и с персидским царством Дария, а затем его сына Ксеркса. В VI в. до н. э. прогресс техники железного века, освоение многочисленных колоний, развитие экономики, рост городов с их демократическим управлением и высокой общественной активностью свободных граждан (в отличие от полностью бесправных рабов) вызвали подъем искусств и наук.

Во второй половине VI в. до н. э. жил Клеострат Тенедосский — первый известный нам древнегреческий астроном-наблюдатель¹, якобы устроивший себе наблюдательную площадку на горе Ида (остров Крит)². Он заимствовал от вавилонян разделение зоны близ небесного экватора и эклиптики на 36 участков по 10° (декань). В V в. до н. э. в Греции стали известны от вавилонян горизонтальные и экваториальные солнечные часы

¹ Долгое время таковым считали Фалеса Милетского [39, с. 61—62], которому, в частности, приписывали даже предсказание солнечного затмения, что в настоящее время подвергается сомнению [100, с. 144].

² Согласно легенде на этой горе был найден древнейший из известных «исторических» (т. е. не сохранившихся) железный метеорит, якобы упавший «с неба» в XV или XII в. до н. э.

(гномон и «полос» — старая транскрипция слова «полюс»), от египтян пришло деление дня на 12 часов. Клеострату приписывают сочинение поэмы «Астрология». Он впервые в древнегреческой астрономии ввел наиболее простой 8-летний цикл вставок (октаэтериду) дополнительных месяцев в лунном календаре для согласования его с солнечным годом (тропическим) (такая система вставок уже применялась в это время в Вавилоне). Ученику Клеострата Гарпалу приписывают первое проведенное в Древней Греции уточнение длины тропического года.

Астрономическими наблюдениями в этот ранний период (VII—VI вв.) занимались и знаменитые греческие философы. Фалес ввел новое созвездие — Малую Медведицу и, вероятно, интересовался Солнцем; Анаксимандру, его ученику, приписывают изобретение в Греции гномона, устройство солнечных часов и сооружение небесного глобуса; Пифагору же — открытие того, что Утренняя и Вечерняя звезда — одно и то же светило. Но главные их заслуги были в натурфилософии (см. ниже).

В V в. до н. э. известными наблюдателями в Греции были три астронома, которые проводили свои наблюдения в разных местах — от Македонии и Фракии на севере до Кикладских островов на юге. Энопиду Хиосскому (500—430), учившемуся у египтян, приписывают наиболее раннее в Греции определение наклона эклиптики к экватору, а также открытие 59-летнего лунно-солнечного цикла для согласования лунного и солнечного календарей. Это предвосхищало появление в Греции «цикла Метона», но давало менее точный результат (календарный год в 365, 372 дн.).

С именем другого астронома-наблюдателя и математика Метона (460—?) в истории астрономии оказалось прочно соединенным одно из выдающихся открытий древней науки: способ весьма точного согласования двух несоизмеримых величин — лунного синодического месяца и солнечного тропического года (19-летний «метонов цикл», 433 г. до н. э.), вычисленная им на этой основе длина года — 365, 263 — лишь на 30 минут превышает современные данные. 19-летний лунно-солнечный цикл был задолго до Метона открыт в Китае и Вавилоне, но открытие Метона было сделано независимо. Метон был известен также своими каменными календарями (парапегмы), которые он устанавливал на площади в Афинах.

Третий наблюдатель — Евктемон, помощник Метона в установлении упомянутого цикла, первым в Греции обнаружил неодинаковую длительность астрономических сезонов. Это открытие использовал спустя три века Гиппарх при создании теории движения Солнца.

С пифагорейцами связывают начало наблюдений в Древней Греции пяти планет. Сведения о них Пифагор мог получить в Египте. Натурфилософу Алкмеону из Кротона, близкому к пифагорейцам, приписывают первое утверждение о движении планет с запада на восток (помимо суточного).

§ 3. Истоки древнегреческой натурфилософии Ионийская школа и Гераклит Эфесский

Для древнегреческой натурфилософии также характерно было убеждение в тесной связи человека и Вселенной. Причем, как и в Индии, например, раннее «заселение» неба антропоморфными богами здесь уже в VII—V вв. заменяется пониманием богов как абстрактных сил, действующих в мире. Это отразилось и в поэзии. Зевс представлялся то символом мировой справедливости (у Пиндара), то деспотизма (у Эсхила в поэме о Прометее). Правильным, упорядоченным устройством окружающего мира, которому они дали имя Космос (порядок, красота), древнегреческие философы стремились обосновать необходимость этических норм и в общественном поведении человека.

В Древней Греции VI—V вв. возникли три крупные философские школы, которые различались и космолого-космогоническими взглядами: ионийская, пифагорейская и школа элеатов.

Первая содержала элементы стихийного материализма. Основатель ионийской школы Фалес из Милета (640/624—548/546) утверждал, что в основе всего существующего лежит единая материальная субстанция, за которую он принимал воду, поскольку она подвижна и отражает «непрерывное становление вещей». Вместе с тем все действия, изменения, движения вещей он объяснял наличием у них «души». Землю он представлял, подобно куску дерева, плавающей на воде (по другим сведениям, он считал ее шарообразной и находящейся в центре мира). Фалесу приписывают (очевидно, наиболее раннее) утверждение, что Луна — темное тело, заимствующее свет от Солнца. В истории науки и философии сохранились имена и учения нескольких последователей Фалеса, каждый из которых был учеником предыдущего.

Ученик Фалеса Анаксимандр (ок. 610—546) выдвинул нетрадиционную идею, назвав первоначалом всего некий «апейрон» — нечто беспредельное, вечное, способное в то же время «всем управлять». Развитие мира представлялось не как движение «души», а как результат разграничения и борьбы противоположностей. Его космогония содержит идеи, которые в наши дни звучат поразительно: «В недрах беспредельного начала возникает как бы зародыш будущего мира, в котором влажное и холодное ядро оказывается окруженным огненной оболочкой. Под воздействием жара этой оболочки влажное ядро постепенно высыхает, причем выделяющиеся из него пары раздувают (!) оболочку, которая в конце концов лопаается, распадаясь на ряд колец» [119, с. 40]. И дальше идет изложение наивной модели — распада начального мира на кольца, наполненные огнем, который мы якобы видим сквозь отверстия как звезды. В центре же мира остается плотная Земля в форме низкого цилиндра (здесь отразились круговая форма линии горизонта, например, при наблюдении на море). Но Земля уже ни на что не опирается, а парит свободно и совершенно неподвижна (интересное объяснение да-

ется последнему: так как нет причины двинуться в ту или иную сторону).

Возникновение, развитие и гибель Вселенной Анаксимандр считал повторяющимся процессом. Вселенная рано или поздно растворялась в беспредельном и вновь формировалась. Однако идеи множественности сосуществующих миров у него не было, и его «космосы» означали множество слоев-колец с огненным веществом внутри. Он даже приводил их относительные «расстояния» в диаметрах земного «диска» (который имел форму низкого цилиндра): 9 (кольцо, создающее картину звезд), 18 (кольцо-Луна), 27 (кольцо-Солнце). Таким образом, «космосы» Анаксимандра — это то, что называли позднее небесами, или небесными сферами. Анаксимандр — автор древнейшего известного в Европе научного сочинения «О природе» (в смысле «о сущности»), от которого, однако, до нас дошла единственная фраза.

Анаксимен (?—528/525 до н. э.), младший современник и ученик Анаксимандра, также автор не сохранившегося научного сочинения, считал первоначалом всего воздух и беспредельное (воздух, заполняющий беспредельное пространство). Он внес важную идею непрерывного движения этого первоначала, утверждая, что лишь в движении первовещества могут возникать качественно различные вещи. Анаксимен впервые указал и возможный механизм формирования всех вещей во Вселенной — сгущение и разрежение «воздуха» (правда, при этом он считал, что первое сопровождается охлаждением, а второе разогреванием, поскольку наиболее легким, расширившимся «воздухом» для греков, очевидно, было пламя). Существование Вселенной он считал циклическим.

Естественно, что Космос Анаксимена, отождествлявшийся с «воздушным пространством», начинался прямо у Земли. Анаксимен считал все небесные светила земными испарениями, разогревавшимися до огненного состояния при подъеме и расширении. Неподвижные друг относительно друга звезды он представлял жестко связанными с небосводом, тогда как планеты, Солнце, Луну — свободно парящими в воздухе. Ниже Луны он допускал существование еще и темных, невидимых тел³. Какую форму имела у Анаксимена Земля, неизвестно.

К ионийской школе примыкал Гераклит Эфесский (540—480), один из самых великих древнегреческих философов, хотя он и получил прозвище «Темный» из-за неясности смысла некоторых высказываний. Он жил некоторое время в Персии и составил свою концепцию Вселенной под влиянием древнеиранской религии огнепоклонников — зороастрийцев.

Первым источником сведений о мире Гераклит называл глаза и уши. Но познания истинной природы вещи, по его убеждению,

³ Такую гипотезу древнегреческие натурфилософы выдвигали для объяснения кажущейся большей частоты лунных затмений [3, с. 330].

можно было достигнуть лишь путем размышлений над увиденным и услышанным. Главным первоэлементом Космоса он называл «огонь» — некое вечно движущееся и изменяющееся состояние, особую огнеподобную субстанцию. Он допускал два направления процессов во Вселенной: от огненного состояния к состоянию воды и земли (движение «вниз») и от состояния воды и земли «вверх», к огненному состоянию через своего рода испарение. Светлые и чистые испарения превращаются в светила, заполняя некие круглые вместилища в пространстве, а влажные и темные проявляются в виде облаков и осадков. Смену дня и ночи, смену сезонов Гераклит объяснял попеременным преобладанием тех или иных испарений, а затмения и фазы Луны — поворачиванием к нам светил тыльной стороной. Представления Гераклита о форме и расположении Земли в пространстве также неизвестны. Солнце он представлял размером «в один фут».

Идеи Гераклита Эфесского о природе и изменении Вселенной выражены в его изречении: «Этот мировой порядок, один и тот же для всех, не создал никто, ни из богов, ни из людей, но он всегда был, есть и будет вечно живым огнем, мерами вспыхивающим и мерами погасающим» [119, с. 48]. В этих словах звучит идея вечности первоэлемента и неизбежности бесконечного процесса изменений — от рождения до гибели — лишь отдельных организованных частей материального мира.

Гераклит — автор философского учения о «Логосе» (термин допускает разные толкования: бог, судьба, необходимость, вечность, мудрость, общее, закон). По мнению современных исследователей, «логос» Гераклита в целом может быть понят как универсальная закономерность и необходимость. Учение о логосе перекликается с современным ему древнекитайским учением о закономерности и направленности процессов во Вселенной — «дао».

Гераклит также написал сочинение «О природе» (дошедшее до нас лишь в пересказе других), чрезвычайно широкое по содержанию. Космолого-космогонический раздел в нем был введением к основному тексту — о поисках гармонического устройства общества и его политической системы. Знаменитое изречение Гераклита: «Все течет, все изменяется», как и афоризм, что «нельзя дважды войти в одну реку», пережили тысячелетия. Развитие он понимал как смену и борьбу противоположностей, а существование вещи — как единство противоположностей. В. И. Ленин назвал Гераклита одним из основоположников диалектики.

§ 4. Пифагорейцы и идея гармонии мира. Первые негеоцентристы

Противоположностью материалистической ионийской школе была школа пифагорейцев, основанная знаменитым математиком

и философом Пифагором (ок. 570 — ок. 500) ⁴. Ему приписывают несколько сочинений, в том числе «О природе», которые до нас не дошли. Но еще в конце V в. до н. э. они, видимо, сохранялись у пифагорейца Филолая Кротонского, через которого и стали известны идеи пифагорейцев, и в частности их знаменитая система мира [39, с. 330]. Пифагору приписывают также усовершенствование геометрии, в частности доказательство в общем виде теоремы, носящей его имя.

Сущностью Вселенной и всех процессов в ней пифагорейцы объявили «число» — правильные количественные (целочисленные в пределах 10) соотношения. «Все есть число» — афоризм, приписываемый Пифагору. Возникло такое представление под влиянием еще одного поразительного открытия Пифагора — простых соотношений (1:2, 2:3, 3:4) между интервалами музыкальной гаммы ⁵. Так возникло пифагорейское учение о числовой гармонии мира. Оно получило в дальнейшем два различных направления. С одной стороны, развилось в абстрактную мистику чисел, где особая роль придавалась числам 3, 4, 7 и 10. Но с другой, утверждение роли числа и правильных числовых соотношений во Вселенной стало первым шагом к математизации естествознания. Идеи пифагорейцев спустя много веков помогли Кеплеру установить законы планетных движений.

Особая роль придавалась пифагорейцами принципу парности всех вещей, качеств, понятий, равно как и роли объединения противоположных качеств: предел — беспредельность, правое — левое и т. п.

Как и другим древнегреческим космогониям, пифагорейской было свойственно одушевление всего Космоса, его отдельных частей и тел. Развитие же понималось как результат взаимодействия противоположностей, борьбы противоположных качеств. Пифагорейцы считали, что в первоначальной пустоте (которую они понимали как воздушное пространство) возник некий зародыш будущей Вселенной — «Огненная Единица». Он рос подобно семени за счет захвата окружающей беспредельной среды («вдыхая ее») и постепенно оформлялся из беспредельного и бесформенного в линии, плоскости, объема (т. е. тела).

Казавшаяся абракадаброй в эпохи, когда образы теоретических моделей большинством в научном мире воспринимались слишком конкретно, «материально», — как описание истинных элементов действительности, — подобная картина в наш век развития абстрактного формального языка науки выглядит уже не

⁴ Он был родом с острова Самос, сын камнереза. Много путешествовал по Греции и за ее пределами, жил в Египте и Вавилоне, как говорят, посетил Индию и, наконец, приобретя большие познания, поселился в Кротоне (на юге Италии), где, помимо научных занятий, принимал значительное участие в общественной и государственной деятельности. Он был также врачом.

⁵ По преданию, из опытов с сосудами, звучащими по-разному при различном заполнении их водой. По другим источникам Пифагор открыл закон монохорда — зависимость высоты тона звука от длины струны.

столь странной. Это вовсе не значит, конечно, что пифагорейцы являются предшественниками авторов современных космологических релятивистских концепций. Но созвучие абстракций, разделенных тысячелетиями, говорит, что даже на заре познания мира человеческий разум был способен улавливать некие принципы устройства и развития окружающей природы.

Конкретные астрономические знания пифагорейцы объединили в самой первой известной в истории науки математической модели Вселенной (тогда как модели их современников — милетцев были примитивными качественными аналогиями). Вселенную пифагорейцы представляли состоящей из нескольких (9 или 10) концентрических сфер. Сферы вращались вокруг общего центра. Семь из них несли на себе каждая по одному из известных подвижных небесных светил, а восьмая, самая далекая сфера, — все звезды (неподвижные друг относительно друга, иначе — звездный небосвод).

Главным отличием пифагорейской модели мира был ее негеоцентрический характер. Пифагорейцы первыми отказались от основной космологической идеи всех древних цивилизаций — неподвижности и центрального положения Земли во Вселенной (независимо от того, «плавала» ли она на воде или «висела» в воздухе). В центре мира пифагорейцы помещали центральный огонь, или очаг («Гестия»), вокруг которого двигались все светила, а также и сама Земля и, кроме того, (согласно Филолаю) еще и Противоземля — «Антихтон» (рис. 10, а). Солнце (в не очень ясном описании Филолая) пифагорейцы считали прозрачным шаром, лишь передающим тепло и свет центрального огня (но еще и некоего внешнего огня, якобы разлитого за пределами сферы звезд). Такая модель Солнца может свидетельствовать о знакомстве пифагорейцев с собирательным свойством стеклянных шариков — первого, видимо случайно обнаруженного «варианта» линзы, ставшего известным еще в древности (уже в VII в. до н. э.).

В модели пифагорейцев впервые светила были расставлены в более правильном порядке по их удаленности от Земли. Над сферой обращения Земли располагались сферы Луны, Солнца, Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна. В качестве расстояний между сферами были приняты музыкальные интервалы в гамме, отчего, как считали пифагорейцы, при вращении сфер должна была звучать «музыка сфер», которую мы не воспринимаем лишь потому, что привыкли к ней. Описавшему эту систему мира Филолаю принадлежит и введение термина «гармония» как обозначающего музыкально-этическое согласие противоположностей.

Пифагорейцам приписывают авторство гипотезы о шарообразности Земли (впрочем, как и Фалесу Милетскому). С именами пифагорейцев Экфанта и Хикетаса из Сиракуз связывают первое правильное объяснение смены дня и ночи — вращением Земли вокруг своей оси (конец VI — начало V в.).

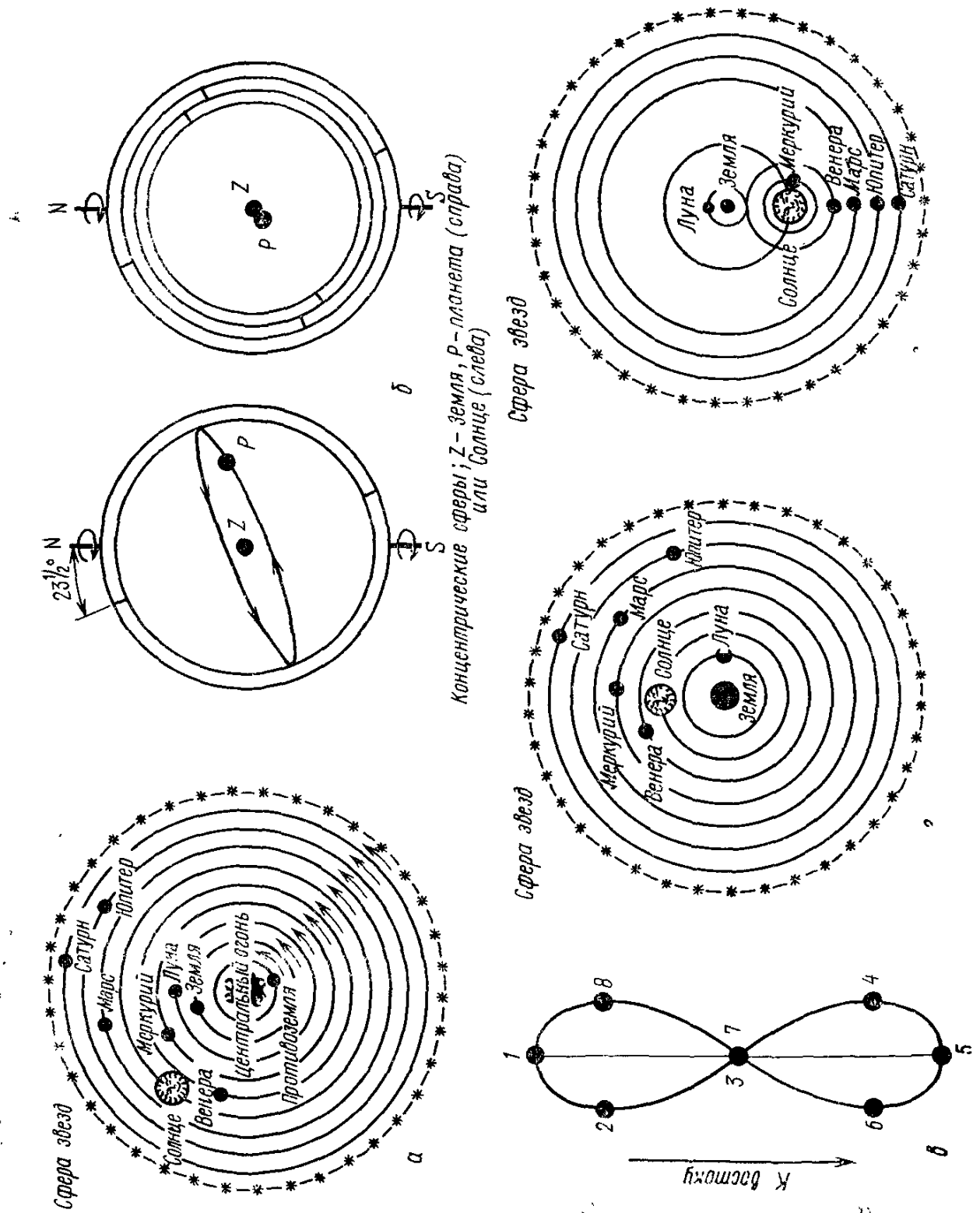


Рис. 10. Первые теоретические (механические) модели Вселенной у древних греков: а) схема Пифагорейцев (по Филолаю), б) схема Евдокса (концентрические сферы), в) схема Гиппократа, г) схема Аристотеля, д) схема Геракла Понтийского

§ 5. Элеаты и первый парадокс на пути познания Вселенной

Основатель третьей философской школы — элеатов (по названию города Элея на юге нынешней Италии) Парменид (конец 500-х гг. до н. э.) был последователем философа Ксенофана из Колофона (Малая Азия), современника Анаксимандра. Ксенофан выступал против антропоморфных представлений о мире и утверждал, что существует единый неподвижный «шаровидный» бог, который «все видит, весь мыслит, весь слышит». Такого бога Ксенофан, как полагают, отождествлял с небесной сферой, Вселенную он считал вечной⁶. Эти идеи Парменид развил в своем учении о бытии как единственной реальности, воспринимаемой, однако, лишь разумом. Бытие (то, что действительно существует) представлялось вечным, протяженным, единым, неделимым, а потому неизменным, неподвижным и совершенным, следовательно, в понимании греков, шарообразным, однородным. В конечном счете бытие рисовалось в виде сферы, в центре которой находилась Земля.

Осязаемый же «мир вещей», по Пармениду, хотя и доступен органам чувств, но они не могут дать о нем достоверных сведений, а лишь позволяют составить какое-либо мнение. Согласно Пармениду, все тела состоят из света, или эфира (огня), и тьмы, или ночи (земли), смешанных в различных пропорциях. Вселенная представлялась системой концентрических колец или «венцов, вращающихся вокруг Земли» (в чем видно влияние Анаксимандра, учеником которого был Ксенофан).

Некоторые источники приписывали Пармениду также идею о шарообразности Земли. Видимо, к V в. до н. э. идея эта достаточно созрела, чтобы появиться в учениях многих философов.

Мелисс (расцвет его деятельности падает на 40-е гг. V в. до н. э.), философ, общественный деятель и флотоводец с острова Самос дополнил учение Парменида о бытии, иначе о всей мыслимой Вселенной, идеей безграничности бытия. В противном случае, как отмечал Мелисс, вставал бы вопрос, а что же находится по ту сторону границы бытия, и пришлось бы ввести «небытие», что представлялось ему нелепым. Вселенную он представлял беспредельной, неизменной, недвижимой, единой, подобной самой себе, полной [39, с. 340].

Последним известным представителем элейской школы был Зенон Элейский (490—430). Он первым среди древнегреческих философов перешел от утверждений по аналогии к строго логическим доказательствам утверждаемого. Таким путем, опираясь на естественное на первый взгляд представление о бесконечности

⁶ Вместе с тем он считал Землю беспредельной в ширину и глубину и даже говорил о «корнях» у Земли (что высмеял позднее Аристотель). Для Земли он допускал периодические глобальные изменения, например в результате наступления моря на сушу и обратно, чем впервые в принципе правильно объяснил находки высоко в горах морских ракушек.

делимости и непрерывности пространства и времени, он пришел к ряду парадоксальных заключений (например, о невозможности движения в истинном бытии), известных как апории Зенона.

Развиваемая логически натурфилософия элеатов приводила, таким образом, к полному разрыву между миром вещей, воспринимаемых органами чувств, и скрытой за ними реальностью, о которой лишь можно мыслить, но которая ни в чем не проявляется, ибо неподвижна, неделима, едина, короче, непознаваема. Окружающий мир становился в таком восприятии парадоксальным.

§ 6. Рождение атомизма и космология Левкиппа и Демокрита

Из этого тупика натурфилософию вывели в V—IV вв. до н. э. предшественники и основатели атомизма. К первым принадлежали Анаксагор и Эмпедокл, вторыми были Левкипп и Демокрит.

Анаксагор (500—428), родившийся в Малой Азии, 30 лет прожил в Афинах и основал здесь Афинскую школу натурфилософии. Он продолжил развитие космологических идей Анаксимена и нашел выход для естествознания из тупикового, парадоксального по своим выводам учения Парменида о бытии. Вместо *одного-единого*, неподвижного и совершенно бесплодного бытия в учении Парменида Анаксагор выдвинул идею вечного неизменного существования *бесчисленного множества* бесконечно малых качественно подобных величин — как бы материализованных элементарных качеств (Аристотель назвал их гомемериями). Это — элементы теплоты, горечи, сладости, различных цветов и т. д., а также немногие пары противоположных качеств: светлое — темное, сухое — влажное и т. п. С именем Анаксагора связывают афоризмы «все во всем» или «во всем есть часть всего». Стихии же — элементы вещества («вода», «земля», «воздух» и «огонь») он рассматривал как составные, вторичные элементы, образующиеся из различного сочетания первичных качеств. Анаксагор отрицал возможность абсолютной пустоты. Он же первым указал на относительность понятий малого и большого.

В учении о Вселенной Анаксагор первым вполне определенно отверг идею цикличности изменения Космоса и утверждал его однонаправленное эволюционное развитие от некоего начального состояния, когда все вещи были смешанными в виде одной неподвижной однородной массы. Он считал, что развитие мира начинается в инертной материи под воздействием активного агента — мирового Ума («Нус») с возникновением вращения в одной области пространства. Подобно водовороту или вихрю, такое вращение затягивает в себя все более далекие области первичной смеси. Вращение приводит к разделению стихий на слои эфира («огня») и воздуха. Последний заполняет внутренние части вихря, огонь же — наружные. Сгущение воздуха порождает Землю (в центре мира) и все земные вещи, а также облака и воду.

В противовес разделяющему действию вращения в космо-

нии Анаксагора действует и другой принцип: «стремление подобного к подобному», что приводит к созданию различных, но однородных веществ.

По мере распространения вширь и роста массы Вселенной ее вращение, как считал Анаксагор, постепенно замедлялось и в нашу эпоху наблюдается лишь как суточное вращение неба. В связи с этим он допускал, что и Земля как центральное сгущение вначале вращалась, но затем, захватывая наиболее плотные части вещества, быстро замедлилась и сейчас неподвижна или (!) почти неподвижна.

Небесные светила Анаксагор (в духе Анаксимена) считал некогда оторвавшимися от Земли (в результате ее быстрого вращательного движения вначале) глыбами скал, которые затем раскалились от трения при быстром движении сквозь мировой (огненный) эфир (здесь виден вклад в древнюю космогонию наблюдений реального падения метеоритов). Анаксагору приписывают объяснение падения (и даже предсказание падения!) огромного, величиной с «два воза», железного или, скорее, железокаменного метеорита в устье Эгоспотамы на севере Греции в 470 или 467 г. до н. э. Анаксагор считал его куском, оторвавшимся от Солнца, и на этом основании заключил, что и другие звезды суть раскаленные камни и могут время от времени срываться с неба «подобно кускам обветшавшей крыши». (При этом удержание звезд на небе он объяснял их вращением: центробежная сила прижимала их к твердому небу; а падение — замедлением вращения.)

Солнце Анаксагор считал чрезвычайно большой раскаленной глыбой, даже «огненной насквозь», размеры которой он сравнивал с целым полуостровом Пелопоннесом (занимающим треть территории Греции). Заключение о столь больших размерах объекта, видимого весьма малым, было для того времени очень смелым (вспомним, что Гераклит представлял Солнце поперечником всего в 1 фут!). Но еще более смелым было утверждение о родстве Солнца с Землей (оторвавшаяся от нее и раскалившаяся глыба!). Анаксагору принадлежит, видимо, наиболее раннее утверждение, что Луна — не только темное тело (об этом говорил уже Фалес), но во всем похожа на Землю — имеет горы и впадины и даже (!), быть может обитаема.

Он первым правильно объяснил причину лунных и солнечных затмений — загораживанием этих тел, а не их погасанием, как думали некоторые, например его старший современник Ксенофан Колофонский.

В своей теории Вселенной Анаксагор, хотя и наивно, но на основании естественных причин «объяснил» едва ли не все известные тогда небесные явления — Млечный Путь (как «отражение звезд, не освещенных Солнцем»?...), кометы («скопища планет, испускающих пламя»), «падающие звезды» («подобие искр, выбрасываемых воздухом»), молнии («трением туч»!) и т. п. Сочинение Анаксагора «О природе» дошло до нас лишь в небольших отрывках (около 20). В историю древнегреческой науки он вошел

как первый выдающийся профессиональный исследователь природы в различных областях, в том числе в медицине и биологии. Однако в бурной жизни древнегреческих городов-государств философы не стояли в стороне от общественной деятельности. В конце жизни Анаксагор подвергся гонениям, обвиненный и в земных и в небесных «грехах», в том числе в покушении на ... божественную природу Солнца, и умер в изгнании (на севере страны в Лампсаке).

Эмпедокл (ок. 490 — ок. 430) с острова Сицилия, поэт, философ, врач, слушавший в свое время Анаксагора, в учение о Вселенной внес новую идею — две противоположные попеременно действующие силы — соединения и разъединения, представив первую как «любовь» (филиа), а вторую как «вражду» (нейкос). Вселенная у него изменяется циклически и оказывается то в состоянии полной однородности, то крайней неравновесности, когда в одной полусфере мира скапливается огонь, а в другой воздух (эфир). Такое крайнее нарушение равновесия, по Эмпедоклу, должно вызвать все убыстряющееся вращение, разделяющее элементы на концентрические слои, пока вновь освобождающаяся сила «любви» не начнет свою объединяющую и уравнивающую все работу. Вселенную Эмпедокл считал замкнутой, ограниченной некоторой оболочкой, но не сферической, а яйцеподобной, из отвердевшего эфира. Звезды считал огненными и прикрепленными к небосводу, а планеты свободно двигающимися своими путями. Как писал о нем Диоген Лаэртский, «Солнце он почитает обширным скопищем огня, величиною более Луны; Луну — круглоподобной; небо же — кристаллообразным» [39, с. 327]. Другие же приписывали ему мнение, что Солнце лишь зеркало, отражающее свет огненной полусферы мира, либо же блик света, отброшенный от Земли на небосвод.

Левкипп (расцвет деятельности — середина V в. до н. э.) был слушателем Зенона Элейского. Он высказал следующие мысли о Вселенной (в пересказе Диогена Лаэртского): «Вселенная беспредельна... все в ней переменяется одно в другое... она есть пустота и полнота» (и то и другое он называет «основами»), из этих «основ» возникают и в них разрешаются бесконечные миры. Вот как он представлял возникновение миров: «Из беспредельности отделяется и несется в великую пустоту множество разнообразных тел; скапливаясь, они образуют единый вихрь, а в нем, сталкиваясь друг с другом и всячески кружась, разделяются по взаимному сходству... легкие тела отлетают во внешнюю пустоту... остальные сцепляются... образуют... некоторое первоначальное соединение в виде шара». В свою очередь от этого вращающегося шара отделяется более «тонкая» оболочка, постепенно захватывающая в свой вихрь внешние части и, воспламеняясь (явно от движения), дает начало светилам. В центр «шара» стекается все плотное, и здесь образуется Земля. Круг Солнца у Левкиппа — самый далекий от Земли, круг Луны — ближайший, остальные светила кружатся между ними. В отличие от других тел

в Луне «огня лишь немного». Возникновение и гибель миров совершаются «по некой неизбежности» [39, с. 342—343].

Это учение значительно дополнил и развил великий древнегреческий философ Демокрит (470/457 — 370/357), родом из Абдеры на северном побережье Эгейского моря. Он побывал в странах Востока — Персии, Вавилоне, а также в Египте и был особенно широко известен современникам благодаря многочисленности своих сочинений, от которых сохранилось очень немного. Демокрит не только развил космофизическое учение Левкиппа, но дополнил его теорией познания, логикой, этикой.

Главной заслугой Левкиппа была идея атомов. Идею Парменида о едином вечном совершенном (сферическом) бытии он развил в том же направлении, что и Анаксагор, но полнее и детальнее. Вместо единого бытия он также утверждал существование бесконечного множества его видов. Но в отличие от Анаксагора в его учении они совершенно бескачественны, различаясь лишь формой и величиной. Они рассматривались как вечные, неизменные, неделимые («нерассекаемые» по греч. — «атомы») сущности. Другим нововведением Левкиппа в древнегреческой натурфилософии была идея существования абсолютной пустоты — «небытия» (прежде под «пустотой» всегда понималась «бездна воздуха» и т. п.). Эти идеи и принял за основу своего учения Демокрит. И в последующие века оно воспринималось как единое учение Левкиппа — Демокрита.

Согласно этому учению атомы невидимы из-за их малости и носятся беспрестанно и хаотически в абсолютной пустоте. Но соединяясь, благодаря шероховатости своей поверхности и различию формы, и подчиняясь стремлению подобного к подобному, они могут вызывать местные завихрения, т. е. вращательные движения больших масс вещества, которые и становятся, таким образом, зародышами новых вселенных.

Абсолютно пустое беспредельное пространство Левкиппа — Демокрита мыслилось изотропным и однородным: в нем не было преимущественных направлений и мест (верха, низа, периферии, центра). Но в каждой «местной» вихревой вселенной, наполненной веществом, пространство оказывалось уже неизотропным, вернее, поведение тела в пространстве, которое определялось плотностью тел: более плотные соединения атомов устремлялись к центру вселенной-вихря, более рыхлые — к ее периферии. Каждая вселенная мыслилась отделенной от окружающей пустоты оболочкой, не позволявшей атомам разлетаться из своей вселенной, которая, таким образом, оказывалась устойчивой по составу и массе.

Центральное сгущение в «нашем» вихре превратилось в Землю, которую Левкипп и Демокрит представляли сходной с низким цилиндром и даже «уточнили», что торцы цилиндра вогнуты (след оптической иллюзии при наблюдении на открытом месте: круговая линия горизонта кажется приподнятой). Вначале Земля (как считал и Анаксагор) вращалась вокруг оси, но, набрав свою мас-

су, остановилась. По мнению некоторых историков, Солнце, Луна и другие светила в космогонии Левкиппа — Демокрита не родились внутри вихря, а были захвачены в процессе распространения вихревого движения в пространстве.

Возможно, под влиянием вавилонской (или египетской) астрономии Демокрит уточнил расположение светил по их удаленности от Земли: Луна, Венера, Солнце, сфера звезд (о других планетах не говорится). У Левкиппа (как и у Анаксимандра) наиболее далеко от Земли, дальше звезд (!) располагалось Солнце и не была отражена особая «привязанность» к нему Венеры.

Совершенно новым, гениальным было в принципе правильное объяснение природы Млечного Пути, данное Демокритом. Он утверждал, что это — огромное скопище слабых звезд, невидимых по отдельности. Вряд ли, однако, Демокрит понимал это как скопление звезд в пространстве, скорее — как сгущенное расположение их на звездной сфере.

Демокрит допускал существенное различие вселенных, считая возможными миры-вселенные с Солнцем и Луной, бóльшими по размерам, чем наши; с несколькими солнцами и лунами (!) или вовсе без них; наконец, миры обитаемые и необитаемые, миры разных возрастов. Он полагал, что наша и подобные ей вселенные находятся в расцвете, другие в это время могут зарождаться, третьи разрушаться. Гибель отдельных вселенных, по мысли Демокрита, могла бы произойти, например, при их столкновении.

Таким образом, впервые в древней космологии была нарисована картина Большой Вселенной, беспредельной, включающей бесконечное число малых, местных вселенных (одной из которых и оказывалась наша). При этом смысл внешней сдерживающей разлет частей каждой «вселенной» оболочки, хотя и не уточнялся, но и не отождествлялся со сферой звезд (например, в нашей вселенной). Таким образом, возникал образ чего-то удерживающего все тела данной вселенной вместе и последняя оказывалась (выражаясь современным языком) динамически устойчивой вращающейся системой. Заметим также, что каждая вселенная в процессе своего становления оказывалась к тому же «расширяющейся» в том смысле, что вихрь распространялся, захватывая новые порции вещества и новые объемы пространства. Такая картина была возрождена спустя более двух тысяч лет в гипотезе Канта. Однако в учении Левкиппа — Демокрита единственной реальной была наша наблюдаемая Вселенная с Землей в центре. Остальные — лишь мыслимыми теоретически. Даже разумом их присутствие еще не допускалось ни в одном наблюдаемом объекте.

Все описанные процессы, по Левкиппу и Демокриту, происходят по необходимости, в силу внутренней закономерности и под действием внешних причин: «Ни одна из вещей не возникает попусту, но все совершается по закону и в силу необходимости». Демокрит также писал о «причинах небесных явлений». Даже боги у него не были бессмертными, а лишь чрезвычайно устойчивыми соединениями атомов!

Демокрит, возможно, впервые в истории знаний, пришел к идее *дискретности пространства*: линии, поверхности и объемы он считал состоящими из огромного, но не бесконечного числа соответствующих меньших элементов. На этой основе он пытался разрешить парадоксы Зенона.

Развивая идеи Гераклита Эфесского, Демокрит утверждал, что начальным этапом получения знания о мире являются ощущения. Но они дают лишь «темное знание», без раскрытия причин. Получить истинное знание, по Демокриту, можно только путем размышлений на основе анализа ощущений.

Учение Левкиппа — Демокрита представляло собой первую естественнонаучную и логическую систему природы, построенную на едином атомистическом принципе и на идее детерминизма. Намного опередившее интеллектуальный уровень эпохи и будучи чисто умозрительным, оно не было понято и принято в качестве руководящей программы не только своими современниками, но и потомками на протяжении двух тысяч лет.

§ 7. Платон и аналитический подход к исследованию Вселенной

Если не считать гениального, но слишком высокого для своей эпохи взлета идей в системе природы Левкиппа — Демокрита, то рассмотренные выше учения других натурфилософов VI—V вв. до н. э. (их называют обычно досократиками) отличались фрагментарностью и произвольностью. Познание носило еще интуитивный характер, близкий к искусству, когда воображение играло большую роль, нежели логические обоснования и доказательства. Назрела потребность в создании самой теории познания.

Первые шаги к этому сделал великий греческий философ Сократ (470/469—399), который, однако, космологией и космогонией не интересовался. Начало разработки методов познания в применении к окружающей Вселенной связано с именем его ученика и почитателя Платона.

Платон (427—347) развил ключевое в современной науке представление о научных понятиях как объективных, не зависящих от субъективного восприятия знаниях. Но, впад в другую крайность, он утверждал, что для получения достоверного знания наши ощущения и наблюдения вообще не играют никакой роли. Знание может быть получено только путем математического анализа и логических умозрительных построений и обобщений неких самостоятельно существующих начальных идей.

Несмотря на идеалистическую основу таких представлений, учение Платона принесло пользу в методологическом отношении. Оно показало необходимость отличать поверхностное впечатление от глубокого теоретического проникновения в существо явления, необходимость выявления существенных количественных и качественных признаков объекта.

Платон писал и об астрономии, но не в стихах, как это было принято у большинства прежних натурфилософов, а в новой, прозаической и более строгой форме — форме диалога. Стиль учебного сочинения как общих рассуждений о природе вещей сменялся логическими доказательствами выдвигаемых тезисов. В сочинении «Федон» (так звали одного из учеников Сократа) Платон уже вполне убежденно говорил о шарообразности Земли. Более полно свои космологические представления он описал в «Тимее», вложив их в уста полубогородного пифагорейца Тимея.

В платоновской картине Космоса отразилось учение Анаксагора — идея организующего Вселенную разумного начала. Но у Платона появляется новая мысль: управляющая Космосом «душа» хотя и сосредоточена в центре мира, однако распространяет свое действие отсюда по всему Космосу и (!) ограничивает его снаружи.

Модель Вселенной у Платона была геоцентрической: все материальные тела притягиваются к центральной Земле по причине «стремления подобного к подобному». Вокруг Земли вращаются два наклоненные друг к другу круга. Один, внешний, представляет «истинное» движение, т. е. единое с движением внешней сферы звезд (слева направо) — суточное. Другой, внутренний, «косой» круг (эклиптика) расщеплен на семь слоев и представляет движение «иное» (справа налево), иначе особое движение Солнца, Луны и планет, со своими особыми периодами. Весьма примечательно утверждение Платона, что «власть принадлежит внешнему кругу» [39, с. 155], т. е. большее значение придавалось суточному движению.

Небесные тела у Платона располагались в следующем порядке (в расстояниях Земля — Луна): Луна (1), Солнце (2), Венера (3), Меркурий (4), Марс (8), Юпитер (9), Сатурн (27). Космос Платон считал единственным, конечным, но не вечным, поскольку он ощущаем. А все, что ощущается, по Платону, является вещью, т. е. тем, что рождается и умирает.

У Платона впервые высказана идея, что и время рождается вместе с появлением Космоса: «Время порождено как образ вечности. Но вечность пребывает вечно, время же есть обращение неба. Частицы времени суть ночь, день, месяц и прочее, и поэтому вне природы мира нет и времени, но вместе с миром существует и время». Наблюдение неба оказывается и истоком формирования времени: «Для порождения времени порождены Солнце, Луна и планеты» [там же]. Новизна идеи Платона становится особенно ясной, если сравнить ее с более ранним «определением» времени у одного из древнегреческих философов VI в. до н. э.: «Зевс и Время были всегда» [с. 91].

В качестве совершенного творения высшего разума Космос, по Платону, должен иметь в целом совершенную, т. е. идеальную сферическую, форму. За его пределами ничего не существует.

В своей теории строения материи Платон в качестве основных (но не элементарных!) компонентов вещественного мира прини-

мал четыре уже известные нам стихии, придав каждой геометрическую форму — одного из правильных многогранников («платоновы тела»). Частицы огня — тетраэдры (пирамиды), воздуха — октаэдры, воды — икосаэдры (20-гранники), частицы земли — как наиболее устойчивые должны были иметь форму куба. Пятый правильный многогранник (додекаэдр) Платон связал с частицами введенного им впервые в греческую натурфилософию элемента — мирового эфира, якобы заполняющего Вселенную. Слово это употреблялось и прежде, но эфир отождествлялся с «воздухом» или «огнем».

Все стихии (за исключением земли), по Платону, делились на еще более мелкие элементарные составляющие — продолговатые треугольники. Развитие любого тела мыслилось возможным лишь в том случае, если в его состав входили разнородные элементарные треугольники, так как лишь в этом случае начинается борьба (разнородных) «элементарных частиц», что и ведет к качественным изменениям, иначе, к развитию. Поэтому «земля» как состоящая из частиц, совершенно несовместимых с треугольниками, у Платона не могла изменяться и переходить в другие стихии.

Система природы Платона была первой попыткой обобщить идеи Эмпедокла, Анаксагора, Левкиппа и Демокрита. Он дополнил их идеями — о времени, об относительности понятия верха и низа в сферической Вселенной (признаком первого он считал направление движения огнеподобных частиц, второго — тяжелых). Платон первым выступил против туманных объяснений типа «в силу внутренней природы» и провозгласил единственным путем к истине изучение количественных соотношений в явлении и вещи.

В целом предложенный Платоном метод познания — через выработку строгих «научных понятий», математизацию и рационализацию познания — стал действенным стимулом развития современного нам типа науки, так как выделил науку из натурфилософии. Первыми апологетами этих идей в новое время стали Леонардо да Винчи, Галилей и Кеплер.

Платон является подлинным родоначальником идеи математической астрономии, так как он первым, как говорят, обратился к астрономам — современникам с призывом и программой описать все небесные явления, разложив их на простые элементы — равномерные движения по правильным геометрическим кривым — окружностям. Конечно, Платон видел в этом разложении не столько метод, сколько проникновение в существо дела, во внутреннее истинное совершенство небесных движений, в которое верил. История распорядилась по своему: она приняла его лишь как метод — универсальный способ получения знания путем разложения сложного на простые, «правильные» и потому доступные математической обработке элементы.

§ 8. Рождение теоретической астрономии. От Евдокса до Гераклида Понтийского

Призыв Платона не остался без ответа. Первым откликнулся на него Евдокс Книдский (ок. 400 — ок. 350). Он посещал школу Платона в Афинах — знаменитую Академию, на дверях которой была начертана предупреждающая надпись: «Не знающий геометрии да не войдет!» Не поладив с Платоном, он уехал в Египет и там в Гелиополе учился у жрецов-астрономов. Возвратившись в Афины со множеством собственных учеников, Евдокс прославился как великий математик (преемником его в математике стал великий Архимед). Он был также образованным врачом и видным общественным деятелем. Но больше тяготел к непосредственному общению с природой, со Вселенной.

Евдокс устроил собственную обсерваторию на побережье Мраморного моря и основал там научную школу. Здесь он и его ученики (а затем ученики учеников — не одно поколение!) вели систематические наблюдения за движением светил. Евдокс описал все доступные для этой географической широты созвездия и составил, вероятно, первый на европейском континенте звездный каталог. Все это он изложил в сочинениях «Явления» и «Зеркало» (не сохранившихся).

Евдоксу принадлежит первая в истории науки количественная математико-кинематическая модель Вселенной (точнее, планетной системы). Его модель описывала движение каждого небесного тела с помощью системы вложенных друг в друга гомоцентрических сфер, вращающихся вокруг различно ориентированных осей с разной скоростью (см. рис. 10, б). Для этого ось каждой внутренней сферы мыслилась жестко скрепленной с соседней внешней. Казавшееся самым простым движение звезд (звездной сферы) моделировалось одной сферой. Таким же «суточным» движением вращались первые, самые внешние сферы всех светил. Вторые сферы Солнца, Луны и планет вращались вокруг оси, перпендикулярной эклиптике, но с разными (сидерическими) периодами. Эти движения были непосредственно наблюдаемыми. Движения третьих (а для планет еще и четвертых) сфер подбирались так (вокруг таких осей и с такими скоростями), чтобы в картине суммарного движения светила отразились уже замеченные тогда особенности — неравномерность, попятные движения, стояния, петли, периодический выход светила из плоскости эклиптики (последнее было новым шагом в изучении движения планет!). Планета мыслилась прикрепленной к самой внутренней сфере. В результате в схеме Евдокса движение планеты представлялось кривой, напоминающей лежащую восьмерку (гиппопеда — «пути лошади», рис. 10, в).

Несмотря на то что в схеме мира Евдокса (из 27 сфер) более или менее удавалось воспроизвести петлеобразное движение лишь для Юпитера и Сатурна, она была огромным успехом. Впервые

удалось описать совокупность небесных явлений как единую систему, элементы которой связаны между собой причинно-следственными соотношениями. Его модель неожиданно выявила объективные особенности описываемой системы: среди светил выделилась пара планет — Меркурий и Венера с одинаковыми параметрами, — оси их третьих сфер при подборе совпали. Модель Евдокса стала краеугольным камнем в здании теоретической астрономии.

С именем Евдокса связано одно из первых измерений наклона экватора к эклиптике и получение самого раннего из дошедших до нас из Древней Греции результата (соответствовавшего 24° ; до III в. до н. э. греки измеряли углы в долях полуокружности).

Модель мира Евдокса во второй половине IV в. до н. э. усовершенствовал Каллипп из Кизика (ученик ученика Евдокса). Он добавил для «строптивных» планет — Марса, Венеры и Меркурия — еще по одной сфере, а для Луны и Солнца с их явно неравномерным движением даже по две, доведя общее число сфер до 34. В частности, ему удалось таким образом описать видимую неравномерность движения Солнца между равноденствиями и солнцестояниями, открытую за сто лет до него Евктемоном. С именем Каллиппа связано также введение более совершенного лунно-солнечного цикла, равного учетверенному циклу Метона без одного дня.

Последним в доаристотелевскую эпоху астрономом-теоретиком был Гераклид Понтийский (388—315) из Гераклеи на берегу Черного моря, также ученик Платона, сменивший его как глава Академии. Он описал модель мира, которая в дальнейшем вошла в литературу как «египетская» (Венера и Меркурий в ней обращались вокруг Солнца, а с ним уже вокруг Земли, см. рис. 10, д). Модель Гераклида, впрочем, содержала и еще одну идею, шедшую вразрез с древнегреческим мировоззрением. Под влиянием некоторых идей в учении Платона, а быть может, и высказываний пифагорейцев Экфанта и Хикетаса Гераклид принял для объяснения дня и ночи идею осевого вращения Земли.

У Гераклида получало естественное объяснение периодическое изменение блеска самой яркой планеты Венеры и то, что Венера и Меркурий не отходят на небе далеко от Солнца. Тем не менее эта модель не была воспринята современниками: она противоречила главным космологическим принципам, прочно внедрившимся в сознании древнегреческих философов — единственности центра вращения во Вселенной и неподвижности Земли, находящейся в этом центре.

Система Гераклида стала истоком нового, геометрического метода представления неравномерных периодических движений через равномерные круговые (по эпициклу и деференту). Но лишь в следующем столетии его разработал великий математик Аполлоний Пергский, а спустя еще сто лет впервые применил в астрономии Гиппарх и за ним (через три века!) еще более полно и эффективно Птолемей.

В античный период развития древнегреческой науки (VII—IV вв.) натурфилософское интерпретирование окружающего видимого мира явно преобладало над процессом систематических наблюдений и изучения явлений. В космологии господствовала «очевидная» геоцентрическая идея объяснения устройства мира. Однако наряду с ней выдвигались и противоположные идеи, утверждавшие подвижность Земли, ее вращение и даже обращение вокруг другого тела, идеи эволюции Вселенной в целом, идеи конечности и бесконечности мирового пространства. Идея материальности, заполненности его соседствовала с идеей абсолютной пустоты.

Такой плюралистический натурфилософский подход к природе мешал начать дифференцированные исследования явлений. Недоставало четкости понятий (например, по какому принципу отделить явление небесное от метеорологического). Объяснения отличались произвольностью и не полностью освободились от мифологии (а идея «одушевленности» Космоса надолго пережила эпоху не только Древности, но и средние века). Исключение в этом нестройном хоре идей и произвольных «объяснений» составляла гениальная система природы Левкиппа — Демокрита. Но она, с одной стороны, была непонятной современникам из-за новизны главных идей — атомизма и саморазвития материи, а с другой — как система мира была бесплодной практически, поскольку не давала метода расчета и описания движений светил. Поэтому ни одно из предлагавшихся «объяснений» мира не стало общепринятым, направляющим представлением, или цельной картиной мира. Множественность объяснений одного и того же явления (хотя только естественными причинами) была даже возведена в принцип Эпикуром (см. ниже).

Глава II

СИСТЕМА ПРИРОДЫ АРИСТОТЕЛЯ

Правильно в философии — рассматривать сходство даже в вещах, далеко отстоящих друг от друга... сражаться оружием фактов, так, чтобы все находящееся вне области доказательства становилось излишним.

Аристотель

§ 1. Идейные основы физики и научный метод Аристотеля

Все накопленные веками знания об окружающем мире, вплоть до технической практики и житейского опыта, были проанализи-

рованы, систематизированы, логически предельно развиты и объединены в первой универсальной естественнонаучной системе природы, которую создал в IV в. до н. э. великий древнегреческий философ и, по существу, первый физик Аристотель (384—322) из Стагира (Фракия).

Большую часть жизни (начиная с 17 лет) он провел в Афинах, был учеником Платона в его Академии, а впоследствии, возвратившись сюда в 335 г., создал свою знаменитую школу перипатетиков (с 342 г. он был воспитателем наследника царя Македонии Филиппа, будущего великого полководца Александра Македонского).

Аристотель поставил цель, которую не могла бы в принципе отрицать и современная наука: понять и объяснить окружающий мир, исходя из наблюдений, опыта, изгоняя из физики всякий вымысел. Он отверг учение Платона о реальном (самостоятельном) существовании идей как нематериальных сущностей и признавал единственной реальностью в пределах Вселенной материю. Разумеется, он признавал и существование божественных сил, но лишь за пределами единственной и материальной Вселенной, т. е. за гранью познаваемого мира — природы.

Аристотель дал несравненно более четкие, материалистические определения пространства и времени. Пространство он определил как нечто, что уже было (или могло быть) заполнено материей. За пределами материальной Вселенной, по Аристотелю, не существовало и пространства. В определении времени он принял идею Платона. Но только у Аристотеля определение понятия времени из описания с помощью набора конкретных (астрономических!) примеров превратилось в отточенную формулу: «время есть мера движения, и нет движения без тела физического». Он конкретизировал туманное понятие «природа вещей» как внутренний принцип движения и развития. Аристотеля можно назвать основателем первой ставшей общепринятой естественнонаучной картины природы.

Естественнонаучный принцип объяснения природы сближал его учение с идеями Левкиппа — Демокрита. В отношении же наблюдаемой Вселенной, т. е. в космологии, идеи Аристотеля резко отличались от главной идеи атомизма. В сочинениях «О небе» и «Метрология» Аристотель нарисовал совсем иную картину. Он впервые разделил материальный наблюдаемый мир на мир земных («подлунных») и мир космических явлений с их якобы особыми законами и внутренней природой. В новой науке, начавшейся с позднего Возрождения (конец XVI—XVII в.), это стало предметом резкой критики. Но в каждую эпоху наука имеет свои задачи и проблемы. Великий мыслитель и наблюдатель в этом разделении именно материального мира, быть может, первым осознал различное проявление естественных законов на различных масштабных уровнях природы. По существу, он выступил против неоправданной экстраполяции — примитивного распространения привычных земных явлений на весь Космос.

В основу всех вещей и явлений подлунного мира Аристотель положил идею о четырех обычных элементах — земля, вода, воздух и огонь, а в основу космических — особый, но также материальный элемент — небесный эфир. От обычной материи он отличался тем, что не имел ни легкости, ни тяжести и поэтому должен был находиться в состоянии вечного движения. Аристотель критиковал, например, Анаксагора за отождествление эфира с обычным элементом — огнем и т. п.

§ 2. Механика Аристотеля

Опираясь лишь на житейские наблюдения и опыт, Аристотель разделил движения на «естественные» и «насильственные» (к первым относились «врожденное» движение вниз — падение тел и «врожденное» движение вверх — подъем дыма, огня). Он утверждал, что всякое другое движение на земле может продолжаться лишь до тех пор, пока на тело действует сила, что скорость падения тел зависит от веса. Во всем этом Аристотель обобщал непосредственно наблюдения: все тела на Земле рано или поздно останавливаются, предоставленные самим себе. Листья и перья падают медленнее, чем тяжелые ядра. Первое наблюдение заставило его и в случае полета стрелы искать такой «толкатель» ее во время движения, что и привело Аристотеля к нелепой, с нашей точки зрения, мысли о поддержании этого движения окружающим воздухом!

Аристотель понимал, что в абсолютной пустоте тела падали бы с одинаковой «скоростью». Но считая, вслед за Анаксагором, невозможным существование абсолютной пустоты, он сделал логически оправданный вывод о различной скорости падения тел в реальном пространстве. Столетие отделяло Аристотеля от открытия закона Архимеда, и движение дыма вверх породило лишь идею «естественного» свойства легкости. Но для его современников физика Аристотеля представлялась истинной, обоснованной непосредственным опытом, практикой.

§ 3. Критика прежних космологических концепций

Накопленный ко времени Аристотеля опыт астрономических наблюдений оказался более надежным (чем в случае земных явлений) основанием для заключений об истинных чертах Космоса: о шарообразности Земли, ее изолированном, свободном положении в пространстве. Поэтому Аристотель резко высмеивал примитивные идеи о том, что Земля якобы уходит своими «корнями» в бесконечность (Ксенофан Колофонский) или что она «плавает на воде» (Фалес), держится на сжатом воздухе (Анаксимен, Анаксагор, Демокрит). Аристотель называл «притянутой, за уши» картину Вселенной пифагорейцев — с центральным ог-

нем Гестией и невидимой нам «Антиземлей», с Солнцем — зеркалом, отражающим лучи этого огня.

Высмеивал он — именно как физик — и древнюю уже и для него идею пифагорейцев о «музыке сфер». Забавно, что абсурдной он ее считал по чисто «инженерным» соображениям, указывая, что если бы небесные тела двигались в пределах своих (материальных!) сфер, то стоял бы невообразимый шум и скрежет от трущихся частей.

Аристотель критиковал нелогичность теории о возможности начала, возникновения Вселенной, которая, однако, в дальнейшем становится вечной, критиковал теории Гераклита и Эмпедокла о бесчисленном повторении возникновения и уничтожения Вселенной в целом. «...Если вся телесная материя, будучи непрерывной, попеременно меняет свои состояния и упорядочивается то так, то иначе, а совокупное сочетание Целого остается «космосом» и «Небом», — писал Аристотель, — то отсюда следует, что возникает и уничтожается не космос, а его состояния» [3, с. 295—296].

Не без основания Аристотель критиковал и атомистов, отрицая возможность возникновения всех тел с их различными качествами из полностью бескачественных атомов лишь благодаря их механическому движению.

Поскольку прямолинейные движения имеют начало и конец, а небесные тела безостановочно движутся по кругам, Аристотель заключил, что для небесных тел, которые не обладают ни легкостью, ни тяжестью, естественным является именно круговое, вечное и равномерное движение. Последнее постулировалось как признак совершенства небесных тел.

§ 4. Неизбежные издержки аристотелевской критики умозрительных идей

Но вместе с наивными или искусственными построениями своих предшественников Аристотель отбросил и правильные догадки, например, о вращении Земли как вокруг некоего внешнего центра, так и вокруг своей оси (пифагорейцы и Гераклид Понтийский), поскольку это вращение не ощущалось в повседневном опыте. Неподвижность Земли в центре мира Аристотель просто постулировал, чтобы обосновать реальность суточного вращения небосвода («если Земля неподвижна, то небо движется»). Учитывая уже известный тогда кинематический принцип относительного движения, он делал вывод явно под давлением обыденного мировосприятия.

Стремясь объяснить все явления материального мира естественными причинами, Аристотель резко критиковал древние мифологические «учения», согласно которым Небо, чтобы не упасть на Землю, должно было опираться на плечи могучего титана Атланта. «Те, кто сочинил эту басню, и последующие, — писал Аристотель, — думали, что все небесные тела имеют тяжесть [!] и состоят из земли» (т. е. из элемента «земля») [там же].

Здесь природа сыграла с Аристотелем злую шутку: вместе с мифическим элементом он отбросил верную догадку о вещественном единстве наблюдаемой Вселенной и о тяжести небесных тел.

Разделив Землю (вернее, подлунный мир) и Космос, Аристотель перенес все нерегулярные и сравнительно кратковременные явления (которые греки прежде считали небесными, — вплоть до молнии, грома, града и т. п.) в несовершенный подлунный мир, иначе в «верхний воздух» (греч. — «метеора») земной атмосферы, распространявшейся, по представлениям Аристотеля, вплоть до Луны (но все-таки уже не на всю Вселенную). Однако вместе с другими в метеорные (т. е. атмосферные) явления у Аристотеля оказались включенными кометы, болиды, падающие звезды (названные все вместе, наряду с молнией и другими атмосферными свечениями, «огненными метеорами»). Эти представления удерживались в науке вплоть до рубежа XVIII—XIX вв.

§ 5. Система мира Аристотеля и ее отличие от предшествующих

Аристотель представлял собой новый для Древнего Мира тип исследователя. Его система мира, построенная на основе геоцентрической гомоцентрической модели Евдокса — Каллиппа, была уже не просто способом описания явлений, а первой попыткой раскрыть истинное устройство и механизм Вселенной.

Вселенную Аристотель представлял как некое «инженерное» сооружение — набор материальных сфер, связанных друг с другом (рис. 10, 2). Ему необходимо было, таким образом, согласовать наблюдаемую картину движений планет с действием механических связей между сферами: ведь в движении каждой должны были отражаться движения всех внешних сфер. Между тем из наблюдений следовало, что каждая сфера повторяла вращение лишь наружной сферы звезд (к этой крайней из восьми основных сфер мира Аристотель в поздние годы добавил девятую, но уже нематериальную — «перводвигатель»). Поэтому Аристотель дополнил схему Евдокса — Каллиппа «нейтрализующими» сферами, придав им обратные движения. Вместе с «перводвигателем» его система включала 56 сфер [119, с. 113].

§ 6. Физические основы космологии Аристотеля

Аристотель отмечал, что по объекту исследования астрономия близка к физике, а по методам — к математике, и поэтому относил ее к «наиболее физическим из математических наук» [3, с. 85]. Аристотель понимал, что у бесконечной Вселенной не могло быть ни центра, ни края и никакого всеобщего внутреннего движения относительно одной точки. Но непосредственное наблюдение неба, казалось, свидетельствовало против бесконечности. Ведь граница, край Вселенной был, что называется, виден простым гла-

зом, ощущаем в сферической форме небосвода; столь же «очевидным», наблюдаемым было именно всеобщее (суточное) движение звездного неба. Все это во времена Аристотеля служило убедительным доказательством конечности Вселенной (движение бесконечно удаленной сферы звезд было бы незаметным). Отсюда следовало существование ее центра — как особой точки, равноудаленной от периферии. В пределах такой Вселенной все свойства тел представлялись Аристотелю врожденно связанными с геометрией мира, с его сферичностью. А именно центральное положение Земли (в отличие от постулируемой ее неподвижности) оказывалось неизбежным следствием (а вовсе не постулатом!) физической природы ее составных частей (она состояла из наиболее тяжелого элемента «земля», который естественно стремился к центру как пределу движения тяжелых тел «вниз»). Другое фундаментальное заключение, что Земля — шар, также не было постулатом у Аристотеля, а следовало из наблюдений серповидной границы тени Земли на постепенно затмеваемой ею Луне при лунных затмениях.

В надлунном мире единственный «небесный» элемент — эфир, не имеющий свойств легкости или тяжести, не мог поэтому стремиться ни к центру, ни к периферии Вселенной и, таким образом, должен был находиться в вечном круговом движении в мировом пространстве. Все небесные тела Аристотель считал состоящими из эфира. Поэтому их движение также мыслилось как вечное, круговое и *бессиловое*. По существу, это было первое представление об инерциальном движении (его так и понимали, вплоть до Галилея, как движение круговое). Даже наиболее очевидное движение небесных тел — с востока на запад — Аристотель считал естественным свойством их и, не зная его причины, сформулировал в качестве объяснения принцип: «Природа всегда осуществляет наилучшую из всех возможностей».

Неподвижность звезд в пределах своей сферы (т. е. друг относительно друга) Аристотель физически обосновывал следующим образом. Все звезды в своем суточном движении вокруг Земли имеют скорости, совпадающие со скоростью различных частей самой сферы, в пределах которой они заключены. Между тем части сферы у экватора и у полюсов двигались с разной (линейной) скоростью. Такое полное совпадение скоростей у всех звезд неба на соответствующем широтном поясе и у частей самой сферы, будь они независимы, Аристотель справедливо считал невероятным. О том, что звезды к тому же и не вращаются, он сделал вывод также на основании наблюдательного факта: Луна (одна из «звезд», по терминологии Аристотеля, но особых, блуждающих) всегда обращена к Земле одной и той же стороной. Вообще же блуждающие звезды-планеты из-за их сложных неправильных движений Аристотель относил к менее совершенным телам, чем «верхние» звезды.

Относительно природы звезд до Аристотеля, как мы видели, высказывались идеи, что это раскаленные тела, нагревающиеся в

результате стремительного движения сквозь мировой эфир (к тому же «огненный»). О большой скорости говорил малый (суточный) период вращения звездного свода, чудовищная удаленность которого была давно общепризнанной. Так думал, например, Анаксагор. Как физик, Аристотель не мог отрицать факта разогрева от трения. Он писал, что «движение раскаляет даже дерево, камни и железо». Но, по Аристотелю, тепло и свет, особенно при восходе и подъеме Солнца возникали не от трения этого светила об эфир (ведь в своей сфере оно не двигалось), а от трения друг о друга самих этих материальных сфер. При всей наивности картины Аристотель и здесь остается прежде всего физиком, механиком, даже инженером.

Звезды и планеты Аристотель называет огромными телами, тогда как Землю он считал небольшой (на основании изменения картины звездного неба при перемещении к югу или к северу). Приведенная им оценка окружности Земли — 400 тыс. стадиев, или более 70 тыс. км, — самая древняя (способ ее получения неизвестен). Она превышала реальные размеры Земли менее чем вдвое.

Из одинаковости угловой скорости суточного вращения всех небесных сфер Аристотель сделал вывод о необходимости правильного пропорционального возрастания их скоростей (линейных) с ростом удаленности этих сфер от центра мира, считая, что это и обеспечивает устойчивость, прочность неба, которое благодаря такому обстоятельству «не разваливается» (хотя, как мы видели, и несколько «разогревается», по Аристотелю, — от трения внутренних частей).

Определив Вселенную как заключающую в себе всю мыслимую материю, Аристотель сделал из этого вполне логичный вывод о том, что она никогда не возникала и принципиально неуничтожима: ей как сумме всех возможных видов материи не из чего было возникнуть и не во что превратиться в будущем. Поэтому его Вселенная — единственна и вечна.

§ 7. Отношение к учению Аристотеля в разные эпохи

Для современников Аристотеля его физико-космологическая система природы была, можно сказать, теорией, прочно обоснованной опытом, как он понимался тогда — при полном доверии к весьма грубым повседневным наблюдениям. Она стала первым организующим (хотя в то же время ограничивающим) фактором на пути дальнейшего развития естествознания. И когда столетие спустя после Аристотеля появилась гениальная и принципиально новая идея подлинного гелиоцентризма, высказанная Аристархом Самосским (см. ниже), эта идея была встречена крайне враждебно не только по религиозным соображениям, но и ввиду ее противоречия «здравому смыслу», т. е. физической картине мира, сформировавшейся на основе системы природы Аристотеля.

Разумеется, с накоплением новых сведений о Вселенной, уточнением наблюдательных данных об окружающем мире физика и космология Аристотеля постепенно изживали себя. Но именно они-то и были в средние века догматизированы и стали тормозом в науке.

Однако было бы ошибкой полагать, что огромный авторитет Аристотеля всегда держался на слепой вере в эти конкретные его теории. Ряд идей Аристотеля, во всяком случае идей, которые он впервые осознанно и четко положил в основу научного познания мира, оказались очень глубокими и сыграли прогрессивную роль на крутых поворотах развития науки. Достаточно вспомнить, что Коперник в своей критике теории Птолемея исходил прежде всего из принципиальных требований к научной теории, провозглашенных Аристотелем: требования экономии причин для объяснения явлений; внутренней непротиворечивости теории. В физической картине мира Аристотеля уже наметилась гениальная идея взаимосвязи свойств материи, времени и пространства. У Аристотеля она проявилась, правда, как в кривом зеркале: пространство как бы само обладало анизотропностью, «естественными» местами, различными для тел разной плотности, отчего материя распределялась в нем сообразно своим свойствам тяжести и легкости. В то же время он не допускал существования пустоты и, следовательно, анизотропности пустого пространства. Анизотропное пространство он понимал как уже заполненное материей! Таким образом, речь шла об анизотропности реального, — материального Космоса.

Аристотель говорил о необходимости учитывать на пути познания прежние, пусть неудачные, ошибочные попытки достичь истины. «...Ибо людям, желающим идти правильным путем, — писал он, — важно также знать и об уклонении». А о том, насколько нелегок этот путь, свидетельствовал опыт самого Аристотеля, сказавшего: «Мышление есть страдание».

Глава III

РАСЦВЕТ ГРЕЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ В ЭПОХУ ЭЛЛИНИЗМА

Начало этого периода было отмечено прогрессом наук, связанным с притоком и постепенным освоением на почве греческой культуры и натурфилософии астрономической наблюдательной информации и некоторых математических методов из Вавилона и других стран Востока, завоеванных Александром Македонским (356—323). К III в. до н. э. главным центром новой греческой культуры и науки стала Александрия — столица эллинистического Египта, одного из государств, возникших в результате раздела колоссальной империи Александра после его смерти. Сюда переселились некоторые ученики Аристотеля из Афин, перенесли и организа-

ционные формы перипатетической науки. Здесь на основе богатейшей библиотеки самого Аристотеля были основаны колоссальные книгохранилища и знаменитый Музеум — по существу, первая в мире Академия наук, опекаемая государством. В греческой астрономии III в. до н. э. отмечен тремя существенными достижениями, опиравшимися главным образом на наблюдения. И все они связаны с Александрией.

§ 1. Идея гелиоцентризма. Аристарх Самосский

Выдающийся древнегреческий астроном Аристарх Самосский (ок. 310—230), работавший в Александрии в 80-е гг. III в. до н. э., впервые попытался геометрическим методом определить относительные расстояния Солнца и Луны, а также относительные размеры этих тел (приняв за единицу земной радиус). Измерив в фазе «четверти» (определявшейся, конечно, на глаз) угол между направлениями на Луну и на Солнце, Аристарх рассчитал угол, под которым с Солнца виден радиус лунной орбиты, и нашел его равным примерно 3° (в действительности менее $10'$, метод очень неточен). Построив затем соответствующий прямоугольный треугольник, он впервые нашел, что Солнце не в два (как думал Платон), а в 19 раз дальше Луны (в действительности — в 400 раз). Из оценок Аристарха следовало, что параллакс Солнца равен $3'$ (эта оценка удерживалась в астрономии вплоть до 1672 г., в действительности $8,8''$). Определив затем довольно точно относительный поперечник Луны (по времени прохождения ею земной тени во время лунного затмения) в $1/3$ земного, Аристарх получил, что Солнце по объему в 250 раз больше Земли. Этот результат должен был потрясти его современников. Напомним, что до него самой смелой была «оценка» Анаксагора, сравнившего (чисто умозрительно) Солнце по размерам с «огромным» полуостровом Пелопоннесом.

В этой работе «О размерах и расстояниях Солнца и Луны» (единственной сохранившейся) Аристарх еще выступал геоцентristом [31, с. 72]. По некоторым сведениям, непосредственным стимулом к поискам новой системы мира для него явилась не разрешенная в прежних системах загадка периодического изменения блеска Марса. Путь к ее разрешению уже был указан в системе Гераклида Понтийского. Любопытно, однако, что Аристарх не пошел этим путем (которым спустя почти две тысячи лет воспользовался Тихо Браге). Видимо, обнаружение колоссальных (по представлениям тех времен) размеров Солнца заставило Аристарха Самосского сделать более решительный шаг. Он не только поместил в центре мира Солнце, но и возродил пифагорейскую идею движения Земли — как орбитального, так и осевого. Так получило простое объяснение и явление дня и ночи, и периодическое изменение блеска планет.

Одно из возражений — указание на отсутствие параллактического смещения звезд — Аристарх обошел утверждением о чрез-

вычайной удаленности звездной сферы. Как писал позже Архимед, Аристарх сравнивал отношение (размеров) сферы движения Земли и сферы звезд с отношением центральной «точки» и сферы движения Земли. Но в том виде, в каком она известна, модель Аристарха (по существу качественная, с ее простыми гелиоцентрическими, даже еще не орбитами, а, видимо, сферами) не могла в отличие от геоцентрической схемы Евдокса — Каллиппа — Аристотеля объяснить неравномерности в движении Солнца и Луны, не говоря уже о планетах. И хотя гелиоцентрическая идея была принята тогда некоторыми афинскими философами, например учителем Аристарха Стратоном из Лампсака [31, с. 72], она была отвергнута астрономами и физиками, поскольку резко противоречила общепринятым представлениям о механике движения. Едва ли не главным укором системе Аристарха было то, что она вводила не один, а два реальных центра вращения тел (Солнце и Землю) и, следовательно, два центра тяжести в одной сферической материальной Вселенной.

Основные, космологические сочинения Аристарха не сохранились.

§ 2. Достижения наблюдательной астрономии начала эпохи эллинизма

Немалый вклад в астрономию внес Архимед (ок. 287—212) — великий древнегреческий математик и механик из Сиракуз. Он первым очень точно измерил видимый угловой диаметр Солнца (как величину между $27'$ и $32'55''$; действительные размеры колеблются между $31'28''$ и $32'37''$). В сочинении «Псаммит» (Исчисление песчинок) он дал, хотя и чисто умозрительную, но впечатляющую оценку размеров звездной сферы и, следовательно, Вселенной как вмещающей 10^{63} песчинок (эта оценка, если считать размер песчинки ~ 1 мм, оказывается порядка расстояний до ближайших звезд). Большую славу имел построенный Архимедом небесный глобус — планетарий, с помощью которого можно было проследить движение всех семи подвижных светил. После взятия Сиракуз римлянами и трагической гибели ученого его глобус как ценный трофей был увезен в Рим. Но все же наиболее значительным вкладом Архимеда в дальнейшее развитие астрономии стал его вклад историка, сохранившего для потомков систему мира Аристарха Самосского, которая вдохновила Коперника.

Наиболее ранним из сыгравших важную роль в астрономии стал звездный каталог, составленный (в эклиптических координатах) александрийскими астрономами Аристилом (с острова Самос) и Тимохарисом в первой половине III в. до н. э. (число звезд в каталоге неизвестно). Они использовали при этом инструмент с кругами, уже градуированными в 60-ричной системе.

Наконец, существенным достижением наблюдательной астрономии этой эпохи стало первое весьма точное измерение в 240 г. до н. э. абсолютных размеров земного шара Эратосфеном (282/276—

202/194). Он был родом из Северной Африки и известен еще как ученый-энциклопедист и хранитель знаменитой Александрийской библиотеки. Измерив зенитное расстояние Солнца в полдень в Александрии в день, когда в Сиене (ныне Асуан, расположенный к югу почти на том же меридиане) оно было в зените, он определил угловое расстояние между названными пунктами. Сравнив его с линейным расстоянием между ними по поверхности Земли (оно оценивалось путешественниками примерно в 5 тыс. стадиев, видимо египетских: 1 ст. = 157,5 м), Эратосфен получил для окружности земного шара значение 252 тыс. стадиев ~ 40 тыс. км. Он уточнил также наклон эклиптики к экватору (получив $11/83$ полуокружности, или $23^{\circ} 51'$, против 24° , по Евдоксу). Эратосфен является основателем научной хронологии. Он же впервые предложил вводить в гражданский календарь каждые четыре года один лишний день, предвосхитив на два века структуру юлианского календаря.

§ 3. Астрономическая картина мира эпохи раннего эллинизма

Эллинистический период был отмечен и некоторым развитием общих космологических концепций. Эпикур (341—271/269) с острова Самос «дополнил» картину Вселенной Демокрита: ввел понятие абсолютного верха и низа в бесконечной Вселенной и постулировал движение атомов только вниз ввиду изначально присущей им тяжести. Хотя соображение о тяжести оказалось правильным, но в целом это было шагом назад по сравнению с картиной Демокрита. Вместе с тем Эпикур ввел важную идею произвольных отклонений (по существу, флуктуаций) в движениях атомов, чем объяснял их столкновения и закручивание в местные вихри — зародыши новых вселенных. Эти отклонения под именем «клинамен» описал в известной физико-космологической поэме «О природе вещей» последователь Эпикура римский поэт и ученый Лукреций Кар (ок. 99—55). Эпикур едва ли не первым в древнегреческой философии «отстранил» богов от участия в образовании и развитии миров (но лишь исходя из принципа своего этического учения о наслаждении как высшем благе: богам более пристало находиться между мирами и пребывать в блаженстве и праздности...).

Представители другой философской школы — стоиков, основанной Зеноном Китийским (ок. 336—264), внесли новую идею в космологическую картину мира: наполненности космического пространства особой средой «пневмой», которая, как они считали, пронизывает всю Вселенную, находится в состоянии натяжения и как бы направляет, организует развитие материальных вещей. На языке своей эпохи стоики сравнивали «пневму» с «душой» Космоса, который мыслился ими живым, одушевленным, разумным. Они считали его развивающимся циклически — от рождения через расцвет к гибели (путем воспламенения) и затем к новому возрождению.

Глава IV

ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ГИППАРХА — ПТОЛЕМЕЯ — ВЕРШИНА РАЗВИТИЯ ДРЕВНЕГРЕЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

§ 1. Создание основ математической и точной наблюдательной астрономии. Аполлоний Пергский, Гиппарх

Начиная с III в. до н. э. в Греции все более распространялись и усваивались астрономические и математические достижения Вавилона. Греческая наблюдательная астрономия достигла точности вавилонской. В практику вошли (возможно, вавилонские) угломерные инструменты с измерительными кругами, разделенными на градусы и минуты. Все это в сочетании с геометрическим направлением греческой математики создало благоприятные условия для нового прогресса математической астрономии.

Этому способствовало создание новых математических методов и целых областей математики. Аристарх Самосский начал применять в астрономии теорию хорд — предшественницу сферической тригонометрии. Его современник математик Аполлоний Пергский разработал около 230 г. до н. э. новый геометрический метод описания неравномерных периодических движений. Он показал, что такое движение может быть представлено как сумма двух равномерных круговых: по одной окружности (деферент, по греч. — несущий) равномерно движется центр вторичной окружности (эпицикл), по которой в свою очередь равномерно движется исследуемое тело.

Применительно к астрономии этот метод впервые развил Гиппарх (ок. 190/180—125), величайший древнегреческий астроном эпохи эллинизма. Он был родом из Nikei (ныне Турция), но жил и работал на острове Родос. С его именем связано начало новой эпохи в развитии точной наблюдательной и теоретической астрономии, так как он выдвинул требование: строить точную математическую теорию движения небесных тел только на основе предельно точных данных наблюдений. Определив за период 162—128 гг. моменты около десяти равноденствий и сравнив их с данными Аристарха (ок. 280 г. до н. э.), Гиппарх уточнил длину тропического года, уменьшив предшествовавший ему результат Каллиппа ($365 \frac{1}{4}$) на $\frac{1}{300}$ дня. Он уточнил также данные Каллиппа о продолжительности сезонов (см. табл.), получил параметры эксцентрической орбиты видимого движения Солнца.

Гиппарх первым обратил внимание на различие длины тропического и сидерического годов (на 15 мин, в действительности — 20 мин). За период 146—135 гг. он наблюдал также несколько лунных затмений.

Используя эти и другие наблюдения и математический аппарат Аполлония Пергского, Гиппарх построил первую теорию неравномерного движения Солнца и Луны. Новый, геометрический метод Гиппарха качественно отличался от моделирования движений небесных тел в эпоху Евдокса — Аристотеля. Он полностью

Данные о продолжительности сезонов

Наблюдатель	Весна	Лето	Осень	Зима
Евктемон, V в. до н. э.	93	90	90	92
Каллипп, IV в. до н. э.	94	92	89	90
Гиппарх, II в. до н. э.	94,5	92,5	178,25	
Вавилоняне, II в. до н. э.	94,50	92,73	178,03	
Современные данные	94,1	92,21	86,6	90,4

отрывал математическую теорию движения от объемных механических моделей, которые, во-первых, были трудны для расчетов, а во-вторых, невольно воспринимались как воспроизведение реального устройства мира. Теория Гиппарха не «демонстрировала» движения, а устанавливала их количественные характеристики. Он нашел, что суммарное движение по эпициклу и деференту тождественно более наглядному движению по эксцентрику в том случае, когда угловые скорости двух первых равны, а направления противоположны. Представляя видимое движение Солнца с помощью эксцентрика, Гиппарх показал, что наблюдатель действительно должен будет видеть его неравномерным, более быстрым с той стороны, в которую сдвинуто место наблюдателя от центра круга. В этой модели впервые появились элементы, определяющие орбиту небесного тела (хотя еще и геоцентрическую): апогей и перигей, эксцентриситет, которые Гиппарх и оценил (получил эксцентриситет солнечного пути $1/24$ и долготу апогея $65^{\circ}30'$) (рис. 11, а).

По собственным и некоторым тщательно проверенным вавилонским наблюдениям лунных затмений Гиппарх построил теорию движения Луны, также используя образ эксцентрика, и существенно уточнил различные периоды его (месяцы — драконический, аномалистический и т. д.). Вместо сароса он ввел более точный цикл почти в 345 лет (126 007 дней + 1 час), который охватывал огромные целые числа различных месяцев (от 4267 до 4612). Это позволило ему уточнить, например, синодический и сидерический месяцы, получив величины, отличающиеся от современных нам данных всего на 0,4 с и 1,7 с соответственно.

Составленные Гиппархом таблицы солнечных и лунных затмений позволяли предсказывать их с неслыханной по тому времени точностью — в пределах 1—2 часов. По наблюдениям солнечных и лунных затмений он оценил параллакс Луны и относительные

расстояния Луны и Солнца в радиусах Земли (59 и 1200 соответственно). Он усовершенствовал цикл повторения лунных фаз и дней солнечного года: ввел учетверенный без одного дня цикл Каллиппа, что, однако, не нашло практического применения. Гиппарху также принадлежит введение географических широты и долготы.

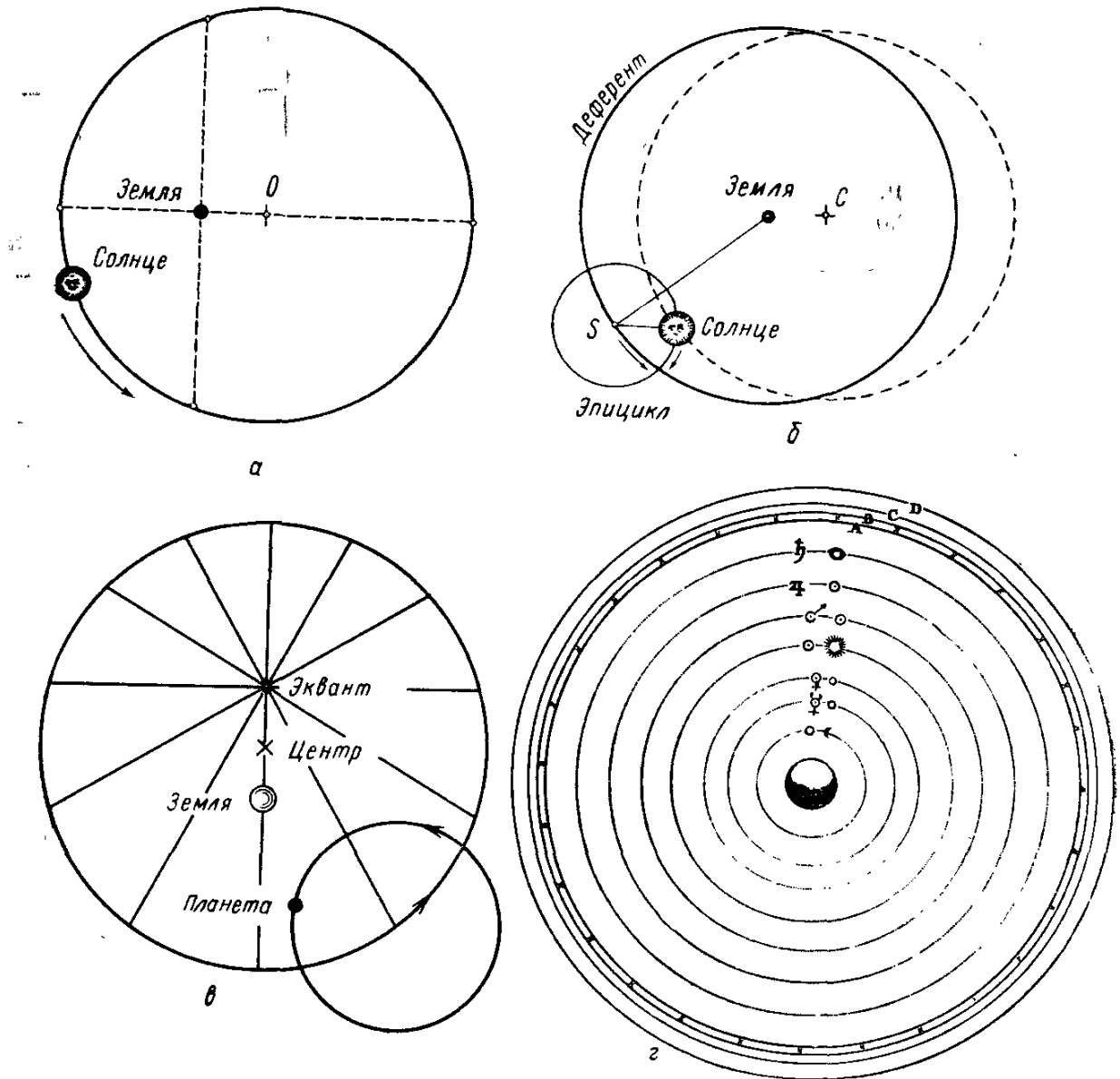


Рис. 11. Геоцентрические системы мира (геометрические модели): а) модель движения Солнца по эксцентрику (Гиппарх), б) принцип эпициклического движения планет (Птолемей), в) эквант Птолемея, г) система мира Птолемея.

За теорию планет Гиппарх не брался сознательно, считая имевшийся наблюдательный материал недостаточным. Но он наблюдал планеты и, в частности, уточнил средние периоды их обращения, что использовал Птолемей.

Сравнение результатов наблюдений разных эпох (что стало в дальнейшем характерным для астрономии) привело Гиппарха к

его наиболее знаменитому результату — открытию прецессии. То, что Солнце возвращается к одному и тому же положению среди звезд за период, больший, чем возвращение его к одному и тому же равноденствию, заметили уже вавилонские астрономы. Но при своем чисто феноменологическом подходе к наблюдению неба они не пытались это объяснить. Гиппарх исследовал вопрос в специальном сочинении «Об изменении солнцестояний и равноденствий» и отметил, что яркая звезда Спика (α Девы), к которой Солнце подходило незадолго до дня осеннего равноденствия, во времена Тимохариса (примерно за 169 лет до Гиппарха), «опережала» точку равноденствия на 8° , а по наблюдениям Гиппарха — лишь на 6° . А так как звезды не двигались друг относительно друга (о чем свидетельствовала неизменность формы созвездий), Гиппарх заключил, что движутся — «отстают» — навстречу Солнцу точки равноденствий и солнцестояний. Первая оценка этой величины Гиппархом была довольно точной: $2^\circ/169$ лет = $47''$ в год (действительная величина $50,3''$). В дальнейшем Гиппарх подтвердил эффект по 18 ярким звездам, сравнивая их склонения по Тимохарису и по собственным измерениям. Но оценку смещения равноденствий в другой работе «О длине года» Гиппарх дал менее определенную («по крайней мере на 3° за 300 лет», в смысле «не менее»). Эффект получил наименование предварения (лат. — прецессия) равноденствий.

И еще одну принципиально новую черту звездной Вселенной открыл Гиппарх. Появившаяся в 134 г. до н. э. в созвездии Скорпиона новая яркая звезда (которую китайцы лишь старательно зафиксировали) навела его на мысль, что изменения могут происходить и в сфере звезд! Чтобы легче замечать такие изменения, он составил каталог положений на небе около 850 звезд и впервые разбил все видимые звезды на шесть классов по их блеску, назвав самые яркие звездами первой величины (он связывал это с геометрическими размерами их).

§ 2. От Гиппарха до Птолемея

Во II—I вв. до н. э. древнегреческая наука переживала упадок. Ее ослабляли и раздоры эллинистических государств, и то, что Греция все больше подпадала под власть Рима (с 27 г. до н. э. она официально стала его провинцией). И тем не менее еще на протяжении двух веков греческая культура определяла облик науки Рима. В период упадка единственным крупным успехом в области наблюдений было открытие халдеем Селевком из эллинистического государства Селевкии (ок. 150 г. до н. э.) зависимости приливов и отливов на море от положения Луны (Селевку приписывают также поддержку идеи вращения Земли). Его современник Посидоний из Апамеи (135—51/50), быть может, не без основания распространил выводы Селевка о приливах на состояние крови, рост деревьев, развитие моллюсков. Посидоний повторил

(впервые после Эратосфена) измерение окружности земного шара, использовав вместо Солнца Канопус (α Килья). Результат оказался близким к эратосфенову (240 тыс. стадиев, при повторе 180 тыс.).

Эпоха «до н. э.» завершилась введением в 46 г. до н. э. императором Юлием Цезарем нового единого календаря, «юлианского» (разработан александрийским астрономом Созигеном), чисто солнечного, по образцу египетского гражданского. Год в нем принимался за 365 $\frac{1}{4}$ суток, а для целочисленности счета дней вводилась система вставок (високосных лет — по 366 дней, через каждые три года на четвертый). В последующие века он распространился на весь христианский мир и употреблялся вплоть до XVI в.

Еще одно событие произошло в этот период (от Гиппарха до Птолемея), но осталось незамеченным и сыграло существенную роль только в конце XVIII в. — римский философ Сенека (младший, ок. 4 г. до н. э. — 65 г.) в обстановке укреплявшейся аристотелевской картины мира высказал противоречившую ей идею — что кометы имеют космическую природу.

Многочисленные натурфилософские сочинения этого периода в основном были компиляциями. Лишь на рубеже новой эры появилось два крупных естественнонаучных труда: знаменитая поэма «О природе вещей» Лукреция Кара, в которой излагались идеи Левкиппа — Демокрита — Эпикура, и не менее знаменитая энциклопедическая «Естественная история» Плиния Старшего (ему принадлежит широко известное доказательство шарообразности Земли: по постепенному погружению под горизонт удаляющегося корабля).

Первый век новой эры был отмечен в греко-римской астрономии еще и появлением нового «универсального» угломерного инструмента, в котором впервые использовался микрометрический винт (описан в сочинении «О диоптре» знаменитого древнегреческого механика и математика Герона Александрийского) [119, с. 188]. В первом же веке Менелай Александрийский в Риме дополнил новыми звездами каталог Гиппарха.

К началу II в. н. э. относится любопытное небольшое сочинение известного римского писателя и историка Плутарха «О лике, видимом на диске Луны» (подобное толкование темных пятен на Луне издавна бытовало у всех народов). Плутарх отстаивал естественное объяснение этой картины и вслед за Анаксагором утверждал сходство поверхности Луны и Земли. Но что особенно интересно, он первым попытался обосновать этот вывод с точки зрения законов оптики. Для доказательства негладкости он сравнил свет, отраженный от зеркально гладкой поверхности воды и от поверхности молока, объяснив матовый вид последней ее шершавостью. Отражение света Луной он сравнивал с отражением от множества разнонаправленных зеркал, т. е., по существу (и, видимо, впервые), описал модель явления рассеяния света. Эта работа интересна как первый намек на постановку и попытку разрешения (так сказать, с помощью лабораторных опытов) астро-

физической (!) задачи — исследования физических свойств небесного тела.

§ 3. Создание первой универсальной математической модели мира на основе принципа геоцентризма. Птолемей

Начатое Гиппархом точное математическое описание (на основе геоцентризма) движений небесных тел было развито и завершено в системе мира великого александрийского астронома и математика Клавдия Птолемея (ок. 87—165). Он был также географом, оптиком, изобрел два новых угломерных инструмента для измерения высоты в меридиане (известный в позднелатинском переводе как «трикветрум» — тройная линейка) и для измерения эклиптических широты и долготы — «астролябон» (название дано Птолемею). Первый стал предшественником степенного квадранта, второй — армиллярной сферы (но не астролябии!). Птолемей разработал математический аппарат астрономии — сферическую тригонометрию и вычислил таблицу синусов от 0° до 180° через каждые $0,5^\circ$ (еще в виде таблицы хорд). Он первым стал изучать перемещения планет и по широте.

Фундаментальный труд Птолемея «Математическое сочинение» (или «Большое сочинение», точнее «построение» — по греч. «Мега́ле синтаксис», откуда и произошло искаженное «Альмагест») ⁷ в 13 книгах (главах) еще в древности получил широчайшую известность. Его справедливо относят к числу немногих наиболее важных книг, созданных за всю историю науки.

Астрономию Птолемей определял как «математическое изучение неба» (тогда как Аристотель назвал ее «наиболее физической из математических наук»). Аристотелем заканчивалась эпоха первого глобального подхода к изучению Космоса и природы, когда еще жила надежда с помощью имеющихся средств понять не только движение, но и сущность небесных тел. С Гиппарха — Птолемея начинается эпоха разумного ограничения цели и выделения более четкого и реалистического направления исследований в астрономии. Таким направлением становилась небесная кинематика. Это был первый шаг к формированию новой, дифференцированной науки.

Рассмотрим кратко содержание «Альмагеста».

В книге I содержатся основные постулаты астрономии Птолемея: о шарообразности Земли, о сферичности и вращении небесного свода, о центральном положении Земли во Вселенной и о неподвижности Земли. Эти постулаты Птолемей рассматривал не как априорные положения, а как предположения, наиболее хорошо, иногда по-новому обоснованные среди альтернативных. Таким по-

⁷ «Мега́ле синтаксис» было превращено арабами в «Аль Маджисти» (от греч. «Мегистэ» — Величайшее).

вым аргументом было для него, например, увеличение при подъеме на гору обозреваемой площади Земли как свидетельство ее шарообразности.

Понимая, что наблюдаемое движение небесного свода может иметь относительный характер и объясняться вращением Земли, Птолемей приводит физико-космологические аргументы в пользу геоцентризма и неподвижности Земли: огненная природа и, следовательно, большая подвижность звезд по сравнению с огромной тяжелой Землей; неизбежность отбрасывания незакрепленных предметов центробежной силой с поверхности вращающейся Земли и отставания находящихся над ней, в воздухе, облаков, птиц, брошенных вверх предметов. Все они должны были бы относиться в сторону, противоположную вращению.

В принципе Птолемей был прав. Если бы не колоссальная масса Земли, по сравнению со всеми находящимися на ней предметами, то все незакрепленные тела действительно были бы отброшены в пространство. В ожидавшейся картине «отставания» от вращающейся Земли тел, брошенных вверх (камни) или уже находящихся в воздухе (облака), Птолемей ошибался лишь в отношении облаков, которые как элемент атмосферы имеют ту же линейную скорость вращения, что и окружающая их область атмосферы. (Но для Птолемея и его предшественников Землю окружала «мировая среда», не связанная с ней в своем движении, отчего, кроме всего прочего, ожидался еще и сильнейший ветер при вращении Земли.) Камни же, сохраняющие скорость места своего «старта», действительно отставали бы при бросании их вверх, или опережали бы вращающуюся Землю при бросании их вниз (например, в глубокую шахту, что и наблюдал в первом количественном опыте по доказательству вращения Земли в 1804 г. И. Бенценберг).

Таким образом, критически рассмотрев и «старую» (400-летней давности тогда!) гелиоцентрическую идею Аристарха Самосского, Птолемей отверг ее как умозрительную, не подтверждающуюся наблюдениями. Птолемей не прибег, однако, к известному аргументу более поздних противников гелиоцентризма, выступивших против системы Коперника, — указанию на ненаблюдаемость параллактических смещений звезд. Вслед за Аристотелем, Аристархом и Архимедом Птолемей считал размеры и, следовательно, расстояние звездной сферы чудовищно громадными по сравнению с размерами Земли (о чем ко времени Коперника было забыто).

В Книгах I и II содержится также описание математического аппарата, используемого Птолемеем; с помощью плоской и сферической тригонометрии решаются задачи о продолжительности дня и времени восхода и захода разных звезд в зависимости от широты места; излагаются закономерности в поведении светил: точное вращение небесной (звездной) сферы, главные движения Солнца, Луны и планет.

В Книге III излагается, по Гиппарху, теория неравномерного движения Солнца и вопрос о длине года и его сезонов. Здесь же Птолемей из повторных, менее точных, как мы видели, результа-

тов Гиппарха «выводит» прецессию в 1° за 100 лет, т. е. $36''$ в год!

В Книге IV Птоломей улучшает теорию движения Луны, обнаружив расхождения выводов Гиппарха с тем, что он получил сам из сравнения вавилонских наблюдений лунных затмений в VIII в. до н. э. и своих собственных. Птоломей уточнил длину аномалистического и драконического месяцев, установил период попятного движения лунных узлов (в 6796,26 суток, $\sim 18,5$ лет) и прямого движения апогея Луны (3231,62 суток).

Усложнив модель лунного движения Гиппарха (движения по эксцентрику), Птоломей ввел дополнительное движение Луны по эпициклу, а центр деферента (гиппархова эксцентрика) «заставил» обращаться вокруг Земли, что позволило предвычислять положения Луны с ошибкой меньше $10'$! Благодаря этому Птоломей сделал свое главное наблюдательное открытие: нового неравенства Луны (эвекция), заподозренного еще Гиппархом. Для более точного описания наблюдаемого движения Луны Птоломей ввел также небольшое колебание лунного эпицикла («просневзис»).

В Книге V описан «астролябон», приведены определения параллаксов Луны (с помощью трикетрума) и Солнца (на основании данных о затмениях, методом Гиппарха). Для расстояния Луны Птоломей получил результат от 39 до 59 радиусов Земли (в его модели с эпициклом оно сильно менялось), для Солнца — 1210 (что совпало с оценкой Гиппарха). Измерив с помощью трикетрума высоту Луны в момент ее наибольшей широты, Птоломей определил наклон лунной орбиты (в $5,0^\circ$).

В Книге VI Птоломей на основании теории движения Луны изложил свою улучшенную теорию затмений. Вместе с тем сразу же проявилась и ограниченность возможностей теории эпициклов: в течение месяца лунный диск согласно этой модели должен был почти вдвое изменять свой видимый поперечник (из-за отмеченного изменения расстояния Луны от Земли), чего не наблюдается. Последнее Птоломей не принимал во внимание, ограничившись решением главной тогда задачи — определения угловых расстояний небесных тел без попытки раскрыть истинное их распределение в пространстве.

В Книгах VII и VIII приведен звездный каталог Гиппарха — Птолемея. Птоломей дополнил список Гиппарха наблюдениями Менелая Александрийского и Агриппы (I в.) и своими собственными, проведенными в 127—151 гг., доведя число объектов до 1025.

Положения звезд из каталога Гиппарха Птоломей, по-видимому, большей частью перевычислил на свою эпоху, приняв для прецессии $36''$ в год.

Наконец, Книги IX—XIII содержат важнейший, фундаментальный и, несомненно, оригинальный вклад Птолемея в астрономию — теорию движения планет. Ее основой стали наблюдения Гиппарха (определения средних периодов обращения планет), Менелая Александрийского и других, а также собственные наблюдения Птолемея. Теория Птолемея была грандиозным успехом человеческой

мысли в математическом анализе явлений природы. Хотя еще Платон наметил программу и дал метод такого анализа — разложение сложного на простые геометрические элементы, почти шесть веков задача в отношении планет считалась едва ли разрешимой. Принятие принципа неподвижности Земли заставляло сложную картину видимых планетных движений относить на счет самих планет. Математик Птолемей блестяще справился с этой задачей. Неравномерные и петлеобразные видимые движения планет он представил как результат сложения равномерных круговых движений по эпициклам, центры которых в свою очередь равномерно же двигались по деферентам, а последние к тому же были еще и эксцентриками по отношению к физическому центру мира — Земле. Движение каждой планеты моделировалось с помощью целой системы деферентов и эпициклов, так что каждый следующий эпицикл служил деферентом для более «высокого» эпицикла. Подбирались относительные размеры и наклоны эпициклов к эклиптике и к своим деферентам, чтобы лучше согласовать модель с наблюдением⁸.

Но наиболее эффективной оказалась одна особая деталь модели. Мало того, что центр основного деферента планеты не совпадал с центром Земли. Такие, немного «сбитые» с центра Вселенной орбиты-эксцентрики, введенные Гиппархом, могли восприниматься лишь как некое незначительное отступление, практически не нарушавшее общего строя и порядка физической Вселенной Аристотеля⁹. В новой модели Птолемея движение по деференту представлялось равномерным не из его собственного геометрического центра, а из особой точки, симметричной с центром Земли относительно центра деферента (рис. 11, в). Эту точку (а нередко и окружность вокруг нее) называли эквантом (лат. — уравнивающий). Таким образом, в системе Птолемея (рис. 11, г) с введением экванта отступление от Аристотеля было серьезнее (чем при введении эксцентриков): нарушался принцип разложения движения небесных тел на истинно равномерные круговые (у Птолемея движение оказывалось неравномерным в принципе, т. е. относительно собственного центра круга!).

А вместе с тем выгода была налицо. На основе своей теории Птолемей составил первые в истории астрономии планетные таблицы, по которым положение планеты вычислялось с той же, как для Солнца и Луны, высокой по тем временам точностью 10'! Недаром слава Птолемея держалась во всем мире полторы тысячи лет.

⁸ Размеры эпициклов (по крайней мере первых) определялись из наблюдений — по максимальному отклонению планеты в квадратурах (т. е. в «точках» смены прямого движения на попятное). Деференты планет считались «колеблющимися» — изменяющими наклон к эклиптике, а для внутренних планет и Марса Птолемей вынужден был допустить аналогичное «качание» еще и плоскостей их эпициклов относительно «своего» деферента.

⁹ В таком допущении проявилось первое вынужденное признание «возмущенных» центров круговых орбит, которые в принципе физически должны были быть гомоцентрическими.

Иная судьба была у экванта — подлинно гениального изобретения Птолемея. Многим последующим астрономам-геоцентристам он казался лишь искусственной деталью, усложнявшей и без того громоздкое построение. Но главное, в нем увидели (и справедливо!) отступление от космологии, вернее, от физической картины мира Аристотеля. Поэтому введение экванта критиковалось, а сам он был отвергнут рядом крупных космологов-геоцентристов, стремившихся улучшить теорию Птолемея.

В действительности, как показали недавние исследования, эквант был введен Птолемеем под жестким давлением фактов, чтобы согласовать теорию с движением наиболее «строптивой» планеты Марса. Главной задачей Птолемея было описать для каждой планеты набор дуг ее наиболее загадочных, попятных, движений (их величины и распределение на небесной сфере) в течение периода обращения планеты. И только у Марса величины этих дуг существенно (в два раза!) различались близ апогея и перигея деферента и явно не вписывались в обычную эпициклическую модель. Введение экванта разрешило проблему: отразило эти различия, дополнительно ускорив видимое движение планеты в перигее и замедлив его в апогее.

Сравнительные расчеты с помощью ЭВМ движения Марса за период 1971—1984 гг. в геоцентрической модели без экванта и с эквантом показали поразительную близость даваемых последней моделью результатов с движением Марса в современной гелиоцентрической модели. Таким образом, Марс (о который в свое время «споткнулся» еще Евдокс и который «подтолкнул» на новые идеи Аристарха) сыграл решающую роль и для Птолемея (как это, спустя полторы тысячи лет, произошло и с Кеплером). По существу, эквант позволил весьма точно отразить некруговое эллиптическое (т. е. истинное!) кеплерово движение (его второй закон), хотя и в геоцентрической, так сказать, перевернутой интерпретации. Введение экванта свидетельствовало о величайшей изобретательности человеческого ума, способного даже в таком перевернутом виде весьма точно отобразить действительность. (Вместе с тем это показало одну коварную особенность процесса познания: возможность неоднозначного отображения действительности в теории для данного уровня точности наблюдений и опыта.)

Птолемей дал первый пример того, как исследователь, совершенствуя начальную приближенную теорию, подходит под давлением фактов к такому моменту, когда упрямые факты заставляют его выйти за пределы привычной картины мира. Такие «нарушения» и становятся предпосылками далеких грядущих революций в науке.

В модели Птолемея впервые проявились и признаки системности: все планеты подчинялись общему, хотя и непонятному в рамках геоцентризма, закону — радиусы-векторы у всех верхних планет в первом (нижнем) эпицикле оказывались параллельными радиусу-вектору Земля — Солнце; движение по первому эпициклу

для верхних планет и по деференту для нижних имело одинаковый годичный, т. е. равный солнечному период.

Подведем итоги. В своем труде Птолемей значительно усовершенствовал математический аппарат астрономии — сферическую тригонометрию. В течение столетий использовались вычисленные им таблицы синусов. Он улучшил гиппархову теорию Луны и создал полную математическую теорию всех известных тогда видимых движений планет. В конструкции Птолемея нашла реализацию и наиболее прямое выражение поразительная по своей глубине мысль Платона — объяснять сложные явления методом разложения их на простые правильные элементы, делающие эти явления доступными для описания на языке математики (которую в дальнейшем два других гения — Леонардо да Винчи, а за ним Галилей назовут «языком Природы»).

Вместе с тем в концепции Птолемея, быть может, именно благодаря ее полноте, явственно обнаружилось существенно различающиеся пределы справедливости, с одной стороны, общей идеи, а с другой — конкретной программы Платона в качестве основ астрономической картины мира. Идея — изучать сложное через разложение на простые элементы — дожила до наших дней и продолжает «работать». Но ее конкретизация в виде программы — свести все движения небесных тел (видимые) к круговым и равномерным (как истинным) — оказалась неоправданно «безграничной» экстраполяцией весьма частного вида движений и потому была отвергнута дальнейшим ходом развития науки (уже к началу XVII в.). Под давлением фактов уже сам Птолемей отступил от этой программы многозначительным введением экванта. Так, в недрах геоцентрической теории по мере ее совершенствования закладывались предпосылки ее будущего краха.

Теория Птолемея получила широкую известность¹⁰ и произвела огромное впечатление не только на его современников. В последующие века, начиная с III в., ее изучали в учебных заведениях, комментировали. Попав (еще до гибели Александрийского научного центра в VII в.) в Индию, а оттуда, к VIII в., к арабским астрономам и математикам, «Альмагест» в арабском переводе достиг в IX в. Европы. Здесь теория Птолемея после ее освоения и препарирования богословами безраздельно господствовала вплоть до XVI в.

Вместе с тем теория Птолемея как весьма точное по тем временам математическое описание движений Солнца, Луны и планет, способная предвычислять астрономические явления, в течение многих столетий обеспечивала нужды практической вычислительной астрономии, способствовала развитию мореходства и торгов-

¹⁰ По некоторым сведениям [31, с. 91], Птолемей изложил свою планетную теорию также и в отдельном сочинении «О планетных гипотезах», а кроме того обнаружил соответствующие планетные таблицы в виде «посвятительной надписи», которая была установлена им, по обычаю того времени, на площади в египетском городе Канопе.

ли, в значительной степени стимулировала и обеспечила великие географические открытия.

Глава V

КОНЕЦ «ДРЕВНЕГРЕЧЕСКОГО ЧУДА». ПОСЛЕДНИЙ ОПЛОТ ЭЛЛИНИЗМА — АЛЕКСАНДРИЯ (III—VII вв.)

§ 1. Эллинизм и христианство

С III в. начался закат древнегреческой культуры, просуществовавшей почти тысячу лет. Последним оплотом древнегреческой эллинистической культуры оставалась еще в течение нескольких веков Александрия. Однако постепенно укреплявшееся в Риме христианство (нешадно сначала преследуемое, но в 311 г. провозглашенное государственной религией Рима) стало заявлять о своих правах и здесь. Оно стремилось подчинить не только души, но и умы авторитету Священного Писания, порицая всякий анализ природы. В борьбе церкви с древнегреческим язычеством наука и философия эпохи эллинизма также сначала отбрасывались как опасные направления, порождающие ересь. Но затем постепенно и они были приспособлены к нуждам христианства.

Правда, и среди ранних христианских теологов-ученых первых трех веков были мыслители с критическим умом. Они стремились совместить христианские догмы и античную натурфилософию и науку. Таков был Филон Александрийский (I в. н. э.). В III в. его последователи Климент Александрийский и особенно Ориген, осознавая противоречие между библейским описанием «творения мира» и очевидной действительностью (согласно Библии, например, бог «работал» днем и ночью еще до создания Солнца), подчеркивали символический, не буквальный смысл Библии.

Попытка объединить античную натурфилософию и христианство ярко выразилась в космолого-космогонических воззрениях Оригена (ок. 185—254), уроженца Александрии, до 231 г. возглавлявшего там христианскую философскую школу. Являясь одним из наиболее крупных апологетов раннего христианства, богословом-теоретиком, он отстаивал на основе христианства идею... множественности населенных миров и даже множественности вселенных (т. е. земель с окружающими их звездными сферами). Ориген считал их конечными и во времени, и в пространстве, тогда как процесс зарождения и гибели таких вселенных представлялся ему бесконечным. Однако эти идеи, близкие к идеям Демокрита, Ориген обосновывал так: «Если Вселенная имеет начало, то чем проявлялась деятельность Бога до сотворения Вселенной? Грешно и вместе с тем безумно было бы думать, что божественная сущность

пребывала в покое и бездеятельности¹¹ и было время, когда благодать ее не изливалась ни на одно существо, а всемогущество ее ничем не проявлялось. Полагаю, — продолжает Ориген, — что еретик нелегко ответит на это. Что касается меня, то скажу, что Бог приступил к своей деятельности не в то время, когда был создан наш видимый мир, и подобно тому как после окончания последнего возникает другой мир, точно так же до начала Вселенной существовала другая Вселенная... Итак, следует полагать, что не только существуют одновременно многие миры, но и до начала нашей Вселенной существовали многие вселенные, а по окончании ее будут другие миры».

Если убрать здесь слово «бог» и заменить его саморазвивающейся материей, то перед нами предстанет едва ли не новейшая космологическая концепция! Однако именно идея волевого вмешательства бога во все наблюдаемые явления вела к утрате самостоятельности мышления, глушила попытки исследования природы. Именно этим, прежде всего, отмечена в истории культуры наступавшая мрачная (особенно для Европы) эпоха средневековья. Сам Ориген, сначала изгнанный в Палестину христианской церковью, был осужден затем при гонении на христиан и умер от пыток в тюрьме. А вскоре в историю знаний были вписаны имена новых жертв — уже христианского фанатизма и нетерпимости. Посмертно Ориген был также объявлен еретиком в рамках христианского учения — за недозволенный, аналитический подход к богословию.

§ 2. Крушение эллинизма под ударами христианства.

Гипатия

В III—V вв. наследники античности и эллинизма еще пытались защитить свою идейную самостоятельность и сокровища науки и культуры прежних веков. Против христианской церкви выступили представители последней школы антично-эллинистической натурфилософии — неоплатонизма. Он возник в Александрии во II в. и был наиболее детально развит Плотинем (203—269). Неоплатоники претендовали на создание универсальной философско-религиозной системы на языческой древнеэллинистической основе. В своих притязаниях на универсализм и влияние в массах неоплатоновская философия столкнулась с могучим конкурентом, утверждавшимся христианством, и в конце концов была уничтожена им.

В этот период еще действовали знаменитые школы в Афинах — Академия, основанная некогда Платоном, Лицей Аристотеля. Александрийский Музеум — высшая школа эллинистической науки и культуры — еще располагал богатой библиотекой — книгохранилищем «Серапейон» при языческом храме Сераписа.

¹¹ *Вспомним, впрочем, противоположную аргументацию Эпикура против вмешательства богов в формирование миров.*

В конце IV — начале V в. в Александрии жила и работала первая известная в истории науки женщина-математик, астроном и философ Гипатия (ок. 370—415), дочь александрийского математика Теона Младшего Александрийского, комментатора «Альмагеста» (автором третьей книги комментариев он называет Гипатию). Гипатия с 390 г. читала в Александрийском Музее лекции по философии и преподавала математику и астрономию. Она занималась комментированием, помимо «Альмагеста», сочинений Платона, Аристотеля, Аполлония Пергского, Диофанта. Ей приписывают конструирование и изобретение некоторых астрономических инструментов (планисферы, например).

Как авторитетный философ, и, видимо, талантливый оратор, Гипатия стала центральной фигурой, вокруг которой объединялись неоплатоники. Однако острые столкновения с укрепившимся христианством, резкие разногласия среди самих неоплатоников, разбившихся на секты, — все это привело к усилению гонений на языческий эллинизм. Невежество большинства населения и неизбежный спутник его — религиозный фанатизм становились грозным оружием в руках церкви. В 391 г. по наущению архиепископа Феофила толпа разгромила книгохранилище «Серапейон». Жертвой политических интриг церковников стала и Гипатия. Она была зверски убита толпой фанатиков-христиан в марте 415 г. В 475 г. была разгромлена и сожжена богатая библиотека — она же высшая школа — в Константинополе, столице нового государства Византии.

Раздел третий

КОНТРАСТЫ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Большое заблуждение процветает
легче большой истины, потому что
легче верить, чем шевелить мозгами.

А. Дрезс

Верьте доказательствам разума, а
не авторитетам, ...оттачивайте ис-
кусство рассуждения.

П. Абеляр

Глава I

ВВЕДЕНИЕ.

НАУКА ПОД ВЛАСТЬЮ РЕЛИГИИ

В течение столетий после коперниканского революционного переворота в естествознании и вплоть до середины XX века средние века (IX—XV) считались мрачным провалом в истории науки ввиду полного подчинения духовной жизни людей власти новых, централизованных форм религии. В Европе это была власть христианства. В богословии же господствовали крайний догматизм и традиционализм, исключавшие всякую возможность самостоятельного изучения окружающего мира. Последнее подменялось изучением, вернее, заучиванием утверждений Библии и препарированных церковниками учений Аристотеля и Птолемея.

Аналогично не признавала истины вне Корана и новая религия Востока, ислам, основанный в VII в. и ставший государственной религией в арабском мире (а позднее проникший и в Индию). Беспрекословного подчинения требовали и другие «мировые» религии, например буддизм в Индии, распространившийся в средние века также и на Китай.

Но даже в таких условиях (как это стало выясняться, к немалому удивлению самих историков, непредубежденно занявшихся в XX в. изучением средневековых трактатов) люди не переставали размышлять об устройстве, законах и происхождении окружающего мира.

Чем же обогатило астрономию и астрономическую картину мира, или по крайней мере какую роль сыграло в их развитии средневековье?

В этот период происходил сложный процесс искоренения и одновременно усвоения языческого древнегреческого наследия во всех регионах Старого Света (Новый еще не был открыт). Формировались резко контрастировавшие представления об окружающем мире: с одной стороны, примитивные, насаждавшиеся церковью, а с другой — гениальные, порой, прозрения отдельных мыслителей, которые, хотя и смотрели на мир также сквозь призму религии, но, общаясь непосредственно с натурфилософскими сочинениями древних греков, вдохновлялись их творческой энергией. В обстановке эклектического смешения старых натурфилософских учений и новых религиозных догм вырабатывались совершенно иные, противоречивые представления о пространстве, времени, о форме и протяженности Вселенной. Сферически-циклический мир древних греков, мир совершенных форм и движений, завершенности и гармонии вытеснялся примитивной картиной плоской Земли. Но рядом с этими общепринятыми представлениями зарождалось представление и о Вселенной как об однородном и «плоском» бесконечном пространстве. Время уже не связывалось с наблюдением циклических небесных движений, но воспринималось как «прямолинейное» — от прошлого к будущему — течение событий, начиная с акта творения мира Богом.

Глава II

АСТРОНОМИЯ ВИЗАНТИИ И ЕЕ КУЛЬТУРНОГО АРЕАЛА (IV—XV вв.)

§ 1. Судьба астрономии и астрономической картины мира

Колоссальная и уже потому трудно управляемая Римская империя в конце IV в. окончательно разделилась на два самостоятельных государства — Западную Римскую империю со столицей в Риме и Восточную, столицей которой стал новый город, построенный в 330 г. на месте селения Византий и названный в честь основателя — императора Константина I — Константинополем. С 476 г., после разгрома Рима северным племенем скиров, Западная Римская империя прекратила свое существование. Дальнейшая судьба наследия древнегреческой культуры оказалась связанной с Византией, вернее, с Ромейской державой (так называло это государство его население, пестрое по национальному составу, но считавшее себя римлянами, или «ромеями»).

С одной стороны, окончательное утверждение уже к IV в. христианства исключило возможность существования демократической греческой и даже греко-римской культуры. Духовная власть хри-

стианства, быть может, впервые за всю историю человечества стала активно формировать «массовую культуру»: богословы насаждали убеждение в невозможности, ненужности и даже греховности попыток узнать о мире больше того, что сказано о нем в Библии¹. С другой стороны, Византия стала хранительницей древнегреческого научного, натурфилософского наследия. В ее монастырях оседали и сохранялись античные рукописи и труды эллинистической эпохи. При полном подавлении в Византии светского образования монастыри становились центрами по крайней мере книжной учености. Позднее это же стало характерным и для Европы средних веков.

Знакомство с классическим наследием открывало перед образованными монахами богатства античной и эллинистической науки и философии. Но в атмосфере новой христианской идеологии учения древних авторов требовали пояснений, истолкований, что породило целую эпоху комментаторства. При этом древнегреческие учения препарировали, подгоняли под уровень нового мышления. Вместе с тем труды древности становились образцами, более того, единственными источниками знаний. Последнее получило наименование схоластики (от греческого слова «схола», или школа — обучение по готовым образцам). Главными объектами комментирования стали сочинения Аристотеля. В окружении народов, находившихся на несравненно более низком уровне развития, Византия после падения Рима в течение нескольких веков оставалась изолированным островом культуры, пока под влиянием того же греческого наследия не сформировались новые культурные центры на Востоке. Но культура и особенно натурфилософия Византии отличались пестротой и эклектизмом.

Перед астрономией была поставлена новая задача: обеспечить составление пасхалий — лунно-солнечных таблиц для расчета даты наступления главного христианского праздника — пасхи. Пасха отмечается в первое воскресенье после весеннего равноденствия и после новолуния. Поэтому день ее перемещается в пределах марта — апреля. В связи с этим уже в VIII в. некоторые образованные богословы Византии осознали необходимость совершенствования юлианского календаря. Вместе с тем до сих пор среди историков существуют разногласия относительно того, проводились ли в Византии астрономические наблюдения. Во всяком случае не известно ни одного астрономического наблюдательного открытия, которое было бы сделано в этом книжном центре за все его более чем тысячелетнее существование (с 395 по 1453 г.).

На развитии натурфилософии в Византии отразилось то, что в первые века своего утверждения (III—V вв.) христианство сосуществовало и вынуждено было делить свой авторитет с еще вы-

¹ Один из ранних христианских богословов Тертуллиан (ок. 150—222) еще до официального утверждения христианства в Римской империи возмущенно вопрошал: «Что общего между Афинами и Иерусалимом, между Академией и церковью, между еретиками и христианами? Нам после Христа не нужна никакая любознательность, не нужно никакого исследования».

соким авторитетом античных и эллинистических классиков. Так, в IV в. византийские философы-богословы и комментаторы Василий Великий, Григорий Нисский, а позднее, в IX в., один из наиболее образованных людей в Византии епископ Фотий — утверждали, например, что шарообразность Земли не противоречит Библии. Много позднее, к XIII в., западная христианская церковь окончательно приспособила к своей идеологии наиболее упорядоченное, опиравшееся на древнюю традицию геоцентризма и центрального положения человека в мире учение Аристотеля. Возросла роль сочинений, комментировавших классиков и помогавших, в частности, отличить подлинные древние сочинения от появившихся подделок. Наиболее серьезно комментаторская деятельность велась в Александрии (вошедшей в состав Византии). Поэтому для Византии было характерно возникновение учений — и в философии, и в космологии — из смеси античных концепций Платона, неоплатонизма Плотина и христианских представлений о Едином Боге, стоящем во главе Вселенной и творящем материальную Вселенную «из ничего». Эту последнюю идею отстаивал выдающийся христианский богослов Августин Блаженный (354—430). Вместе с тем общение с классическими авторами тренировало мысль, и новые, христианские философы-богословы пытались самостоятельно, по-новому развить фундаментальные идеи, например представления о пространстве и времени. Так, именно Августин Блаженный на новой христианской основе первым попытался переосмыслить понятие времени, связав его в отличие от греков не с циклическими небесными движениями, а с ощущением неповторяемости библейских событий. Появились и первые критические выступления против физики Аристотеля.

Видимо, последней яркой фигурой ученого (не богослова!) в Византии был незаурядный мыслитель VI в., физик-механик, комментатор естественнонаучных трудов Аристотеля Иоанн Филопон (букв. — «Трудолюб»). По существу, он стал предтечей Галилея в механике. Критикуя механику Аристотеля, Иоанн Филопон отрицал, в частности, как абсурдное утверждение, что воздух поддерживает движение летящей стрелы. Он правильно указывал, что среда может лишь уменьшать скорость тела, что последняя максимальна в пустоте. Пример движения без сопротивления окружающей среды Филопон видел в движении небесных тел. Он впервые высказал идею, что с силой брошенному телу источник движения сообщает некую внутреннюю силу, которая поддерживает его движение и определяет его скорость. Эти идеи в XIV в. развил Жан Буридан (см. ниже).

При всей приниженности человека в христианском мире как личности (чем отличалось, впрочем, и мировоззрение поздней античности), убежденности в его полной зависимости от воли Творца, человек в обобщенном смысле представлялся центром Вселенной и целью творения.

В такой обстановке полной эклектичности мысли даже унаследованные от античности и еще принимавшиеся в начале сред-

невековья в византийской космологии некоторые правильные идеи и естественнонаучные сведения о Космосе (например, о шарообразности Земли) постепенно приглушались. То же наблюдалось в Западной Римской империи в первые века новой эры. Так, римский писатель Тацит объяснял белые ночи на севере плоской формой этих частей Земли. О крайнем упадке знаний говорило высмеива-

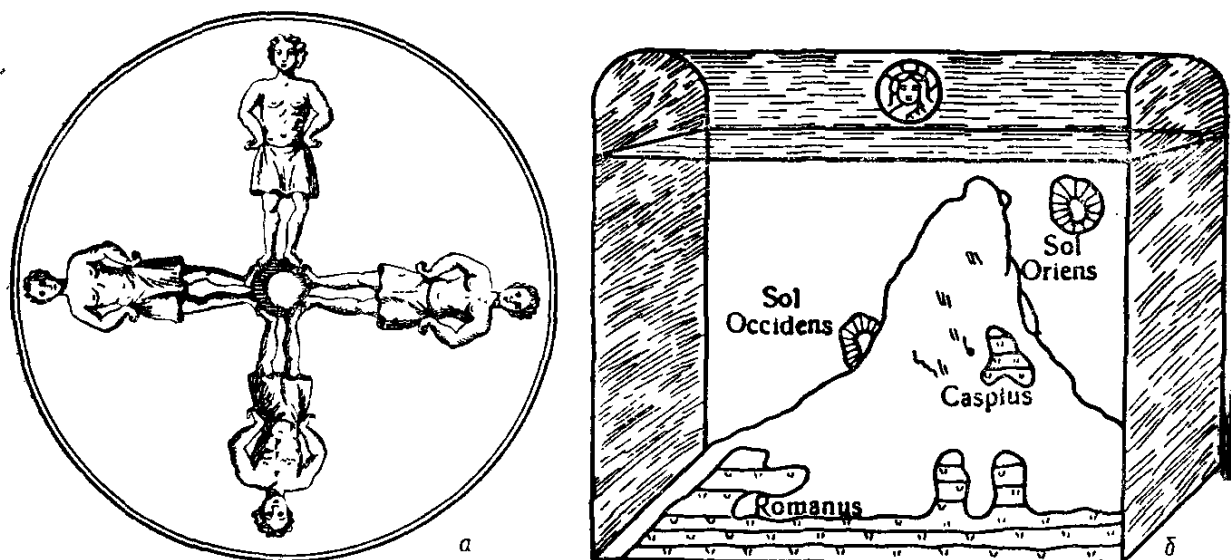


Рис. 12. Средневековые представления о мире: а) «опровержение» шарообразности Земли, б) схема мира по Косме Идикоплову

ние византийскими богословами V в. идеи существования антиподов и, следовательно, идеи шарообразности Земли (рис. 12, а). О том же говорит появление ок. 547 г. в Византии и широкая популярность чрезвычайно примитивной «модели мира» купца и путешественника, впоследствии византийского монаха Космы Индикоплова (рис. 12, б). Он изложил плоды своей «учености» в книге «Христианская топография Вселенной, основанная на свидетельствах Священного Писания, в коем христианам нельзя сомневаться». Четырехугольная Земля, соединенная с небом, представленным в виде твердого свода, прямыми стенами; смена дня и ночи, объясняемая заходом Солнца за гору на севере, — вся эта «астрономическая картина мира» стояла на уровне, едва ли не более низком, чем в сказаниях иных «диких» племен Африки и Океании.

Попытки создать новые цельные учения о Вселенной в это время являлись смесью немногих наблюдательных сведений и богословия. Таковы, например, учение о сотворении мира Богом за шесть дней — «Шестоднев», а также переложение космологических учений античных и эллинистических авторов в энциклопедическом труде одного из образованнейших византийских писателей VIII в. Иоанна Дамаскина «Источник знаний». Непрерывная традиция изучения и комментирования античного наследия, особенно трудов Аристотеля и Птолемея, сохранялась и далее, усилившись к IX в., когда начались культурные контакты с арабским миром.

Прежде чем начались эти мирные контакты, Византия не раз подвергалась разорительным набегам «варваров» — кочевников с севера и востока. Главная опасность надвигалась с юга и востока, где зарождалась новая мировая империя — арабская, сначала халифат Омейядов со столицей в Дамаске, а затем Аббасидов со столицей в Багдаде. Наибольший урон византийской культуре был нанесен в результате разгрома в VII в. арабами Александрийского научного центра. Вместе с тем в качестве военных трофеев научное наследие древних греков из Византии стало распространяться и на Востоке и постепенно усваивалось завоевателями. Из Византии через арабов древнегреческое наследие пришло позднее и в Западную Европу.

§ 2. Астрономические представления на Руси

До принятия христианства (988 г.) на территории Руси среди племен восточных славян существовала лишь фольклорная астрономия. Об этом свидетельствуют некоторые находки (например, с изображением созвездия Большой Медведицы, а также Плеяд — на камне). Есть сведения, что и здесь существовал языческий астрономический календарь с лунно-солнечной или лунной основой.

С X — XI вв. тесные связи с Византией подняли культурный уровень сначала Киевской Руси, а затем и других русских княжеств настолько, что он стал выше западноевропейского. Как и в Византии, центрами книжной учености становились монастыри. Здесь велась регистрация в летописях и астрономических событий: в 1064 г. сделана запись о солнечном затмении; в 1066 г. отмечалось появление яркой кометы (Галлея); раньше, чем в европейских хрониках, был отмечен протуберанец — во время солнечного затмения 1185 г. (нашедшего отображение в «Слове о полку Игореве») и др. Интерес к астрономическим явлениям отразился даже в быту: в богатых домах в XI—XIII вв. потолки нередко украшались изображением звездного неба. Вместе с тем усиливались гонения со стороны церкви на астрологию, а с нею и на астрономические сочинения, на «остронумею», которую православные церковники не очень отличали от астрологии (науки бесовской, так как она претендовала на предсказания событий независимо от воли божьей). От этих времен сохранились лишь разрешенные церковной цензурой «Шестодневы», а также эклектические описания мироздания, например в сборнике «Толковая Палея» XIII в. (где Земля еще не представлена шаром, но уже держится «ни на чем», «волей божьей», светила же двигают ангелы). В этом сборнике была изложена, хотя и с искажениями, система небесных сфер Аристотеля. Большое распространение на Руси в это время получило и упоминавшееся выше сочинение Космы Индикоплова.

Татаро-монгольское иго почти на три века выключило большинство русских земель из сферы развития европейской цивилизации (неразоренными, хотя также обложенными данью, остава-

лись лишь северо-западные области, среди них Новгород). Лишь с конца XV в. вновь оживает интерес к естественным наукам — теперь уже в объединенном Москвой Русском государстве. Это выразилось в появлении книг по естествознанию, именно по астрономии. В них более правильно излагались геоцентрические представления Аристотеля — Птолемея. Они знакомили читателей с некоторыми астрономическими закономерностями. Такими были книги «Шестокрыл» (лунные таблицы на шести страницах, позволявшие вычислять моменты затмений), «Космография» (русский перевод известного сочинения XIII в. «Сфера Вселенной» Сакробоско). Этими книгами наиболее передовые люди того времени (главным авторитетом среди них был выходец из Литвы еврейский ученый Захарий Скара) выражали свой протест против засилья религии в науке. Протест вошел в историю Руси как «ересь жидовствующих». Книги были запрещены церковью, а проповедники астрономических знаний подвергались тюремному заключению, и часть их в начале XVI в. была публично предана сожжению.

Глава III

АСТРОНОМИЯ

СРЕДНЕВЕКОВОГО ВОСТОКА

§ 1. Астрономия и натурфилософия Индии

1. Новая, постведическая эпоха — выделение астрономии из натурфилософии — наступила в первые века новой эры. В это время появляются сочинения математико-астрономического содержания — сиддханты (букв. — «решения», «окончательные утверждения»), обычно без определенного автора, своего рода курсы теоретической астрономии. Известно пять сиддхант. В первых из них еще переписаны некоторые сведения из более древних «Вед». Но в других, например в «Вашиштха-сиддханте», приводятся сведения и методы, опирающиеся на специальные наблюдения, проведенные в новое время («нашу эру»). Здесь описаны методы определения средней продолжительности дня (с помощью гномона), положения эклиптики — ее высоты над горизонтом (по длине полуденной тени гномона в моменты солнцестояния). Приводятся длины тропического и звездного годов, а также синодические периоды движения пяти известных тогда планет.

Сиддханты не были вполне оригинальными произведениями индийцев. Одну из них, по словам знаменитого среднеазиатского астронома Бируни (X в.), написал греческий астроном и астролог эпохи эллинизма Павел из Александрии (об этом говорило уже ее название «Паулиша-сиддханта»). Аналогично «Ромака-сиддхан-

та» была составлена, видимо, под влиянием астрономической науки времен Римской империи. Наиболее важным событием ранней эпохи развития наблюдательной и теоретической (вычислительной) астрономии в Индии было появление пятой сиддханты («Сурья-сиддханта»), по одному из имен бога Солнца — Сурья), которая представляла собой, очевидно, индийский вариант «Альмагеста». Она была разделена на 14 частей (у Птолемея их было 13) и содержала описание движений и положений пяти планет, лунных и солнечных затмений. В ней излагались методы «нахождения одинакового положения светил и созвездий» (видимо, циклически повторяющегося), описывались астрономические приборы и инструменты.

2. Основоположники индийской астрономии и физики. Знаменитый индийский математик Ариабхата (ок. 476—ок. 550) был родом из Южной Индии. Сохранилось его единственное сочинение «Ариабхатия» (449 г.), уже в VIII в. переведенное арабами с санскрита под названием «Зидж ал-Арджабхар» и только в XIX в. переведенное на европейские языки. Оно представляло собой энциклопедию знаний индийцев как в математике, так и в астрономии, накопленных к V в., и было написано весьма своеобразно — в традиционном для древнеиндийской науки стиле: стихами без рифмы, в виде утверждений и правил расчетов, приводимых без каких бы то ни было объяснений. В трактате 118 строф, примерно две трети их посвящено астрономии (два из четырех разделов — «Определение времени» и «Небесная и земная сфера»).

В основу этого сочинения было положено содержание наиболее значительного безымянного труда IV—V вв. «Сурья-сиддханта», к которому Ариабхата составил свои комментарии (утраченные, однако, уже к X в.). В трактате описаны (еще в громоздкой словесной форме) основные понятия и правила вычисления различных величин в сферической и практической астрономии: координат светил, мест на Земле, диаметров тени Земли или Луны, соответственно, для предвычисления и определения типа лунного и солнечного затмений. Строение мира изложено в нем по более ранним сиддхантам. В нескольких «правилах» повторялось, что «Земля расположена в центре Вселенной», «земная сфера, будучи совершенно круглой, расположена в центре Вселенной, в середине круга созвездий, окруженная орбитами планет»; «ниже созвездий расположены Сатурн, Юпитер, Марс, Солнце, Венера, Меркурий и Луна, а ниже их находится Земля, расположенная в центре Вселенной...» Аналогично без чертежей и схем, а лишь в виде словесных утверждений — «правил» кратко описана «теория» движения планет (с помощью эксцентриков и эпициклов).

Астрономическая часть трактата Ариабхаты стала первым более или менее полным справочником по астрономии в Индии. Хотя она имела явно заимствованный — от греков — характер, излагавшиеся здесь астрономические учения оказывались частично переосмысленными. Так, Ариабхата соединял идеи весьма различных учений, казавшиеся ему более приемлемыми: считая, в духе Птолемея, Землю («земную сферу») центром Вселенной, он допус-

кал вместе с тем (хотя и в весьма нечеткой форме) суточное вращение Земли.

Что касается математической астрономии, то заслугой Ариабхаты является введение им в числе первых функции синуса и применение ее в астрономии, изложение правила определения углового диаметра земной тени на лунной орбите, длительности затмения, определение типа затмения (в том числе степень частного затмения). Неизвестно, по каким данным Ариабхата с очень высокой точностью вычислил продолжительность тропического года: 365,2586805 суток (хотя последние пять знаков здесь фиктивны).

Комментарии на «Ариабхатию» составлялись в Индии с VI в. (Бхаскара I) вплоть до XVI в. Несмотря на элементарность и заимствованный характер приводимых Ариабхатой правил, можно понять восхищение смелостью его труда, выраженное знаменитым среднеазиатским астрономом X в. Бируни. Достаточно познакомиться с критикой «Ариабхатии», чтобы понять, насколько воззрения ее автора были прогрессивнее, чем даже у более поздних индийских астрономов и философов: Варахамихиры (VI в.) и Брахмагупты (VII в.). Известный математик, астроном и философ VII в. Брахмагупта критиковал его почти словами Птолемея: «Последователи Ариабхаты говорят, что Земля движется, а небо покоится. Но в их опровержение было сказано, что если бы это было так, то камни и деревья упали бы с Земли» (аргументы Птолемея даже усилены и искажены: он говорил лишь об отрыве незакрепленных предметов). Брахмагупта утверждал, что идея вращения Земли нарушила бы гармонию неба, так как не могла бы согласоваться с видимым движением звездного неба.

В критике объяснения затмений в «Ариабхатии» особенно поражает живучесть первобытно-примитивных представлений в индийском мировоззрении в век уже значительно развитых здесь других областей знаний. «Среди людей есть такие, — писал Брахмагупта, — которые думают, что затмения не вызываются Головой². Это абсурдное мнение, ибо это она вызывает затмения, и большинство жителей мира говорят, что именно она вызывает их. В Ведах, которые есть слово божие, из уст Брахмы говорится, что Голова вызывает затмения. Напротив того, Ариабхата, идя наперекор всем, из вражды к упомянутым священным словам, утверждает, что затмение вызывается не Головой, а только Луной и тенью Земли... Эти авторы должны прекратить свое сопротивление большинству, ибо все, что есть в Ведах, в «Смрити» и в «Самхитах», — верно» [22, с. 102].

Брахмагупта (598—?), родом из Удджайны в Средней Индии, был автором двух известных математико-астрономических сочинений: «Брахмаспхута-сиддханта» (628) и «Кхандакхадьяка» (655).

² В древней индийской мифологии Луну и Солнце время от времени пытается проглотить отрубленная голова дракона Раху, который на пиру богов не по чину приложился было к чаше с напитком бессмертия. Поэтому, хотя голову ему отрубили, но уже «пропитанная» чудесным зельем она сохранилась, и притом весьма агрессивной.

И если в первом содержалась приведенная выше резкая критика прогрессивных идей Ариабхаты, то в более позднем ее уже нет. В сочинении 628 г. рассматривались вопросы о форме неба и Земли, об определении времени, о затмениях, лунных стоянках, соединениях и противостояниях планет, о среднем и истинном положении их на небе, о сферической астрономии. Там же описывались известные тогда инструменты. Как и у Ариабхаты, более оригинальной была математическая часть труда. В частности, Брахмагупта ввел отрицательные числа. Ему же иногда приписывается идея тяготения.

Через переводные сочинения «Брахмаспхута-сиддханта» и «Ариабхатия» арабы впервые в конце VIII в. познакомились с теорией Птолемея. Труд самого Птолемея был переведен с греческого на арабский лишь в IX в.

В трудах индийцев значительное развитие получил математический аппарат астрономии, особенно тригонометрия. После этого, попав в руки блестящих и неутомимых наблюдателей и конструкторов — арабов и среднеазиатских астрономов, теоретическая астрономия Птолемея — Гиппарха стала на несколько веков эффективным рабочим инструментом для определения и предсказания важных в астрономии величин и явлений. Важным моментом в развитии точных наук было введение экономной индийской позиционной системы записи чисел в десятичной системе счета вместо громоздкой (буквенной) греческой. Не в последнюю очередь рост внимания к теоретической вычислительной астрономии стимулировался также и распространенной здесь астрологией.

В натурфилософии средневековой Индии продолжали сосуществовать как идеалистическое учение упанишад, духовных наследников вед, так и первые материалистические философские учения — локаята (позднее чарвака) и санкхья. В философии локаятиков проводилась идея о двух видах восприятия — внешнем, опирающемся на ощущения, и внутреннем, возникающем в результате внутренней переработки сознанием внешних восприятий. Последователи локаятиков — чарваки учили о вечности Вселенной, о возникновении всех вещей из элементов путем их соединения в разных сочетаниях при сохранении одной и той же материальной основы. Даже в отношении сознания локаятики утверждали, что оно — результат чрезвычайно сложного сочетания и проявления неких первоначальных материальных элементов. Но провозгласив ощущение единственным источником знания, локаятики-чарваки ограничили полет человеческой мысли, не допуская умозрительных заключений, гипотез. Это кредо локаятиков (а к ним принадлежал Ариабхата и его ученики) высказал Бируни: «Нам достаточно знать то пространство, которого достигают солнечные лучи, и нам нет нужды в том, куда они не добираются, хотя бы оно было очень велико само по себе. То, до чего не достигают солнечные лучи, не может быть познано чувственным восприятием». Крайним выражением такого учения стал в VIII в. в Индии агностицизм.

Более глубоким материалистическим учением и в начале средних веков еще оставалась санкхья, утверждавшая, что в основе всего лежит материальный принцип, что материя существует в двух формах — непроявленной (авьякта) и проявленной (вьякта). Проявленная форма — это мир конкретных вещей, непроявленная — принцип материальности, который присутствует в каждой вещи. Процесс миротворения состоит в распаде первичной целостности — авьякты — на ряд отдельных материальных форм, не более отличающихся от первопричины, чем гончарные изделия от глины, из которой они изготовлены. Импульс к самодвижению, развитию мира заключен в изначальной природе вещей. В процессе трансформации «пракрити» (первоматерии) возникают и живые существа. В санкхье отрицалась идея бога-творца. Учения санкхья и локаятика были близки к идеям Левкиппа, Демокрита, Эпикура и Лукреция Кара. Учение санкхья высоко оценил Гегель за близость к диалектике.

Весьма интересные идеи содержались и в учении джайнизма (возникшем за несколько веков до нашей эры). В основу представлений о мире джайнисты положили представление о пустом пространстве, ограничивающем материю, о самой материи (пудгала), эфире (акаша), принципе движения (дхарма) и принципе неподвижности (адхарма). Термин «материя» (пудгала) составлен был из слогов, означавших «соединять» (пуд) и «разъединять» (гала). Суть материи мыслилась в единстве этих процессов. Пудгала считалась состоящей из четырех элементов: земли, воды, огня и воздуха, проявляющих себя в твердом, жидком и газообразном состояниях. Но эти элементы представлялись лишь как «принципы бытия материи», в чистом виде невозможные. Материальные сущности состоят согласно джайнизму из атомов (ану) и молекул (скандха), возникающих в результате как распада твердых тел, так и самосоединения атомов. Атомы мыслились различающимися величиной, поверхностью (гладкие и шероховатые) и еще чем-то вроде энергии. Соединение атомов происходило в зависимости от их «энергетического заряда». В средние века была высказана также идея «нейтральной частицы» — из сочетания двух атомов разных свойств, нейтрализующих друг друга.

Но в средневековой Индии преобладало все же идеалистическое учение веданта, преемница упанишад. И даже широко распространенное первоначально материалистическое учение санкхья в конце средних веков скатилось к признанию бога. Видимо, здесь проявилось давление укрепляющейся государственной религии — буддизма.

§ 2. Астрономия и астрономическая картина мира средневекового Ближнего и Среднего Востока (VIII—XV вв.)

Новый мировой регион так называемой арабской культуры сформировался в VII—X вв. на обширной территории Арабского халифата (от нынешних Ирана, Ирака и Средней Азии на востоке до

Сев. Африки и Испании на западе). Новая империя возникла в результате завоевательных войн арабских племен с аравийского полуострова, объединенных под знаменами ислама. Арабская культура, выросшая на ассимилированной культуре завоеванных народов, прежде всего колоний Византии, продолжала развиваться и после распада к X в. халифата на отдельные государства. После разгрома халифата в XII в. монголами наследниками арабской культуры стали представители нового, среднеазиатского культурного региона на территории нынешних среднеазиатских республик СССР и отчасти Ирака, Ирана, Афганистана. Хотя уже в VII в. в руки арабов попали сокровища античной и эллинистической (александрийской) науки и культуры, знакомство с этими сокровищами началось лишь век спустя, главным образом через Индию. Один из первых багдадских халифов аль-Мансур собрал вокруг себя ученых с Запада и из Индии, и по его приказу в последней четверти VIII в. были переведены на арабский язык индийские сиддханты Брахмагупты и Ариабхаты. Уже вскоре при дворце халифов в Багдаде в «Доме мудрости» и в созданной здесь обсерватории группа ученых из сирийских христиан занялась переводом научных сочинений непосредственно с древнегреческого. Однако первые попытки сделать полный перевод знаменитого «Мегале синтаксиса» Птолемея, предпринятые по приказу нового халифа Гаруна аль-Рашида двумя еврейскими учеными в том же VIII в., оказались неудачными. Впервые полный перевод его с греческого был сделан в IX в. арабским ученым Сабитом ибн Куррой (836—901)³.

Знакомство с индийским переложением теории Птолемея и тем более с переводом самого «Альмагеста» стимулировало, с одной стороны, развитие наблюдательной арабской астрономии и строительство первых больших инструментов, а с другой — соответствующего математического аппарата, как и математики вообще. Так, аль-Баттани, проводивший наблюдения в Багдаде, в период 878—918 гг. уточнил, по сравнению с измерениями Птолемея, наклон эклиптики к экватору. Аналогично, сравнив с данными Птолемея современное ему положение солнечного апогея, аль-Баттани открыл его движение. Абу-ль-Вэфа (939/940 — 998) обнаружил новое неравенство в движении Луны, получившее позднее название вариации. Ему же принадлежит первое после античности большое оригинальное сочинение по астрономии, которое одно время принимали за перевод «Альмагеста».

После X в. новыми научными центрами арабской культуры были в разное время Каир, где был учрежден «Дом знания» и обсерватория и где трудился известный астроном Ибн Юнис (950—1009); Исфахан, где в обсерватории работал поэт и ученый Омар Хайям (ок. 1048 — после 1122); позднее — Марага, на территории нынешнего иранского Азербайджана и, наконец, Самарканд.

³ Сабит ибн Курра известен также открытием, как оказалось впоследствии, иллюзорного явления трепидации (вариации прецессии), попытки учета которой в течение веков неоправданно усложняли составление астрономических таблиц.

В одном из таких центров — Газни, на юго-востоке современного Афганистана, долгое время жил и работал великий среднеазиатский ученый и мыслитель Бируни (973—1048), родом из Хорезма (ныне в Узбекистане).

Бируни был, видимо, первым ученым-энциклопедистом арабского мира. Его труды (свыше 150) охватывают астрономию и географию, физику и математику, геологию и минералогия, химию, ботанику, хотя сами эти науки были еще далеки от своего оформления. Он был также выдающимся историком и этнографом и впервые описал в большом труде «Индия» (1030) историю культуры и науки Индии, где он прожил несколько лет. Математике и астрономии посвящено свыше 40 сочинений Бируни.

Бируни был незаурядным наблюдателем и конструктором. Он построил первый в мире, причем невиданно огромный неподвижный стенной квадрант с радиусом дуги 7,5 м, что позволяло отмечать положения Солнца и планет с точностью до 2'. Бируни с высокой точностью измерил наклон эклиптики к экватору — $23^{\circ}34'00''$ — и определил уменьшение этой величины — $52,6''$ за 100 лет (современные данные для той эпохи $23^{\circ}34'0,45''$ и $46,8''$). Он применил также новый метод измерения радиуса Земли по наблюдению с вершины горы понижения горизонта (его результат для длины меридиана: 41 500 км). За 600 лет до Снеллиуса (1617) Бируни изобрел метод, сходный с триангуляцией. Эти исследования и результаты Бируни изложил в фундаментальных сочинениях: «Книга истолкования основных начал астрономии» (1029—1034), «Канон Мас'уда» (Астрономические таблицы и звездный каталог) и «Индия». Первые два сочинения в течение веков служили главными учебниками астрономии в арабском мире и вообще на Востоке.

И все же важнейшим вкладом Бируни в развитие естествознания могли бы стать его идеи, высказанные в связи с анализом «Альмагеста», а также «Ариабхатии» и ее критики Брахмагуптой. Он впервые полностью перевел «Альмагест», а также «Начала» Евклида на санскрит для индийцев. Не поддавшись всеобщему преклонению перед авторитетом Птолемея, Бируни выступил с критическими замечаниями о его системе, хотя это было небезопасно по религиозным соображениям. Он в принципе допускал осевое вращение Земли, хотя из физических соображений склонялся к ее неподвижности⁴. Он, вероятно, первым среди астрономов арабского мира воспринял идею тяготения, возможно ознакомившись с нею у Брахмагупты (которого в то же время критиковал за непонимание прогрессивных идей Ариабхаты). Солнце и звезды Бируни считал огненными шарами, а Луну и планеты — темными телами, отражающими солнечный свет. В его утверждениях

⁴ Бируни не считал реальным движение Земли по тем же, что и Птолемей, физическим соображениям. Но выразил он их, не искажая Птолемея и намного осмысленнее, чем Брахмагупта. Он говорил о возможном (при вращении Земли) отрыве от нее не только птиц, облаков, но, что особенно интересно, «предметов, брошенных высоко к небу» [15, с. 272].

о том, что звезды в сотни раз больше Земли, звучит отголосок: оценки размеров Солнца Аристархом Самосским и, более того, убеждение в том, что звезды подобны Солнцу. Бируни считал звезды подвижными и объяснял их видимую неподвижность колоссальной удаленностью.

Бируни принадлежит ряд глубоких высказываний (быть может, самостоятельных догадок) астрофизического характера: о том, что явление зари — результат свечения пылинок в лучах скрытого под горизонтом Солнца; о «дымоподобной» природе светящихся «хвостов», видимых возле Солнца во время полных солнечных затмений (корона). Он, возможно, первым, отметил в результате собственных наблюдений слабое свечение неба перед рассветом и после окончания сумерек — в виде «волчьего хвоста» (зодиакальный свет) и характерный красноватый цвет Луны при полных лунных затмениях. Бируни резко высмеивал астрологию, возродившуюся на средневековом Востоке. К лженаучным он относил и идею позднего Аристотеля о неподвижном «перводвигателе». В Европе Бируни был «открыт» лишь в XIX в., после появления в 1888 г. английского перевода его «Индии».

Научившись по сочинениям греков делать астрономические инструменты и значительно повысив точность измерений на них, главным образом за счет увеличения размеров угломерных инструментов — секстантов и квадрантов, а также за счет перехода к длительным систематическим наблюдениям, арабские астрономы вскоре заметили неточность птолемеевых астрономических таблиц. Поэтому в дальнейшем основные усилия их были направлены на составление новых солнечных, лунных и планетных таблиц (по-арабски — зиджей), равно как на составление новых звездных каталогов. Это наблюдательное содержание арабской астрономии сохранилось и в среднеазиатских научных центрах.

Особенно прославились на этом поприще среднеазиатские астрономы-наблюдатели Насирэддин Туси (1201—1274), уроженец Хамадана, ныне на территории Азербайджана, и Улугбек (1394—1449), внук монгольского завоевателя Тимурленга (Тамерлан), правивший в Самарканде, близ которого он построил уникальную по тем временам обсерваторию.

Насирэддин Туси руководил Марагинской обсерваторией и научной школой. Он уточнил постоянную прецессии (определив ее величину в $51,4''$ в год). Под его руководством в 1271 г. были составлены «Ильханские таблицы», включавшие новый звездный каталог, а также таблицы Солнца, Луны и планет.

Астрономы обсерватории Улугбека в течение 30 лет проводили систематические наблюдения Солнца на уникальном грандиозном квадранте (с радиусом дуги более 40 м!). В результате с неслыханной до той поры точностью (до $1''$) были измерены положение точки весеннего равноденствия, наклон эклиптики к экватору, длина тропического года. С помощью других инструментов был составлен новый звездный каталог более чем тысячи звезд, причем положение около 700 звезд было определено заново и с до-

вольно высокой по тем временам точностью для таких массовых измерений (15'). Эти результаты вошли в «Гураганские таблицы» (1437), название их происходит от имени правителя-астронома: Улугбек Гураган.

Что касается самой теории Птолемея, то арабские, а затем среднеазиатские астрономы главным образом совершенствовали ее математический аппарат, соглашаясь с принципом и схемой геоцентрической системы мира. Аль-Баттани усовершенствовал сферическую тригонометрию, введя вслед за индийцами синусы. Далее в трудах Бируни, Насирэддина Туси и других тригонометрия получила развитие как самостоятельная наука.

Систему мира Птолемея арабские астрономы пытались совершенствовать лишь в направлении усиления ее геоцентрических основ. Так, Насирэддин первым отверг птолемеев эквант, заменив его новой системой кругов, чем сделал шаг назад.

Таким образом, арабские и среднеазиатские астрономы внесли вклад в развитие наблюдательной астрономии и математического аппарата этой науки (как и в саму математику). Вклад же в «развитие» астрономической картины мира в трудах арабских астрономов был скорее отрицательным. Исключение составлял великий мыслитель Бируни, но его идеи еще не были достаточно прочными, мысли о вращении Земли — уверенными, а его глубокие физические догадки о Вселенной остались непонятыми его современниками и вплоть до конца XIX в. были совершенно неизвестны европейской науке. Еще более чуждыми эпохе были высказывания Омара Хайяма о бесконечности Вселенной, также не нашедшие отклика и совершенно забытые на Востоке, а на Западе, в Европе фактически до нашего времени остававшиеся неизвестными. Главным наследием астрономов средневекового Ближнего и Среднего Востока стали их многочисленные «Зиджи» (их сохранилось около ста), которые в последующие века оказались полезными при изучении мира звезд.

§ 3. Астрономия и картина мира в Китае V—XVII вв.

В развитии китайской астрономии в новую эру выделяют три исторических этапа: до III в., с III по X в., X—XVII вв., после чего начинается современный этап. Таким образом, на период европейского средневековья приходятся два этапа китайской астрономии.

Период с III по VI в. отмечен в Китае общим упадком научной деятельности, вызванным распадом единого государства и захватом части его областей кочевниками. Период VI—X вв., напротив, характеризуется расцветом науки и культуры во вновь объединенном могучем Китайском государстве. В это время развиваются его тесные научные контакты с Индией, а с VIII в. — с арабским миром и Средней Азией (Бухарой, Хорезмом, Самаркандом). Утверждают даже, что Китай в это время опережал в культурном и научном отношении другие страны. Достаточно

сказать, что с VII в. в Китае печатались книги (сначала с досок), с VIII в. начала выходить первая в мире газета, с IX в. в практику вошел наборный шрифт для печати. В области астрономии, помимо создания «Палаты ученых» (прообраза академии наук, аналогично тому, что имело место и в арабском халифате, например), совершенно новым, по сравнению с другими регионами мира, была государственная организация науки в Китае. К IX в. здесь был создан первый в мире, по существу, астрономический институт («Тайшицзюй») как специальное государственное учреждение, сотрудники которого производили астрономические наблюдения, предсказывали затмения, составляли календари. В их функции входило и «назначение счастливых дней» для государственных дел и церемоний. В XI—XIII вв. в Китае существовал (очевидно, первый в мире) координационный центр астрономических и метеорологических наблюдений — Сытэндэн.

Через историю китайской астрономии, начиная с IV в., проходит плеяда выдающихся астрономов-наблюдателей, вычислителей, конструкторов инструментов. В астрономии употреблялись роскошно выполненные и изукрашенные солнечные и водяные часы, глобусы и армиллярные сферы, в том числе с часовым механизмом (правда, назначением его было лишь подавать сигнал, например, каждые четверть часа), секстанты и квадранты, разного типа теодолиты и др. Подобных инструментов насчитывались десятки и сотни экземпляров.

Ряд крупных открытий был сделан в наблюдательной и вычислительной астрономии. В IV в. Юй Си независимо открыл прецессию, оценив ее в 1° за 50 лет, а в VII в. Лю Чжо уточнил ее: 1° за 75 лет, что близко к истине. В V в. Цзу Чун-чжи с очень высокой точностью вычислил длину драконического месяца (27,21223 суток; современные данные: 27,21222) и весьма точно нашел сидерический период обращения Юпитера ($83/7=11,857$; ныне — 11,86223 лет). Он усовершенствовал также теорию затмений и календарь. Знаменитый китайский астроном И Синь (683—727) за тысячу лет (!) до Галлея открыл собственное движение звезд, сравнив свои измерения положений звезд в Стрельце с измерениями в прежние века. В VIII в. в Китае (на 100 лет раньше арабов) было проведено градусное измерение дуги меридиана. Живший в III—IV вв. астроном Цзя Ди объяснил искажение вида Солнца у горизонта потоками воздуха.

Шэнь Ко (1031—1095) из Ханьчжоу, астроном, музыкант, врач и дипломат, исследовал неравномерность движения Солнца по эклиптике и, по некоторым сведениям, указал на эллиптическую (!) форму геоцентрической орбиты его [124]. Он же уточнил место северного полюса мира (в 3° от Полярной).

Особое место в китайской астрономии продолжала занимать служба новых звезд и комет («звезд-метел»). С X по XVII в. здесь было отмечено 12 случаев появления новых. Среди них и знаменитая «звезда-гостья», вспыхнувшая на небе 28 июня 1054 г. и остававшаяся видимой до 1056 г. (ее остаток — известный

пульсар, или нейтронная звезда, окруженная Крабовидной туманностью). Среди хвостатых звезд-метел в китайских хрониках, как и в древности, неоднократно отмечалась будущая комета Галлея.

Еще в 983 г. в Китае вышла энциклопедия наук из 1000 (!) томов, а в XIII в. была создана новая грандиозная энциклопедия из 24 многотомных разделов, один из которых был целиком посвящен астрономии. Но уже с XII в. развитие культуры в Китае стало тормозиться из-за набегов соседей, что привело к упадку науки, особенно к XVII в.

Сохранившиеся в истории представления о Вселенной в средневековом Китае в основном относятся к III—V вв. (эпоха династии Цзинь) и к XII—XIII вв. Как и в других регионах, здесь существовали как бы два уровня миропонимания. С одной стороны, на небо переносились принципы устройства китайского бюрократического государства: император считался сыном Неба, Луна — «важным чиновником», кометы — «курьерами», в затмениях усматривали, как уже говорилось, сигналы о неблагоприятии в управлении государством. С этими представлениями согласовались примитивные представления об устройстве Вселенной, изложенные в теории «гайтянь» в летописи эпохи Цзинь. Небо представлено шляпой, покрывающей Землю, которая имеет форму перевернутого блюдца (т. е. уже не вполне плоская!). Небо рисовалось движущимся подобно жернову, а светила на нем — Солнце, Луна и планеты — подобно муравьям, медленно ползущими в направлении, обратном общему вращению неба. В эту схему вводились еще и «точные» размеры: радиус блюдцеобразной Земли (80 тыс. ли = 46 080 км) и радиус ее населенной части (60 тыс. ли).

Другая теория («сюанье»), появившаяся в Китае еще ранее III в., напротив, поражает неожиданной философской глубиной: небо не имеет определенной формы и находится очень высоко и далеко от нас; Солнце, Луна и пять планет — шарообразны; они свободно плавают в пустоте безграничного мирового пространства; движения их совершаются в соответствии с естественными законами природы. Далее теория утверждала, что законы движения планет можно изучать с помощью неподвижных звезд (очевидно, в смысле — на их фоне, относительно них). Земля также находится в движении, но мы не замечаем этого, поскольку движемся вместе с нею (!). Голубой цвет неба — зрительная иллюзия, а истинной причины мы не знаем. Вообще человеческий глаз не в силах охватить Вселенную, а ум понять ее всю. На основании этой сохранившейся в отрывках теории Юй Си в IV в. построил свою космологическую концепцию «аньтянь», сравнение которой с предыдущей картиной убеждает, что она представляла собой лишь упрощенный «слепок» более ранних космологических идей.

Еще одна космологическая концепция была обнаружена в тексте при звездной карте, высеченной на камне в XIII в. в храме Конфуция в Сучжоу близ Шанхая. Здесь также соседствовали

реальные сведения (о движении светил, отраженном свете Луны и др.) с примитивным вымыслом: о причине дня и ночи, об астрологическом значении затмений и пятен на Солнце. Утверждается неподвижность звезд относительно друг друга; таким образом, открытие И Синя не вошло в китайскую астрономию.

Однако начальная часть текста резко контрастирует с остальным: «В древности люди не знали, что представляет собой небо и Земля. Небо и Земля первоначально представляли собой большую туманность, из которой выделялись тяжелые и легкие вещества, легкие образовали небо, тяжелые — Землю. Все небесные явления имеют свои естественные законы развития. ...Конкретным проявлением действия этих законов является образование Солнца, Луны, пяти планет... 28 созвездий [?!] и Полярной звезды. В образовании их имеется постоянная закономерность. Эта закономерность согласуется с законом существования человечества».

В этом отрывке просматриваются отголоски физической системы природы Аристотеля и материалистической натурфилософии (представлений о естественности законов развития Вселенной); есть даже намек на то, что в наши дни осознается как антропный принцип!

Идею естественного возникновения и развития Вселенной защищали китайские философы-материалисты, начиная с XI в., в борьбе с идеалистической философией неоконфуцианства и буддистским агностицизмом. Наиболее последовательными были философы Чжоу-цзы (1007—1073) и развивший его идеи Чжан Цзай (1026—1077). Последний утверждал, что природа существует независимо от сознания и что в основе всего лежит материальная субстанция «ци», существование которой может проявляться в различных формах. Эта субстанция расплывлена в бесконечном пространстве и невидима. Сгущаясь со временем, ее частицы образуют туманную массу «тайхэ» («Великую гармонию»). В тайхэ частицы ци разделяются на положительные и отрицательные. От их взаимодействия возникает природа и все предметы. Это учение было много позднее (в XVIII в.) развито Дай Чжэнем, который дополнил его идеей, что изменение земного и небесного есть непрерывный процесс, в результате которого появляется, в частности, и жизнь.

Глава IV

АСТРОНОМИЯ И АСТРОНОМИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА В СРЕДНЕВЕКОВОЙ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЕ (V — НАЧАЛО XVI в.)

§ 1. Ученики греков и арабов (VII—XII вв.)

В отличие от восточной части Европейского континента, где до середины XV в. удерживался центр комплексной «христиан-

ско-эллинистической» культуры — Византия, Западная Европа после падения Рима (476) и прекращения существования Западной Римской империи более двух веков оставалась в состоянии полного духовного невежества, раздробленная на мелкие княжества и занятая внутренними войнами за власть. Укреплялся новый, феодальный строй.

Только одно имя сохранилось в истории западноевропейской науки от конца VII — начала VIII в. Это Бэда Достопочтенный (672/673—735), англосаксонский монах, историк, писавший и о «естественной истории». Он был знаком с некоторыми сочинениями римских авторов, с утверждением о шарообразности Земли; вообще имел, видимо, некоторые познания в астрономии, так как занимался, в частности, главной тогда практической задачей в ней — вычислением календарных дат праздника пасхи.

Первым признаком оживления духовной жизни континентальной Западной Европы стало «Каролингское возрождение» VIII—IX вв. при императоре обширного Франкского государства Карле Великом и его наследниках. По образцу арабских халифов он создал в 782 г. при своем дворе ученое общество во главе с англосаксонским ученым-математиком аббатом Турского монастыря Алкуином (подлинное имя Флакк Альбин, 735—804). При монастырях были образованы школы с обучением двух ступеней: «тривиум» (грамматика, риторика, диалектика) и «квадривиум» (астрономия, арифметика, геометрия, музыка).

Другим крупным деятелем эпохи Каролингского возрождения был философ из Ирландии Эригена (Иоанн Скотт Эриугена, 810 — ок. 877), живший при дворе Карла Лысого. Он возродил на европейской почве идею пантеизма. Идея бога и идея саморазвития природы сливались у него в едином понятии «сущего», или «Природы». В философии природы Эригена является отдаленным предшественником Николая Кузанского (см. ниже).

К концу IX в. южная часть Европы оказалась под властью арабов. С ними на европейский континент проникли астрономо-математические сочинения античных и эллинистических авторов, а также и собственные результаты арабских ученых. В X—XI вв. были открыты новые учебные центры в Испании (Кордове, Толедо, Севилье) и Северной Африке (Марокко), также находившейся под властью арабов. В Толедо в 1080 г. под руководством Арзахеля были составлены первые в средневековой Европе астрономические таблицы — «Толедские». В сочинениях толедских ученых впервые в Европе стали появляться критические замечания в адрес системы Птолемея, но еще без каких-либо новых идей. Колоссальной ученостью и высоким мастерством в изготовлении астролябий и других астрономических инструментов прославился на рубеже X—XI вв. папа Сильвестр II (подлинное имя Герберт). Впрочем большинство его современников относило его искусство на счет связей с дьяволом...

К XII в. усилилась переводческая деятельность европейцев. Платон Тиволийский перевел в 1116 г. «Астрономию» аль-Батта-

ни, Ателяр из Бата — астрономические таблицы ал-Хорезми и «Начала» Евклида. Около 70 сочинений перевел Герардо из Кремоны, среди них «Альмагест» и «Толедские таблицы». Спустя столетие их сменили более точные «Альфонсинские таблицы», составленные под руководством известного знатока и покровителя астрономии, будущего короля Кастилии и Леона Альфонса X

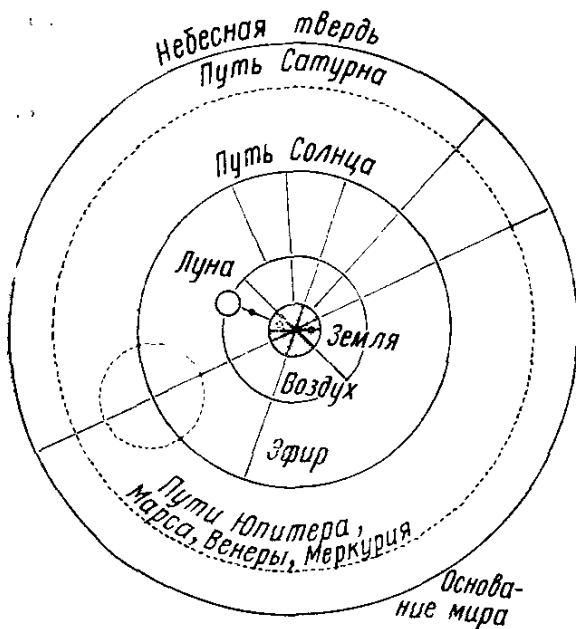


Рис. 13. Геоцентрическая система мира, по Скотту Эригене (IX в.)

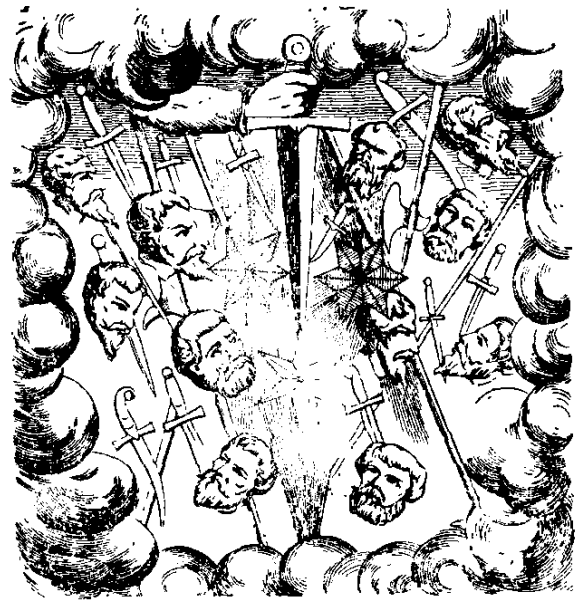


Рис. 14. Средневековые представления о кометах

(Мудрого), построившего первую в Европе астрономическую обсерваторию в Толедо. Приглашенные им мусульманские, еврейские и христианские астрономы и математики при составлении новых таблиц пользовались наблюдениями арабов и сами производили наблюдения (в их таблицах приведены более точные астрономические величины, например длина тропического года). Таблицы были опубликованы в 1252 г., в год восшествия Альфонса X на престол⁵. При нем была издана первая европейская энциклопедия астрономических знаний «Libro del Saber», опиравшаяся на арабские источники. Между прочим в ней был помещен удивительный рисунок — орбита Меркурия, хотя и геоцентрическая, но (!) в форме эллипса. В XI—XIII вв. в Западной Европе появляется много латинских переводов сочинений Аристотеля (с греческого и арабского).

Сначала церковь пыталась запретить его учение о мире как «породившее ересь». Но систематичность, стройность, очевидная по тем временам физическая наблюдательная обоснованность гео-

⁵ Согласно легенде, Альфонс X потерял свой трон именно из-за неосторожного высказывания, что на месте бога он бы создал систему мира попроще (нежели узаконенная к тому времени церковью система Птолемея).

центризма у Аристотеля, его безупречная логика покоряют европейцев. Основоположники схоластики немецкий философ и богослов Альберт Великий (1193—1280) и его знаменитый ученик и последователь итальянский философ и теолог Фома Аквинский (1225/1226—1274) систематизировали само католическое учение на основе космологической картины мира Аристотеля. Авторитет его был таким образом узаконен католической церковью.

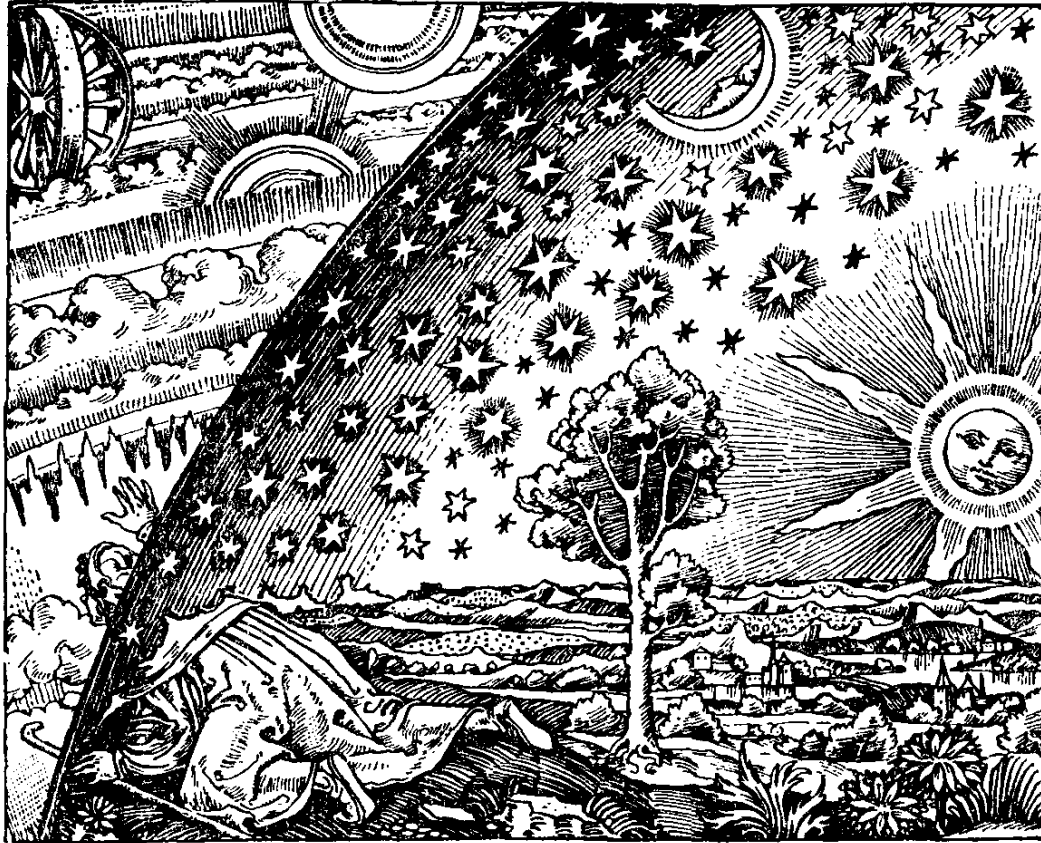


Рис. 15.
Средневековое представление о «крае света»
(по кн. Фламариона)

Вселенная вновь рисовалась по Аристотелю—Птолею: с шарообразной Землей, находящейся без всякой опоры в центре Вселенной и окруженной сферами небес. По семи из них двигались Солнце, Луна и пять планет, восьмую занимали звезды, все вместе обращающиеся вокруг Земли за сутки. Но если Аристотель (по крайней мере, в своих главных сочинениях) удалял сферу действия сверхъестественных сил — духов и богов — за пределы материального мира, т. е. за сферу звезд, то в христианской космологии этого времени Вселенная оказывалась вся пронизанной всеобщей, вездесущей, творящей и организующей разумной силой — Богом, при широком диапазоне представлений о нем — от антропоморфных образов до слияния понятий бога и природы.

При всем отрицательном воздействии схоластики на развитие науки в ней были и положительные элементы: она учила логически мыслить, анализировать, совершенствоваться в искусстве логических доказательств, что способствовало развитию теоретического осмысления явлений. Один из знатоков схоластики и первых критиков ее, П. Абеляр (1079—1142) писал: «Верьте доказательствам разума, а не авторитетам». А его ученик Иоанн Скиталец распространял идею вечности Вселенной и атомарного состава всех вещей... Недаром церковь в 1140 г. «навсегда» запретила учение Абеляра.

§ 2. Космология на основе геометрической оптики и атомистики. Роберт Гроссетет, Роджер Бэкон

К XIII в. образованные люди Европы (как правило, духовного сана или монахи) уже достаточно хорошо ознакомились с греческим научным наследием и наблюдениями арабов, чтобы увидеть как противоречия в системе Птолемея, так и логические неувязки между математической теорией Птолемея и физикой Аристотеля. Это послужило толчком к творческому обсуждению и уточнению понятий физики (собственно, механики).

Внимательное изучение оригинальных сочинений мыслителей средневековья, особенно позднего его периода, существенно изменили представление о «темных веках» в Европе. Начиная с XIII в. новые важные элементы будущей астрономической картины мира, равно как и новый подход к изучению явлений, т. е. новую методологию науки, готовила геометрическая оптика, вернее, тогда еще некое сочетание геометрии и оптики. Существенный вклад в этот процесс внесла и возродившаяся к XIV в. математическая атомистика Демокрита.

Большую роль в этой подготовке сыграл английский натурфилософ и физик епископ Линкольнский Р. Гроссетет (1175—1253). Явление светового луча и образ световой сферы раньше всего были осознаны как проявления некой особой силы, отличной от обычного механического воздействия. Свет казался распространяющимся мгновенно и во все стороны. Он мгновенно как бы заполнял собой некую световую сферу, и она могла бесконечно расширяться («умножаться», как тогда говорили). Но с ростом расстояния от источника доходивший от него свет становился все слабее. Объяснение этому было найдено на основе аналогии процесса распространения света с механическими процессами. Возник образ пучка световых лучей-нитей, концы которых и «проявлялись» световыми точками на сфере. Поверхностная плотность точек уменьшалась с ростом радиуса и площади сферы, что и объясняло ослабление светового эффекта обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. (Такую зависимость четко доказал лишь Кеплер, но стимулом для него послужила приведенная аналогия.)

Описанные представления из геометрической оптики Гроссетет перенес на процесс... формирования материального мира — еще до образования наблюдаемой конкретной Вселенной — из звезд, планет, Солнца и Земли. Он представил процесс геометрического построения фигур (прямой линии — в результате движения точки, плоскости — при движении линии, объемной фигуры — при движении плоскости) как реальный космогонический процесс (в этом можно видеть возрождение пифагорейской идеи о возникновении Вселенной из «Огненной Единицы»). По мысли Гроссетета, в результате движения световой точки мгновенно возникала, таким образом, световая сфера, которая ввиду мгновенности распространения света могла быть сколь угодно велика. Это, по Гроссетету, и было началом создания материальной Вселенной, которая, таким образом, оказывалась наиболее плотной в центральной части (где и помещалась Земля) и наиболее разреженной на периферии (небо и небесные тела). Он считал, что свет в результате своего распространения создает Вселенную все же конечного объема (видимо, учитывая ослабление света с расстоянием). Дальнейший космогонический процесс — образование небесных тел, по представлениям Гроссетета, был обусловлен различием разреженности и уплотненности разных мест в пространстве [53, с. 292].

Ученик Гроссетета выдающийся английский мыслитель Р. Бэкон (1214—1294) развил эти геометрико-оптико-космологические идеи и сделал обобщающий вывод, что, подобно распространению света, все действия в природе «совершаются сообразно умножению образов и сил... и законы такого рода умножений... являются общими для действия... как в небесном, так и в земном». Поэтому Бэкон считал возможным все познавать с помощью геометрической оптики. Позднее, как мы увидим, Кеплер перенес эти представления о силе и распространении света на силу тяжести и магнетизма. Исследовавший эту проблему известный советский историк науки В. П. Зубов писал: «Так световая сфера получает более глубокое значение «силовой сферы» или «поля действия сил» вообще» [58, с. 291—292].

В картине световой сферы как суммы световых («силовых») нитей возрождались атомистические представления о силе, разлагаемой на элементарные составляющие. Последнее подготавливало почву для начала математического, количественного исследования взаимодействий, сил, процессов.

Р. Бэкон одним из первых выступил и против слепого преклонения перед авторитетом Аристотеля. (Это уже стало настолько явным тормозом в развитии знаний, что, по словам Бэкона, он готов был сжечь его сочинения!) Бэкон указывал на необходимость экспериментального и математического исследования в науке вообще. (Парадоксальным было то, что в свое время и Аристотель как физик критиковал чистое умозрение и стремился обосновывать выводы наблюдением и опытом! Но об этом забыли.)

§ 3. Сомнения в неподвижности Земли и геоцентризме. Буридан

Наиболее глубоким мыслителям средневековой Европы самым уязвимым в аристотелевско-птолемеевой астрономической картине мира представлялось утверждение о полной неподвижности Земли. Быть может, не без влияния дошедших от древних греков знаний начинал заново осмысливаться кинематический принцип относительности движения. На этом основании уже некоторые астрономы и философы на Востоке (Бируни, например), а затем и западноевропейские ученые высказывали сомнения в неподвижности Земли и даже в ее центральном положении во Вселенной. Так, в своем сочинении «Вопросы к четырем книгам о небе и о Вселенной Аристотеля» французский философ и математик, ректор Парижского университета (Сорбонны) Жан Буридан (ок. 1300—ок. 1358) писал, что «этот вопрос крайне труден» и что «прежде всего имеется серьезное сомнение в том, что Земля находится прямо в центре Вселенной и что ее центр совпадает с центром Вселенной». Он считал также, что «имеется сильное сомнение о том, не перемещается ли Земля как целое ... поступательно».

Буридан был явно знаком с рассуждениями древнегреческих философов об относительности движения. «Многие люди, — писал он, — как известно, считали невероятным, что движение Земли по кругу определенным образом не противоречит общепринятому и что каждый обычный день она совершает полный оборот с запада на восток... Тогда необходимо допустить, что звездная сфера была бы в покое, и тогда ночь и день меняли бы друг друга, благодаря такому вращению Земли, так что это движение Земли было бы суточным движением». И далее Буридан приводит широкоизвестный ныне пример из древнегреческой литературы: «Если кто-либо движется в корабле и воображает, что он покоится, то при виде другого, действительно покоящегося корабля, ему покажется, что этот другой корабль движется».

§ 4. Возрождение идеи эволюционного нециклического развития Вселенной. Николай Орем

Новое понимание принципов устройства Вселенной зародилось в трудах другого французского математика, астронома и философа, переводчика и комментатора (а отчасти и критика) Аристотеля, также в свое время ректора Сорбонны Николая Орема (20-е гг. XIV в. — 1382). Он заинтересовался сначала общей математической проблемой соизмеримости и несоизмеримости величин, отношений и «отношений отношений». Но затем перешел к проблеме более конкретной и в середине XIV в. написал ставшее вскоре широкоизвестным сочинение «О соизмеримости или несо-

измеримости небесных движений». Поставленная в нем проблема имела большое мировоззренческое значение. В средние века возродилась пифагорейская идея целочисленности отношений величин во Вселенной как проявления высшей мировой гармонии (и даже идея «музыки небесных сфер»). Отвергая это последнее наивное представление, Орем видел гармонию мироздания в характерных математических отношениях величин во Вселенной. Обсуждение этой проблемы он представил в виде спора двух наук — Арифметики и Геометрии. Первая выступала в защиту соизмеримости небесных движений, ссылаясь на древние и средневековые авторитеты, на их утверждения о целочисленности отношений как основе гармонии мира. Геометрия, напротив, отстаивала несоизмеримость небесных движений как основу высшей гармонии, состоявшей в красоте разнообразия качеств Вселенной. Спор представлялся незаконченным, но сам Орем склонялся к выводу Геометрии. «...Если все движения небес соизмеримы, — писал он, — необходимо тем же одинаковым движениям и действиям повторяться до бесконечности при условии, что мир существовал бы вечно» [101, с. 382]. Такую упрощенную Вселенную Орем устами Геометрии сравнивал с песней кукушки и склонен был приравнивать изменения во Вселенной, скорее, к музыкальной теме с бесконечными вариациями. На примерах из математики он показал большую вероятность несоизмеримых соотношений между величинами, а в отношении Вселенной считал такой вывод оправданным не только эстетически, но и физически.

На этом основании Орем выступал против юдициарной и гороскопической астрологии. Он не отрицал возможности физического влияния на процессы на Земле и даже на человеческий организм со стороны небесных тел. Но утверждение о связи между тем или иным расположением светил и судьбами отдельных людей и даже государств и советы руководствоваться этим в делах считал опасным шарлатанством. В отличие от своих современников, также критиковавших астрологию, Орем впервые выдвинул против этой лженауки научные аргументы (в двух сочинениях, изданных лишь в XX в.). Он указывал, что при несоизмеримости движений небесных тел их одинаковое расположение друг относительно друга, строго говоря, никогда не может повториться, а поэтому не существует и утверждавшегося еще пифагорейцами некоего «великого года» («круговорота событий»). По мысли Орема, принцип устройства мира таков, что позволяет, «чтобы всегда появлялись новые и несходные с прежними конstellации (сочетания светил) и разнообразные действия, дабы тот длинный ряд веков, который подразумевал Пифагор под «золотой цепью», не замыкался в круг, но уходил без конца по прямой всегда вдаль». В сочинении «Об отношениях отношений» Орем писал, что раз вероятность несоизмеримых отношений между величинами больше (а это он показал на математических примерах) и, следовательно, более вероятна несоизмеримость скоростей светил, то отсюда можно утверждать несоизмеримость во Вселенной и путей и

времен движений тел. «Следовательно, — заключал он, — правдоподобно, что день и солнечный год являются временами несоизмеримыми, а если это так, то невозможно определить истинную величину года; например, если год продолжается столько-то дней и часть дня, несоизмеримую с днем».

Идея о несоизмеримости небесных движений могла быть подсказана Орему самим Птолемеем, который в своем астрологическом сочинении «Четверокнижие» (его перевел Орем) писал, что положения светил на небе не могут в точности повториться либо вообще, либо в срок, обозримый человеческим умом. Аналогичный аргумент в пользу несоизмеримости движений светил приводил и Орем, указывая, что, например, соединение данной планеты с Солнцем может происходить в любом зодиакальном созвездии. Но к XVI в. глубокие идеи Орема увяли в атмосфере схоластических диспутов. Лишь в XVII в. эти идеи возродил и развил Кеплер. В своем сочинении «Книга о небе и Вселенной» Николай Орем обращал внимание и на невозможность по крайней мере доказать неподвижность Земли.

Итак, в средневековой Западной Европе, главным образом в XIII—XIV вв., обсуждались некоторые глубокие космологические идеи (частью почерпнутые в сочинениях древнегреческих авторов), которые в последующие века стимулировали формирование принципиально новых элементов астрономической картины мира. Вместе с тем астрономия как наблюдательная и математическая наука здесь не получила развития, так как не имелось ни стимулов, ни условий для систематических наблюдений (редчайшим исключением была деятельность Альфонса X). В интеллектуальной жизни господствовали богословские споры и схоластика, подменившая живую науку.

§ 5. Западноевропейская астрономия на заре эпохи Возрождения.

**От Николая Кузанского до Леонардо да Винчи
(XV — начало XVI в.)**

Резкий поворот в развитии астрономии наступает в Западной Европе в XV в. Он стал первым признаком начинавшегося (прежде всего в Италии) возрождения непосредственного исследования природы в обстановке уже развернувшегося к этому времени процесса возрождения творческой деятельности человека в литературе, живописи и других видах искусства. Общей причиной Возрождения стали назревшие глубокие экономико-социальные и идейные перемены в европейском обществе. Приближалась эпоха реформ в религии и буржуазных революций в социальной жизни.

1. Космология Николая Кузанского. Новый смелый шаг в осмыслении окружающей Вселенной сделал в это время выдающийся немецкий философ, ученый и теолог Николай Кузанский (1401—1464). Большую часть своей жизни он прожил в Риме, где с 1448 г. был кардиналом и крупным государственным деятелем. Николай Кузанский смотрел на мир сквозь призму богословия,

воспринимая удивительную упорядоченность Вселенной как дело рук Творца и демонстрацию его могущества. Вместе с тем он первый полностью порвал с догматизированным аристотелево-птолемеевым представлением о Вселенной, возродив отвергнутую Аристотелем идею об отсутствии у Вселенной центра и края. В сочинении «Об ученом незнании» (изданном посмертно) он, наряду с богословскими идеями, изложил свои, шедшие вразрез с традицией, космологические представления. Вселенная провозглашалась неограниченной, поскольку в противном случае необходимо было бы допустить нечто существующее за ее пределами, а это в свою очередь противоречило бы определению Вселенной как включающей все сущее.

Исходя из этой концепции, Николай Кузанский заключил, что не только Земля, но и Солнце, и вообще любое тело не может быть центром Вселенной, ибо, по его выражению, центр Вселенной—езде, а граница—нигде. Этим он выступал не только против геоцентризма, но и против ранних гелиоцентристов, считавших Солнце центром всей Вселенной, и в философском плане мыслил глубже Коперника. Николай Кузанский утверждал не только *возможность*, но и *реальность* движения Земли в пространстве. Ощущение неподвижности Земли находящимся на ней наблюдателем, указывал он, должен испытывать и любой другой наблюдатель на любом космическом теле, и в этом смысле все тела Вселенной равноправны. Так, за столетие до Коперника впервые был провозглашен, по существу, *принцип однородности Вселенной*, который в наши дни нередко ошибочно приписывают Копернику.

Вразрез с учением Аристотеля Николай Кузанский утверждал также *вещественное единство* всех космических тел, включая Землю, и высказал убеждение в том, что Космос за пределами Земли не безжизненная пустыня («ни один из звездных участков не лишен жителей», — писал он). Идеи Николая Кузанского, на столетия опередившие его эпоху, стали зародышами той картины мира, которая широко развернулась в философских космологических сочинениях Бруно и спустя еще полтора столетия надолго утвердилась как ньютоновская физическая картина мира.

2. Возрождение и развитие в Западной Европе наблюдательной и математической астрономии. Г. Пурбах, Региомонтан. В XV в. и в Западной Европе астрономия стала точной наблюдательной и математической наукой. Определяющую роль в этом сыграли австрийский астроном и математик Георг Пурбах (1423—1461) и его немецкий друг, ученик и соратник Иоганн Мюллер, известный под латинизированным именем Региомонтана (1436—1476). Между прочим они были первыми в Европе учеными, имевшими духовного сана.

Пурбах после двухлетнего путешествия по Италии, где он общался со многими итальянскими астрономами и где впервые получил возможность прочитать в подлиннике древнегреческих авторов, убедился в крайне низком уровне европейской астрономии.

Пурбах поставил перед собой цель — возродить подлинное содержание математической теории движения небесных тел Птолемея и попытался объединить ее на более строгих основаниях с гармоничной физико-космологической системой природы Аристотеля. Возвратившись в Вену, Пурбах впервые начал читать своим студентам математическую теорию планет строго по Птолемею. Из этих лекций выросла его знаменитая книга «Новая теория планет», которая в течение десятилетий оставалась основным руководством по астрономии для европейцев.

С 16 лет сотрудником Пурбаха становится И. Мюллер, уже имевший за плечами собственный научный багаж: в возрасте 13 (!) лет он составил астрономический календарь, который по точности и детальности превзошел изданный тогда же первый такой календарь на немецком языке. В 1456—1461 гг. оба ученых проводили многочисленные наблюдения Солнца, Луны, лунных затмений. В частности, они проследили движение кометы 1456—1457 гг. и изменение ее вида (комета Галлея). В сочинении о ней Пурбах, по-видимому, первым сделал вывод о ее громадных размерах и большой удаленности от нас, что противоречило традиционным аристотелевым представлениям о кометах как о временных образованиях в «подлунном мире» — воспламенившихся сгустках земных испарений.

Наблюдения убедили Пурбаха и Региомонтана в полной устарелости Альфонсинских таблиц XIII в.: вычисленное по ним положение Марса, например, не сошлось с действительным на целых 2° , а лунное затмение запоздало на целый час! Для составления более точных таблиц Пурбах, помимо использования новых наблюдений, придумал приспособление для вычисления тангенсов («геометрический квадрат»), а Региомонтан, уже после смерти Пурбаха, возродил в Европе употребление синусов и много сделал для развития методов сферической тригонометрии. В частности, он рассчитал таблицу синусов от 0 до 90° через $1'$, а также таблицу тангенсов. По мнению некоторых исследователей, совершенствование математических методов в большей степени, чем новые наблюдения⁶, обеспечило точность таблиц Региомонтана, а в дальнейшем и первых гелиоцентрических докеплеровых таблиц.

Для ознакомления европейцев с подлинной теорией Птолемея Пурбах задумал издать сокращенный перевод «Альмагеста», но успел перевести лишь только шесть из 13 книг. В 1461 г. во время подготовки своего нового, вместе с Региомонтаном, путешествия в Италию Пурбах внезапно скончался. Целью намечавшейся поездки был разбор греческих рукописей (и главное, греческой копии «Мегале Синтаксиса» Птолемея), которые успели вывезти из Византии перед взятием Константинополя турками (1453). Региомонтан завершил эту работу один, изучив в Италии древнегрече-

⁶ Главными инструментами были возрожденный Региомонтаном по сочинениям Птолемея трикетрум и другой угломерный инструмент — «жезл Якова». Европа в этом отношении сильно отставала от астрономов Востока.

ский язык. По возвращении из Италии (1467 г.) Региомонтан несколько лет провел при дворе венгерского короля Маттиаша I. Но, получая от короля лишь бесконечные заказы на гороскопы, он, относившийся к астрологии весьма скептически, отпросился в Нюрнберг, где развивалось только что изобретенное в Европе (на восемь веков позднее, чем в Китае!) книгопечатание.

В Нюрнберге почитателем и учеником Региомонтана стал богатый горожанин и любитель астрономии Б. Вальтер (1430—1504), устроивший в своем доме первую на немецкой земле обсерваторию. Здесь вместе с Региомонтаном они в 1471—1475 гг. проводили первые в Европе длительные систематические наблюдения Солнца. Региомонтан наблюдал, кроме того, комету 1472 г., попытавшись оценить ее размеры и расстояние от Земли, и, по некоторым сведениям, в сочинении того же года (не сохранившемся) назвал комету небесным телом. Одновременно числовые оценки расстояния кометы как небесного тела дал другой ученик Пурбаха Э. Шлезингер, сочинение которого на эту тему сохранилось и ныне является старейшим такого рода научным трудом. Рассуждения и выводы о кометах Пурбаха, Региомонтана и Шлезингера на сто с лишним лет опередили аналогичные утверждения Тихо Браге (см. ниже).

Одной из главных целей переезда Региомонтана в Нюрнберг было завершение дела, начатого Пурбахом, — издания очищенных от искажений трудов античных авторов, а также новых астрономических сочинений. Для этого Региомонтан организовал собственную типографию со специальным станком для печатания астрономических текстов и таблиц. В 1472 г. в ней была напечатана «Новая теория планет» Пурбаха. Там же печатались астрономические календари — ежегодники самого Региомонтана с расчетами — в духе времени — на большое число лет вперед не только астрономических явлений, лунных фаз, затмений, но и церковных праздников с указанием дней, когда фазы Луны благоприятны для того или иного дела (кровопускания и т. п.), с указанием также и относительно влияния знаков зодиака на соответствующие органы. Здесь же был издан основной труд Региомонтана «Эфемериды» — астрономические таблицы на 1475—1506 гг. (896 страниц). Они были намного точнее Альфонсинских таблиц и содержали придуманный Региомонтаном новый метод определения долготы на море — из сравнения наблюдаемого и табличного расположений Луны относительно ярких звезд (метод лунных расстояний). Эфемериды Региомонтана были последними геоцентрическими таблицами в Европе. Их с успехом использовали Колумб, а затем Америго Веспуччи в своих знаменитых путешествиях, завершившихся открытием Нового Света (Америки). В Нюрнберге Региомонтан завершил грандиозный начатый Пурбахом труд по переводу и комментированию «Мегале Синтаксиса» (но он увидел свет только в 1496 г.).

В «Эфемеридах» на 1474 г. Региомонтан указал на ошибочность принятых расчетов пасхи. Главная в этих расчетах кален-

дарная дата весеннего равноденствия, закрепленная с Никейского собора 325 г. за 21 марта, к XV в. разошлась с датой действительного равноденствия почти на 10 дней. Видимо, это послужило причиной рокового для Региомонтана приглашения его папой Сикстом IV в Рим для подготовки исправления христианского календаря. Прибыв в Рим в июле 1476 г., Региомонтан почти тут же скончался.

Об укреплении нового, не только наблюдательного, но именно исследовательского направления астрономии в Европе в XV—начале XVI в. свидетельствуют определенные успехи в этой области. Продолжатель дела Региомонтана Б. Вальтер нашел метод уточнения координат Солнца на небесной сфере путем отсчета их не от Луны, как прежде, а от Венеры. Он же первым стал вводить в измерения положения светил правдоподобные поправки на атмосферную рефракцию. Школа Региомонтана—Вальтера в наблюдательной астрономии, первая со времен Альфонса X, продолжала действовать в Нюрнберге до XVII в.

На рубеже средневековья и эпохи Возрождения замечательное открытие сделал великий итальянский ученый-энциклопедист, художник, инженер Леонардо да Винчи (1452—1519). Он правильно объяснил природу пепельного света Луны как результат освещения ее Землей.

В первой трети XVI в. итальянский астроном, поэт и врач Дж. Фракасторо (1478—1553) и немецкий астроном П. Апиан (1495—1552) независимо установили, что при движении кометы ее хвост всегда направлен прочь от Солнца (первыми это отметили еще в древности китайцы). В 1528 г. француз Ж. Фернель (1497—1558), спустя семь веков после арабов и восемь—после китайцев, в Западной Европе впервые провел градусное измерение и оценил размеры Земли (с ошибкой менее 1%).

Что касается представлений об устройстве мира в целом, то здесь, при общем господстве геоцентрического принципа, царил разноречивый. Две узаконенные системы мира—птолемеева с эпициклами, деферентами, движением планет по эксцентрикам и аристотелева—в виде набора гомоцентрических сфер—явно противоречили друг другу. Тем более что в средние века физическая картина мира Аристотеля, его небесные сферы представлялись несравненно более примитивно, грубо—как твердые хрустальные образования. Для согласования обеих систем мира Пурбах, например, в своей новой теории планет предложил даже считать хрустальные сферы выдолбленными изнутри, чтобы разместить там птолемеевы эпициклы! Более радикально поступил Фракасторо, который вернулся к описанию движения планет только с помощью гомоцентрических сфер, но должен был (для согласования с наблюдениями) довести их число с 56 у Аристотеля до 79. Но и сторонники чисто птолемеевой системы мира по мере накопления наблюдательных данных вынуждены были также громоздить в ней новые и новые эпициклы. В астрономической картине мира назревал предреволюционный кризис.

3. Секретная космология Леонардо да Винчи. В преддверии эпохи Возрождения в науке новым и смелым словом могли бы прозвучать космологические идеи Леонардо да Винчи. Но великий итальянец не публиковал своих естественнонаучных трудов (его рукописи были расшифрованы и изданы только в XIX в.). Дошедшие до нас астрономические и космологические наброски Леонардо открывают его как прозорливого мыслителя. Его ум, вбирая туманную смесь идей и представлений из уходящего средневековья, рождал яркий спектр собственных идей и глубоких предвидений [5, 96].

Леонардо, вопреки Аристотелю, впервые провозгласил с полной уверенностью материальное единство Земли (земного мира) и Космоса («астрального» мира). Он отрицал единственность центра тяготения во Вселенной, считая и Луну тяжелым телом (с материками, за которые принимал темные пятна, и морями). Но каждый центр тяготения он мыслил еще изолированным от других: Земля и Луна «держались» в пространстве как «уравновешенные в своих элементах», «в центре своих элементов». Леонардо да Винчи утверждал, что «Земля не стоит ни в центре круга Солнца, ни в центре мира», а звезды — это многочисленные другие миры (подобные Земле несамосветящиеся небесные тела), рассеянные «во мраке пространства». Дело в том, что под влиянием Альберта Саксонского он считал единственным источником собственного света Солнце. Леонардо утверждал его главную роль во Вселенной как источника всякой силы и самой жизни. Таким образом, в отношении природы небесных тел представления его еще были смесью прогрессивных идей с древними измышлениями...

Несравненно более последовательными и глубокими были его идеи о характере законов и общего устройства Вселенной. Она представлялась Леонардо-инженеру гигантским отлаженным механизмом, подчиняющимся строгим законам. «Природа никогда не нарушает своих собственных законов, — писал он. — Природа управляется законами, которые испокон веку существуют в ней самой». За два века до появления принципа наименьшего действия он писал: «О, удивительная, о, изумительная необходимость! Ты заставляешь своими законами все действия происходить кратчайшими путями из их причин».

Продолжая пионерские изыскания Буридана в области динамики, он считал, что причиной движения является «натиск» и «сила» и что последняя «возбуждается в телах, вышедших от случайного воздействия из своего естественного состояния и покоя».

Леонардо да Винчи был предтечей Галилея, провозгласив, что «вся философия начертана в той грандиозной книге, которая постоянно стоит раскрытой перед нашими взорами (я говорю, — пояснял он, — о мироздании)» и что «она написана на языке математики». Он же стал предтечей Кеплера в новом понимании мировой гармонии — как строгих и точных количественных соотношений во Вселенной (а не в примитивной форме «музыки сфер»).

Леонардо предвосхитил Декарта, введя «светоносный эфир» как механическую основу звука (по-видимому, также и света). Все физические явления, включая магнетизм, запахи (и даже распространение мысли!) он считал обязанными колебательным движениям эфира. Предвосхищая идеи геологов-эволюционистов, он утверждал, что изменения на поверхности Земли неизбежны и происходят не катастрофически, а постепенно. Любопытно, что, делая вывод о сходстве Земли и Луны, он имел целью доказать (и в этом сказалась эпоха), что Земля — это небесное тело, т. е. столь же «благородна», как и Луна (заметим, что у Галилея, сто лет спустя, при тех же заключениях о сходстве этих тел цель была уже противоположной). Некоторые исследователи приписывают Леонардо и более раннее (до Галилея!) открытие законов свободного падения тел.

В философской проблеме первоисточника движения материи Леонардо придерживался идей пантеизма. Необходимо учитывать в связи с этим, что на рубеже средневековья и Нового времени, и даже еще во второй половине XVI в., пантеизм был выразителем идеи саморазвития, самодвижения материи, т. е. выступал тогда как антипод религии и ее объяснения всего во Вселенной как проявления непредсказуемой воли бога.

Наконец, в своих рассуждениях о Земле как элементе Космоса и о Человеке как Микрокосме, об их глубочайших связях (хотя это и выражено еще в «мифологической» форме древней натурфилософии) Леонардо проводил идею теснейшей гармонии между самым явлением Жизни и Вселенной.

Оставшиеся, по-видимому, совершенно неизвестными ученым XVI в. и последующих столетий (хотя созвучие с ними некоторых идей Галилея и Кеплера поразительно!), идеи Леонардо да Винчи, скрытые в его рукописях, донесли до нас отзвук той бурной предреволюционной эпохи, когда в лучах возрождавшейся свободной мысли впервые обозначились отдельные черты и новой грядущей картины Мироздания.

Великий итальянский мыслитель скрыл свои труды от современников (и лишь завещал сохранить их, когда умирал на далекой чужбине), опасаясь преследований. А как бы выиграла астрономия, освещенная уже тогда светом его идей! Быть может, они помогли бы раньше воспринять и смелые идеи Николая Кузанского, которые еще долго не воспринимались, даже после вторичного их опубликования в 1565 г., уже после появления великого труда Коперника.

Глава V
ИТОГИ «МНОГОРЕГИОННОГО» ЭТАПА
РАЗВИТИЯ АСТРОНОМИИ
И АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА

§ 1. Особенности средневековья —
два мира в науке
Восток и Запад

Возникает вопрос: в чем причина столь глубокого различия средневековой астрономии в двух главных регионах цивилизации? На Востоке, арабском и среднеазиатском, преобладала наблюдательная астрономия, результатом которой стали многочисленные звездные каталоги и астрономические таблицы. Теория сосредоточилась на совершенствовании математической схемы Птолемея и на развитии математического аппарата астрономии. Мыслители-натурфилософы (Бируни, Хайям, Ибн Сина) были редким исключением, а первый и крупнейший из них был также и выдающимся наблюдателем. С другой стороны, Европа погрузилась в бесконечное комментирование, в основном Аристотеля, что породило схоластику, отрицавшую непосредственное изучение природы. Извратив дух физического учения Аристотеля, основанного некогда на доступных фактах и наблюдениях, схоластика превратила это безнадежно устаревшее учение в догму и опору христианской религии. В такой обстановке в лучшем случае возможно было лишь теоретизирование на космические темы, которое вело к новому осмыслению некоторых фундаментальных понятий об окружающем мире, как мы видели (к новому осмыслению, например, времени), и привело к формированию новых космологических идей. Что же касается наблюдений, то хотя европейские короли и императоры, переняв организационную идею арабов, также создавали при своих дворах ученые сообщества-академии (больше из тщеславия и для астрологических целей), но не строили обсерваторий (исключением был король-ученый Альфонс X Мудрый). И в то время как на Востоке позднее Средневековье отмечено буквально взрывом научно-технического прогресса — бурным развитием астрономических инструментов, созданием новых (астролябии) и к тому же уникальных по размерам (секстанты и квадранты) инструментов, в Европе даже Коперник в XVI в. пользовался еще примитивными инструментами типа птолемеява трикветрума.

Учитывая, что в обоих регионах фундаментом для научной деятельности служили главным образом греческие (античные и эллинистические) источники, можно предположить, что грамотным европейцам — богословам, формировавшим христианское мировоззрение, ближе и понятнее (после некоторого начального непонимания и неприятия) стал философ, логик и систематизатор Аристотель, нежели математик и конструктор инструментов Пто-

лемей. В арабском же, и вообще восточном, мире понятнее и ближе был говоривший на универсальном языке геометрии Птолемей-конструктор, нежели философ и логик Аристотель с его европейским стилем мышления.

Кроме того, арабы, у которых раньше развились широкие торговые связи, как сухопутные, так и морские, более нуждались в наблюдениях неба; того же требовала и рано развившаяся у них медицина, традиционно связывавшаяся с астрологией. Напротив, христианство, жестоко преследовавшее астрологию как «чернокнижие», «отключило» и этот стимул развития наблюдений неба. Даже универсальная задача — совершенствование календаря, в чем явно нуждалась и христианская церковь, в средневековой Европе «решалась» лишь теоретическим, «книжным» путем — использованием более совершенных лунно-солнечных циклов, именно цикла Каллиппа.

Особыми очагами культуры Востока оставались Индия и Китай. Они также испытали на себе давление утверждавшихся господствовавших региональных религий, но отличались от арабского Востока и Европы стилем мышления и организацией научной деятельности. Так, в Индии не развивалась, вплоть до XVIII в., наблюдательная база астрономии, а преобладало математико-философское направление, частью опиравшееся на древнегреческие источники, частью, быть может, уходящее корнями в глубины региональной, еще доарийской неведомой культуры.

По форме выражения мыслей, усвоения знаний (песенно-стихотворные философские сочинения, замена математической теории Птолемея сводом правил без пояснений) Индия резко отличалась и от Европы и от Среднего Востока (арабского). Образное мышление в науке продолжало соседствовать здесь с искусством.

Китай выделялся из всех других регионов ранней строгой регламентацией, четкой централизованной организацией научной астрономической деятельности, проводимой на уровне государственной службы. Эта «бюрократическая» астрономия имела главной целью и задачей регистрацию астрономических явлений с целью их прогнозирования и предсказания таким образом «счастливых» или «несчастливых» дней для государственных дел. Но благодаря этому и наши астрономы XX века все еще черпают в китайских хрониках ценные сведения о редких астрономических явлениях далеких эпох, появлениях комет, новых и сверхновых звезд.

Другой особенностью средневековья, средневековой астрономии, было наличие контрастов: сосуществование широко распространенных примитивных представлений о мире и неожиданно глубоких идей — иногда с совершенно неясным, быть может, древним источником их, — высказывавшихся отдельными мыслителями. Но такие мыслители были изолированными вершинами. В массе своей даже образованные слои населения, хотя и проявляли, по крайней мере начиная с XIII в., немалый и растущий интерес к астрономическим явлениям, довольствовались самым не-

высоким уровнем. Об этом говорит необычайный успех весьма элементарного сочинения английского писателя, известного под латинизированным именем Сакробоско (Джон Галифакс) «Сфера мира» (1256), где популярно рассказывалось о явлениях самых простых — следствиях суточного движения небесной сферы. Это сочинение переиздавалось в течение двух с половиною веков, выдержав 65 изданий уже к XVI в.!

§ 2. Появление новых экономических и социальных стимулов развития астрономии. Переход от региональной к мировой науке

Заканчивая обзор развития астрономии и общих представлений о Вселенной на протяжении двух больших временных этапов истории человечества, охватывающих в сумме не менее 5 тысяч лет — Древности и средневековья, мы заканчиваем и рассмотрение истории «многорегионной» астрономии, еще сохранявшей, несмотря на контакты, свой национальный или локальный облик. С XVII—XVIII вв. во всем мире в науке утвердился единый европейский стиль и образ мышления как в методологии познания, в конкретной исследовательской работе, так и в осмыслении и обобщении результатов, иначе в формировании астрономической картины мира (впрочем, сам «европейский образ науки», сформировавшийся на основе антично-эллинистической культуры, впитал в себя и арабо-индийскую мудрость, и конкретные знания разных народов).

Это было связано с глубокими экономическими и социальными преобразованиями, начавшимися раньше всего именно в Европе. Уже с конца XV — начала XVI в. здесь происходила смена феодальной системы с ее раздробленностью, возникали первые сильные европейские морские державы, начиналась эпоха колонизации территорий Востока, Африки — захват, ограбление, эксплуатация чужих земель и народов — эпоха первоначального капиталистического накопления. Но вместе с этим началась и эпоха великих географических открытий. Был открыт новый континент — Америка. Первые кругосветные путешествия убедили в изолированности Земли в пространстве, в реальности антиподов. Но не только морские далекие путешествия требовали нового развития наблюдательной астрономии. Начинала подробнее изучаться поверхность Земли, что требовало астрономических и геодезических знаний.

Глобальная экспансия Европы отражала более ранний, чем на Востоке, переход ее к новой социальной формации, что сопровождалось бурным развитием всех сторон европейского общества. Наука, стимулируемая потребностями нового нарождавшегося буржуазного класса, оказалась в Европе более быстро развивающейся и достигла больших высот. Поэтому в целом распространение отсюда знаний и самого стиля мышления стало неизбежным, привело к формированию единого стиля и методологических стандартов мировой науки, что было исторически прогрессивным.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ НОВОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Если какая-либо нелепость стала рутинной, то чем эта нелепость абсурднее, тем труднее ее уничтожить.

А. Н. Крылов

Глава I

ВОЗРОЖДЕНИЕ ГЕЛИОЦЕНТРИЗМА И НАЧАЛО ПЕРВОЙ ВЕЛИКОЙ НАУЧНОЙ РЕВОЛЮЦИИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ. КОПЕРНИК

§ 1. Путь к познанию

В начале XVI в. в Европе появился мыслитель, которому суждено было начать своими трудами первую великую научную революцию в естествознании. Этим мыслителем был гениальный польский астроном Николай Коперник (1473—1543). Еще в 90-е годы XV в. после первого глубокого восхищения математическим гением Птолемея Коперник убедился в существовании серьезных противоречий между его теорией мира и наблюдениями. Восхищение сменилось сомнениями. В поисках других идей он изучал сохранившиеся сочинения или изложение учений древнегреческих математиков и натурфилософов. Среди них были и пифагорейцы, утверждавшие подвижность Земли, и их последователи. Творческое, глубокое проникновение в древнегреческую науку, культуру, философию сформировало широкий склад мышления у самого Коперника.

Уже и в предшествовавшие Копернику XIV—XV вв. критическое отношение к Птолемею проявлялось среди европейских ученых. Обсуждался даже чрезвычайно острый вопрос о подвижности Земли. Но никто не решался дать на него четкий положительный ответ. Коперник первым взглянул на весь накопившийся за тысячелетия опыт астрономии глазами смелого и уверенного в своих творческих и познавательных способностях человека эпохи Возрождения. После длительного периода замкнутости, оторван-

ности от жизни наука выходила на широкий простор сотрудничества с практикой. Новые, более точные таблицы движения небесных тел, прежде всего Луны и Солнца («Альфонсинские» к XVI в. сильно разошлись с наблюдениями), нужны были для вычисления положений Луны. Сравнивая табличный момент того или иного положения Луны среди звезд с моментом его по местному (солнечному) времени, можно было определить по разности этих моментов долготу пункта, где измерялось местное время (метод лунных расстояний Региомонтана). Это был единственный способ нахождения долготы во время дальних морских плаваний в эпоху великих географических открытий.

Немалым стимулом для совершенствования теории планетной системы были и нужды все еще популярной тогда астрологии. Наконец, теория движения Солнца и Луны стала необходимой для уточнения календаря (здесь главным «потребителем» оставалась церковь). Календарная дата весеннего равноденствия, как уже говорилось, приходившаяся в IV в. на 21 марта и опрометчиво закрепленная за этим числом Никейским собором в 325 г., к XVI в. отстала от действительной даты на 10 дней! Заседавший в 1512—1517 гг. в Риме Латеранский собор отметил чрезвычайную остроту проблемы календаря (который пытались совершенствовать еще с VIII в.) и предложил решить ее крупнейшим астрономам, в том числе Копернику. Обсуждение проблемы календаря могло стать для Коперника дополнительным стимулом к тому, чтобы усиленно продолжать уже начатые им в этой области исследования.

§ 2. Рождение новой системы мира

Как мы видели, современники и предшественники Коперника пытались исправлять лишь *детали* птолемеевой системы, а некоторые даже возвращались к более древним схемам — гомоцентрическим сферам. Но никто из них не имел смелости (или догадливости) отказаться от самого геоцентрического *принципа*. Только Коперник сумел преодолеть это преклонение перед древними авторитетами и робость перед догмой и вместе с тем глубоко понять плодотворность идеи древнегреческой натурфилософии — искать *простоту* и *гармонию* в природе как ключ к объяснению явлений. Искать единую сущность многих явлений, кажущихся различными по своей природе. В итоге уже к 1530 г. в основном было завершено, но только в 1543 г. полностью опубликовано одно из величайших творений в истории человеческой мысли — «Николая Коперника Торунского. О вращении небесных сфер. Шесть книг». (Этому предшествовало появление в период 1503—1512 гг. и рассылка друзьям «Малого комментария о гипотезах, относящихся к небесным движениям» — краткого авторского рукописного изложения новой теории; изложение новой теории учеником Коперника И. Ретиком («Первый рассказ о книгах обращений») и публикация математической (тригонометрической) части труда Коперника (1542).)

По структуре это сочинение почти повторяет «Альмагест», хотя некоторые темы ввиду меньшего числа книг (у Птолемея их, напомним, 13) объединены. В книге первой излагаются, как и у Птолемея, основные постулаты астрономической картины мира: сферичность Вселенной и Земли; равномерность, вечность и кру-

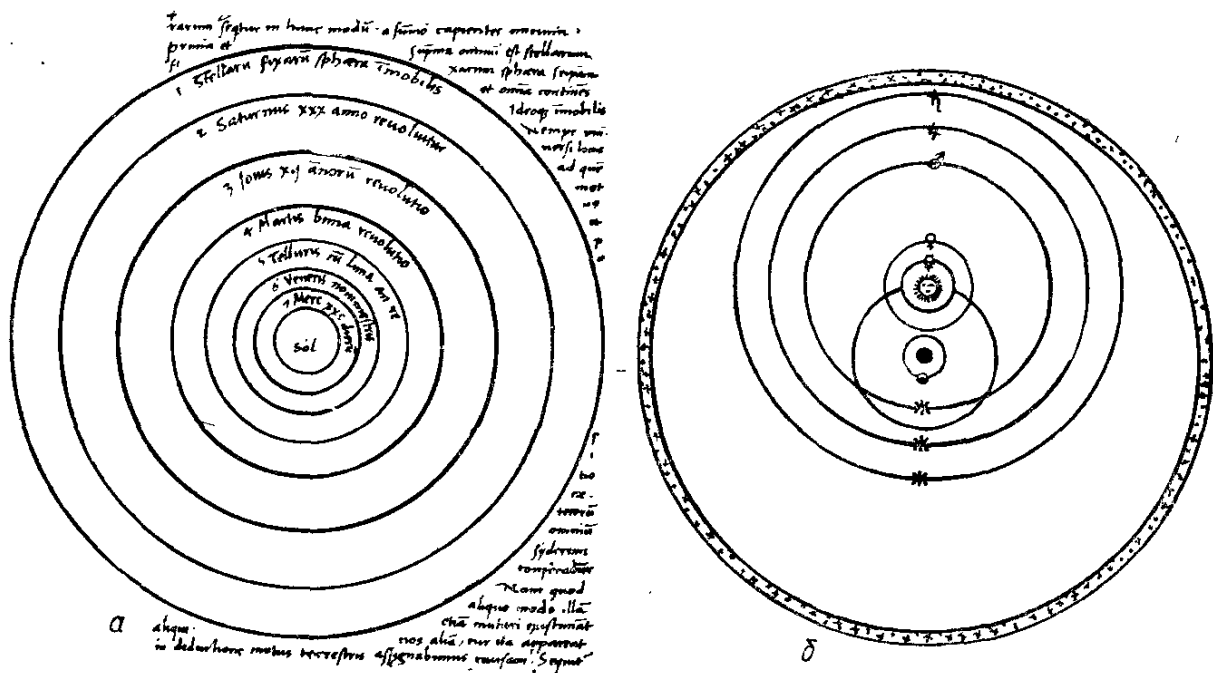


Рис. 16. На пути утверждения гелиоцентризма: а) гелиоцентрическая система мира Коперника (факсимиле с его рукописи), б) компромиссная система Тихо Браге

говой характер движений небесных тел; неизмеримость неба по сравнению с размерами Земли. Но тут же дается главный новый постулат: о движении (и даже не одном!) самой Земли и ее нецентральной положении во Вселенной, опровергается обратное «мнение древних». В первых двух книгах, как и у Птолемея, даются также математический аппарат астрономии, основы и методы сферической астрономии. Но во вторую включен и птолемеев каталог звезд. Первая половина третьей книги посвящена разбору прецессии, вторая, как и у Птолемея, — теории движения Солнца. Однако это движение теперь рассматривалось как кажущееся, как следствие движения Земли. Четвертая книга, опять же как и у Птолемея, отведена для теории движения Луны, но с критикой «мнения древних». Сюда же включена теория затмений, оценка расстояний Солнца и Луны от Земли и их относительных размеров в земных радиусах. Коперник пользуется теми же методами и наблюдательными данными, что и Птолемей, и лишь немного «уточняет» величины, остающиеся все еще весьма далекими от истинных значений.

Последние две книги посвящены движению планет. В книге пятой критикуется «мнение древних» — геоцентрический принцип и рассматривается на новой, гелиоцентрической основе движение

Сатурна, затем Юпитера, Марса, Венеры, Меркурия с объяснениями их закономерностей, приведены методы расчета их положений по долготе. Книга последняя (как и у Птолемея) посвящена рассмотрению вопроса о движении планет по широте. Но теперь уже рассматриваются наклоны реальных гелиоцентрических орбит планет к плоскости земной орбиты.

Как видим, вновь, подобно тому, как это было в «Альмагесте», содержанием шести книг-глав «О вращениях небесных сфер» стала вся астрономия. Коперник изложил математическую теорию сложных видимых движений Солнца, Луны, пяти планет и сферы звезд с приложением соответствующих математических таблиц и каталога звезд. Но в основу объяснений он положил принцип гелиоцентризма. В центре мира Коперник поместил Солнце, вокруг которого движутся планеты, — и среди них вновь (после почти двухтысячелетнего перерыва!) зачисленная в ранг «подвижных звезд» Земля со своим единственным реальным спутником Луной. На огромном расстоянии от планетной системы находилась сфера «постоянных» звезд. Вывод о чудовищной удаленности этой сферы теперь диктовался и самим гелиоцентрическим принципом. Только так мог Коперник согласовать гелиоцентризм с видимым отсутствием у звезд параллактических смещений (за счет смещения наблюдателя вместе с Землей). А таково было одно из существенных возражений Аристотеля против идеи движения Земли.

§ 3. Старые и новые иллюзии в восприятии системы Коперника

Со временем первоначальные детали каждого учения стираются в памяти человечества. Оно либо углубляется (как это было с учениями Аристотеля и Птолемея), либо модернизируются, по мере развития науки. И эти новые черты приписываются исходной теории. Так в многовековой и драматической борьбе за торжество гелиоцентризма постепенно изменялось представление о первоначальном содержании и, главное, акцентах концепции Коперника. Уже первые борцы за новое мировоззрение использовали ее революционную сущность — принцип гелиоцентризма планетной системы, принцип движения Земли как рядовой планеты, объяснение всех главных особенностей видимого движения планет и звезд двойным — суточным и годичным — движением Земли. В результате сложилось и широко распространилось ошибочное мнение, что и для самого Коперника существом его нового учения была строгая замена геоцентризма на гелиоцентризм, т. е. помещение в центр Вселенной Солнца и выведение оттуда Земли. Между тем это было не совсем так.

Система Коперника с точки зрения математики была несколько проще системы Птолемея, и этим сразу же воспользовались в практических целях. На ее основе составили «Прусские таблицы» (Э. Рейнгольд, 1551), уточнили длину тропического года и провели в 1582 г. давно назревшую реформу календаря.

В результате был введен новый, или григорианский стиль¹. Бóльшая простота (вернее, меньшая сложность) теории Коперника и получившаяся, но лишь на первых порах, бóльшая точность вычислений положений планет по гелиоцентрическим таблицам Рейнгольда породили другую иллюзию. Преимущество теории Коперника стали усматривать именно в ее практической пользе. Однако и это мнение оказалось иллюзорным.

Как в действительности обстояло дело? В чем была истинная сила теории Коперника? Почему она вызвала революционное преобразование всего естествознания и научного мировоззрения?

§ 4. Замыслы и результаты

Как и большинство натурфилософов Древней Греции, Коперник представлял Вселенную замкнутым пространством, ограниченным сферой звезд, неподвижных каждая на своем месте. Подобно им, он считал истинные движения небесных тел равномерными и круговыми. Стремление *восстановить* чистоту планетной теории прежде всего в этом отношении, — достичь строгого выполнения провозглашенных Платоном и утвержденных Аристотелем основных принципов движения небесных тел, — его *равномерного кругового* характера, что явно нарушалось в системе Птолемея введением экванта, было для Коперника, по его собственным словам, одним из стимулов для поисков иных способов описания движений небесных тел. Но другим, несравненно более важным с точки зрения дальнейшего развития науки стимулом к ревизии и отказу от теории Птолемея стало для Коперника стремление *восстановить утраченную логическую простоту и стройность* планетной теории.

В ту эпоху, которую впоследствии называли эпохой Коперника, сосуществовало несколько моделей движений небесных тел. Но все они опирались на принцип геоцентризма. В этих системах движение планет представлялось с помощью нескольких равноправных, неоднозначных математических моделей. Для объяснения петель у данной планеты предполагалось, помимо движения по деференту, движение по своей группе эпициклов, никак не связанных, вообще говоря, с эпициклами и деферентом для другой планеты. В этом Коперник и увидел прежде всего несовершенство, более того, указание на коренную несостоятельность теории Птолемея. В ней отсутствовал единый стержневой принцип, который мог бы объяснить по крайней мере основные закономерности в движении планет. Это навело Коперника на мысль о ложности теории Птолемея и других подобных геоцентрических схем (в том числе и гомоцентрических) в чем-то основном. В них нарушался

¹ Новый календарь был введен с 5 (ставшего 15) октября 1582 г. по инициативе папы Григория XIII. В его основу был положен проект, предложенный итальянским астрономом и врачом Луджи Лиллио (1510—1576), имя которого, затерялось в лучах славы официального реформатора — и ныне известно лишь историкам астрономии.

принцип, известный еще древним грекам: «природа не терпит лишнего».

В этом принципе Коперник видел более глубокое проявление гармонии мира, выражающейся в стремлении возможно меньшим числом причин объяснить возможно большее число следствий, явлений. Такая единая причина могла бы, по мнению Коперника, выявить общий порядок, «симметрию», «соразмерность частей» Вселенной. Между тем птолемеява теория не претендовала на большее, чем описание *видимых угловых* перемещений небесных светил. Главный изъян геоцентрических систем мира Коперник видел именно в том, что «они не смогли определить форму мира и точную соразмерность его частей».

Подобным утверждениям, содержащимся в предисловии к своему труду, Коперник, быть может, впервые отметил основную особенность *птолемеевой* и других подобных систем — их условный, модельный характер и ограниченность узкопрактическими целями. Эти теории позволяли предвычислять лишь направления на небесные светила, без попыток раскрыть истинную удаленность и расположение в пространстве. Птолемей считал последние две задачи вообще не разрешимыми. Напротив, учет физических характеристик небесных тел в системе Коперника — уже во вводных главах — сразу показывает его отношение к своей теории как к теории *реального* устройства планетной системы, а для Коперника и *всей Вселенной*. (В этом с ним был сходен и Аристотель. Но цели эти у Аристотеля оказались недостижимыми из-за порочности основного принципа — геоцентризма.)

Главную идею иного, не геоцентрического способа описания видимого движения планет Коперник нашел у древнегреческих философов (по крайней мере он упоминает Филолая и Хикетаса). Это была идея подвижности Земли, обращающейся вокруг реального тела — неподвижного в пространстве, расположенного в центре мира. Для Коперника это было Солнце. Принять гелиоцентризм Копернику помогло усвоенное и развитое им представление об относительном характере движения (кинематический принцип относительности). Этот известный грекам еще в древности принцип начал вновь возрождаться как основа для понимания устройства окружающей Вселенной уже в сочинениях отдельных философов в средние века. Именно на этом основании в сознании ряда мыслителей пробивалась главная идея — о возможности объяснить основные астрономические явления — смену дня и ночи и движение звездной сферы (скорость которой при ее принимавшихся уже огромных размерах оказывалась фантастически большой) — подвижностью Земли, ее вращением (Бируни, Буридан). Но взяться за серьезное обоснование этой идеи на базе астрономического материала никто не решался.

Неравномерное петлеобразное движение планет, неравномерное движение Солнца Коперник, как и Птолемей, считал кажущимся эффектом. Однако этот эффект он представил не как результат подбора и комбинации движений по условным вспомога-

тельными окружностям, а впервые указал на реальную физическую (точнее, — кинематическую) причину явления: перемещение самого наблюдателя (как при наблюдении с плывущего корабля предметов, находящихся на берегу). Таким образом, он допустил, что наблюдение ведется с движущейся Земли. Это допущение *подвижности Земли* и стало главным новым (вернее, возрожденным и реабилитированным) принципом в системе Коперника. Он стремился обосновать его рядом физических и логических соображений.

Другим «нововведением» было принятие второй «еретической» идеи — *центрального положения Солнца* в системе. Заметим, что из принятия подвижности Земли еще вовсе не следует с необходимостью неподвижность и центральное положение Солнца во Вселенной. (Вспомним о подвижном Солнце в пифагорейских схемах, наконец, об истинном положении дел!) И то, что Коперник принял именно центральное положение Солнца, т. е. выделил его положение во Вселенной, имело свои особые причины — кинематические и (!) физические.

Коперник обратил внимание на особую роль Солнца, отразившуюся уже в ряде характерных закономерностей в птолемеевой модели. Планеты в ней по свойствам их движений как бы разделялись Солнцем на две группы — «нижние» (ближе к Земле, чем Солнце) и «верхние». В комбинации кругов для описания видимого движения каждой планеты обязательно существовал один круг с годичным, как у Солнца, периодом движения по нему. Для верхних планет это был первый, или главный эпицикл, для нижних — деферент. Кроме того, Меркурий и Венера (нижние планеты) вообще все время сопровождали Солнце, лишь совершая около него колебательные движения. Физическим основанием для выделения Солнца служили общепринятые к тому времени оценки его размеров — в сотни раз больше Земли по объему.

И все же допустить в XVI в. подвижность Земли, лишив ее положения центра мира, настолько противоречило общепринятому «здравому смыслу» (слова Коперника), что сам Коперник постарался смягчить впечатление от своего нововведения. Он особо отметил, что поскольку размеры сферы звезд и удаленность ее от планет колоссальны, то вся система планет вместе с подвижной теперь Землей оказывалась практически в центре этой Вселенной.

В свое время Птолемей (а до него еще Гиппарх) введением эксцентриков для более точного отображения неравномерности видимого движения небесных светил уже лишили Землю ее статуса единственного центра всех обращений, каким она обладала в аристотелевой Вселенной. От этой множественности центров обращения уже не смог избавиться и Коперник. Но он попытался восстановить в чистом виде принцип *равномерности* небесных движений и потому отверг идею экванта. Сохранил он также идею кругового движения, которая тогда просто не имела альтернативы. Отказом же от экванта Коперник сделал немалый шаг назад

(как это выяснилось, впрочем, лишь в свете открытий Кеплера).

Принцип круговых равномерных движений вынудил Коперника и в гелиоцентрической системе для достаточно точного описания движения планет сохранить несколько десятков (!) эпициклов (правда, 34, вместо 80), ввиду чего теория Коперника при расчетах была ненамного проще птолемеевой и практически не отличалась от нее по точности предвычислений положений планет на длительный промежуток времени. Несколько более высокая точность, дававшаяся на первых порах Прусскими таблицами, объяснялась не введением гелиоцентрического принципа системы, а более развитым (по сравнению с XIII в.) математическим аппаратом вычислений. Эти таблицы также вскоре неизбежно разошлись с наблюдениями. Последнее даже охладило первоначальное восторженное отношение к теории Коперника у тех вычислителей, которые ожидали от нее немедленных практических выгод (неплохой урок и пример ложного подхода к оценке принципиально новой теории!).

Что касается системы Коперника в целом как общей астрономической картины мира, то она сохраняла еще существенную черту древней аристотелевской (и еще более ранней) космологии: отождествляя структуру планетной системы и всей Вселенной, только центр мира теперь занимало Солнце. Уже спустя четыре десятилетия Бруно, одним из первых усвоивший не только идею подвижности Земли, но и идеи Николая Кузанского, отверг этот абсолютный гелиоцентризм. Он провозгласил тождественность Солнца и звезд и множественность «солнечных систем» в бесконечной Вселенной. Система Коперника в картине мира Бруно оказывалась лишь малым элементом.

§ 5. Система Коперника и ее роль в универсальной научной революции конца XVI — начала XVII в.

В чем же таилась истинно революционная сила учения Коперника? Его гелиоцентрическая система завершала собой более чем двухтысячелетний путь развития умозрительных (или опиравшихся на слишком грубый опыт) космологических теорий Вселенной и частично еще опиралась на некоторые древние космологические представления. Но она принципиально отличалась от всех прежних теорий.

Революционная преобразующая сила коперниковой системы таилась в ее внутренней логичности, в осуществлении принципа простоты (экономии причин), — отражение физического единства реальной системы. И достигнуто это было введением нового гелиоцентрического принципа движения планет, прежде всего подвижности самой Земли как планеты. Это позволило единой причиной объяснить совокупность главных астрономических явлений, многие из которых ранее были вообще необъяснимы!

С помощью двух основных действительных движений Земли — суточного и годового — теория Коперника сразу же объяснила смену дня и ночи, раскрыла причину суточного движения звездного неба, все главные особенности сложных неравномерных наблюдаемых движений планет (попятные движения, стояния, петли). Впервые было получено объяснение смены времен года: Земля движется вокруг Солнца, сохраняя неизменным в пространстве положение оси своего суточного вращения. Правда, для этого Копернику пришлось ввести «третье» движение Земли — обратное вращение, с тем же годовым периодом (вернее, почти с тем же), вокруг некой другой оси, перпендикулярной плоскости эклиптики². С помощью комбинации обычного годового движения Земли — обращения вокруг Солнца — и этого дополнительного обратного ее вращения, допуская небольшое различие в их скоростях, Коперник дал первое физико-кинематическое объяснение явления прецессии (принципиально отличающееся от кинематико-геометрического объяснения Гиппарха своей физичностью).

В системе Коперника впервые получила объяснение загадочная прежде последовательность размеров первых, или главных эпициклов у верхних планет (они были введены Птолемеем для описания петлеобразных движений планет). Размеры этих эпициклов по отношению к своему основному деференту уменьшались от Марса к Сатурну. Другой загадкой системы Птолемея было то, что движение по этим эпициклам, равно как и движение по деферентам для нижних планет, совершалось с одним и тем же периодом, равным периоду обращения Солнца вокруг Земли! Все эти годовые круги геоцентрической системы оказались излишними в системе Коперника. Петлеобразные движения планет теперь объяснялись одной-единственной причиной — годовым движением Земли вокруг Солнца. В различии же размеров петель (и, следовательно, относительных радиусов соответствующих первых эпициклов) Коперник правильно усмотрел отображение того же орбитального движения Земли: наблюдаемая с Земли планета должна описывать видимую петлю, и тем меньшую, чем дальше она от Земли.

Эта гениальная расшифровка видимых явлений и сведение их к одной причине позволила Копернику впервые за всю историю

² Годичное движение Земли Коперник представлял еще в духе древних представлений о вращательном движении, при котором наклоненная ось Земли описывала широкий конус, сохраняя таким образом свою ориентацию относительно центра вращения системы. Этот поворот оси Коперник и компенсировал, постулировав третье движение Земли. В то время еще не был установлен закон инерции в современном нам понимании и, следовательно, возможность сохранения пространственной ориентации оси Земли при орбитальном движении, т. е. не было известно поступательно-вращательное движение, какое и совершает в действительности Земля вокруг Солнца. (Это впервые понял Кеплер.) Коперник представлял инерциальное, бессиловое движение планет еще в духе механики Аристотеля, где оно мыслилось круговым. Такое представление об инерциальном движении сохранялось и долго после Коперника, даже в механике Галилея.

изучения неба сделать обоснованный вывод о действительном расположении планет в Солнечной системе и получить весьма точные относительные расстояния планет от Солнца (в расстояниях Земля—Солнце, т. е., выражаясь современным языком, в астрономических единицах, см. табл.).

Таким образом, то, что Птолемей считал непостижимым, уже содержалось в скрытом виде в его системе, в форме неких удивительных и непонятных числовых соотношений! Но только Коперник понял, что эти величины — а именно, обратные радиусам первых эпициклов для внешних планет и совпадающие с радиусами деферентов — для внутренних («нижних» по геоцентрической терминологии) — не что иное, как отображение истинных относительных расстояний планет от Солнца. Коперник как бы поставил зеркало перед зеркально перевернутой (по отношению к действительности) картиной Птолемея и, таким образом, впервые получил правильное, прямое изображение устройства планетной системы.

*Относительные расстояния планет
в Солнечной системе по Копернику
(в скобках — современные данные)*

Меркурий	0,375 (0,387)	Марс	1,52 (1,52)
Венера	0,720 (0,723)	Юпитер	5,21 (5,20)
Земля	1,000 (1,000)	Сатурн	9,18 (9,54)

Хорошее совпадение коперниковых и современных оценок показывает достаточно высокую точность, достигнутую в измерениях некоторых постоянных астрономических величин уже в древности, но вместе с тем еще раз демонстрирует бессилие геоцентрической системы в объяснении действительности. Только введение гелиоцентрического принципа позволило понять истинный смысл полученных величин.

Именно логическая стройность, экономность и в этом смысле простота и совершенство теории Коперника, ее способность объяснить немногими причинами совокупность многих явлений, считавшихся до этого совершенно различными, увязать их в единую систему привлекли к ней симпатии прогрессивно мыслящих ученых уже в XVI в.³ И уже неважно было, что принесенная в ней дань традициям — принятие круговых равномерных движений небесных тел, центрального положения одного тела во Вселенной (теперь это было Солнце) и ограничивающей Вселенную сферы звезд — снижало ее точность при практических расчетах или ограничивало Вселенную единственной планетной системой.

³ Одним из самых первых идеи Коперника оценил и стал излагать в своих лекциях базельский математик, геолог и астроном Х. Вурстейзен (1544—1588), рассуждения которого использовал Галилей в «Диалоге» в устах Сагрето — скрытого сторонника новой системы.

Возрожденные Коперником принципы подвижности Земли и центрального положения Солнца в системе планет не только явились ключом к объяснению истинного строения собственно Солнечной системы, но стали и мощным инструментом для дальнейшего познания мира за ее пределами. Теория Коперника вскрыла важнейший принцип устройства Вселенной: признав подвижность, планетарность, неуникальность Земли, она тем самым устраняла вековое представление и об уникальности по крайней мере материального центра вращения во Вселенной. Солнце стало главным центром вращения. (Земля же сохранила эту роль только для Луны.) Но Солнце не было уникальным телом. О его тождественности звездам как светила догадывались еще в древности. Это «освобождение» материального центра вращения от его «единственности» в свою очередь раскрепощало человеческую мысль, выпускало ее на простор для дальнейших сравнений и обобщений, которые уже вскоре — с 80-х годов XVI в. — и последовали.

Раскрытие двойственной причины сложных видимых планетных движений — разложение их на собственные реальные движения планет и на видимые, являющиеся отражением движения наблюдателя (т. е. Земли), направило мысль на поиски *истинных* движений небесных тел, а также на углубленное изучение *законов* движения вообще. Эти два пути развития теории Коперника привели к созданию небесной и общей механики и объединились впоследствии в новой, гравитационной физической картине мира. Геоцентрический способ описания видимого движения, например, Солнца, метеорных потоков, иногда комет сохранился в современной астрономии лишь как математический прием, удобный при решении некоторых задач.

На первый взгляд теория Коперника затрагивала лишь некий элемент аристотелевой физико-космологической картины мира — изменяла конкретную модель Вселенной и, напротив, даже стремилась сохранить остальное, во всяком случае механизм процесса: равномерные круговые движения небесных тел, причина которых не обсуждалась и у Коперника, т. е. они принимались как факт. Но теория Коперника сразу вступила в конфликт с главным элементом *физической* картины мира Аристотеля: небесные тела, как и Земля, которая была введена в круг планет, в свою очередь оказывались центрами тяжести, во всяком случае центрами обращения других тел.

А спустя чуть более полувека выяснилось противоречие гелиоцентрической системы (точнее, модели) Коперника и другому элементу картины мира Аристотеля: истинные движения планет оказались некруговыми и неравномерными. Таким образом, начавшись как революция в астрономии, коперниковская революция в теории планетных движений уже вскоре проявила черты революции физической, фундаментальной и в этом смысле универсальной, так как привела к полной смене *физической* картины мира.

Глава II
ЭПОХА «БУРИ И НАТИСКА»
В РАЗВИТИИ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
КАРТИНЫ МИРА

**§ 1. Последняя попытка спасти геоцентризм
и фактическое создание предпосылок
для торжества гелиоцентризма.
Тихо Браге**

До середины XVI в. астрономия в Европе была чем-то вроде приложения математики (а также, добавим и... медицины, через астрологию). Хотя целью той или иной теории и было описание наблюдаемых явлений, сами наблюдения, как правило, были весьма неточными. Производились они к тому же лишь от случая к случаю, в связи с тем или иным примечательным небесным явлением. Важнейшие астрономические величины все еще черпались не из новых наблюдений, а из сочинений древних авторов. Например, продолжала использоваться оценка солнечного параллакса, полученная еще Аристархом Самосским в III в. до н. э. (3').

Родоначальником точной наблюдательной астрономии в Европе является датский астроном Тихо Браге (1546—1601). Он создал первую в Европе специально оборудованную для систематических наблюдений астрономическую обсерваторию и построил крупные, уникальные для Европы инструменты. Впервые Браге получил известность своими наблюдениями и описанием новой звезды, вспыхнувшей на небе в 1572 г. в созвездии Кассиопеи. Тихо Браге первым показал, что этот «огненный метеор» — вовсе не атмосферное явление (как считалось в аристотелевой картине мира), но что это удивительное изменение (или появление нового) светила произошло на расстоянии не ближе Луны, т. е. в области других обычных звезд (впоследствии уже в нашем веке выяснилось, что это была сверхновая).

Браге определял положения и движения светил с небывалой до той поры точностью. К нему стекались многочисленные ученики, его посещали даже коронованные особы, правда более интересуясь предсказанием судьбы по звездам, нежели самими звездами. Впрочем, и сам Тихо Браге верил в астрологию и высказал как-то мысль, что планеты с их движениями по таинственным и удивительным законам не имели бы никакой ценности, если бы не предсказывали судьбы людей...

Астрономией он увлекся в ранней юности. Однако первое удивление и восхищение точностью этой науки, вызванное наблюдением солнечного затмения в 1560 г., которое случилось в точно предсказанный день, вскоре сменилось разочарованием. В предвычислении следующего наблюдавшегося им (1565 г.) редкого явления — соединения двух планет, Юпитера и Сатурна — старые Альфонсинские таблицы XIII в. ошиблись на целый месяц, и даже новые, гелиоцентрические Прусские — на несколько дней.

Повышение точности астрономических наблюдений стало главным делом жизни Тихо Браге.

До изобретения телескопа наблюдения велись невооруженным глазом с помощью угломерных инструментов, снабженных диоптрами. Существенного увеличения точности таких визуальных наблюдений можно было добиться, как это мы видели на примере Улугбека, лишь путем увеличения размеров инструментов — квадрантов и секстантов. Действительно, на этом пути за полтора века до Браге Улугбек достиг особенно больших успехов. Ничего не зная о своем предшественнике, по этому же пути пошел и датский астроном. Он добился невиданной для европейцев того времени точности в измерениях угловых расстояний между светилами (как утверждают некоторые современные историки, до 10" и даже до 5"). Еще в юности он задумал и построил свой первый инструмент для точных астрономических наблюдений — огромный квадрант с радиусом дуги около 6 м и латунным кругом (разумеется, четвертью круга), разделенным на минуты. Наблюдение светил для большей точности велось через два диоптра, установленных на квадранте.

Большую роль в повышении точности наблюдений сыграли многочисленные внесенные Тихо Браге технические усовершенствования, а также новая, впервые разработанная и примененная им методика наблюдений. Правда, с появлением телескопа технические усовершенствования Тихо Браге в целом потеряли свое значение. Однако методика его наблюдений заложила основы современной практической астрономии (особенно продуктивно развивавшейся в XIX в. Ф. Бесселем). Одним из важных усовершенствований было введение Тихо Браге различных поправок, учитывающих механические и другие погрешности, взаимная нейтрализация ошибок путем многократного повторения одного и того же наблюдения в различных условиях и т. д.

В числе первых наблюдавшихся Браге объектов были кометы. Измерив параллакс кометы 1577 г. (который оказался меньше, чем у Луны), он впервые в истории астрономии достаточно убедительно доказал, что это космические тела, а не атмосферные явления (как считал, например, даже много позже Галилей). Но самая большая из заслуг Тихо Браге — организация и проведение впервые в истории европейской астрономии систематических многолетних астрономических наблюдений (вспомним, правда, и здесь Региомонтана и Вальтера). Если наблюдения Коперника исчислялись десятками, то у Тихо Браге наблюдений одного только Солнца — причем непрерывных изо дня в день, из года в год — в течение 20 лет насчитывалось несколько тысяч. В результате он измерил длину года с ошибкой меньше 1 с и составил таблицы движения Солнца, по которым его положение на небе определялось с точностью до 1'. В движении Луны он открыл два новых неравенства — вариацию и годичное уравнение. Ему же принадлежит открытие — теперь уже как наблюдательного факта — колебаний наклона лунной орбиты к эклиптике и

изменений в движении лунных узлов — точек пересечения орбиты Луны с эклипстикой. Кроме того, он составил уточненный каталог тысячи звезд (традиционное число; в действительности заново были измерены координаты около 800 звезд, с точностью до 1').

Наиболее важными для последующего развития астрономии оказались весьма точные по тем временам измерения Тихо Браге положений Марса. Они проводились непрерывно в течение 16 лет, за которые Марс успел обойти 8 раз вокруг Солнца. Планета наблюдалась по всей своей орбите.

Замечательной чертой научного метода Браге было и то, что он рассматривал наблюдения не как самоцель, но как средство для построения новых гипотез и теорий об устройстве мира планет. Мечтой его жизни было создать более точную теорию планетных движений, ибо все существовавшие в то время астрономические таблицы, как уже говорилось, содержали наибольшие ошибки именно в предвычислении положений планет.

Браге не принял гелиоцентрическую систему мира Коперника, с которой ознакомился по ее краткому изложению («Малый комментарий»). Он считал невозможным удовлетворительно объяснить расхождение прямых следствий системы Коперника с наблюдениями (ненаблюдаемость параллактического смещения у звезд и фаз у Венеры и Меркурия). Объяснить же это удаленностью звезд от планетной системы и планет друг от друга он также не считал возможным, поскольку не мог в свете распространенных тогда представлений о целесообразности природы объяснить существование «совершенно неиспользуемой» пустоты, особенно между планетной системой и звездами.

Тихо Браге обнародовал в 1588 г. свою компромиссную и остроумную систему мира (рис. 16, б) с неподвижной Землей в центре Вселенной, вокруг которой обращаются Луна и Солнце, а уже вокруг последнего остальные пять планет. По некоторым источникам, он придумал ее еще в 1583 г. Есть сведения, что подобную же модель предлагал ранее Рейнгольд, автор первых гелиоцентрических планетных таблиц. На приоритет в авторстве этой (вернее, сходной) концепции претендовал также Реймерс (Бэр). Любопытно, что у Реймерса допускалось суточное вращение Земли. Возможно, эти гипотезы возникли независимо. (Как мы видели выше, идея такой системы была еще у древних египтян и затем возродилась у Гераклида Понтийского в IV в. до н. э.) Именно эту систему, распространенную на все планеты, надеялся подтвердить Браге с помощью своих наблюдений Марса. Не располагая, однако, ни временем, ни, главное, достаточными математическими познаниями, он пригласил к себе с этой целью в Прагу молодого немецкого математика и астронома И. Кеплера. Однако и тот не оправдал его надежд... Вопреки желанию и завещанию Браге, его обширные и точные наблюдения Марса стали фундаментом, на котором началось создание *истинной* механики неба, окончательно утвердившей справедливость гелиоцентрического принципа устройства планетной системы.

**§ 2. Первый прорыв за пределы
абсолютного гелиоцентризма Коперника
к идее множественности гелиоцентрических систем
в бесконечной Вселенной.
Джордано Бруно**

Спустя немногие десятилетия после кончины Коперника была раскрыта революционная сущность его великого учения. Это сделал бывший монах одного из неаполитанских монастырей Джордано Бруно (1548—1600). Его незаурядный смелый ум, бескомпромиссное стремление к истине не только привели его на путь защиты и страстной пропаганды учения Коперника, но и помогли разбить рамки древних традиций, стеснявшие это учение, и пойти несравненно дальше в осознании истинных черт Вселенной. Из рядового монаха (подлинное имя Филипп из Нолы) Джордано Бруно стал широко и глубоко эрудированным философом, после того как прочитал и осмыслил большинство книг в богатой монастырской библиотеке.

В 60-е г. по сокращенному изложению Ретика Бруно познакомился с гелиоцентрической теорией Коперника. Она показалась ему вначале нелепой, но заставила критически присмотреться к официальному учению Птолемея и более внимательно — к материалистическим учениям древних атомистов о бесконечности Вселенной. Особенно большую роль в формировании взглядов Бруно сыграло его знакомство с натурфилософской концепцией Николая Кузанского, в которой отрицалась возможность для любого тела быть центром Вселенной, поскольку она бесконечна и безгранична. Пораженный этой идеей, Бруно понял, какие грандиозные перспективы открывал гелиоцентризм, если понимать его не как учение о всей Вселенной, а как теорию типичной для Вселенной локальной системы — планетной. Это свое открытие он выразил вдохновенными словами написанной им поэмы о природе:

«...Отсюда ввысь стремлюсь я, полон веры!
Кристалл небес мне не преграда боле.
Но вскрывши их, подьёмлюсь в бесконечность...»

Приняв гелиоцентрический принцип для Солнечной системы и распространив его на другие звезды-солнца (которые считал в большинстве центрами других систем), Бруно, не склонный к компромиссам, быть может, первым верно оценил теорию Коперника как правильную в главном, но еще половинчатую. Он писал: «...ему [Копернику] мы обязаны освобождением от некоторых фальшивых допущений общей вульгарной философии. Но он недалеко от нее отошел ... зная математику глубже, чем природе».

Глубоко проникшись философско-космологическими идеями древних натурфилософов и крупнейших мыслителей средневековья, таких как Ориген, Николай Кузанский, и опираясь на главные выводы теории Коперника, Бруно создал собственную ес-

тественно-философскую концепцию бесконечной Вселенной с бесконечным множеством отдельных гелиоцентрических планетных систем в ней.

Некоторые идеи в космологии Бруно поражают своей глубиной, несмотря на традиционную и наивную форму: он был в философии гилозоистом и одушевлял все тела природы, называя «душой» внутреннюю силу движения небесных тел. Спустя столетия многие догадки Бруно подтвердились как наблюдательные факты.

Концепция Бруно была изложена им в двух сочинениях, изданных в 1584 г.: «О причине, начале и едином» и «О бесконечности, Вселенной и мирах». Вслед за Николаем Кузанским он отрицал существование какого бы то ни было центра Вселенной. Бруно утверждал бесконечность Вселенной во времени и пространстве и представлял небо как «единое, безмерное пространство, лоно которого содержит все», как эфирную область (понимая эфир как вид обычной материи), «в которой все пробегает и движется». Он писал: «В нем — бесчисленные звезды, созвездия; шары, солнца и земли, чувственно воспринимаемые; разумом мы заключаем о бесконечном количестве других». «Все они, — пишет он в другом месте, — имеют свои собственные движения, независимые от того мирового движения, видимость которого вызывается движением Земли», причем «одни кружатся вокруг других».

Ломая представление о единой сфере звезд, Бруно писал о колоссальных различиях расстояний до разных звезд и сделал вывод, что поэтому соотношение их видимого блеска может быть обманчивым. Он разделял небесные тела на самосветящиеся, звезды, солнца, и на темные, которые лишь отражают солнечный свет «из-за обилия на них водных или облачных областей». Бруно утверждал изменимость всех небесных тел, полагая, что существует непрерывный обмен между ними космическим веществом. Эту идею он распространял и на Землю. В эпоху, когда все в мире и на Земле считалось неизменным, раз и навсегда созданным богом, который один только может вызвать какие-либо изменения, вроде библейского внезапного катастрофического потопа в наказание за грехи людей, Бруно утверждал, что «поверхность нашей Земли меняется только через большие промежутки эпох и столетий, в течение которых моря превращаются в континенты, а континенты в моря».

Общим фоном учения Бруно была идея саморазвития природы (хотя и понимаемая еще в духе древних — как проявление ее одушевленности). Он утверждал общность элементов, составляющих Землю и все другие небесные тела, и считал, видимо, под влиянием философов Востока или греков, что в основе всех вещей лежит неизменная исчезающая первичная материальная субстанция. В XVI в. это звучало прежде всего дерзким вызовом всемогущей церкви с ее претензией объяснить всю природу на основе Библии.

Новое, ошеломляюще смелое учение Бруно, открыто провозглашавшееся им в бурных и победных публичных диспутах с представителями официальной науки, определило дальнейшую трагическую судьбу ученого. К тому же дерзость его научных выступлений была хорошим предлогом, чтобы расправиться с ним и за его откровенную критику непомерного обогащения монастырей и церкви...

Бруно предвидел свою судьбу. За много лет до рокового дня он писал: «Было во мне все-таки то... в чем не откажут мне будущие века, а именно: «Страх смерти был чужд ему, скажут потомки, силою характера он обладал более, чем кто-либо, и ставил выше всех наслаждений жизни борьбу за истину». Силы мои были направлены на то, чтобы заслужить признание будущего».

И он заслужил такое признание! Спустя почти три столетия после казни Бруно в Риме на площади Цветов, на месте, где некогда был зажжен костер, прогрессивное человечество воздвигло памятник великому мыслителю с посвящением, начинающимся словами: «От столетия, которое он предвидел...».

Действительно, к натурфилософии Бруно восходит своими истоками многоплановая современная картина вечной, никем не сотворенной, вещественно (точнее, материально) единой, бесконечно развивающейся в своих частях Вселенной, с бесконечным числом очагов Разума в ней. Великий Ноланец, как его иногда называют в истории науки, набросал смелой кистью первый эскиз этой картины, опередив развитие наблюдательных знаний на четыре столетия. Еще не была раскрыта организующая сила Вселенной — всемирное тяготение. Но уже приближалось время открытия ее первых «вселенских» законов — пока еще в рамках планетной системы. Предстоял долгий и трудный путь дорисовки этого эскиза, наполнение его красками и четкой прорисовкой связей между явлениями, превращения в новую физическую картину мира.

Многие идеи Бруно оказались преждевременными, недоступными для понимания и были надолго забыты. Но одна уже вскоре овладела умами. Это — возрожденная им впервые на естественнонаучной основе идея множественности обитаемых миров. Она существенно меняла астрономическую картину мира, став одним из первых мировоззренческих следствий великой революции Коперника.

§ 3. Разрушение аристотелевой системы физики как следствие революции Коперника в астрономии и первое наблюдательное обоснование гелиоцентризма.

Галилей

Вплоть до конца XVI в. физическим фундаментом представлений об устройстве мира в целом оставалась древняя физика Аристотеля. Продолжали господствовать представления не только

о принципиальном различии материи, из которой состоят земные, «подлунные» тела, и той, которая образует тела небесные (невесомые эфирные). Принципиально различными считались и сами физические законы в подлунном и надлунном мирах. Физика же все еще практически сводилась к механике (статике и кинематике). Движения еще разделялись на «естественные» и «насильственные» (первые — это якобы прирожденные движения легких тел вверх, а тяжелых — вниз — для подлунного мира и круговые, вечные — для невесомых небесных тел). Относительно вторых считалось, что они совершаются лишь при непрерывном воздействии на тело внешней механической силы.

Такая физическая картина сложилась на основе грубого повседневного опыта и чисто умозрительных заключений. Несмотря на критику механических воззрений Аристотеля со стороны отдельных философов (Иоанном Филопоном, Буриданом), в период господства геоцентрического мировоззрения, по сути, не было достаточно прочной опоры для такой критики ввиду явно выделенного положения и состояния Земли во Вселенной. Понятие же о точном научном эксперименте еще не существовало: он не отличался от житейского наблюдения и опыта.

Совсем иная обстановка создавалась с появлением гелиоцентрической концепции Коперника. Уже одно то, что Земля оказывалась обычной планетой, заставляло усомниться в физике Аристотеля в целом и с большим вниманием отнестись к критическим замечаниям о его механике. Возник серьезный стимул для непосредственной проверки законов механики на Земле, т. е. к развитию эксперимента. Результатом этого стало крушение всей физической картины мира Аристотеля и прежде всего его механики. Начало этого великого переворота в механике связано с именем великого итальянского физика и астронома Галилео Галилея (1564—1642) — одного из основателей современного теоретико-экспериментального естествознания. Ему же принадлежит и не менее великая заслуга получения первых наблюдательных свидетельств в пользу справедливости гелиоцентрической планетной теории Коперника.

В 90-е г. XVI в. Галилей начал наступление на всю безнадежно устаревшую, но все еще принимавшуюся на веру физику Аристотеля, на геоцентрическую систему мира Птолемея, ставшую опорой религии, на традиционную схоластическую науку, унаследованную от средневековья. В механике Галилей заложил основы современной кинематики, законы которой он вывел в результате специально поставленных экспериментов. Сравнивая движение тел по наклонной плоскости с их свободным падением, он установил одинаковый характер обоих движений и открыл законы свободного падения тел (в частности, независимость скорости его от веса тела), установил законы качания маятника и построил теорию равномерно ускоренного движения. Галилей ввел, таким образом, в «земную» механику движения количественный эксперимент и математическое описание явлений. Такой подход в кор-

не отличался от чисто качественных методов научного исследования в средние века.

Более того, Галилей тем самым заложил основы будущего научного метода изучения природы, который заключается в количественном анализе наблюдаемых частных явлений и обобщении их в виде установления общего закона. Из такого подхода развился в дальнейшем индуктивный метод познания природы: от частного к общему.

Единственное, в чем Галилей остался аристотелианцем в физике, было его представление об инерциальном (бессиловом) движении как о движении *круговом* (таким он продолжал считать движение небесных тел и после открытий Кеплера).

С именем Галилея связано не только открытие основных законов равномерно-переменного и ряда более сложных видов движения, но и установление основных понятий кинематики и динамики и открытие общего принципа классической механики (принципа относительности Галилея). Исследования его в механике, которые он сам считал основными в своей деятельности, в значительной степени определили дальнейшее развитие этой науки и, наряду с законами Кеплера, легли в основу классической ньютоновской физики и физической картины мира.

Но в той грандиозной ломке мировоззрения в области естествознания, которая началась в эпоху позднего Возрождения (XVI—XVII вв.), первостепенную роль сыграли прежде всего собственные *астрономические* открытия Галилея с помощью введенных им в астрономию новых способов наблюдения и, главное, защита на этой основе учения Коперника.

Аристотелево учение об идеальности, вечности и неизменности небесных тел, птолемеява система мира с неподвижной Землей в центре Вселенной — все это превратилось ко времени Галилея в предмет слепой веры. Новое же гелиоцентрическое учение Коперника все еще оставалось гипотезой, не только не подтвержденной, но отчасти противоречившей наблюдениям того времени (у звезд не наблюдалось параллактических годовичных смещений). Во времена Галилея даже тех немногих, кто начинал склоняться к признанию гелиоцентрической системы, хотя бы по причине ее большей простоты и логичности, мог смущать удивительный факт, что лишь у нашей Земли имеется спутник — Луна. Это все еще выделяло Землю уже в планетной системе.

Астрономические исследования Галилея изложены в его знаменитом «Звездном вестнике» (1610), в не менее знаменитом письме «О солнечных пятнах» (1613) к его ученику Б. Кастелли и в основном астрономическом сочинении Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира, птолемеявой и коперниковой» (1632). В «Звездном вестнике» он описал, кроме того, историю создания своего телескопа⁴. Осенью того же года Галилей и поч-

⁴ Устав летом 1609 г. об изобретении в Голландии зрительной трубы, Галилей самостоятельно сконструировал ее усовершенствованный вариант, приме-

ти одновременно с ним С. Мариус и Т. Гарриот первыми использовали оптический инструмент для наблюдения неба. Однако по качеству своего инструмента, систематичности и результатам наблюдений и, главное, глубине их интерпретации Галилей сразу и намного опередил своих современников. Под влиянием его удивительных результатов, изложенных в «Звездном вестнике», и другие начали систематическое изучение неба с телескопом. Поэтому можно утверждать, что именно с астрономических наблюдений и исследований Галилея начинается новая, оптическая эра наблюдательной астрономии.

Несмотря на нечеткость первых изображений (главным образом, по причине хроматической аберрации), телескоп Галилея колоссально расширил пределы наблюдаемой Вселенной и впервые подтвердил некоторые гениальные догадки древнегреческих натурфилософов. Так, в бледных облаках Млечного Пути он обнаружил огромные скопища звезд, подтвердив мысль об этом Демокрита. Галилей первым отметил как в самой полосе Млечного Пути, так и в других частях неба существование скоплений звезд, которые простому глазу представлялись маленькими туманными пятнами (Ясли в созвездии Рака, скопление возле звезды λ Ориона; такие пятна, или «туманные звезды», со времен Птолемея считали более плотными частями твердой небесной сферы, якобы отражавшими солнечные лучи). Галилей первым сделал обоснованный наблюдениями вывод о звездном составе подобных «туманностей».

Таким образом, впервые в истории астрономии было показано, что путем прямых наблюдений можно изучать не только движение светил, но также строение и состав космических объектов и что с улучшением наблюдательных средств наши представления о Вселенной могут в корне меняться.

К первым заключениям Галилея о звездной природе светлых туманностей (которых ко времени изобретения телескопа было отмечено около двух десятков) восходит концепция островных вселенных.

В то время как отдельные светлые туманности и некоторые пятна света в Млечном Пути разлагались при наблюдении в телескоп Галилея на звезды, другие, гораздо более обширные области Млечного Пути при этом продолжали сиять непрерывным млечным, или жемчужным, светом. Это послужило для Галилея реальным свидетельством колоссальности масштабов мира звезд. К такому выводу его приводили и другие наблюдения. Галилей заметил, что в отличие от планет, которые в поле зрения его

ниж соответственно для объектива и окуляра плоско-выпуклое и плоско-вогнутое стекла. Телескоп Галилея давал прямое мнимое изображение предмета (чем отличался от последующих телескопов-рефракторов). Увеличение, сначала равное 3, позднее было доведено до 32, что для такого типа инструментов является пределом. Название инструмента «телескоп» придумал Демесиани (1576—1614), член «Академии рысьеглазых» (физиков-экспериментаторов), в которую входил и Галилей.

телескопа имели вид кружков, звезды всегда оставались точкам, лишь увеличиваясь в яркости. Это было новым доводом в пользу безмерной удаленности звезд и таким образом подкрепляло мнение Коперника о причине ненаблюдаемости параллактических смещений у звезд (восходящее к Аристарху). В своем письме к Ф. Инголи (1624) Галилей окончательно отверг представление о расположении звезд на одной (хотя бы и чрезвычайно удаленной) сфере (вернее, в тонком сферическом слое), как это со времен Аристотеля принималось большинством (в том числе, например, и Кеплером). Но в целом мир звезд все еще оставался за пределами возможностей исследования. Свое внимание Галилей сосредоточил на открытиях, сделанных им в мире планет.

Эти наблюдения, напротив, впервые «приблизили» небесный мир к земному, обнаружив первые свидетельства принципиального единства физической природы Земли и планет и развенчав аристотелевы представления об идеально круглых и гладких небесных телах. О поверхности Луны Галилей писал, что она является «наоборот, неровной, шероховатой, покрытой впадинами и возвышениями, совершенно так же, как и поверхность Земли, которая то здесь, то там отмечается горными хребтами и глубокими долинами». Он впервые оценил высоту лунных гор (около 7 км, что близко к современным оценкам, правда, крутизна их оказалась оптическим эффектом) и отметил их особую, кольцевую форму (цирки).

Сама интерпретация астрономических наблюдений Галилея была в значительной мере следствием революционной идеи гелиоцентризма, так как последний предполагал равноправие Земли и планет (включая Луну). Рассматривая Луну также в телескоп, но не опираясь на идею гелиоцентризма, Гарриот, как уже упоминалось, лишь сравнил ее с... тортом, а противники Галилея были убеждены, что вся картина возникает из-за различий степени темноты и окраски разных частей гладкого шара Луны, либо даже предполагали, что наблюдаемые неровности, хотя и существуют, но находятся внутри слоя прозрачного твердого вещества, образующего идеально гладкую сферическую поверхность Луны.

Во времени наблюдений Галилеем Солнца догма об особом мире совершенных небесных тел была поколеблена и открытием солнечных пятен. Первым в июне 1611 г. опубликовал сообщение об этом открытии, сделанном в марте того же года, Й. Фабрициус (1587—1616). Он убедительно показал, что обнаруженные им три пятна на солнечном диске принадлежат телу самого светила (которое он, как и другие в его время, считал твердым). По видимому перемещению пятен он впервые открыл вращение Солнца и оценил его период (около месяца). Позднее — в 1613 г. — появилось сообщение о наблюдении их Галилеем еще в июле—августе 1610 г. В декабре 1610 г. солнечные пятна независимо открыл и Гарриот, но этот факт стал известен много позднее. В 1612 г. появилось сообщение Х. Шейнера о наблюдении пятен

в марте 1611 г., но он не понял природы явления, приняв пятна за более близкие к Солнцу планеты (повторив ошибку Кеплера). Дело в том, что раньше всех из европейских ученых солнечное пятно наблюдал на экране в камере-обскуре Кеплер (1607 г.), но принял его за Меркурий. Окончательному утверждению мнения о пятнах как детали солнечной поверхности способствовало открытие Галилеем реальных и довольно быстрых изменений формы пятен (помимо их сплющивания на краю диска за счет перспективы, что открыл уже Фабрициус). Новой физической деталью на Солнце были открытые Галилеем в 1612 г. маленькие яркие образования (очевидно, факелы), которые уже нельзя было спутать с посторонними телами и по которым Галилей подтвердил вращение Солнца. Темные же пятна он считал облаками в солнечной атмосфере.

Еще большее впечатление произвело открытие Галилеем спутников у Юпитера и фаз у Венеры. Уже во время первых наблюдений в 1610 г. он убедился, что обнаруженные им близ Юпитера четыре маленькие звездочки, расположенные на одной прямой, изменяют свое положение относительно планеты. Продолжив наблюдения, он установил периодичность в движении этих «звездочек» и тем доказал, что это спутники планеты.

Рассматривая в телескоп Сатурн, Галилей заметил по бокам его диска странные выступы. Он также принял их за два спутника планеты, очень близких к ней. Поскольку явление все еще оставалось для него загадочным, то о своем открытии Галилей сообщил в виде анаграммы — набора букв, составлявших после правильной их расстановки фразу: «Высочайшую планету тройною наблюдал». Но его предположение оправдалось не буквально. Таинственные выступы оказались знаменитым кольцом планеты, существование которого (в 1656 г.) установил Х. Гюйгенс. Только спустя еще два века было открыто, что это колоссальная и сложная по своей структуре система маленьких спутников Сатурна (которые, впрочем, далеко не исчерпывают собой состав колец).

Среди всех своих астрономических открытий наиболее значительным Галилей считал обнаружение спутников у Юпитера. В их достоверности он особенно стремился «убедить всех астрономов и философов». Это было нелегко. И не только из-за недоверия многих к открытиям Галилея по мировоззренческим соображениям. Первые телескопы давали очень плохие изображения, сильно искаженные за счет сферической и главным образом хроматической аберрации. «Случайный», да еще предубежденный наблюдатель, взглянув на небо в такой телескоп, вполне мог увидеть там лишь радужные дрожащие размытые пятна.

Впервые за всю историю цивилизации были обнаружены новые подвижные небесные тела (наименование «спутники» ввел Кеплер), которые обращались явно вокруг другой, уже известной планеты. Луна перестала быть исключением в системе Коперника, а Земля — единственным центром, вокруг которого должны были,

согласно Птолемею (а вернее, Аристотелю), обращаться все небесные тела. И все же это открытие было лишь косвенным подтверждением системы Коперника. Следующее телескопическое открытие Галилея — обнаружение в декабре 1610 г. у планеты Венеры фаз, как у Луны, в том числе и «полной Венеры», явилось первым неопровержимым аргументом, показывавшим несостоятельность системы Птолемея, в которой Венера, будучи нижней планетой, не могла оказываться в фазе «полновенерия»! Правда, открытие это еще не позволяло сделать выбор между системами Коперника и Тихо Браге. Но поскольку вместе с кинематической схемой Коперника в астрономию вошел и принцип «экономии причин», то при явном опровержении птолемеевой системы шансов на победу стало больше именно у системы Коперника.

Однако открыто провозгласить это в Италии начала XVII в. — значило повторить трагическую судьбу Джордано Бруно. Поэтому необходимо было убедить в своей «благонамеренности» католическую церковь. Между тем «Звездный вестник» — небольшое сочинение, в котором Галилей изложил свои телескопические открытия, и еще более «Письмо о солнечных пятнах», где он утверждал первостепенную роль чувственного опыта в исследовании окружающего мира, вызвали резкие нападки на ученого и обвинения его в отступлении от Священного Писания. Вся дальнейшая жизнь Галилея была связана с неоднократными поездками в Рим для объяснений с папой, высшим духовенством, со «святой инквизицией». И ни огромный научный авторитет, ни близкое знакомство с кардиналом Барберини (позже — папа Урбан VII), ни даже искренняя преданность Галилея католической церкви, в чем у Рима не было сомнения, не спасли гениального ученого от суда инквизиции.

Опубликование самих астрономических открытий не вызвало еще тревоги и даже нашло признание у высоких духовных сановников, вопреки нападкам научных противников Галилея и разного рода доносчиков. Несмотря на официальный запрет в 1616 г. пропаганды системы Коперника, у Галилея все еще сохранялась иллюзия приемлемости его взглядов для католической церкви. Их изложение в осторожной форме было даже официально разрешено ученому. Система Коперника должна была при этом представляться лишь как одна из возможных и абстрактных математических теорий. Опубликование «Диалога» разрушило иллюзии и у Галилея в отношении терпимости церкви к его воззрениям, и у католического Рима в отношении истинного смысла этого труда. Напечатанный в феврале 1632 г. с разрешения римской духовной цензуры, он уже в августе был изъят из продажи и внесен в папский «Индекс» запрещенных книг.

Между тем форма «Диалога» крайне осторожна: трое друзей ведут мирную, без особого полемического задора, неторопливую беседу о весьма отвлеченных вещах. Причем каждый искренне и непредубежденно — что относится прежде всего к стороннику Ко-

перника — Сальвиати и «нейтралисту» Сагрето — старается понять точку зрения другого, допуская сначала ее справедливость. Однако, несмотря на это, а скорее, именно благодаря такой объективности беседующих, установки аристотелевой физики, проповедовавшиеся католической церковью, как и сама система Птолемея, терпят в «Диалоге» очевидный крах. Новые же идеи Коперника, дополненные еще более революционными идеями Бруно о бесконечности Вселенной и множественности обитаемых миров, с убедительностью торжествуют перед читателем. Для католического Рима не могло оставаться никаких сомнений в невероятной силе и, следовательно, опасности ее идейного противника — Галилео Галилея.

Автор «Диалога» в 1633 г. был вызван в Рим. Под угрозой пытки старого ученого (ему тогда было 69 лет) принудили отречься от «заблуждений». Но и после этого Галилей продолжал работать и сумел в далекой протестантской Голландии переиздать несколько раз свой «Диалог», а в 1638 г. опубликовал там же «Беседы о механике». Быть может, именно этот реальный протест и несломленность духа ученого и вызвали к жизни красивую легенду о словах Галилея, якобы брошенных им после публичного покаяния: «А все-таки она вертится!»

В своих последних сочинениях Галилей предстает непобежденным борцом эпохи великого Возрождения культуры и науки.

Глава III

РЕВОЛЮЦИЯ В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ О МЕХАНИКЕ НЕБА И НОВАЯ ГАРМОНИЯ МИРА. КЕПЛЕР

§ 1. Кеплер в истории науки

Научная революция, начатая Коперником в астрономии, привела к коренному изменению и физической картины мира, так как вместе с геоцентризмом была разрушена и физика Аристотеля и его космология. Этот революционный процесс достиг своего апогея в идейной борьбе Галилея и Кеплера, с трудов которых начинается история нового естествознания и формирования новой физической картины мира. Этот грандиозный труд был завершен Ньютоном созданием классической полной системы механики и гравитационной космологии. В фундамент последней вошли три закона планетных движений, открытые в начале XVII в. великим немецким ученым Иоганном Кеплером (1571—1630).

Научный вклад Кеплера этим далеко не исчерпывается. Но в истории открытия и дальнейшей судьбе его трех законов наиболее четко проявилось то новое, что он внес в развитие естествознания и что изменило в первую очередь облик астрономии.

Поиски точных законов гелиоцентрического планетного мира стали главным делом его жизни. В ходе этой колоссальной работы проявились не только гениальность Кеплера как астронома и математика, но и смелость мысли, свобода духа, благодаря которым он сумел преодолеть тысячелетние космологические традиции и вместе с тем возродить и поставить на службу науке известные с древности, но, по существу, забытые натурфилософские принципы, наполнив их более глубоким содержанием.

Уже современники Кеплера убедились в точности открытых им законов. Но они считали их удачной эмпирической находкой, «правилами», полученными без каких-либо предпосылок и обоснований, путем подбора величин. Спустя несколько десятилетий Ньютон раскрыл истинный физический смысл и универсальность «правил» Кеплера, показав, что они описывают движение в системе любых двух тел, подчиняющихся закону всемирного тяготения и достаточно удаленных друг от друга (невозмущенное кеплерово движение). Открытия в звездной Вселенной подтвердили это. Правила Кеплера были признаны законами, но их вывод продолжали считать чисто эмпирическим.

Творчество Кеплера как бы делили на две части, не только не связанные между собой, но лишь каким-то чудом не мешавшие одна другой, поскольку они соседствовали в его сочинениях. Дело в том, что в его работах, наряду с изложением точных законов, выведенных из наблюдений, немало философских, а то и мистических на первый взгляд рассуждений, связанных с идеей «мировой гармонии» и поисками простых числовых отношений в мире. Общие идеи, составляющие большую часть сочинений Кеплера «Новая, изыскивающая причины астрономия, или физика неба» (1609) и «Гармония мира» (1619), где изложены его законы, рассматривались как неизбежная дань эпохе, лишь мешающая восприятию его научных открытий. В свое время знаменитый Галилей, с которым Кеплер вел дружескую переписку, с улыбкой отнесся к философской направленности его поисков неких универсальных количественных закономерностей мира. Галилей считал это простым воскрешением древней пифагорейской идеи о роли числа во Вселенной, несовместимым с новым направлением естествознания, в котором утверждался авторитет точного эксперимента и измерения. Поэтому Галилей не обратил внимания на кеплеровы законы (а, возможно, и не ознакомился с ними, хотя Кеплер и послал ему свое сочинение 1609 г., где были изложены первые два закона). Почти через три века Кеплер подвергся обвинениям как раз в обратном. Так, выдающийся русский физик Н. А. Умов считал, что Кеплеру (наряду с Коперником, Тихо Браге, Галилеем) недоставало руководящих идей, «которые связывали бы и концентрировали факты, направляли исследования и досказывали то, что оставалось еще скрытым». В наши дни Д. Пойа, известный современный математик и исследователь истории науки, отметил к тому же «странность» вопросов, которые

Кеплер задавал природе — о причине числа планет или их распределения в Солнечной системе.

Но так ли уж странны вопросы Кеплера? В XVIII в. интерес к подобным проблемам привел к созданию основ научной космогонии (Кант, Ламберт, Лаплас). Вопрос Кеплера о законе и причине распределения планет по их расстояниям от Солнца, занимавший астрономов и позднее (Тициус, Боде), не только натолкнул самого Кеплера на мысль о недостающих элементах системы (между Марсом и Юпитером, например), но с течением времени приобрел глубокий физический смысл как вопрос об условиях и зонах устойчивого движения в системе гравитирующих тел. Наконец, именно многолетние поиски Кеплером числовой гармонии завершились открытием третьего закона планетных движений. Что же касается отмеченного Умовым недостатка общих направляющих идей у Кеплера, то дело здесь, видимо, в том, что Умов, как некогда Галилей, был введен в заблуждение *формой* изложения и не увидел нового философского и методологического подхода к изучению природы — того, что направляло научные поиски Кеплера и в значительной степени обеспечило их успех. Эту сторону творчества Иоганна Кеплера одним из немногих оценил А. Эйнштейн. Сейчас она все более привлекает внимание историков науки.

§ 2. Против «одержимости округленностью...»

Еще в VI—IV вв. до н. э. древнегреческие философы сформулировали космологические принципы устройства Вселенной: небесные тела движутся по окружностям равномерно, не испытывая действия материальных сил, — так называемым «естественным» (инерциальным, по сути) движением. Эти представления появились в результате наблюдений характерной для небесных явлений цикличности. На возможность описания сложного видимого движения планет путем разложения его на простые геометрические элементы впервые указал Платон (IV в. до н. э.). Идею «естественного» движения небесных тел по окружностям вокруг центра Вселенной в том же веке ввел Аристотель, создавший первую космофизическую картину мира, согласно которой в сферической замкнутой Вселенной поведение тел определялось свойствами самого пространства: в нем были свои места для тяжелых и для легких тел.

Однако к XVI—XVII вв. эти идеи утратили свои первоначальные качества гениальных методологических принципов и глубоких, хотя и преждевременных догадок о свойствах пространства. В плоть и кровь науки вошли представления, что круговое равномерное и «естественное» движение — единственно допустимое реальное движение небесных тел. Причиной его считалась в эту эпоху «божественная воля». Даже Коперник и Галилей остались во власти убеждения в незыблемости древних космологических

принципов. Правда, в отличие от Коперника, допускавшего «божественную волю», Галилей утверждал, что планеты движутся по инерции, — он считал инерционное движение круговым.

Против этой всеобщей одержимости округленностью и других принципов древней космологии выступил Кеплер. Он также начал с испытаний круговых орбит, но эти поиски завершились знаменательным признанием: «Мое первое заблуждение было то, что орбита планеты есть совершенный круг, — вредное мнение, которое тем больше отняло у меня времени, что оно поддерживалось авторитетом всех философов и как очевидное было приятно метафизикам». Пять лет отняла у Кеплера трудоемкая математическая обработка огромного материала (оставленного ему Тихо Браге) наблюдений за движением Марса. За это время Кеплер решил ряд других важных задач. В том числе дал метод определения точной орбиты Земли — «метод постоянного положения», гениальный по простоте и остроумию. Для ряда моментов наблюдений Марса, разделенных целым числом его периодов (начиная, например, с некоторого момента противостояния), отрезок «Солнце — Марс» оказывался фиксированным в пространстве относительно звезд. По этому «базису» строилась орбита Земли, а по ней — Марса и т. д.

К 1605 г. Кеплер открыл и в 1609 г. опубликовал первые два закона планетных движений (сначала для Марса, затем распространив их на другие планеты и спутники). Один из законов утверждал эллиптическую форму орбит, отрицая принцип круговых движений в Космосе. Другой описывал изменение скорости истинного движения планеты по орбите (закон площадей), что было несовместимо с принципом равномерности небесных движений. Кеплер ввел пять элементов орбиты (параметров, определяющих гелиоцентрическую орбиту планеты) и нашел уравнение для вычисления положения планеты на орбите в любой заданный момент времени. Тем самым он сделал открытые им законы рабочим инструментом для наблюдателей. Новая астрономия, нацеленная на изучение реальных движений небесных тел, вступала в жизнь как астрономия Кеплера, что отразилось в понятиях «законы Кеплера», «кеплеровы элементы», «кеплерово невозмущенное движение», «уравнение Кеплера»...

§ 3. От небесной геометрии к небесной физике

1609 г.
1609 г.
1609 г.

До Кеплера планетные теории, опиравшиеся на принцип «естественности» движений небесных тел, были только кинематическими — и у Аристотеля, и у Птолемея, и даже у Коперника. Более того, даже Галилей — современник Кеплера, боровшийся с Аристотелем «на Земле», соглашался с ним «на небе». Правда, у Коперника уже проскальзывала идея, что каждое небесное тело (по крайней мере все «блуждающие светила») может быть центром тяготения, в том числе и Солнце. Но для Коперника

это был лишь дополнительный физический аргумент в пользу негеоцентризма. Кеплер первым приступил к исследованию проблемы: что и как движет планеты.

Стимулом к такому исследованию для Кеплера стало не только главное теперь обстоятельство — центральное положение в планетной системе Солнца. На Кеплера должны были оказать существенное влияние атомистические представления Гроссетета и Р. Бэкона о механизме и даже неявно о законе ослабления света с расстоянием от источника. Они рассматривали образ «световой сферы» как геометрическое место концов световых лучей-нитей. С удалением от источника плотность этих световых точек на сфере уменьшалась пропорционально ее площади, чем они и объясняли уменьшение силы света с расстоянием. Кеплер впервые дал выражение этого закона в явной аналитической форме как закона ослабления силы света обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

Наконец, новым стимулом к исследованию причин и закона движения небесных тел стала для Кеплера теория его современника В. Гильберта о магнетизме как универсальной силе во Вселенной и о Земле как огромном магните. Равноправное положение Земли среди небесных тел теперь давало основание распространить идею магнита на другие планеты и на само Солнце как наиболее могучий источник всякой силы вообще. Так или иначе, Кеплер, знакомый с этими трудами, был вполне подготовлен к тому, чтобы увидеть в гелиоцентрической картине действие единой физической силы. Но Кеплер был отличным математиком. Наука о природе начиналась для него там, где производилось не описание, а измерение явлений. Уже в 1596 г. в своем первом космологическом сочинении «Продромос» (Предвестник), или «Космографическая тайна», он обратил внимание на то, что с удалением от Солнца периоды обращения планет увеличиваются быстрее, чем радиусы их орбит, т. е. уменьшается скорость движения планет. Либо движущая сила (на языке Кеплера, еще «движущая душа») сосредоточена в каждой планете (как думал Бруно) и у далеких планет она почему-то меньше, чем у близких (так думал Тихо Браге); либо она единая для всей системы и сосредоточена в ее центре — Солнце, которое действует сильнее на близкие и слабее на далекие планеты (сравни — ослабление света). Кеплер остановился на втором. В 1601 г. он установил свой закон площадей и увидел в нем подтверждение силового воздействия Солнца на планеты. Кеплер писал: «Навострите уши, физики: ведь здесь предпринимается замысел на счет вторжения в вашу область».

На динамические представления Кеплер опирался при окончательном выборе формы планетных орбит. Начав с неудачных испытаний окружности-эксцентрика (с нецентральной позицией Солнца), Кеплер обратился, было, к эллипсу, но отбросил его, так как Солнце, помещенное им поначалу в центре эллипса, сбilo все расчеты. После этого Кеплер погрузился в бесконечные

«пробы» всевозможных овалов — яйцевидных, несимметричных, «щекастых» линий и т. п. Утомительные и безуспешные вычисления доводили его, порой, по его собственным словам, почти до потери рассудка... Наконец, он снова возвращается к эллипсу, озаренный счастливой догадкой, что Солнце располагается в одном из фокусов эллиптической орбиты! Так был открыт «первый закон Кеплера».

Эллипс с Солнцем в одном из его фокусов наиболее точно соответствовал и открытому первым (из трех) — закону площадей. Через десять лет после опубликования первых двух законов Кеплер установил (1619) универсальную зависимость между периодами обращения планет и средними расстояниями их от Солнца (третий закон). Это окончательно убедило его в том, что движением планет управляет Солнце и что принцип «естественности» небесных движений также оказался несостоятельным.

В «Новой астрономии» (1609) и «Кратком изложении коперниковой астрономии» (3 части 1618—1621 гг.) Кеплер сделал первую в новое время попытку решить вопрос о физической *природе* и точном математическом законе действия силы, движущей планеты. При современном ему состоянии физики эти попытки были обречены на неудачу. Но для дальнейшего развития естествознания важно было уже то, что Кеплер поставил проблему, которая в таком полном объеме никогда прежде не возникала. Гипотезы, построенные им с помощью весьма смелых аналогий — тяготения с магнетизмом, а силы тяготения — с силой света, хотя и вызвали полемику, вместе с тем привлекли внимание физиков и математиков к проблеме динамики Солнечной системы.

Кеплер сравнивал действие Солнца с действием магнита. Вряд ли можно было сделать тогда лучший выбор: магнитная сила считалась едва ли не самой распространенной в природе (ее универсальность английский физик В. Гильберт провозгласил в 1600 г.). Магнитным влиянием Луны пытались объяснить приливы и отливы, а также... вращение Земли.

Обсуждался вопрос, действует ли магнитная сила через пустоту или через особую тонкую среду (допуская вначале первое, Кеплер в дальнейшем все больше склонялся ко второму). Наконец, лишь магнитная сила обнаруживала способность перемещать тела не только в направлении к магниту, но и вбок, при перемещении или вращении магнита, отделенного от тела, немагнитной средой (например, бумагой, деревом). На этих основаниях Кеплер в работе 1609 г. развил представление о механизме действия силы, движущей планеты, как о вихре, возникающем в эфирной среде от вращения магнитного Солнца и увлекающем с собой планеты, для чего ему приходилось преодолевать их инерцию покоя. (Кеплеру принадлежит заслуга введения самого этого понятия в физику, как и термина «инерция», а также формулировка соответствующего принципа, с помощью которого он правильно объяснил сохранение ориентации осей планет в пространстве. Вспомним, что Коперник для этого вводил особое «третье» дви-

жение Земли.) Кеплер предугадал и открытие вращения Солнца (сделано И. Фабрицием в 1611 г. по движению открытых им в том же году солнечных пятен).

Уменьшение скорости планет по мере увеличения радиусов их орбит Кеплер объяснял уменьшением силы Солнца с расстоянием. Действие этой силы он представлял направленным вдоль орбиты. Для установления сложного характера причин орбитального движения планеты (сочетания тяготения и инерции движения) потребовалось уточнение основных физических понятий и существенное развитие самой физики — создание основ динамики (Галилей), открытие закона криволинейного движения (Гюйгенс), установление принципа инерции прямолинейного движения (Ньютон). Таким образом, в исследованиях механики неба Кеплер до предела исчерпал возможности современной ему физики. «Ошибки Кеплера, — писал известный французский астроном и историк астрономии конца XVIII в. Ж. Байи, — были выше своего века». В более поздних работах (в «Коперниканской астрономии», а также в сочинении об астрономии Луны, опубликованном посмертно в 1634 г. — «Сон») Кеплер развил идею силы тяготения как универсального свойства всех небесных тел.

Картина движения планет, созданная Кеплером, дала начало декартовой (картезианской) вихревой космологии и космогонии, а отчасти и физике, которые сыграли большую прогрессивную роль в утверждении идей развития Вселенной и естественного характера ее законов. В XVIII в. магнитную концепцию Млечного Пути предложил Э. Сведенборг. В наше время идея быстро вращающейся молодой звезды, которая своим магнитным полем увлекает и закручивает окружающую ионизированную материю, нашла применение уже на совершенно ином уровне, в планетной космогонии, в теории пульсаров...

Обсуждая возможный закон действия Солнца на планету, Кеплер имел в своем распоряжении лишь один пример количественной характеристики силы, действующей на расстоянии: обратную пропорциональность силы света квадрату расстояния от источника. Воспользовавшись аналогией со светом, он, однако, попытался для силы, движущей планеты, впервые учесть то, что движение планет происходит почти в одной плоскости. Это привело его к выводу, что сила, движущая планеты, обратно пропорциональна самому расстоянию, а не квадрату его. (Последнее подтверждает, что Кеплер пользовался геометрическо-оптической аналогией — образом световой сферы, «сведенной» им в плоскость: тогда плотность пучка лучей-нитей, достигающих окружности, обратно пропорциональна именно ее радиусу!)

Интересные соображения высказал Кеплер о силе тяжести. Он еще не связывал с ней причины орбитального движения планет. Вместе с тем, будучи убежден, что «сила Земли простирается до Луны и даже дальше», он понимал неизбежность вмешательства этой силы в движение планет и необходимость уравнивания ее какой-то дополнительной не известной еще силой.

Эта уравнивающая «центробежная сила» — проявление инерции прямолинейного движения при движении по кривой — была открыта Гюйгенсом спустя полвека (1659). В рассуждениях Кеплера содержится и зародыш третьего закона ньютоновой механики.

Некоторые современные исследователи усматривают сходство в подходе к решению научных проблем у Кеплера (при описании планетных движений) и у Эйнштейна (при построении общей теории относительности).

Опираясь на свой принцип инерции покоя, Кеплер, хотя и на ошибочных основаниях (считая, еще в духе Аристотеля, что тело остановится с прекращением действия на него силы), сделал тем не менее правильный вывод, что любое тело может покоиться в любой точке пространства, а не в особых «естественных» местах, как учил Аристотель (например, в центре мира для всех «тяжелых» тел). Эта идея, как и натурфилософская концепция Николая Кузанского — Джордано Бруно об отсутствии у Вселенной центра, объективно подготавливала формирование представлений о бесконечной однородной изотропной Вселенной.

Таким образом, благодаря Кеплеру астрономия после пятнадцативекового перерыва вновь прониклась идеей *физической* причинности. Но у творца первой физической картины мира Аристотеля физика была для астрономии своего рода «стимулом к бездействию», поскольку в ней орбиты планет и характер движения по ним заранее постулировались. У Кеплера физика входила в астрономию как *объект исследования*, как новый аспект изучения Вселенной, раскрывающий более глубокое содержание наблюдаемых астрономических явлений. Именно физический, динамический смысл, который Кеплер вкладывал в открытые им законы, как и точность самих законов, направили мысль исследователей по новому руслу, что привело к созданию *новой физической картины мира* и новой науки — небесной механики, со всеми ее грандиозными результатами: от предсказания открытия планет до расчета трасс межпланетных кораблей.

§ 4. Научный метод Кеплера. Новая гармония мира

Метод Кеплера обычно описывается как индуктивный, при котором совершается восхождение от частных наблюдений, фактов, суждений к обобщениям. В таком случае, казалось бы, достаточно появиться точным наблюдениям планет, чтобы открыть истинные законы их движения и строения всей системы.

Но на какой основе их искать? Открытия какого вида законов можно ожидать? Наконец, как искать?

Наблюдаемые факты сами по себе, без рассмотрения их в свете определенных общих идей, не могут привести к установлению существенных закономерностей, так как не могут подсказать основу и направление поисков, допуская порой противоположные объ-

яснения. Свидетельством тому служит появление на одном и том же наблюдательном материале сначала геоцентрической, а затем гелиоцентрической систем. Выбор системы определялся в обоих случаях общефизическими, методологическими, философскими позициями их авторов — Птолемея и Коперника.

Вычисления положений планет у Птолемея были практически не менее точны, чем у Коперника. Против геоцентризма восстали не сами наблюдаемые факты, а нарушенные в этой теории (но под давлением фактов!) общие методологические и натурфилософские принципы — непротиворечивости, экономии и необходимости причин. Опиравшаяся на физику и космологию Аристотеля птолемея система нарушала (вынужденно!) ее же принципы, и особо явно — идеей экванта — принцип равномерности движений небесных тел по окружностям. Кроме того, для каждой особенности (неравенства) в движении небесных тел вводилось новое, независимое объяснение — свой эпицикл, эквант. Последнее также стремился исправить Коперник, выдвигая единую причину — гелиоцентризм — для объяснения главных наблюдаемых закономерностей и особенностей в движении небесных тел, а также основных циклических астрономических явлений (смена дня и ночи, смена сезонов, прецессия). Вынужденное же сохранение у Коперника части мелких и в определенном смысле второстепенных эпициклов отражало половинчатость его разрыва с древней аристотелевой физикой — сохранение принципа кругового равномерного движения небесных тел.

Выполнение в системе Коперника общего принципа экономии причин («природа не терпит лишнего») сразу же склонило Кеплера к признанию ее истинности.

Внимательное рассмотрение с позиций гелиоцентризма отдельных фактов (относительных расстояний, периодов обращения планет) привело Кеплера к новой общей идее — о динамическом характере движения планет. Дальнейший анализ точных наблюдений Браге с точки зрения принципов гелиоцентризма и динамики планетной системы позволил Кеплеру открыть универсальные законы движения небесных тел.

Таким образом, в его исследованиях индуктивный метод был неразрывно связан с дедуктивным.

Но успех Кеплера объясняется не только тем, что он объединил эти составные части научного метода. Ни один важный научный результат фактически не был получен без их сочетания. Существенную роль в открытиях Кеплера сыграло новое понимание им философских, наблюдательных и методологических основ науки и гибкое диалектическое их сочетание. Это относится прежде всего к *идее мировой гармонии*.

На протяжении веков все великие исследователи Вселенной опирались на философский принцип гармонии мира. Но понимали его по-разному. Пифагорейцы (VI—V вв. до н. э.) — как господство простых числовых отношений, подобных тем, что характерны для сочетания высоты тонов в музыкальных аккордах. Платон —

как простоту основных законов природы, а потому возможность и необходимость описания сложных видимых движений планет комбинацией простых и правильных геометрических и кинематических элементов. Коперник, соглашаясь с Платоном, дополнил его требование более общим принципом сведения возможно большего числа явлений к возможно меньшему числу причин. В представлении же Тихо Браге гармония мира состояла в разумной целесообразности его устройства.

С веками изменялось не только понимание этого принципа, но и толкование его первоначальных формулировок. Так, идея пифагорейцев, построенная на слишком отдаленных аналогиях, не успев проявить свою плодотворность (заключавшуюся в идее универсальности наиболее глубоко лежащих числовых закономерностей мира), заострилась в форме мистического учения о числах. Платоновская идея разбиения сложных явлений на простые элементы, указывавшая эффективный (а возможно, единственно доступный) путь исследования природы, преобразовалась в учение о единственно допустимых для небесных тел реальных круговых и равномерных движениях. Такая неоправданная конкретизация, а позднее и абсолютизация того, что было, скорее, методологическим принципом, тормозила в течение многих веков развитие научной мысли.

Кеплер также был проникнут идеей всеобщей гармонии мира. И даже излагал эту идею в традиционной для его времени теологической форме. Но под этой оболочкой было скрыто глубокое научное понимание принципа гармонии мира. Для Кеплера это — обобщенный принцип неслучайности, закономерности всех явлений в природе. Подобные представления в его время были не новы, но они все еще отличались крайней прямолинейностью, упрощенностью (яркий пример тому — астрология). Кеплер понимал закономерность как существование точных количественных отношений между измеряемыми характеристиками явлений. В свою очередь количественные законы для него — лишь необходимое средство познания качественной сущности явлений. «Как глаз для цветов, ухо для тонов, — писал Кеплер, — точно так же человеческий дух создан для познания не всякого рода любых вещей, а для познания величин; он тем вернее постигает сущность вещи, чем более приближается к чистым количествам как ее основе».

Идея числовой гармонии заставляла Кеплера задумываться, казалось бы, над самыми «странными» вопросами: о числе и распределении планет, количестве еще не открытых спутников у разных планет, о причине обязательной шестиугольной формы снежинок. Ответом на эти вопросы явилась, в частности, построенная им в 1596 г. в духе Платона геометрическая схема Вселенной, которая хотя и отразила довольно удачно относительные расстояния известных тогда планет и была первым теоретическим обоснованием гелиоцентризма, все же представляется весьма искусственной (рис. 17). Но среди «ответов» Кеплера было и тео-

ретическое объяснение строения снежинок (1611), стоящее на уровне современной структурной кристаллографии.

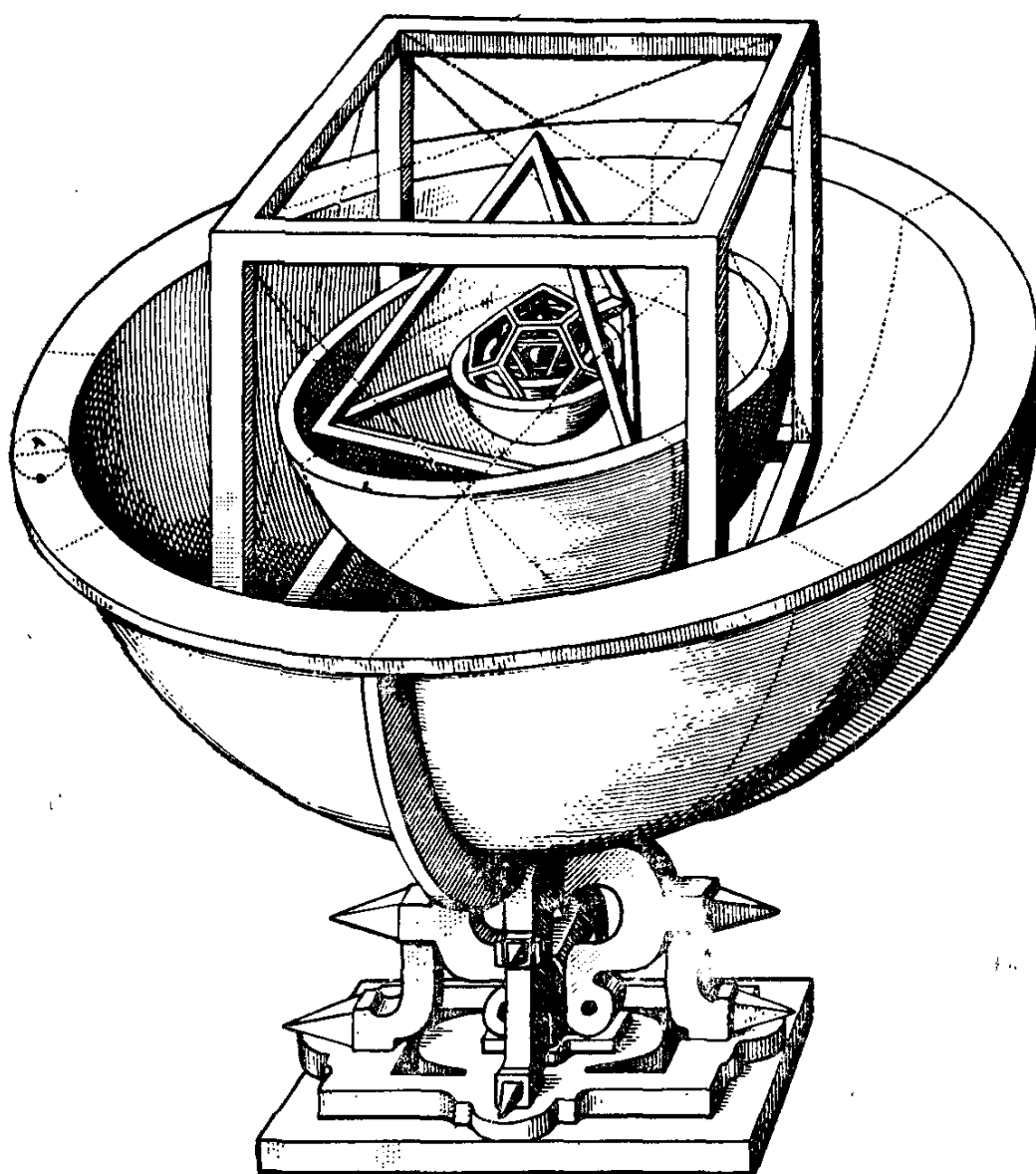


Рис. 17.
Первая гелиоцентрическая модель Вселенной Кеплера
(«Космографическая тайна», 1596)

Наряду с развитием и углублением общего философского подхода Кеплера к изучению Вселенной в его исследованиях все более возрастала (особенно после встречи с Тихо Браге) роль наблюдений. Так, в 1596 г. расхождение своей теоретической модели Вселенной с оценками планетных расстояний у Коперника он склонен был объяснять неточностью наблюдений, лежавших в основании этих оценок. Напротив, при создании в 1600-х гг. теории движения Марса на основе наблюдений Тихо Браге Кеплер, обнаружив расхождение своих расчетов всего на $8'$, отказался все же от этого очередного варианта своей теории и про-

должил поиски, пророчески заметив: «Эти 8', которыми непозволительно пренебрегать, дадут нам средство преобразовать астрономию».

В свою очередь открытие точных законов, исключавшее представление о планетных сферах, направило мысль Кеплера к поискам иного выражения числовой гармонии в Солнечной системе. Она была найдена в более общей форме — в виде простого математического закона. «Я выяснил, — писал он в 1619 г., — что все небесные движения, как в их целом, так и во всех отдельных случаях, проникнуты общей гармонией, правда, не той, которую я предполагал, но еще более совершенной».

Таким образом, идея гармонии природы обретала у Кеплера все более обобщенный смысл, освобождая природу от насильственно навязывавшихся ей слишком конкретных представлений, обусловленных ограниченностью знаний данной эпохи. В то же время наблюдения по мере возрастания их количества и точности стали рассматриваться Кеплером как все более достоверные и учитывались все более скрупулезно. В результате освобожденные от догматизма философские принципы смогли проявить свою направляющую эвристическую силу, а наблюдения, не стесненные в своей интерпретации догмами, стали решающим критерием достоверности теории.

Рост наблюдательного материала поставил и новую проблему — поиск эффективного способа его обработки. Первым с этой задачей справился Кеплер. Он возродил изобретенный Архимедом в III в. до н. э. способ вычисления площадей криволинейных фигур (с необходимостью чего столкнулся в теории планет). Кеплер и здесь смело пошел против традиций. Он упростил строгий, но громоздкий геометрический метод Архимеда и впервые ввел как метод приближенные вычисления. Встреченные поначалу с недоверием, математические методы Кеплера, спустя немногие десятилетия, стали мощным стимулом и основой для создания дифференциального и интегрального исчисления.

И если до Кеплера никто не догадывался или не осмеливался утверждать, а тем более доказывать, что истинные орбиты планет не окружности, то после него уже не строились новые теории планетной системы. Покончив с моделированием планетного мира, Кеплер положил начало выявлению его *действительных* свойств на основе динамических представлений, точных наблюдений и новых математических методов их анализа.

Однако воздействие многих других глубочайших идей Кеплера на развитие естествознания не было столь непосредственным. В его сочинениях они появлялись в средневековых одеждах, а порой и в шуточных масках и далеко не всегда были вовремя узнаны и услышаны. Сочинения его не призывали к новым воззрениям на мир, подобно сочинениям Галилея. Они несли это новое в своей глубине и порой настолько уходили вперед от современности, что, как и предвидел Кеплер, некоторым его идеям и теориям пришлось столетия ждать «своего созерцателя».

Обычно подробно описывая свои исследования, Кеплер, крайне скромно оценивавший свои способности, бесхитростно срывал все покровы со своих научных поисков. «Среди глубокого мрака неведения, лишь ощупывая все стены, мог я добраться до светлых дверей истины», — писал он об открытии первого закона. Но столь же искренно и непосредственно радовался он и своим успехам. Открытие третьего закона вызывает у него сравнение с внезапно озарившим его лучезарным Солнцем, его охватывает «священное неистовство»! Стремление к раскрытию истины, пренебрежение к славе, приоритету выражают заключительные строки его книги «Гармония мира»: «Прочтется ли она современниками моими или потомством, мне нет до этого дела — она подождет своего читателя. Разве Господь Бог не ждал шесть тысяч лет созерцателя своего творения?!»

Расцвет эпохи Возрождения в естествознании в конце XVI — начале XVII в. ознаменовался появлением ученых-трибунов, какими были в астрономии Бруно и Галилей. Их яркая пропаганда новых революционных идей звала на борьбу за новое миропонимание и сыграла огромную роль в его утверждении. Но рядом шел другой, быть может, еще более значительный по своим последствиям, хотя и менее заметный процесс ломки самого *фундамента* старого мировоззрения и создания новой науки. Идеологами и деятелями такой «скрытой» революции в естествознании были Коперник и Кеплер. О том, насколько далеко идущими были эти внутренние преобразования науки, говорит уже то, что освоение их потребовало значительного времени. Революционность идей Коперника оставалась непонятой почти полвека. Глубина и революционность многих идей, догадок и даже вопросов Кеплера раскрывались в течение трех с половиной веков и становятся особенно впечатляющей в наши дни в связи с новыми тенденциями в современной науке к установлению *наиболее общих закономерностей*, связывающих такие, казалось бы, отдаленные друг от друга области знания, как теория элементарных частиц и космология.

Глава IV

ВОЗРОЖДЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ВИХРЕВОЙ МОДЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ НА ОСНОВЕ ГЕЛИОЦЕНТРИЗМА

§ 1. Космология и космогония Декарта

Первую универсальную физико-космологическую картину мира на основе гелиоцентризма попытался построить великий французский ученый — философ, физик, математик, физиолог Рене Де-

карт (в латинизированной транскрипции Картезиус, 1596—1650).

Мысль дать общий очерк устройства и развития мироздания, положив в основу лишь идею вечно движущейся материи (хотя и созданной богом), возникла у Декарта в юности, когда ему было 23 года. Его трактат «О системе мира», законченный в основном к 1633 г., начинал собой новое направление в философии естествознания — построение материалистической физико-космологической картины мира, опиравшейся на механику. Однако, узнав о суровом суде над Галилеем, Декарт не решился опубликовать свой труд в католической Франции.

Как и Галилей, выступив против схоластики и догматизма, он сформулировал принципы подлинно научного познания природы и изложил их сначала в юношеском сочинении «Правила для руководства ума», а затем в знаменитом труде «Рассуждение о методе» (последнее было издано в Лейдене в 1637 г. анонимно). Оно имело разъясняющий подзаголовок: «Чтобы хорошо направлять свой разум и отыскивать истину в науках». Основным средством установления истины Декарт провозгласил логические рассуждения, которые могли дополнить всегда несовершенный опыт, установить истинные связи между явлениями и проникнуть в их суть. Основные положения своего метода познания, получившего название рационалистического, он изложил в виде четырех правил, в которых попытался привести в систему процесс познания.

Рационалистические воззрения Декарта, отрицавшего перво-степенное значение опыта, признававшего врожденность некоторых идей, на основе которых якобы вырабатываются аксиомы науки, — все это послужило в дальнейшем для развития идеалистического мировоззрения. Вместе с тем скептическое отношение Декарта к голому эксперименту, воспринимаемому вне определенной идейной атмосферы (т. е. вне картины мира!), выражало и глубоко верную идею о недостаточности для понимания сущности вещей одного только опыта, который не в силах отобразить действительность во всех ее деталях и полноте. Поэтому метод Декарта вошел в науку как дедуктивный метод познания.

Декарт вовсе не отрицал экспериментальные исследования. Он и сам был блестящим экспериментатором в физике, особенно в оптике и механике, в физиологии. Он внес усовершенствование в само проведение эксперимента, утверждая, что природа материальных вещей «гораздо легче познается, когда мы видим их постепенное развитие, чем когда рассматриваем их как вполне уже образовавшиеся». «Рассуждение о методе» сыграло большую прогрессивную роль в формировании нового экспериментально-теоретического естествознания и научного мировоззрения в целом.

Вместе с этим трудом Декарта, в виде приложений к нему, вышли его «Геометрия», «Диоптрика» и «Метеоры», которые содержат математические и физические исследования. В области геометрии, а также алгебры Декарту принадлежат важнейшие исследования. Он ввел метод координат (предшественником его здесь был Николай Орем, XIV в.) и понятие переменной величи-

ны — текущей координаты, и тем самым заложил основы аналитической геометрии и создал предпосылки для возникновения дифференциального и интегрального исчисления.

Физическим исследованиям (кроме двух указанных выше) были посвящены также сочинения Декарта «Начала философии» (1644) и посмертно опубликованный «Трактат о свете» (1664), а также ряд незаконченных работ, в частности трактат о механике. В основу физической картины мира Декарт положил идею о том, что в физическом мире не существует ничего, кроме движущейся материи. Роль бога не отрицалась, но ограничивалась лишь творением самой материи и сообщением ей начального движения. В дальнейшем, как считал Декарт, все явления природы и процессы в ней совершаются по естественным законам и объясняются механическим взаимодействием элементарных материальных частиц. Для XVII в. это было смелым вызовом религии!

Взаимодействие частиц Декарт представлял в виде давления или удара при соприкосновении частиц друг с другом и ввел тем самым в физику идею близкодействия. Эта идея, уходящая своими истоками в древнегреческую и древнеиндийскую атомистику, стала основной для физики и космогонической картины мира Декарта. Он развил возрожденную Коперником идею относительности движения, показав полное равноправие движущихся частиц. Из этих соображений Декарт заключил, что состояние движения ничем не отличается от состояния покоя, и более полно, чем Кеплер, сформулировал закон инерции, распространив его и на состояние движения. Окончательная (современная) формулировка этого закона позднее была дана Ньютоном.

Декарту принадлежит первая формулировка и другого важнейшего физического закона — сохранения общего количества движения при ударе тел. Согласно Декарту, тело при столкновении с другим телом теряет столько собственного движения, сколько сообщает его другому телу. Его теория удара была еще не вполне правильной: в ней не учитывалась неизвестная тогда возможность перехода энергии механического движения тела в энергию внутреннего движения частиц обоих тел (в теплоту). Но сама идея сохранения количества движения оказалась чрезвычайно глубокой и явилась исходным пунктом исследований, которые привели к установлению принципа сохранения и превращения энергии.

Механическим движением и взаимодействием элементарных частиц различных размеров и формы Декарт пытался объяснить все наблюдаемые физические явления и свойства тел: теплоту, свет, электричество, магнетизм, агрегатное состояние тела, тяжесть, сцепление и т. д.

Декарту принадлежат важные исследования в оптике. Независимо от голландского физика, астронома и математика Снеллиуса (1580—1626) Декарт открыл закон преломления луча света на границе двух сред (опубликовано в «Диоптрике»). В этом же сочинении Декарт разработал вопрос о применении своих открытий

в геометрической оптике к практике изготовления оптических инструментов. Он и сам занимался шлифовкой линз, сконструировав для этой цели специальный прибор. В «Трактате о свете» Декарт предложил механическую теорию распространения луча света путем мгновенной передачи давления от одной частицы к другой. В оптике он провел важные экспериментальные исследования над преломлением и отражением светового луча в стеклянных шарах с водой и заложил основы первой физической теории радуги. Физика Декарта быстро входила в жизнь. В университетах Франции и Англии при его жизни и некоторое время после его смерти курсы физики читались по его сочинениям.

На основе своей физики Декарт попытался построить первую механистическую эволюционную модель мира. Впервые небесные тела и их системы рассматривались в их *развитии*. Для XVII в., когда господствовало еще схоластически-религиозное учение о неизменности Вселенной, эта идея была необыкновенно смелой. Развивая возрожденную Кеплером античную идею космического материального вихря, Декарт пришел к мысли, что все небесные тела образовались в результате вихревых движений, происходивших в однородной вначале мировой материи — эфире⁵. Он полагал, что совершенно одинаковые элементарные материальные частицы, находясь в непрерывном движении и взаимодействии, меняли свою форму и размеры, что и привело к наблюдаемому богатству и разнообразию природы. Солнечная система, согласно Декарту, представляет собой один из таких вихрей мировой материи. Центральное светило в нем — Солнце — состоит из более тонкой мировой материи, а планеты и кометы — из более крупных частиц, отброшенных в процессе вращения к периферии. Планеты не имеют собственного движения — они движутся, увлекаемые мировым вихрем. Декарт внес и новую идею для объяснения тяжести: он считал, что в вихрях, возникающих вокруг планет, частицы давят друг на друга и тем вызывают явление тяжести (например, на Земле). Таким образом, Декарт первым в новое время стал рассматривать тяжесть не как врожденное, а как *производное* качество тел.

Исходя из общей идеи, что во Вселенной нет абсолютно неподвижных точек, Декарт за много десятилетий до обнаружения европейскими учеными собственных движений звезд (Галлей, 1718 г.) писал к Мерсенну (1588—1648), прославившемуся своей ролью «связного» в естествознании XVII в.: «Я не сомневаюсь, что и звезды всегда несколько изменяют свое взаимное расположение, хотя их и считают неподвижными».

Декарт неоднократно высказывал материалистическую мысль о естественном развитии природы, утверждая, что сама природа

⁵ Декарт впервые четко утверждал наличие у мирового эфира обычных механических свойств вещества и возродил в новой физике, таким образом, понятие эфира в духе Анаксагора (вместо дискредитированного к этому времени аристотелева эфира как «небесного» элемента). Понятие мирового эфира в интерпретации Декарта удерживалось вплоть до начала XX в.

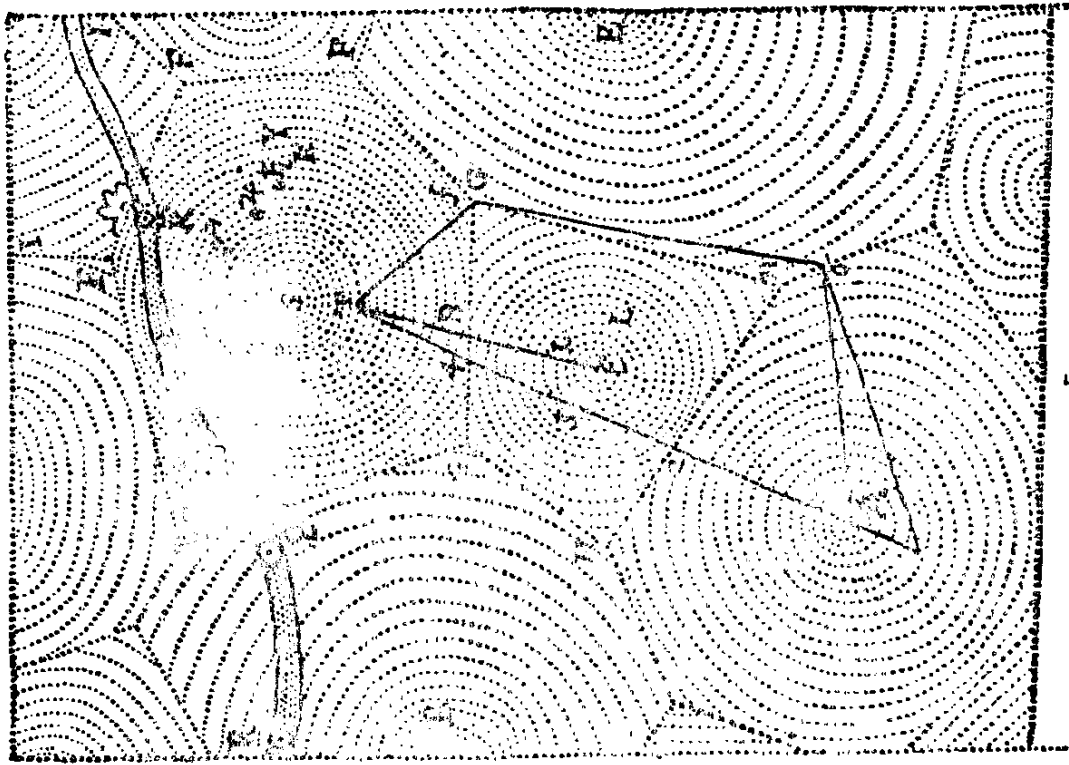
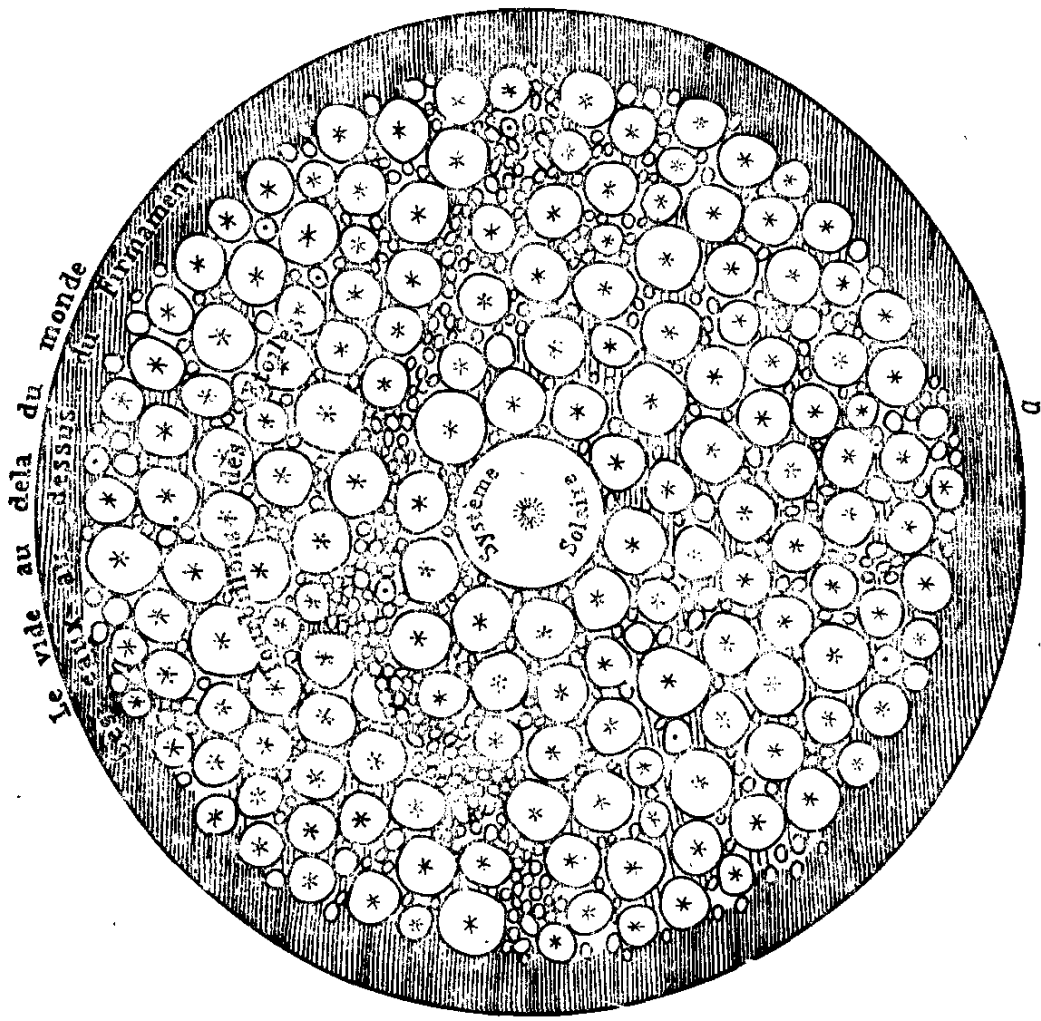


Рис. 18. Картина мира по Декарту: а) вихревая модель Вселенной, б) множественность солнечных систем при непрерывном заполнении пространства материей (по кн. Декарта «Космогония»)

б

а

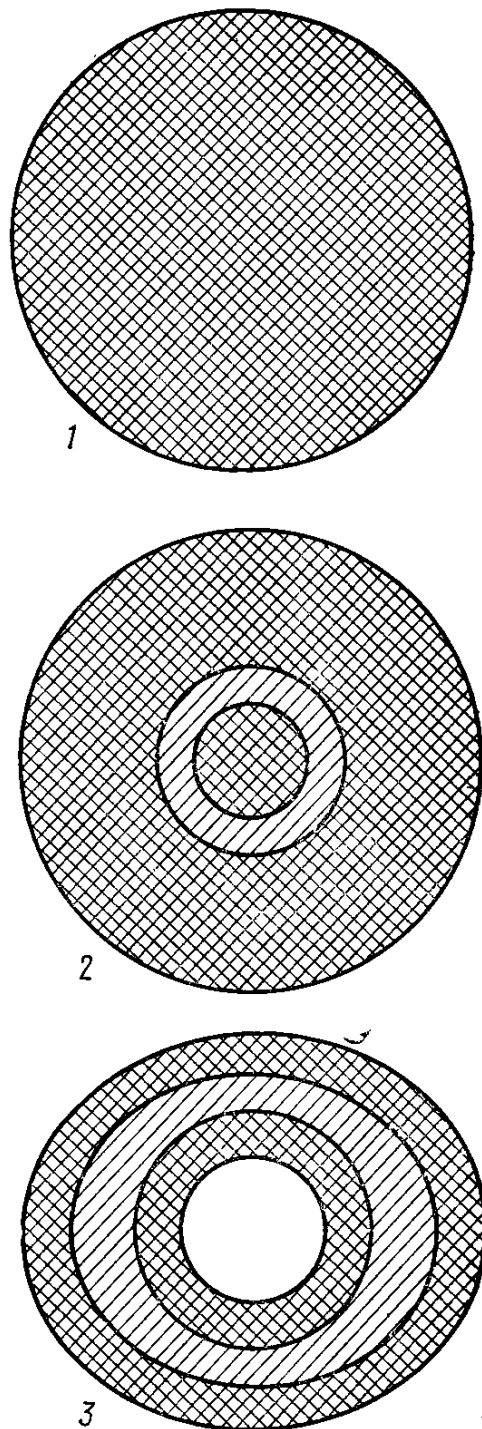
может распутать сложность хаоса. Но обращаясь к пресловутой «первопричине», он в согласии с господствующей идеологией своей эпохи, как уже говорилось, указывал на всеильного бога как творца самой материи и движения

Однако если отбросить традиционный теологический момент в рассуждениях Декарта, то можно с полным основанием сказать, что его система природы — это первая, во всяком случае после Аристотеля, попытка построить научную *физическую* всеохватывающую, а главное, эволюционную космологическую концепцию мира. Уже самой постановкой такой задачи он опережал современную ему науку на столетия.

Выступив с идеями, противоречившими схоластической науке, а следовательно, церковным догматам, Декарт вызвал яростную ненависть со стороны церковников, и не только католиков, но и протестантов. Его философия была запрещена в Голландии (где долго жил ученый) уже в 1642 г. В 1663 г. все произведения Декарта были внесены в пресловутый папский «Индекс» запрещенных книг. Вскоре после этого указом Людовика XIV было запрещено преподавание философии Декарта и во всех учебных заведениях Франции. Однако, несмотря на запреты, картезианство, как новая и, по существу, материалистическая эволюционная картина мира, быстро распространялось в науке. Смелостью своих идей, величием открывавшихся горизонтов учение Декарта захватило лучшие умы и надолго определило развитие физики и всего естествознания.

Большая часть XVIII в. в истории естествознания прошла под знаком борьбы картезианства и ньютоновства. Несмотря на то что ньютоново направление на том этапе развития науки было более прогрес-

Рис. 19. Стадии образования структуры Земли по теории Бернета (1699)



сивным, вернее, более эффективным для решения конкретных актуальных задач в науке, общие идеи Декарта продолжали оказывать серьезное влияние на формирование научных взглядов в XVIII и даже в XIX в.

§ 2. Появление идеи островной иерархической Вселенной на основе картезианской физической картины мира. Сведенборг

Новая космологическая концепция была разработана в 20-е годы XVIII в. шведским ученым, философом и теологом Э. Сведенборгом (1688—1772).

Имя Сведенборга связывают обычно с его мистико-религиозными попытками исследовать мир «духов», познать «истинного бога». Менее известные исследования Сведенборга во многих областях естествознания и техники, которые приходится на первую половину его жизни. Между тем эта часть его деятельности позволяет назвать Сведенборга выдающимся ученым, идеи которого нередко опережали свое время, а некоторые перекликаются с научными идеями XX в. С его именем связано немало исследований в области математики, физики (особенно магнетизма), механики, астрономии, химии, геологии, минералогии, анатомии, физиологии, а также техники. Большая часть его работ (свыше 100) по естествознанию и технике была написана до 40-х гг. XVIII в. В физике Сведенборгу принадлежит, в частности, первая вихревая модель атома как системы сложных частиц.

Астрономические сочинения Сведенборга (первое вышло в 1707 г.) касались различных вопросов, например злободневной тогда проблемы определения долготы на море с помощью наблюдений Луны. Но основным вкладом его в эту науку, вернее, в астрономическую картину мира стала его космогоническая концепция.

В области космогонии Солнечной системы Сведенборг опирался на вихревую концепцию Вселенной Декарта, будучи одним из последних крупных сторонников и защитников картезианской физики и философии, жившим уже в эпоху укрепления ньютоновской физики и мировоззрения. Однако его космогоническая планетная концепция отличается от картезианской. Планеты в ней предполагались образующимися из самого солнечного вещества. Эта идея, возможно, независимо, многократно возрождалась в дальнейшем в гипотезах Бюффона, Канта, Лапласа, Чемберлина—Мультона и удерживалась как одно из главных направлений в космогонии планетной системы еще в начале XX в. По гипотезе Сведенборга планеты сформировались в результате возникновения в солнечном веществе и постепенного развития вихря материи, который, ускоряясь, расширялся под действием центробежных сил. От внешних частей его в некоторый момент отделилось кольцо материи, разбившееся затем на отдельные массы — родоначальницы планет. Аналогично представлялось возникновение спутников из вещества протопланет. Движение планет вокруг Солнца у Сведенборга объяснялось в духе Кеплера — Декарта: увлечением их околосолнечным вихрем. Ошибочная с точки зрения механики космогоническая гипотеза Сведенборга вместе

с тем содержала глубокую идею эволюции материи во Вселенной.

В основу своей модели мира Сведенборг положил идею, согласно которой все явления и процессы в природе, независимо от масштабов, должны подчиняться некоторым общим принципам. Занимаясь особенно много изучением магнитных явлений, он считал, что правильное распределение мельчайших частиц материи относительно магнита должно проявляться и в распределении колоссальных космических тел — солнц. Отсюда он сделал вывод, что полоса Млечного Пути должна соответствовать некоторому особому направлению в пространстве, относительно которого и упорядочены звезды. Это направление понималось им либо как «ось» системы звезд (аналогично оси магнита), либо как ее экватор. Главная ценность гипотезы Сведенборга состояла в том, что упорядоченность звезд, по-видимому, впервые связывалась в ней с какой-то *физической* причиной. Млечный Путь впервые определялся как реально существующая *динамическая* система звезд, удерживаемых вместе физическими силами.

Идея реальной упорядоченности звезд была в эти же годы (1729, 1734) высказана Т. Райтом, однако на совершенно иных, теологических основаниях, и лишь к 1750 г. более или менее оформилась в его гравитационную (опирающуюся на ньютоновскую физику) концепцию островных вселенных. Позднее эту идею развили Кант и независимо Ламберт.

На основе своего системного представления о структуре мироздания Сведенборг попытался нарисовать универсальную картину природы, в которой объекты разных масштабов объединялись в общую цепь. Она охватывала объекты всех встречающихся и мыслимых масштабов — от мельчайших частиц до грандиозных космических систем. Более того, Сведенборг, по-видимому, первым высказал идею космической иерархии — существования сложных систем высших порядков, элементами которых являются целые млечные пути, и т. д. (Такая идея была независимо высказана Кантом в 1755 г., а также Ламбертом в 1761 г., который первым и разработал ее более детально.)

Глава V

ЗАВЕРШЕНИЕ ПЕРВОЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ РЕВОЛЮЦИИ. НЬЮТОН

Был божий мир глубокой тьмой
окутан. Да будет свет! — И вот
явился Ньютон.

А. Поп

§ 1. Революция Коперника и ускорение научного прогресса

Вторая половина XVI в. — это начало реализации нового направления мысли и нового подхода к познанию природы, задан-

ных естественнонаучной революцией Коперника. По существу, впервые научное творчество вставало на прочный фундамент точного количественного эксперимента. Ученых объединяли общие, более ясно осознаваемые проблемы земной и небесной динамики, понимание важности нового, экспериментально-математического исследования природы.

Идеи носились в воздухе и приходили на ум порой нескольким естествоиспытателям одновременно. Повысилась роль взаимного стимулирования через научную переписку, общение ученых в создаваемых в это время научных объединениях — академиях и научных обществах. В результате наука как процесс выработки знаний наполнялась «обратными связями» и приобретала характер резко ускоренного нелинейного процесса.

§ 2. Количественно-феноменологическое направление ньютоновой физики и астрономии

Наиболее актуальной проблемой астрономии рассматриваемой эпохи становилось объяснение физических причин существования самой Солнечной системы и движения небесных тел в ней, которое подчинялось загадочным, точным, но все еще не объясненным эмпирическим правилам Кеплера. Эта проблема была решена Ньютоном.

Все главное, связанное с именем величайшего английского физика, математика, астронома и оптика — конструктора инструментов Исаака Ньютона (1643—1727), знакомо каждому со школьных лет: три основных закона динамики, создание (одновременно с Лейбницем) новых могучих математических методов описания природы — дифференциального и интегрального исчисления, ставших фундаментом современной высшей математики, изобретение телескопа-рефлектора, открытие сложного спектрального состава белого света и едва ли не главное — открытие закона всемирного тяготения! В математике и физике, наконец, в самом стиле научного мышления, в подходе к явлениям и методах исследования природы два столетия господствовало направление, известное под именем ньютонианского.

В основе метода Ньютона лежит экспериментальное установление точных количественных закономерных связей между явлениями и выведение из них общих законов природы методом индукции, т. е. переходом от приближенных выводов из конечного числа конкретных наблюдений к предельным, абстрагированным от частных точным законам. Развитие индуктивного метода в физике начал Галилей. Ньютон довел его до логического завершения. Вразрез с многовековыми традициями в науке и, казалось бы, с главной целью ученого, Ньютон впервые сознательно отказался от поисков «конечных причин» явлений и законов и ограничился, в противоположность картезианцам, точным количественным изучением проявления закономерностей в природе. (Таким подходом к изучению явлений Ньютон был отчасти близок

к Птолемею.) В этом сознательном самоограничении — а по существу в умении выделить на данном этапе развития науки главную и реалистическую задачу — состояла особенность и сила гения Ньютона.

§ 3. Создание системы классической математической физики (механики) Ньютоном и открытие закона всемирного тяготения

Ко времени начала научной деятельности Ньютона, т. е. к 60-м г. XVII в., накопилось немало новых фактов в физике и астрономии. Ньютон обобщил их, завершив создание классической механики — динамики, в основе которой лежали три установленных им закона. Он завершил и начатое Галилеем создание системы понятий и принципов механики.

В астрономии на протяжении почти полувека после открытий Кеплера и по заданной им программе естествоиспытатели тщетно пытались найти физическое основание трех законов — правил планетных движений. В поле зрения физиков и астрономов входила древняя идея: тяготение как некая вполне реальная сила, проявляющаяся, например, в явлениях магнетизма и способная не только притягивать тело, но и двигать его «вбок», т. е. в перпендикулярном направлении. Вставал вопрос, по какой траектории могло бы двигаться тело в пространстве под действием подобной силы. Описать количественно действие силы тяготения, а именно решить, по каким кривым будут двигаться тела под действием такой силы, никому не удавалось.

И эту задачу решил Ньютон, создав свою гениальную теорию всемирного тяготения.

В качестве отдельных элементов в его теорию гравитации вошли открытые Кеплером кинематические законы планетных движений, открытые Галилеем закономерности прямолинейного движения тел под действием сил и построенная Гюйгенсом (1629—1695) теория центростремительной силы, возникающей при криволинейном движении.

Древняя идея взаимного стремления тел друг к другу, трактованного даже как проявление «любви» между ними, освободилась благодаря Ньютону и от антропоморфности, и от мистической характеристики как принципиально непознаваемого «скрытого качества», не поддающегося количественному изучению. В теории Ньютона тяготение стало эмпирически обоснованным постулатом, утверждавшим, что эта сила универсальна и проявляется между любыми материальными частицами независимо от их конкретных качеств и состава, пропорциональна их массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Физическая идея тяготения формировалась до Ньютона в трудах Брахмагупты и Бируни, Коперника и Кеплера, Гассенди, Булио (Буллиальд), Гюйгенса, Роберваля, Гука, Галлея. Гук, а за ним Галлей даже утверждали обратную квадратичную зависи-

мость притяжения от расстояния между телами (а догадки об этом были уже у Кеплера, опиравшегося на аналогию законов механики и геометрической оптики). Роль Гука как предшественника Ньютона особенно велика. Гук настойчиво пытался вывести из закона силы тяготения (которая, как он полагал, свойственна всем телам Вселенной) эллиптическую форму планетных орбит. Он, как и все остальные предшественники Ньютона, не добился успеха в решении этой задачи. Но в 1679 г. в письме к Ньютону Гук привлек его внимание к основной проблеме — форме кривой движения тела под действием силы притяжения, пропорциональной $1/r^2$.

Объединить качественную идею тяготения с наблюдаемыми законами движения небесных тел оказалось под силу только гению Ньютона. Идея превратилась в точный универсальный закон гравитации как центральной силы лишь после того, как Ньютон показал неразрывную связь и взаимообусловленность правил Кеплера и уже допускавшейся зависимости силы тяготения от расстояния. Законы движения планет перестали быть эмпирическими правилами. Эта их роль была передана более глубокому уровню свойств материи — всемирному тяготению. Причину и природу тяготения Ньютон не считал возможным обсуждать за неимением на этот счет достаточного количества фактов (как в свое время Птолемей по той же причине не пытался решать вопрос об истинной пространственной структуре планетной системы). Поэтому теорию тяготения Ньютона можно называть феноменологической. Более глубокое объяснение гравитации было дано только в общей теории относительности Эйнштейна.

§ 4. Ньютон и создание основ небесной динамики

Подход Ньютона к изучению явлений природы оказался исключительно эффективным. Его теория тяготения была уже не общим натурфилософским учением, а точным (и более чем на два века единственным) рабочим инструментом исследования окружающего мира, прежде всего движения небесных тел. Закон всемирного тяготения стал физическим фундаментом небесной механики.

Из закона всемирного тяготения Ньютон вывел в качестве следствий кеплеровы законы эллиптического движения и при этом уточнил их. Он показал, что в Солнечной системе в общем случае движение может происходить по любому коническому сечению, включая параболу и гиперболу. На этом основании Ньютон сделал вывод о единстве законов движения комет и планет и впервые обоснованно включил кометы в состав Солнечной системы. Ньютон создал математический (геометрический) метод вычисления истинной орбиты кометы по ее наблюдениям, что позволило Галлею, развившему этот метод в аналитической форме, открыть первую периодическую комету (комета Галлея). Разрозненные прежде и загадочные явления на Земле и на небе: приливы и отливы, сжатие планет (уже обнаруженное тогда у Юпитера), наконец, пре-

цессия — нашли четкое объяснение в единой теории всемирного тяготения Ньютона. Он весьма точно вычислил и величину прецессии — 50" в год, выделив в ней солнечную и лунную составляющие. Новыми, подтвердившимися лишь после смерти Ньютона, были его выводы о сплюснутой у полюсов форме Земли.

Ньютому принадлежит великая заслуга объяснения возмущенного движения в Солнечной системе как неизбежного следствия устройства этой системы. Чисто кеплеровское движение, определяемое действием одного центрального светила — Солнца, как показал Ньютон, обязательно будет нарушаться у планет и спутников из-за их взаимного воздействия друг на друга. Эти отклонения были впервые обнаружены еще древними греками в движении Луны, как отклонения от некоего правильного движения. Ньютон открыл в движении Луны новые неравенства, иначе, отклонения от кеплеровского движения — попятное движение узлов, годовое и паралактическое неравенства и др.

§ 5. Ньютон и создание новой базы наблюдательной астрономии

Другая часть научного наследия Ньютона стала фундаментом создания физической оптики и дальнейшего развития наблюдательной астрономии. Ньютон был тонким экспериментатором-универсалом, главным образом оптиком. Он, как и многие его современники, занимался шлифовкой линз для рефракторов и упорно искал форму объектива, свободного от аберраций, особенно от хроматической. Это привело его к открытию в 1666 г. сложного состава белого света (спектра) и к первым исследованиям преломления монохроматических лучей, величина которого оказалась зависящей от цвета луча. Последнее открыло Ньютону причину хроматической аберрации линзовых объективов. Сделав вывод о принципиальной неустранимости этого дефекта стеклянных объективов (что справедливо лишь для однолинзовых объективов), он в поисках ахроматического объектива изобрел в 1668 г. отражательный зеркальный телескоп-рефлектор. Правда, у Ньютона были здесь, видимо, неизвестные ему предшественники, высказавшие ту же идею: итальянец Зукки (1616) и англичанин Грегори (1663). Но только Ньютон впервые довел идею до реализации, построив в 1672 г. первый в мире рефлектор, к тому же особой, оригинальной конструкции, которая известна как ньютонианская система. Этот маленький инструмент (с длиной трубы всего в 15 см и диаметром объектива 2,5 см) уже позволил наблюдать спутники Юпитера и стал прародителем будущих могучих орудий зондирования глубин звездной, а затем и внегалактической Вселенной. За это изобретение Лондонское Королевское общество избрало в том же 1672 г. 29-летнего ученого своим членом.

Тогда же Ньютон предложил вниманию членов Королевского общества свою новую корпускулярную концепцию света. Итоговое сочинение «Оптика» он опубликовал в 1704 г.

§ 6. Вселенная Ньютона

Несмотря на свой знаменитый девиз «Гипотез не измышляю», Ньютон как мыслитель крупнейшего масштаба не мог не задумываться и над проблемами предельно широкими, касающимися устройства Вселенной в целом (да и механизма тяготения, между прочим). Но и здесь он применял метод индукции: не давая волю фантазии, анализировал прямые логические следствия уже установленных законов. Так, сформулировав закон всемирного тяготения как универсальный закон природы, справедливый для всей Вселенной (хотя он был тогда согласован с наблюдениями лишь в пределах Солнечной системы), Ньютон рассмотрел (в переписке с английским теологом Р. Бентли в 1692—1693 гг.) возможную структуру гравитирующей Вселенной при двух альтернативных допущениях — конечной и бесконечной Вселенной. Он пришел к выводу, что лишь во втором случае рассеянная в начальный момент материя могла образовать множество космических объектов, так как только в бесконечной Вселенной могут существовать многочисленные равноправные центры гравитации. В конечном же объеме все эти отдельные тела рано или поздно слились бы в единое тело в центре мира. Уже само наблюдение бесчисленных звезд (которые к тому времени считались «солнцами») подсказывало вывод о бесконечности мирового пространства. Поэтому фундаментом для всех последующих гравитационных (ньютоновских) моделей Вселенной стало представление о бесконечном пространстве, в котором находятся бесчисленные космические объекты, связанные друг с другом силой всемирного тяготения, определяющей характер движения этих объектов.

Ньютон задумывался и над проблемой происхождения такой упорядоченной Вселенной. Однако здесь он столкнулся с задачей, для решения которой не располагал научными фактами. Вместе с тем он первым отчетливо понял, что одних только механических сил для этого мало. Предшественником Ньютона в этом можно назвать... Аристотеля. Ньютон также критиковал концепции атомистов-механистов, справедливо утверждая, что из одних только неупорядоченных механических движений частиц не могла возникнуть вся сложность мирового порядка и богатство существ в мире. Убедившись в неизбежности возмущений в движениях планет и спутников (т. е. отклонений от кеплеровых законов), которые могли иметь и вековой характер, нарастая со временем, Ньютон в то же время не имел никаких оснований для уверенности в устойчивости, сохранении уже имевшихся гравитирующих систем, например планетной. Оставалось прибегнуть лишь к некоей более могучей, чем тяготение, организующей силе, каковою в его эпоху мыслился только бог. Тайной оставалось и начало орбитального движения планет. Поэтому Ньютон традиционно допускал некий божественный «первый толчок», благодаря которому планеты приобрели орбитальное движение, а не упали на Солнце. Объяснив упорядоченное движение планет естественной физической при-

чиной — законом всемирного тяготения, он тем не менее вынужден был сделать вывод о необходимости время от времени подправлять (тем же божественным вмешательством) расшатываемый взаимными возмущениями механизм планетных движений, заводить «мировые часы» (образ введен Лейбницем).

Потребовалось всего полвека развития науки и, главное, общего мировоззрения под воздействием открытий самого Ньютона, чтобы появились мыслители, категорически отвергнувшие идею божественного «начального толчка». Вместо него в естествознании снова возродилась забытая и, казалось, успешно искорененная церковью идея естественной эволюции материи в Космосе под действием сил гравитации.

§ 7. Ньютон и ньютоновская картина мира

Как это обычно бывает, в массе своей последователи Ньютона нередко отходили от подлинно глубоких идей самого Ньютона, или вовсе не зная, или забыв о его осторожных и тонких замечаниях. Вспомним, что в свое время последователи Птолемея вульгаризировали его математическую модель мира, представляя его эпициклы и деференты действительно существующими материальными ободами и колесами. В XVIII в. точно так же более сложная физическая картина мира, проступавшая перед мысленным взором Ньютона, была огрублена и «избавлена» от недомолвок (в которых заключается порой глубокий смысл). Утвердилось представление о существовании бесконечного пустого межзвездного мирового пространства. Между тем Ньютон склонялся, скорее, к идее крайней разреженности мировой материи, не вызывающей поэтому заметного торможения планет.

В пылу борьбы с картезианством утвердился и жесткий принцип дальнего действия — как передачи действия тяготения через пустоту и мгновенно, т. е. с бесконечной скоростью. Ньютон же считал необходимым наличие некоего передатчика этого действия, «агента», допуская его нематериальную природу... Но подобные, «объясняющие» идеи уже не вдохновляли XVIII век — век просвещения, возрождающихся материалистических (механистических) учений, набравшего темп экспериментального естествознания. На этом этапе развития научного познания наиболее эффективным оказался именно феноменологический подход в объяснении явлений, могучий индуктивный метод Ньютона. Феноменологическая, но опирающаяся на строгие количественные законы, физика Ньютона определила и главные черты новой, сформировавшейся на ее основе гравитационной физической картины мира, а точнее, космофизической, которая под именем ньютоновской на два века стала направляющим и контролирующим фактором в развитии естествознания.

Сформировавшись на основе механики Ньютона, она в своих деталях и нюансах отличалась от воззрений ее основателя: идеи

Ньютона обрели вид абсолютных утверждений. А полученные на основе наблюдений и точных измерений, проведенных в пределах Солнечной системы, законы были перенесены (экстраполированы) на всю мыслимую Вселенную. Что же представляла собой эта ньютоновская гравитационно-механическая картина мира?

Ее стержнем была идея материального единства небесного и земного, т. е. мира в целом, который, хотя и создан некогда богом, но существует и изменяется по естественным законам. В основе всех явлений и процессов лежит механическое движение (ньютонова идея «мирового часовщика» уже вскоре покинула эту картину мира, как излишняя). Наиболее универсальной и главной силой в Космосе представлялась гравитация.

Физическая картина мира рисовалась абсолютными категориями: абсолютное пространство и абсолютное время, существующие и без материи, без материальных тел, сами по себе. Бесконечный набор любых величин для любых процессов: допускались любые значения для скорости, направления движений, масштабов материальных тел (а в дальнейшем и их систем).

Астрономическая картина мира, или вернее, астрономический аспект картины мира, включая в качестве фундамента эти физические идеи и представления, дополнялся специфическими идеями и представлениями об устройстве, составе и состоянии Вселенной. Вселенная представлялась бесконечной по крайней мере в пространственном отношении. Момент божественного творения ее уже отвергался. Сотворение же самой материи представлялось теперь как некая краткая и отдаленнейшая увертюра к бесконечно долгой пьесе, действие в которой развивается уже по своим естественным законам под действием гравитации. По мере накопления наблюдательных сведений о составе, структуре, свойствах ранее известных или вновь открываемых объектов в Космосе формировались все более сложные модели Вселенной — на базе гравитации.

РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ НЬЮТОНОВОЙ ФИЗИКИ (МЕХАНИКИ)

Мы никогда не должны забывать (история наук это доказывает), что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает...

Л. де Бройль

Глава I

НОВЫЕ ОТКРЫТИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

§ 1. Представления о мире звезд к началу XVIII в.

В то время как существование упорядоченной планетной Солнечной системы уже в XVII в. из ранга гипотез перешло в ранг достоверных фактов, мир звезд оставался еще целиком загадочным. Даже гениальный Кеплер допускал, что все звезды сосредоточены в тонком сферическом слое вокруг Солнца и, более того, что этот слой, быть может, состоит из твердого прозрачного вещества вроде льда (хотя, впрочем, в другом месте тот же Кеплер высказал мысль о рождении звезд из тонкой материи Млечного Пути!). Колоссальная протяженность и сложность звездного мира впервые проглянули сквозь телескоп Галилея, но его основное внимание было поглощено проблемой планетной системы.

В отличие от фундаментальных направляющих идей, у каждой из которых в каждую эпоху обычно имеется один автор, создание фактического наблюдательного фундамента для их возникновения с развитием астрономии становилось делом все более коллективным. Умозрительная картина «бесконечно» удаленной сферы звезд, неподвижно закрепленных на ней, уже не удовлетворяла исследователей неба второй половины XVII — начала XVIII в. Предприимавшиеся в течение всей истории астрономии, особенно в период утверждения гелиоцентризма, попытки прямого измерения расстояний до звезд (по звездным параллаксам) оставались безрезультатными до первой трети XIX в.

§ 2. Первые фотометрические оценки межзвездных расстояний. Гюйгенс

Предпосылкой к созданию этого нового, чисто физического метода определения расстояний до звезд явилось окончательное установление в начале XVII в. Кеплером главного закона фотометрии: ослабления силы света излучающего точечного источника обратно пропорционально квадрату расстояния. Но лишь в конце того же века была предпринята первая попытка применить этот закон к измерению звездных расстояний. Для этого потребовалось и укрепление идеи о тождественности звезд и Солнца. Это представление, возникавшее в головах отдельных философов еще в древности, было отчасти даже поколеблено «абсолютным» гелиоцентризмом, утверждавшим особую роль Солнца как центра мира, и получало поддержку скорее в идеях Николая Кузанского — Бруно, но особенно прочным стало после обоснования его Ньютоном в новой гравитационной картине Вселенной.

Фотометрический метод был придуман и использован Х. Гюйгенсом (1629—1695). Этот великий голландский физик и астроном, теоретик и виртуозный экспериментатор и конструктор телескопов в своем последнем сочинении «Космотеорос» (опубликованном в 1698 г.) как завещание оставил астрономам наступавшего XVIII в. и первый результат такой оценки, сделанной из сравнения блеска Солнца, изображение которого сводилось в «точку» (блик от шарика), и Сириуса. Опиравшийся на надежную физическую основу, этот результат поражал открывшейся впервые колоссальной величиной межзвездных расстояний: свет от Сириуса должен был бы идти полгода! (Лишь спустя полвека нижняя граница межзвездных расстояний была повышена до 6,5 световых лет.) В дальнейшем, правда, основа фотометрического метода была, казалось, подорвана обнаруженным колоссальным различием светимостей звезд. Но в XX в. фотометрический метод вошел-таки в астрономию как единственный, дающий расстояния за пределами области (пока около 100 пк) применимости прямого метода параллакса (метод цефеид и т. п.). На него в свою очередь опирается метод красных смещений.

Хотя Гюйгенс был картезианцем, его многочисленные открытия в астрономии и физике весьма способствовали развитию новой, ньютоновской картины Вселенной. Вдохновленный успехами Галилея, он также стал искать спутники у планет с помощью своих собственных длиннофокусных телескопов-рефракторов. После неудачи с Венерой и Марсом (о наблюдениях с этой целью Меркурия еще не могло быть и речи) успех — и совершенно неожиданный — пришел при наблюдениях самой далекой тогда планеты Сатурн. Во-первых, Гюйгенс в 1655 г. открыл у него спутник (Титан), что было вторым после Галилея открытием спутников у планеты Солнечной системы, а также определил довольно точно период его обращения. Но несравненно более существенные результаты при-

несло наблюдение загадочных боковых придатков у Сатурна, обнаруженных еще Галилеем. В 1656 г. Гюйгенс в небольшой брошюре «Новые наблюдения спутников Сатурна» зашифровал результаты этих наблюдений в виде анаграммы, и только спустя три года в работе «Система Сатурна» заявил о своем сенсационном открытии: Сатурн окружен тонким плоским кольцом (!), нигде не соприкасающимся с планетой и наклоненным к плоскости эклиптики. Вплоть до середины XX в. открытие Гюйгенса оставалось уникальным.

Гюйгенсу принадлежит также открытие полярных шапок на Марсе, полос на Юпитере, светлой туманности в Орионе (независимо от Цизата), в связи с чем он высказал странную на первый взгляд идею, что это — отверстие, сквозь которое далеко видны светящиеся глубины пространства.

Гюйгенсу, кроме того, принадлежат фундаментальные работы по геометрической оптике и теории рефракторов, изобретение первого сложного двухлинзового окуляра, исправляющего хроматическую аберрацию (окуляр Гюйгенса), конструирование рефракторов, тогда лучших в Европе, в частности знаменитых «воздушных труб» с фокусными расстояниями до 64 м (для уменьшения хроматической аберрации).

§ 3. Открытие собственных движений звезд. Галлей

Вторым существенным вкладом в фундамент будущей картины звездного мира стало открытие выдающимся астрономом Эдмундом Галлеем (1656—1742) собственного движения звезд. Чтобы уточнить постоянную прецессии, Галлей сравнил координаты звезд в современном ему каталоге с измерениями Гиппарха и еще более ранними — Аристилла и Тимохариса (III в. до н. э.), приведенными в «Альмагесте» Птолемея. Помимо ожидаемых и действительно полученных смещений всех звезд по долготе (за счет прецессии), Галлей отметил также известные уже в его время систематические незначительные смещения звезд по широте за счет изменения наклона экватора к эклиптике. Но на фоне этой закономерной картины обнаружился удивительный факт. В статье 1718 г. Галлей писал: «Однако три звезды: Палилисиум, или Глаз Тельца [Альдебаран], Сириус и Арктур прямо противоречили этому правилу». Широты названных звезд изменились (против правила) на десятки угловых минут! Сравнив для контроля положения тех же звезд, измеренные европейцами в IV и VI вв., Галлей сделал окончательный вывод о существовании реальных перемещений так называемых «неподвижных» звезд. Полностью это открытие было признано в 70-е г. XVIII в., после того как Т. Майер и Н. Маскелин измерили собственные движения у десятков звезд. Но уже в первой половине XVIII в. еще при жизни Галлея это открытие было использовано другим его соотечественником,

Т. Райтом, для построения модели звездного мира в виде совокупности островных вселенных.

§ 4. Первые шаги в мире туманностей. От Гевелия до Дерхема

В первые десятилетия XVIII в. в поле зрения астрономов стали все более настойчиво вторгаться таинственные объекты — туманности. Несколько их было отмечено еще Птолемеем, который называл эти объекты «туманными звездами». Часть их уже Галилей разложил на звезды. Несколько туманностей отметил в XVII в. выдающийся польский астроном Я. Гевелий (1611—1687).

Для дальнейшего развития астрономической картины мира исключительно важным было то, что Галлей привлек впервые внимание астрономов к туманностям как особым самосветящимся космическим образованиям, играющим, как он считал, существенную роль в структуре Вселенной. В статье 1715 г., посвященной этому вопросу, оспаривая мнение некоторых астрономов о том, что самосветящимися могут быть лишь «солнца» (т. е. звезды), Галлей описал шесть таких туманностей. Они были открыты (или переоткрыты) разными наблюдателями, начиная со второй половины XVII в. в различных созвездиях или их выделяющихся компактных частях (астеризмах): в Мече Ориона, Поясе Андромеды, в Стрельце, Центавре (отмечена еще Птолемеем и переоткрыта в 1677 г. Галлеем), в Антиное (ныне — часть созвездия Орла) и в Геркулесе (открыта в 1714 г. Галлеем). Галлей заключил, что таких объектов во Вселенной «без сомнения» много больше, а поскольку они не имеют заметных годовых параллактических смещений (т. е. очень далеки от нас), то «они не могут не занимать огромных пространств». Размер туманных пятен, как писал Галлей, «быть может, не меньше, чем вся наша Солнечная система». Из этого он сделал вывод, что они представляют чрезвычайно богатый материал для размышлений как для естествоиспытателей вообще, так и для астрономов в особенности.

Активным пропагандистом исследования туманностей выступил современник Галлея, также член Лондонского Королевского общества, английский теолог и естествоиспытатель Вильям Дерхем (или, правильнее, Дарем, 1657—1735). Наиболее интересна с точки зрения дальнейшего развития астрономической картины мира его небольшая последняя статья «Наблюдения среди неподвижных звезд явлений, называемых туманными «звездами» (1733). Эти объекты он наблюдал с помощью 8-футового рефлектора и сообщил о них членам Лондонского Королевского общества, «чтобы побудить других к дальнейшим наблюдениям этих объектов», так как считал, «что в них имеется намного более достойного тщательного исследования, чем думали до сих пор».

Рассуждая о природе «туманных звезд», Дерхем в отличие от Галлея пришел к заключению, что они не могут быть *единичными* телами, самосветящимися или отражающими свет, вроде Солнца,

звезд или планет. Вместе с тем крайне слабое, нежное, совершенно однородное беловатое сияние туманностей даже при наблюдении в его немалый по тем временам телескоп не позволило ему допустить их сходства с Млечным Путем, звездный состав которого был известен со времен Галилея. Вид этих «беловатых областей» наводил Держема на мысль о скоплении «легких паров» в мировом пространстве (что из наблюдавшихся им туманностей оказалось справедливым лишь в отношении туманности Ориона).

Держем первым обратил внимание и на то, что таких «туманных звезд... много разбросано в разных частях неба». Это свидетельствовало о типичности явления для общей картины Вселенной. Он составил первый каталог «туманных звезд», в котором указал и их координаты на 1660 г. (α и δ), правда, с неправдоподобной точностью (до 1'!). В каталог Держема вошло 14 туманностей (и шесть описанных Галлеем). Одну из них Держем отождествил со звездным скоплением, найдя в ней подобие Млечному Пути.

По существу, это был новый шаг на пути к идее островной Вселенной, хотя, по-видимому, не осознанный самим Держемом, поскольку природу большинства туманностей он истолковал совершенно ложно. Среди туманностей Галлея Держем впервые подметил отступление от сферической формы (что подсказало его современнику Мопертюи идею их вращения). Но все они, продолжал Держем, «без каких бы то ни было неподвижных звезд», которые могли бы быть причиной их свечения.

Совершенно новым было заключение Держема, что звезды, видимые в туманности Ориона, в действительности расположены много ближе к нам. (До него Галлей, напротив, полагал, что они просвечивают сквозь эту туманность.) Этот вывод Держема был особенно важным для формирования представлений о колоссальных масштабах Вселенной. Вывод об огромных расстояниях туманностей привел Держема (как и Галлея) к заключению о больших размерах самих «туманных звезд». Поэтому Держем исключил возможность их существования как отдельных компактных тел (что даже позднее допускал Мопертюи).

В поисках иного объяснения природы туманностей Держем спрашивал (вслед за Гюйгенсом и Галлеем): «Не могут ли они быть... расселинами или отверстиями в огромные регионы света позади звезд?» В духе Галлея, и еще более настойчиво, он поставил перед астрономами проблему туманностей как новой типичной детали Вселенной.

Держему принадлежат два любопытных сочинения: «Физико-теология, или демонстрация бытия и атрибутов Бога через его творение» (1713) и «Астро-теология, или демонстрация бытия и атрибутов Бога через обзор неба» (1714). Анализ самых общих проблем проводился в ту эпоху на религиозной основе, являвшейся неизбежным и существенным элементом общепhilosophической картины мира. Наличие коренных закономерностей природы отождествлялось с проявлением наивысшей упорядочивающей силы —

сверхчеловеческого Разума, т. е. Бога. В этом был убежден и сам Ньютон. О высоком авторитете Библии для естествоиспытателей XVII—XVIII вв. говорит то, что Галлей, например, усматривал в объяснении туманностей как разрывов в небесной сфере, обнаруживающих «области света» более далекие, подтверждение слов Священного Писания о создании света раньше самого Солнца.

Известный французский физик, математик и астроном Пьер Луи Моро де Мопертюи (1698—1759) одним из первых откликнулся на призыв Дерхема. В сочинении 1742 г. «Рассуждение о фигуре [форме] звезд» он обсудил проблему маленьких светлых пятен на небе, или туманных звезд, используя новые списки таких объектов Гевелия и Галлея. Кант писал, что именно это сочинение Мопертюи обратило его внимание на «звездные туманности..., которые имели форму более или менее открытых эллипсов» и что сам Мопертюи «считает их большими светящимися массами, которые сплющились от чрезвычайно сильного вращения». Второй вывод (в отличие от первого — туманности как единичные плотные тела) был правильным и оказал сильное влияние на Канта при разработке им своей космологической концепции.

Глава II

МОДЕЛИ ЗВЕЗДНОЙ ВСЕЛЕННОЙ КАК ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ПРИНЦИПА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. ВОЗРОЖДЕНИЕ ИДЕИ ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

Сама природа может распутать
сложность хаоса.

Декарт

§ 1. Зарождение концепции островных вселенных на основе гравитации.

Райт

Рождение концепции гравитирующих островных вселенных, которая с середины XVIII и до первых десятилетий XX в. была предметом острых дискуссий, прочно связывается в истории астрономии с именем английского астронома-самоучки Томаса Райта (1711—1786). Космологической проблеме посвящены три его работы: 1734 г. (осталась в рукописи, обнаруженной лишь в 1967 г.), 1742 и 1750 гг.

О концепции Райта судили обычно по изложению ее у Канта. Истинные мотивы и содержание размышлений и построений Райта были раскрыты (после обнаружения упомянутой рукописи) лишь в 1970 г. английским историком астрономии М. Хоскином. В космологии Райта нашло яркое отражение характерное для той

эпохи развития науки астрономо-теологическое ее понимание. Аналогичной была и форма размышлений над вопросом о наиболее общих закономерностях Вселенной, о ее упорядоченности. Это особенно наглядно проявилось в сочинениях английского астронома и теолога В. Уистона (1667—1752), по которым учился Райт. Одна из книг Уистона так и называлась: «Астрономические принципы религии» (1717, 1725).

Вместе с тем, видимо, из этих книг Райт узнал впервые о законе всемирного тяготения и о том, что в случае конечности Вселенной все звезды, если они вначале были неподвижны, должны были бы сблизиться и в конце концов упасть друг на друга в центре Вселенной. Он знал также об открытии Галлеем собственных движений звезд. Из всего этого Райт сделал правильный вывод, что звезды должны обращаться вокруг общего центра тяготения (по аналогии с планетами), чтобы не упасть на него. Но центр звездной Вселенной Райт представлял как божественный источник самой правильности, упорядоченности Вселенной.

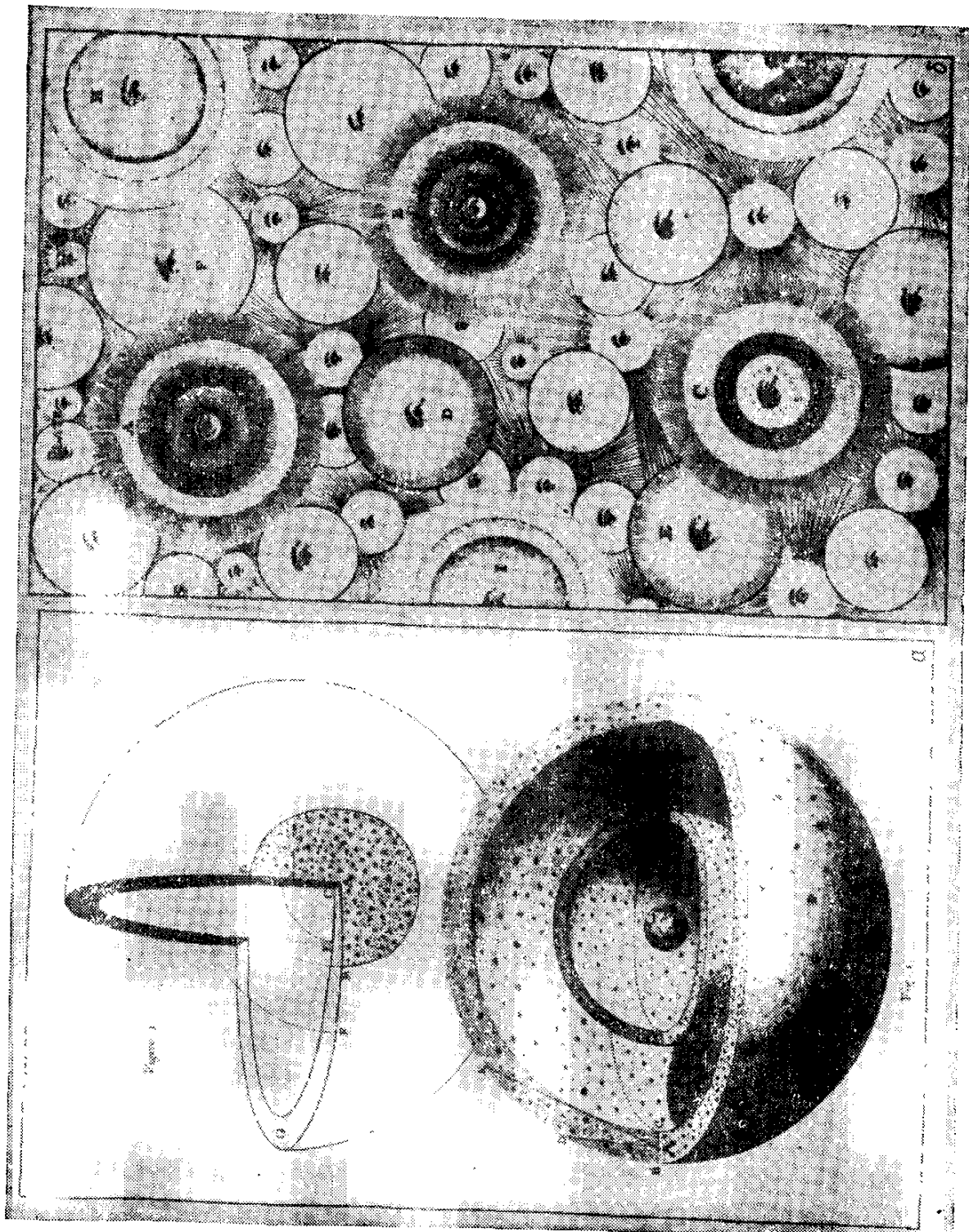
Цель своих исканий общего устройства Вселенной Райт записал еще в 1729 г. в дневнике: «Я задумал отыскать идеи о Божестве и Мироздании и объединить естественное со сверхъестественным». Поэтому Вселенную он изобразил как систему сферических областей вокруг ее не только физического центра тяготения, но и одновременно «священного престола», или даже «ока Бога». Близ него он располагал область «рая», далее материальную область смертных («бездна времени, или область смертных») и, наконец, царство «тьмы и отчаяния», т. е. ад. Таким образом, материальную Вселенную Райт считал конечной.

В описании вида окружающей звездной Вселенной с Земли он пояснял, что если близкие звезды видны по отдельности, то далекие, разбросанные беспорядочно по всему пространству, сольются для глаза в беловатое сияние; на его плоской схеме эта картина выглядела как яркое сплошное светящееся кольцо (а не сфера).

По-видимому, преследуя сначала главным образом «просветительские» цели, вернее, цели поучения праведной жизни и рисуя поэтому рай и ад, Райт тогда не особенно задумывался над некоторыми астрономическими следствиями своих общих рассуждений и их противоречием с наблюдаемым кольцом Млечного Пути, а не сияющей сферой. Но в своем основном труде 1750 г., который уже назывался строго научно: «Оригинальная теория, или новая гипотеза Вселенной», Райт уточняет картину. Он склонен считать правильным предположение, что звезды распределены беспорядочно, но все вместе заключены при этом в некотором сферическом слое, окружающем некий особый центр (см. рис. 20, а). Такое распределение Райт называл «упорядоченным беспорядком».

Теологическое истолкование центра и общей структуры Вселенной заставляло Райта отделять область, близкую к центру (нематериальная область — «рай»), от области «смертных», заполненной звездами. Поняв, однако, что возникает противоречие меж-

Рис. 20. Схема Вселенной Т. Райта: а) схема строения нашей звездной системы (вариант), б) множественность звездных систем (интерпретация млечных туманностей, 1750)



ду ожидаемой в таком случае картиной слабо и почти равномерно светящегося всего неба и реальной картиной лишь светящегося кольца — Млечного Пути, Райт вышел из этого затруднения изобретательным способом. Он предположил, что звезды сосредоточены в пределах тонкого сферического слоя (т. е. как бы вернулся к картине древних!), но что в нем же расположен и наблюдатель. Тогда картина Млечного Пути возникает потому, что наблюдатель, смотря вдоль касательной к этому слою, будет видеть отдаленные его части в форме туманного кольца, а в перпендикулярных направлениях увидит «пустоту» и более близкие, а потому разбросанные по небу звезды. При этом только в качестве наглядной иллюстрации он говорил о картине плоского слоя звезд (как части сферического слоя очень большого радиуса).

Райт, кроме того, рассмотрел тогда же второй вариант решения космологической проблемы, при котором звезды располагались вокруг «божественного центра» кольцом и как бы повторяли в больших масштабах, как писал сам Райт, систему Сатурна. При этом звезды, по его представлениям, двигались в таком кольце подобно «частям, составляющим кольцо Сатурна» (в этом можно видеть первый намек на идею дискретности кольца Сатурна).

Райт предполагал существование и других «божественных центров» со своими системами звезд вокруг них. Но нарушить равноправие среди подобных «центров» не посмел и потому не допускал существования систем разных порядков, т. е. иерархии. Так мировоззрение не позволило родиться ценной научной идее.

Таким образом, вопреки существовавшему свыше двух веков заблуждению на этот счет, Райт не выдвигал идеи реального существования дискообразной системы звезд, изолированной в пространстве. Вместе с тем он действительно первым в рамках гравитационной картины мира выдвинул концепцию островных вселенных (как множественности звездных сферических слоев со своими центрами).

§ 2. Возрождение идеи «естественной истории» природы в космогонии Бюффона

Ньютон первым поставил проблему естественного возникновения звезд в рамках гравитационной физической картины мира, предложив и ее принципиальное решение — звезды возникли в результате сгущения первичной разреженной материи как следствие не абсолютно равномерного распределения в ней плотности, с одной стороны, и бесконечности Вселенной — с другой. Ньютон первым же сделал вывод, что особенности устройства Солнечной системы (движение известных тогда планет и их спутников в одном направлении и почти в одной плоскости) свидетельствуют о неслучайности объединения ее членов в такую слаженную систему и о существовании общей причины этого.

Но эти события рисовались ему как единичный акт, свершившийся при возникновении Вселенной. Идея развития была чуждой ему. И если тяготение он рассматривал как исконное свойст-

во материи, то возникновение орбитальных движений планет объяснить не мог. В духе времени Ньютон полагал, что причиной его мог быть разве что «божественный толчок».

Его младший современник и сотрудник по Кембриджу (кстати, крайне нетерпимый им) В. Уистон (1667—1752) первый попытался объяснить естественными причинами если не формирование Земли как тела, то по крайней мере формирование ее как обитаемой планеты. Он выдвинул гипотезу, что Земля вначале была... кометой, обращавшейся вокруг Солнца, но еще не имевшей осевого вращения. Такое вращение (а с ним и предпосылку возникновения жизни на такой планете) она якобы получила от удара в нее другой кометы! (Продолжение гипотезы носило религиозный характер: третья комета при встрече с Землей накрыла ее своим «парообразным» хвостом, вызвав, конечно, за грехи людей, всемирный потоп, а ожидавшаяся четвертая должна была привести в результате удара о Землю к концу света.) Так или иначе, но Уистона следует назвать родоначальником катастрофического направления в планетной космогонии, хотя он еще не говорил о возникновении всей системы. Сочинение Уистона с изложением этой гипотезы «Новая теория Земли от ее начального состояния до конца всех вещей...» (1696) получило широкую известность (переиздавалось в 1712, 1715, 1725 и 1736 гг.).

Родоначальником идеи естественного возникновения и развития Солнечной системы в рамках ньютоновской физической картины мира стал великий французский естествоиспытатель Ж. Бюффон (1707—1788). В эпоху нового, опиравшегося на опыт и наблюдение естествознания он возродил понятие «естественной истории», введенное великим древнеримским ученым и историком Плинием Старшим (23/24—79), наполнив это понятие новым содержанием. Все наблюдаемые явления и, главное, их изменения, начиная с самого возникновения Земли и планет, Бюффон пытался объяснить действием естественных причин в рамках гравитационной картины мира.

Он построил свою космогоническую гипотезу, объединив ряд независимых идей: о возможности столкновения кометы с Солнцем (идея Ньютона), идею косоугольного удара (Уистон), мысль Мопертюи, что сплюснутая форма маленьких туманностей объясняется их быстрым вращением, наконец, восхитившую его гипотезу Г. Лейбница (1646—1716) о том, что Земля, обладающая внутренним теплом, некогда могла быть и сама самосветящимся телом вроде звезды, а затем остыла с поверхности. (Эту гипотезу Лейбниц высказал в 1683 г. и подробнее развил в своей книге «Протогея», опубликованной лишь в 1748 г.) Для чисто умозрительной идеи Лейбница Бюффон предложил эволюционное естественное обоснование, допустив, что все планеты образовались из струи раскаленного вещества, выбитого из Солнца при скользящем ударе кометы. Остывая, струя, по мысли Бюффона, разбилась на отдельные фрагменты, которые сжимались, вращаясь, и образовали сжатые у полюсов планеты, в том числе и Землю (сплюс-

нутость которой была к этому времени доказана). Гипотеза Бюффона была опубликована в 1749 г. в небольшом трактате «История и теория Земли».

Таким образом, впервые рука Бога (без вмешательства которой до этого не мыслилось ни возникновение небесных тел, ни их удивительное тангенциальное движение, для появления которого и Ньютон, и Л. Эйлер допускали «божественный толчок») была заменена естественной причиной — кометой. Во времена Бюффона эта идея показалась настолько крамольной, что церковь заставила автора письменно отречься от нее. Но идея вышла на свободу (в 1778 г. она была опубликована вторично), и благодаря Бюффону планетная система стала восприниматься в дальнейшем как возникшая и сформировавшаяся под действием естественных сил природы. Возможно, именно благодаря полноте гипотезы Бюффона, свободе ее от религиозных соображений с его именем (а не с именем Уистона) оказалось связанным в истории науки начало естественнонаучной космогонии. Вместе с тем в этих гипотезах образование планетной системы оказывалось событием случайным и, следовательно, весьма редким. В конце прошлого и в начале нашего века такое направление получило развитие в так называемых «катастрофических» гипотезах Фая, Чемберлина и Мультона, а позднее — Джинса и Джеффриса. В них идея внешней возмущающей силы объединилась с древней идеей вихревого движения материи.

Иное представление о космогоническом процессе — как о закономерном результате постепенной эволюции космической материи — развил в 1755 г. молодой немецкий философ И. Кант.

§ 3. Первая модель развивающейся иерархической звездной Вселенной и новая космогония Солнечной системы. Кант

Иммануил Кант (1724—1804) построил первую универсальную космогоническую гравитационную концепцию эволюционирующей

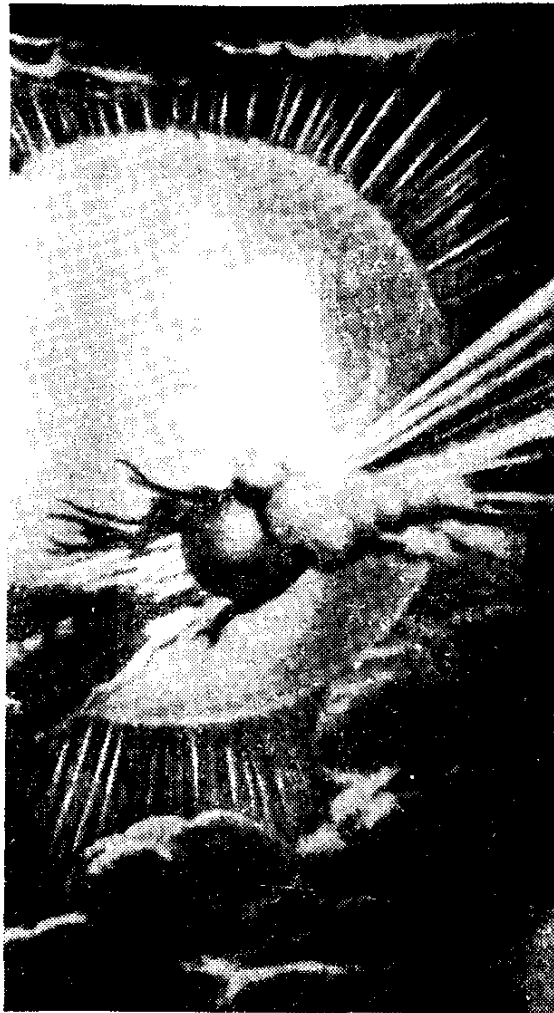


Рис. 21. Происхождение Земли и планет по Бюффону (1749)

Вселенной. Наиболее широко известна ее вторая, космогоническая часть под неточным названием «небулярной» (т. е. газовой) космогонической гипотезы Канта, тогда как она была скорее «метеорной», пылевой. Гипотеза изложена в главном естественнонаучном сочинении Канта «Всеобщая естественная история и теория неба» (1755); уже в названии видно влияние Бюффона.

Из-за банкротства издательства сочинение оставалось неизвестным до 1763 г., когда появилось его краткое изложение, не привлекавшее внимания ученых. Лишь в 1791 г. друг и ученик Канта И. Гензихен опубликовал эту гипотезу в числе других выдержек из этого сочинения Канта с примечаниями самого автора, помещив в той же книжке результаты В. Гершеля, исследовавшего строение неба с телескопами. Результаты Гершеля подтвердили ряд идей и вычислений Канта.

К середине XVIII в. под влиянием гравитационной картины мира все более укреплялось представление об универсальной упорядоченности Вселенной, возродилась древняя идея всеобщей связанности явлений и вещей. Так, французский философ Шарль Бонизэ (1720—1793) составил универсальную «лестницу существ», охватывавшую всю природу — от камня, через растения, животных, человека и до... ангелов! Широкую известность получила грандиозная работа знаменитого шведского натуралиста, ботаника Карла Линнея (1707—1778) по упорядочению растительного мира. Все это стимулировало новые поиски гармонии и на небе.

В рамках утверждавшейся гравитационной ньютоновской картины мира такие поиски привели к появлению трех моделей Вселенной. Авторами их были Т. Райт, И. Кант, И. Г. Ламберт (1761). Но первая из них, как мы видели, была еще только некоей пробой на этом пути. Новым и подлинно революционным шагом на пути развития представлений о структуре и состоянии Вселенной стали две другие концепции.

В сочинении Канта сначала излагалась гипотеза Райта об устройстве звездной Вселенной. Однако, знакомый только с кратким и неточным рефератом сочинения Райта, он использовал именно приведенную там картину плоского слоя звезд (которая служила Райту лишь иллюстрацией). И по содержанию, и по своим целям концепция Канта существенно отличалась от гипотезы Райта, и прежде всего она противопоставлялась теологическим целям последнего. Из конкретных построений Райта Кант намерен был «развить плодотворные выводы» на чисто механической основе, отрицая равно и начальный божественный толчок, допускаясь Ньютоном.

Кант почерпнул у Райта его гениальную идею о возможности существования и других упорядоченных тяготением звездных систем-вселенных под видом «туманностей». Эту замечательную мысль Кант сразу же предпочел другим объяснениям природы туманностей — как разрывов в небесной сфере (Гюйгенс, Галлей, Дерхем) или огромных единичных светящихся тел (Мопертюи). В резуль-

тате Кант построил несравненно более четкую концепцию «системного устройства» Вселенной, обогатив картину ее островной структуры новой идеей — иерархией систем и представляя Вселенную бесконечной, но в особом смысле, который он уточнил в космогонической части своей теории. Он обосновывал возможность возникновения такой Вселенной исключительно под действием естественных механических сил притяжения и отталкивания и попытался выяснить дальнейшую судьбу такой Вселенной на всех ее масштабных уровнях — начиная с планетной системы и кончая миром туманностей.

Космологическому аспекту гипотезы посвящена небольшая (16 страниц) первая часть: «Очерк системы неподвижных звезд, а также о многочисленности подобных систем неподвижных звезд» (Кант тут же разъясняет условность термина «неподвижные», указывая на существование реальных движений звезд). Страницы этой части буквально переполнены восторженным описанием всюду проявляющейся взаимосвязанности различных объектов во Вселенной, пока все это не соединяется в единую захватывающую дух картину Космоса. «Если уже обширность планетного мира, в котором Земля кажется малой песчинкой, — писал Кант, — повергает ум в изумление, то каким восторгом проникается он при созерцании бесчисленного множества миров и систем, заполняющих Млечный Путь; но насколько возрастает это изумление, когда узнаешь, что все эти необъятные звездные миры в свою очередь составляют единицу того числа, конца которому мы не знаем и которое, быть может, столь же непостижимо велико и тем не менее само составляет лишь единицу нового соединения чисел. Мы видим первые члены непрерывного ряда миров и систем, и первая часть этой бесконечной прогрессии уже дает нам возможность представить, каково целое. Здесь нет конца, здесь бездна подлинной неизмеримости, перед которой бледнеет всякая способность человеческого понимания, хотя бы и подкрепленного математикой».

Кант выступает здесь не столько как философ, сколько как естествоиспытатель и отдает себе отчет в необходимости опытной проверки предложенной концепции. «Здесь перед нами широкое поле для открытий, ключ к которым должны дать наблюдения», — заключает он предварительные рассуждения о поставленной проблеме.

Как естественное следствие наблюдаемых фактов и закона всемирного тяготения звучат его выводы о существовании двойных звезд о чрезвычайно вероятном открытии в будущем планет за Сатурном, о пропорциональном, космогонически обоснованном увеличении взаимных расстояний планет с удалением их от Солнца. Все эти выводы подтвердились уже при жизни Канта (в открытиях В. Гершеля), а вывод о планетных расстояниях конкретизировался вскоре в форме закона Тициуса—Боде.

Космогоническая концепция Канта была детально развита для планетной системы, а затем экстраполирована им на всю Вселен-

ную в части, названной «О первоначальном состоянии природы, образовании небесных тел, причинах их движения и связи их между собой как звеньев системы, в частности, в мире планет, а также с точки зрения всего мироздания». Здесь неожиданно новое развитие получает и космологическая картина в результате распространения на всю Вселенную идеи эволюции.

Кант взялся за рассмотрение космогонической проблемы, не согласившись с выводами Ньютона о необходимости божественного «первого толчка» для возникновения орбитального движения планет (для чего им необходимо было сообщить тангенциальную скорость). Он поставил цель — найти естественную причину возникновения такого движения. В качестве основы космогонической концепции он использовал все имеющиеся сведения о Солнечной системе — ее параметры, и не только геометрические и кинематические (совпадение плоскостей орбит и направлений движений), но и динамические, а также другие физические закономерности, которые он, как ему казалось, выявил (увеличение эксцентриситетов орбит и масс планет, уменьшение их плотности с удалением от Солнца). Несмотря на иллюзорность этих последних закономерностей (во всяком случае, не всеобщность их для Солнечной системы), их анализ позволил Канту сделать ряд правильных выводов, например, о существовании планет за Сатурном, равно как и высказать небезытересную идею непрерывного перехода от планет к кометам.

Кант впервые, пожалуй, расширил набор сил, действующих в Космосе. Считая главной силу всемирного тяготения, он ввел еще и силу отталкивания (действие ее Кант допускал на уровне отдельных частиц и отводил им существенную роль в начальной стадии образования системы). Он ошибочно полагал, что в результате сочетания тяготения и отталкивания может возникнуть то самое тангенциальное движение, которое обеспечивает вращение космических систем и орбитальное движение тел в них. Кроме того, Кант распространил на космическое пространство действие силы химического соединения частиц, в результате чего, по его мнению, и создавались начальные неоднородности в распределении плотности материи — центры преимущественного тяготения.

Выдвинув намного более широкую идею общей эволюции Космоса, Кант детально развил только планетную космогоническую гипотезу, включавшую гипотезу о возникновении и самой центральной звезды в системе — Солнца. Кант начинает изложение гипотезы с рассмотрения космической материи, полностью разложенной на элементарные субстанции, но при этом разного веса, причем обилие частиц, пространственная плотность их распределения предполагалась обратно пропорциональной их весу. В такой среде, как он полагал, сначала возникали небольшие случайные сгустки под действием лишь внутренних сил — от сближения элементов, соединяющихся «по обыкновенным законам связи» (химическое сродство). Затем эти сгустки укрупнялись, соединяясь с еще более крупными такими же сгустками.

Таким образом, гипотеза Канта содержала не только восходящую к древности идею предельно примитивного разреженного первичного состояния материи, но и ряд новых глубоких мыслей. Одна из них — о зависимости обилия частиц в Космосе от их веса. Другая — о возникновении первичных случайных флуктуаций плотности в начальной среде под действием негравитационных сил (по Канту, внутренних «связей», иначе химических сил) и о необходимости достижения при этом «критической» массы для начала устойчивого процесса сгущения. Эта идея в начале XX в. была развита Джинсом в его знаменитую теорию гравитационной неустойчивости, фундаментальную для современной космологии.

В описании дальнейшей эволюции планетных тел и их систем Кант учитывал действие теплоты. Многие его заключения об этих сторонах космогонического процесса поражают своими удивительно современными нам элементами. Таковы, например, его утверждения о возможности разогрева недр холодной планеты за счет «смещения» веществ или о том, что Солнце (как и другие звезды) является активным, «пылающим» источником тепла, может затухать при недостатке «горючего» и вновь разгораться при его поступлении. Кант допускал и важную роль отталкивательного действия солнечных лучей в Солнечной системе и ее эволюции.

Были у Канта и другие поразительно верные заключения, забытые в истории астрономии. Так, он сделал вывод о «метеоритном», по существу, составе кольца Сатурна (у Райта был лишь намек на это). Кант отмечал, что образования типа кольца Сатурна могут быть и у других планет. Он высказал правильное суждение о природе зодиакального света, об отсутствии принципиальных различий планет и комет, допуская, что при некоторых условиях Солнце могло бы своим воздействием создать хвост и у Земли, подобно кометному.

Хорошо известный изъян космогонии Канта — представление о самопроизвольном возникновении вращения изолированной системы, что противоречило закону сохранения вращательного момента, — не имел принципиального значения для последующих частей его гипотезы. У Канта была идея «нецентрального удара» частиц как механизма возникновения вращения первичной «туманности». Но в согласии с законом сохранения вращательного момента каждая ударяющая частица при этом сама получала бы компенсирующее обратное вращение и в целом система их оставалась бы невращающейся. Вращение протосолнечной туманности можно было бы получить, лишь допустив косой «удар» двух подобных взаимно закручивающих друг друга «туманностей». В дальнейшем космогонисты, вслед за Лапласом, рассматривали первичную туманность уже вращающейся.

Содержание третьей части сочинения Канта в целом совершенно необычно для XVIII в. и представляет собой первый научный анализ проблемы жизни во Вселенной. Она названа «Содержащая в себе основанный на закономерностях природы опыт сравнения обитателей различных планет». Не имевшая никакой наблю-

дательной основы, эта глава носит чисто умозрительный характер. Но и здесь Кант затрагивает физическую сторону проблемы. Он справедливо отмечает тесную связь между формами жизни и физическими условиями на планетах — силой тяжести, температурой, плотностью вещества планеты. Кант указывал на возможность различного типа эволюции планет и допускал, что на некоторых других планетах жизнь еще может в дальнейшем возникнуть (на Венере, Юпитере). В противоположность распространенным тогда, хотя и мало чем обоснованным, представлениям о всеобщей заселенности Космоса (вплоть до комет, звезд и самого Солнца) Кант здраво утверждал, что во Вселенной даже далеко не все планеты должны быть обитаемы.

Но возвратимся снова ко второй части сочинения Канта. В ней изложена его знаменитая концепция бесконечного развития бесконечной иерархической Вселенной. Хотя Кант отдавал себе отчет в том, что в бесконечной Вселенной невозможно существование центра, описанная им на основе сведений о наблюдаемой Вселенной иерархия систем мыслилась как некая сверхсистема, имеющая свой общий для всех ее членов *неподвижный* центр тяготения (предположительно, Сириус). Развитие Вселенной рисовалось им как имевший начало, но не имеющий конца процесс постепенного образования все новых космических систем на все более далеких расстояниях от центра Вселенной, где этот процесс начался. Звездная Вселенная, по Канту, таким образом, непрерывно увеличивается и по объему, и по массе в результате возникновения новых систем из некой первичной диффузной газовой пылевой материи. И поскольку акт божественного творения материи (единственное, что Кант сохранял за богом) он отодвигал в далекое прошлое, то, очевидно, Вселенная, заполненная диффузной материей, представлялась ему бесконечной в пространстве и во времени, а бесконечность иерархических систем находилась как бы в становлении.

Вместе с тем гипотеза Канта предполагала, что начиная от центральных (по Канту, наиболее старых) областей Вселенной (где, по его мнению, располагается и наша Солнечная система) космические объекты всех масштабов постепенно разрушаются и гибнут. Таким образом, окраины Вселенной в теории Канта оказываются более молодыми. Кант считал, что на месте погибших систем рождаются новые: на потухшие солнца, например, падают замедлившиеся планеты и кометы, вновь разжигают их, окружающая материя от жара снова распадается на элементы, и процесс формирования системы планет проходит новый цикл при достаточном остывании центрального светила. Так без конца, согласно Канту, волнами от центра в бесконечность распространяется эволюция космической материи. Эта концепция, по существу, содержит и общепризнанную в современной науке идею сосуществования космических систем разных поколений.

Формированием этой новой, эволюционной астрономической картины мира Кант вполне оправдал свои же пророческие и прог-

раммы для дальнейшего изучения Вселенной слова: «Тот, кто рассматривает различные области природы целенаправленно и планомерно, открывает такие свойства, которые остаются незамеченными и скрытыми, когда наблюдения ведутся беспорядочно и бессистемно».

К середине XVIII в. все более укреплялось представление о грандиозности масштабов звездной Вселенной. Об этом свидетельствовало и то, что, несмотря на повысившуюся до 1'' точность определения положения звезд на небе, их параллаксы оставались все еще неуловимыми для измерений. А косвенные, фотометрические оценки межзвездных расстояний (Гюйгенс) еще более определенно указывали на колоссальные размеры видимого звездного мира.

Первые свидетельства о звездном составе Млечного Пути и некоторых туманных пятен на небе, открытие в середине XVIII в. нескольких десятков новых туманностей — все это наводило на мысли также и о сложности структуры Вселенной. Вывод о том, что видимые нами звезды составляют динамическую систему, идея островных вселенных, согласно которой все туманности рассматривались как далекие звездные системы (Сведенборг, 1733; Райт, 1750), были дополнены в сочинении Канта (1755) идеей бесконечной иерархии развивающихся космических систем. Но она еще не была и не могла быть в то время сколько-нибудь разработанной на конкретном астрономическом материале. К тому же сочинение Канта, как уже говорилось, до конца XVIII в. оставалось практически неизвестным ученому миру.

§ 4. Вторая модель иерархической развивающейся звездной Вселенной. Ламберт

Грандиозную работу по обобщению космологических фактов в науке нового времени совершил независимо от Канта выдающийся немецкий ученый-энциклопедист И. Г. Ламберт (1728—1777). В историю науки Ламберт вошел прежде всего как физик и астроном — автор двух фундаментальных, тесно связанных между собой трудов. В первом из них («Фотометрия», 1760) он разработал теоретические, физические основы одного из главных методов наблюдательной астрономии. Он открыл закон, согласно которому яркость идеально рассеивающей свет (диффузной) поверхности не зависит от направления (закон Ламберта). Кроме того, Ламберт утвердил основной закон фотометрии — экспоненциального ослабления потока монохроматического света в поглощающей среде, разделив славу с двумя другими учеными (закон Бугера—Ламберта—Бэра). Именем Ламберта была названа впоследствии единица яркости рассеивающей свет поверхности.

Новыми фотометрическими принципами Ламберт не замедлил воспользоваться для решения конкретных астрономических и геофизических задач. Он весьма точно оценил относительную яркость

Луны, ослабление света в земной атмосфере, изучал явление сумерек, впервые дал фотометрическую оценку высоты земной атмосферы. Ему же принадлежит вторая, после Гюйгенса, но значительно более точная фотометрическая оценка межзвездных расстояний (около 8 св. лет до Сириуса; по современным данным 8,7 св. года).

В области астрономии он занимался также проблемами движения отдельных небесных тел и структуры Вселенной в целом, разрабатывал количественные методы наблюдательной астрономии и всюду стремился ввести строгие методы исследования. В небольшой работе «Исследование по определению орбит комет» (1761) Ламберт дал метод расчета орбит для определенных случаев. Кометы привлекали внимание Ламберта в связи с распространенным в XVIII в. представлением о населенности всех небесных тел разумными существами. Разделяя такие представления, Ламберт считал особо заманчивыми для астрономов кометы как вечно странствующие обсерватории...

Вершиной творчества Ламберта стали его «Космологические письма об устройстве мироздания» (1761). Первая половина этого большого сочинения также посвящена кометам. Во второй части Ламберт изложил свою концепцию иерархической Вселенной.

Над проблемами космологии он начал работать в 1749 г. В «Фотометрии» в главе «О блеске неподвижных звезд и их расстояниях» он представил Млечный Путь как эклиптику звезд, обращающихся вокруг некоторого общего центра (сходную идею раньше высказывал Райт). В «Космологических письмах» Ламберт дает наиболее полную, по сравнению со своими предшественниками, и вместе с тем в большей степени связанную с наблюдениями картину иерархической звездной Вселенной. Он утверждал существование во Вселенной систем трех порядков: 1) планета со спутниками; 2) Солнце (равно как и другие звезды) с планетами; 3) Млечный Путь и другие подобные ему скопления звезд, видимые как туманности из-за огромных расстояний. Кроме того, обратив внимание на крайнюю видимую неоднородность яркости полосы Млечного Пути, Ламберт выделил промежуточную систему между системами II и III порядков — большие звездные сгущения в самом Млечном Пути. Одной из таких промежуточных систем он считал все видимые с Земли звезды вместе с Солнцем.

Системы всех порядков Ламберт считал находящимися в непрерывном движении — каждая вокруг своего центра тяжести. Он первым допустил существование «пустых», геометрических центров обращения систем, однако склонялся более к идее «центральных солнц». Вся мысленная иерархия систем также представлялась Ламберту обращающейся вокруг единого неподвижного центра. Последнее неизбежно влекло за собой вывод о конечности материальной Вселенной. Однако Ламберт (как и его современник Кант) не обратил на это внимания. Но, быть может, дело было и в другом. Его грандиозная космологическая концепция была результатом глубокого логического анализа конкретных фактов.

Он не признавал выводов, опирающихся только на одну интуицию, и не претендовал на создание законченного учения о строении всей Вселенной, вообще будучи противником построения законченной всеохватывающей научной теории Вселенной, считая, что наши знания для этого совершенно недостаточны (здесь четко выступает принципиальное различие между научной теорией, как бы широка она ни была, и картиной мира).

Хотя Ламберт не рассматривал специально проблему изменения космических объектов и Вселенной в целом, тем не менее он представлял космические системы временными образованиями. Это его заключение было следствием наблюдений. Он первым оценил сжатие звездной системы Млечного Пути и ошибочно получил его слишком большим ($1/10000$). Из этого Ламберт и сделал вывод, что столь исключительную форму система может сохранять лишь сравнительно небольшое время и должна неизбежно изменяться.

Многие научные прогнозы Ламберта подтвердились уже в ближайшие десятилетия: открытие тысяч (!) новых туманностей (которые сначала все были интерпретированы как далекие «млечные пути», что для подавляющего их большинства было верным); открытие собственного движения Солнца; двойных и кратных звезд (Ламберту принадлежит введение самого понятия «двойная звезда»). Другие прогнозы Ламберта опередили эпоху на век или даже на два. Его утверждение, что по небольшим возмущениям в движении небесного тела можно обнаружить другое массивное, но невидимое тело, блестяще подтвердилось в XIX в. (спутники Сириуса и Проксиона, Нептун). Наконец, указание Ламберта на возможность существования сверхплотных космических тел неожиданно подтвердилось с открытием белых карликов, а позднее и нейтронных звезд.

Эти же соображения Ламберта подводили к идее «черной дыры», которая в ньютоновском варианте и была выдвинута в конце XVIII в. сначала английским математиком и астрономом Дж. Мичелом (1783), а затем независимо П. С. Лапласом (1796).

Глава III

ПЕРВЫЙ ВЫХОД ЗА ПРЕДЕЛЫ

МЕХАНИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА.

ПЕТЕРБУРГСКИЕ «АСТРОФИЗИКИ» XVIII в.

Открылась бездна — звезд полна.
Звездам числа нет, бездне — дна.
М. В. Ломоносов

§ 1. Картина Вселенной по Ломоносову.

Открытие атмосферы Венеры

Важный вклад в формирование астрономической картины мира внес в середине XVIII в. первый русский ученый-энциклопедист

М. В. Ломоносов (1711—1765). Естественнонаучные исследования Ломоносова охватывают огромный круг вопросов — от проблемы строения вещества до задач техники. Надежной опорой в этих изысканиях служило его материалистическое понимание окружающего мира, твердая убежденность в единстве основных законов природы и в познаваемости этих законов, умение увидеть связь, казалось бы, далеких друг от друга явлений и сочетать экспериментальные исследования и наблюдения с глубоким теоретическим анализом и осмыслением проблем.

Особая заслуга Ломоносова заключается в том, что он четко сформулировал и неустанно пропагандировал в качестве основного принципа природы закон сохранения материи и движения. Несмотря на то что общая идея сохранения материи была высказана уже в глубокой древности, утверждение этого закона как универсального, достоверного принципа природы в наше время (с конца XVI в.) заняло не одно столетие.

К небесным явлениям интерес у Ломоносова проявился еще в детстве при наблюдении величественных картин полярных сияний. Необычайная широта интересов и умение анализировать явления в их взаимосвязи привели его к ряду важных выводов изобретений, открытий и в области астрономии. Обогнав свое время на столетие, он в числе немногих современников обратился к решению вопросов о физической природе небесных тел, исходя из убеждения в единстве ее у них и у Земли. Ломоносов, как и ряд других молодых петербургских ученых того времени (включая будущего великого математика Л. Эйлера), входил в круг исследователей, которые в значительной степени под влиянием работавшего в Петербургской академии наук французского астронома Ж.-Н. Делиля (1688—1768) начали первые исследования астрофизического направления.

Ломоносов высказал ряд правильных идей астрофизического характера и в ходе своих физических исследований, например об электрической природе полярных сияний. Свои представления об атмосферном электричестве он распространил на природу свечения кометных хвостов. При всей примитивности формы его гипотезы она перекликается с современными теориями образования и свечения плазменных составляющих кометных хвостов в результате взаимодействия газовой-плазменной головы кометы и потоков «солнечного ветра».

И в наше время поражают глубиной научной интуиции красочные стихотворные строки, в которых Ломоносов изложил защищавшие им представления о физической природе Солнца. Смелым взором поэта и ученого он видел там

«...горящий вечно Океан.

Там огненные валы стремятся и не находят берегов;

Там вихри пламенные крутятся, борючись множество веков...»

Эта картина была несравненно богаче и ближе к действительности, чем представление о твердой раскаленной поверхности Солнца.

Со свойственной ему широтой подхода к решению научных проблем Ломоносов связывал прикладную задачу поиска полезных ископаемых с глобальной научной проблемой строения Земли как планеты. На фоне общепринятых в то время воззрений о неизменности окружающего мира особенно смело звучали еще очень редкие тогда голоса, защищавшие идею постепенного изменения, эволюции Земли. Исходя из атеистической картины мира, Ломоносов стремился проникнуть мысленным взором в глубины земных недр, проследить скрытые процессы горообразования, рождения минеральных полезных ископаемых как следствия геологической эволюции Земли.

Идея эволюции Земли у Ломоносова тесно переплетается с идеей эволюции Вселенной. В качестве аргументов в пользу изменчивости Земли он приводит астрономические факты и аналогии, указывая, что даже «главные, величайшие тела мира, планеты и самые... звезды изменяются, теряются в небе, показываются вновь».

Одна из важных и наиболее общих идей астрономического мировоззрения — идея множественности обитаемых миров — получила первое определенное обоснование после открытия Ломоносовым атмосферы на планете Венера. По своему философскому значению это открытие сходно с обнаружением земноподобного рельефа поверхности Луны Галилеем. Свое открытие Ломоносов сделал 24 июня 1761 г. во время прохождения Венеры по диску Солнца. В ожидании редкого явления множество телескопов было направлено на солнечный диск. Надо было уловить моменты контактов диска планеты и Солнца. Это позволяло, как надеялись, существенно уточнить расстояние Земли от Солнца, т. е. астрономическую единицу (метод был предложен в свое время Галлеем). При вхождении Венеры на диск Солнца Ломоносов отметил легкое затуманивание солнечного края; когда же планета подходила к другому краю диска, на нем сначала возникла выпуклость («пупырь»), а затем она исчезла, и край диска оказался как бы срезанным.

Немало астрономов отметили тогда те же явления, но Ломоносов первым правильно объяснил их, так как с самого начала его наблюдения прохождения Венеры имели не астрометрическую, а астрофизическую направленность. По его словам, он наблюдал, «любопытствуя... более для физических примечаний». «По сим примечаниям, — писал он, — планета Венера окружена знатной воздушной атмосферой, таковой (лишь бы не большею), каковая обливается около нашего шара земного». Такое объяснение вскоре стало общепринятым.

В 1761—1762 гг. Ломоносов создал прообраз современного горизонтального телескопа с сидеростатом. В 1762 г. он изобрел так называемую однозеркальную схему рефлектора с наклонным (на 4°) зеркалом. Эти изобретения Ломоносова свидетельствуют о том, что он проявлял большой интерес к проблемам строения Вселенной, которая рисовалась ему бесконечной. Последнее нашло отражение в прекрасных стихотворных строках Ломоносова, приве-

денных в эпиграфе к этому параграфу. За этими строками следует яркая картина Вселенной, единой по своим законам и наполненной очагами жизни и разума.

§ 2. Эволюционные идеи о Луне и кометах — начало формирования космо- геологического аспекта картины мира. Эпинус

Петербургский академик Ф. У. Т. Эпинус (1724—1802) был выдающимся физиком-теоретиком. Главный труд его «Опыт теории электричества и магнетизма» (1759) принес ему мировую известность. На протяжении почти всей его жизни предметом постоянного интереса Эпинуса была и астрономия. Внимание его привлекали наиболее быстро изменяющиеся тела — кометы. Остроумно высмеивая астрологию, в том числе связанную с кометами, Эпинус серьезно рассматривал проблему последствий реального столкновения кометы с Землей, что, по его мнению, могло произойти из-за неупорядоченности кометных орбит в отличие от планетных. Он отрицал опасность встречи с хвостом кометы, поскольку сквозь него просвечивали даже слабые звезды, свидетельствуя о крайней разреженности его вещества. Что касается прямого столкновения с головой кометы, то Эпинус предполагал, что в этом случае удар может быть смягчен атмосферами. При некоторых относительных скоростях и достаточной упругости атмосфер комета может и вовсе не достигнуть поверхности Земли, а будет отброшена силой сжавшегося воздуха (это перекликается с некоторыми современными идеями о Тунгусском явлении 1908 г.).

В 1761 г. Эпинус в «Рассуждении о разделении теплоты по земному шару» вновь обращается к астрофизической — планетологической проблеме. Он первым в принципе верно объяснил более низкую среднюю температуру восточного и южного полушарий Земли. Причину охлаждения восточного полушария он видел в том, что здесь преобладают материки, тогда как в западном полушарии — океаны, отдающие зимой тепло атмосфере.

Глобальный подход в объяснении свойств различных областей земного шара позволил Эпинусу предсказать одно из крупнейших географических открытий — существование Антарктиды. Объяснив большую охлажденность южного полушария прежде всего вековым астрономическим эффектом — большей продолжительностью весенне-летнего периода в северном полушарии, чем в южном (189,5 и 175,5 соответственно; в действительности — 186,3 и 177), он счел это объяснение, однако, недостаточным и нашел еще одну причину. Он обратил внимание на сообщения мореплавателей о том, что им удавалось порой проходить по открытой воде всего в 7° от Северного полюса, что говорило об отсутствии на этих широтах сплошного материка и об утепляющем действии океана. Напротив, в южном полушарии сплошные льды останавли-

вали суда на гораздо более низких широтах. На этом основании Эпинус предположил, что «земли, лежащие около Южного полюса [полюса], до которых мореплавателям доехать еще не удалось, составляют матерую землю... Но, — добавляет он, — я охотно сии мои догадки, справедливы ли оне или нет, оставляю потомкам на рассмотрение, ежели им со временем удастся так близко к Южному приехать полу, что о состоянии оных земель впредь можно будет обстоятельнейшия иметь известия». Эти пророческие слова были сказаны за 13 лет до первого плавания в глубь южных широт Дж. Кука (но еще лишь вокруг так и не открытого тогда южного полярного материка) и за 60 лет до экспедиции Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева, увидевших берега Антарктиды первыми.

Эпинусу принадлежит первое детальное исследование (1778) и эволюционное объяснение происхождения характерных кольцевых гор-цирков на Луне. Он первым сопоставил не только форму (что делалось и раньше, начиная с Галилея), но и процессы, протекающие на Земле, и те, что могли бы иметь место на другом небесном теле.

Эпинус давно интересовался результатами изучения земного шара, процессов, формирующих его поверхность. Он присоединялся к новой тогда теории, утверждавшей созидательную, а не разрушительную, как думали прежде, роль вулканов в горообразовании. Эту теорию подтверждал и известный вулканолог В. Гамильтон, описавший извержение Везувия в 1766 г. в богато иллюстрированном сочинении «Горящая долина» (1778). Познакомившись с этим сочинением, Эпинус увидел лунную поверхность глазами, вооруженными вдвойне, — телескопом и новой теорией вулканизма (в 1778 г. Эпинус получил из Англии ахроматический телескоп с тройным объективом и прежде всего направил его на Луну). И не мудрено, что произошло столь характерное в науке внезапное (но не случайное!) озарение: «...Мнение о происхождении образа оной поверхности Луны, может быть также от внутреннего огня, тогда же вдруг во мне родилось», — писал он. Не обнаружив, чтобы кто-нибудь до него серьезно рассмотрел бы эту идею, Эпинус продолжил тщательные исследования и в 1781 г. опубликовал сочинение «О строении поверхности Луны и о происхождении неровностей оной от внутреннего огня». В этом сочинении впервые, после открытия Галилеем принципиального сходства Земли и Луны, строение поверхности небесного тела детально сравнивалось с земной поверхностью.

Наиболее существенным отличием Луны со времен Галилея представлялась кольцевая форма большинства лунных гор. Но сопоставление их с вулканическими районами Земли (например, с Везувием и его окрестностями) убедило Эпинуса, напротив, в большом сходстве земных (вулканических) и лунных образований (цирков). Вместе с тем вулканизм на Луне Эпинус считал явлением несравненно более грандиозным, чем на Земле. Устойчивость лунных вулканических структур, в отличие от быстро разрушае-

мых земных, он объяснял отсутствием на Луне атмосферы с ее ветрами и осадками. Но главное, в разнообразии форм и размеров лунных цирков Эпинус увидел стадии их развития и заключил, что на Луне не только существовала некогда (о чем уже догадывались), но и продолжается вулканическая деятельность.

Работа Эпинуса стимулировала появление аналогичного сочинения известного физика, астронома и философа Г. К. Лихтенберга в Германии (который ссылался на Эпинуса). Ставшая в дальнейшем временно общепризнанной (после наблюдений В. Гершеля, 1783—1787 гг.), теория лунного вулканизма породила одну из первых гипотез космического происхождения метеоритов (см. ниже). Но основное достоинство исследования Эпинуса в том, что он впервые серьезно обосновал новую предпосылку в изучении других планет — их геологическое, а следовательно, и эволюционное родство с Землей.

В 1784 г. в ответном письме к П. С. Палласу, сообщившему о наблюдениях В. Гершеля, Эпинус писал, что в случае достоверного открытия вулкана на Луне его следовало бы назвать именем Р. Гука, который, как он узнал к тому времени, раньше всех (1665) высказал идею вулканической природы лунных кратеров (Эпинус пришел к ней независимо).

В 1770 и в 1783 гг. в Петербурге вышла анонимно небольшая книжка Эпинуса «Рассуждение о строении мира», переложение знаменитой книги Фонтенеля «Беседы о множественности миров» (1686). Однако она не только сильно отличалась живым и ярким языком от первого тяжеловесного русского перевода этого сочинения середины XVIII в. (его сделал А. Кантемир), но и от оригинала по своему существу. Вместо вихревого картезианского мира у Фонтенеля читатель видел реальную ньютоновскую Вселенную, впервые сталкивался с детальным моделированием физических процессов на небесных телах. Умозрительная гипотеза о населенности небесных тел подкреплялась в ней удивительным открытием живучести организмов в опытах английского биолога А. Трембли (1744).

Более точно в ней описание самих небесных тел: Солнце «покрыто пламенным Океаном, испускающим из себя дым и пары, которые земные жители усматривают иногда под видом черных пятен». Кометы — не случайные гипотетические планеты из «чужих» планетных вихрей (как думал в свое время Декарт), а их хвосты — не оптическое явление (как считали многие современники Фонтенеля, например Я. Гевелий). В брошюре Эпинуса они представлены реальными членами Солнечной системы, но обычно с чрезвычайно вытянутыми и потому подверженными сильным возмущениям орбитами.

А вот как описывал Эпинус картину предполагаемых физических изменений, происходящих с кометой на ее пути к Солнцу: «Из ужасной пустоты, где мрак и смерть беспрепятственно от неисчетных тысяч лет господствуют, спешит сия комита к неизмеримому огненному Океану. Она вся объята стужею, совсем от мраза ока-

менела. Сила огня разрешает вскоре крепчайшии сии хлада узы, вдруг на всей поверхности оныя снедающий распространяется по-жар. Моря иссякают, горы воздымляются. Раскаленным курением наполнившийся воздушный около ея круг уже кипит и незапно расседается. Теперь уже сгущенный дым, из разоренного сего мира исходящий, непреткновенно льется в бездонную глубину, теперь распространяется ужасный хвост, более, нежели на два миллиона дневнаго пути над неизмеримую пропастью».

Эти впечатляющие строки содержат и глубокие новые идеи — наиболее раннюю мысль о ледяной природе самого тела кометы («от мраза вся окаменела»), об испарении льдов и вообще твердого вещества с поверхности кометы с приближением ее к Солнцу («моря иссякают, горы воздымляются»), о процессе возникновения хвоста («сгущенный дым, из разоренного сего мира исходящий»).

Глава IV

СОЗДАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНО ОБОСНОВАННОЙ КАРТИНЫ СТРУКТУРЫ И ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ ЗВЕЗД И ТУМАННОСТЕЙ

Ночью я открываю мой люк и смотрю, как далеко
разбрызганы в небе миры,
И все, что я вижу, умноженное на самую высшую цифру,
какую можно представить себе, — есть только
граница новых и новых вселенных...

Уолт Уитмен

§ 1. Открытие Галактики и крупномасштабной структурности мира туманностей.

В. Гершель

В последней четверти XVIII в. впервые объектом самостоятельного исследования в астрономии становится устройство Вселенной за пределами Солнечной системы. Конечно, возможность этого была подготовлена более чем полуторавековым развитием телескопов-рефракторов и столетием совершенствования ньютоновского изобретения — рефлектора, за которым и было будущее. Но в не меньшей степени новое направление интересов и усилий астрономов диктовалось широкими перспективами, открывавшимися по мере внедрения в сознание гравитационной космофизической ньютонианской картины мира. Для понимания окружающего Космоса исследователи получили универсальную *силу* (тяготение) и *процесс* (эволюция под его воздействием). Дело было за фактами,

точнее, за целенаправленным их сбором и анализом (к чему призывал Кант!) в рамках новой картины мира.

Исключительно большую роль на этом этапе сыграл великий английский астроном (немецкого происхождения) Вильям (Фридрих Вильгельм) Гершель (1738—1822).

Он вошел в историю науки как знаменитый конструктор уникальных для его эпохи телескопов-рефлекторов с диаметрами зеркал до 1,2 м, как виртуозный наблюдатель и глубокий мыслитель основатель звездной астрономии и родоначальник наблюдательного изучения, по существу, и открытой им нашей звездной системы — Галактики и также открытого им безграничного мира туманностей. Недаром о нем было сказано: «Сломал засовы небес».

Его дебютом в астрономии стало открытие седьмой большой планеты, впервые за всю историю астрономии, — Урана (13 марта 1781 г.). Затем он пополнил Солнечную систему несколькими спутниками (Урана и Сатурна), обнаружил сезонные изменения полярных шапок Марса, правильно объяснил облачными явлениями в атмосфере планеты полосы и пятна на Юпитере, измерил, и весьма точно, период вращения Сатурна; наконец, ему принадлежит открытие движения всей Солнечной системы в пространстве в направлении к созвездию Геркулеса. Одним из первых наблюдая спектры звезд, он обратил внимание на различное распределение в них яркости, а изучая спектр Солнца, открыл инфракрасные лучи (1800). Гершель первым установил влияние солнечной активности (числа пятен) на земные процессы (по изменениям цен на пшеницу).

Задуманная Гершелем смелая программа глобальных обзоров неба с целью не пропустить ни одного нового объекта и впервые поставленная исследовательская цель таких обзоров — изучение строения и развития Вселенной, главным образом за пределами Солнечной системы, — заполнила свыше трех десятилетий его жизни. И хотя уже открытия в Солнечной системе принесли ему мировую славу, основным направлением своих исследований он считал изучение звездной Вселенной, которую он дополнил открытием свыше 2,5 тысячи новых загадочных объектов — «туманностей». Гершель применил в изучении звездного неба свои, оригинальные методы наблюдений и обработки результатов — массовый сбор материалов. Не рассчитывая «объять необъятное», он впервые ввел в астрономию, по существу, понятие неполного, но представительного фактического материала, придумав способ «звездных черпков» — подсчет звезд в избранных площадках неба — как указатель глубины простираения звездной Вселенной в этих направлениях (в предположении в среднем равномерного пространственного распределения звезд). При более детальном изучении закономерностей в распределении звезд Гершель впервые систематически использовал методы статистики и теории вероятностей, введенные в наблюдательную астрономию уже упоминавшимся Дж. Мичелом (1724—1793). Рассматривая чрезвычайно компактные области очень плотного видимого распределения звезд, Гер-

шель показал невероятность для этих участков простираения (почти иглообразного!) общей звездной системы в глубину и вслед за Мичелом утверждал реальность скоплений звезд.

Таким образом, к 1785 г. он убедился, что наш звездный мир не бесконечен (!), и сделал правильный вывод о его изолированности в пространстве как одного из «островов» Вселенной среди других таких же, которые из-за их чудовищной удаленности выглядели маленькими млечными туманностями (к этому времени он и сам открыл их многие сотни). Несмотря на то что в действительности телескопы Гершеля не проникали до границ Галактики¹ (он понял это позднее, при наблюдениях в крупнейший свой 40-футовый телескоп), общая сплюснутая форма Галактики уже проявилась, т. е. «черпки» дали ему представительный материал. Об этом свидетельствует близость к действительности его оценки сжатия Галактики ($\sim 1/5$).

Даже сравнительно небольшой объем измеренной им части Галактики поражал гигантскими размерами по сравнению с Солнечной системой и даже со всей областью звезд, видимых невооруженным глазом. Единицей служило расстояние Солнце — Сириус при грубом допущении пропорциональности расстояния звездной величине звезды. Даже в этих чисто условных заниженных оценках размеры Галактики оказывались равными 850×200 ед., против 7 ед. для радиуса области звезд, доступных невооруженному глазу. Эта первая в истории астрономии оценка размеров звездной Вселенной имела существенное мировоззренческое значение. Недаром на работу Гершеля 1785 г. сразу и с восторгом откликнулся один из наиболее проникательных мыслителей той эпохи, физик, философ, астроном Г. К. Лихтенберг, немедленно сопоставивший конкретные оценки Гершеля и широчайшую космологическую концепцию Ламберта. Благодаря В. Гершелю представление о Млечном Пути из ранга элементов картины мира перешло в ранг достоверных знаний (рис. 22, а).

В изучении мира туманностей² Гершель первым увидел путь к познанию не только строения, но и развития Вселенной. Он первым попытался оценить размеры и расстояния других туманностей — сначала разложимых для него круглых (шаровых скоплений), а затем и млечных, обычно овальных, считая их также «млечными путями» (поэтому нашу Галактику он предложил называть Млечным Путем с большой буквы). Несмотря на сильное занижение расстояний в первые годы (в дальнейшем его оценки размеров Галактики возросли до десятков тысяч световых лет, а расстояний млечных туманностей — до миллионов световых лет), от-

¹ В отношении наблюдения отдельных звезд, а не других галактик, разумеется. Рабочими инструментами Гершеля были его 20-футовые (фокусное расстояние) ньютоновские рефлекторы с объективами до 0,5 м. Наибольший (40-футовый, с рабочим объективом 1,2 м) рефлектор был изобретенной Гершелем однозеркальной системы с наклонным зеркалом.

² Из открытых им более чем 2,5 тысячи туманностей 80% составляют галактики, тогда как в каталоге Мессье их всего 1/3.

носительные значения этих величин убедительно рисовали картину именно островных вселенных: расстояния сильно превосходили размеры объектов. Более того, Гершель первым обратил внимание на вытекающий отсюда колоссальный *возраст* туманностей и на то, что, наблюдая их, мы как бы путешествуем на миллионы лет

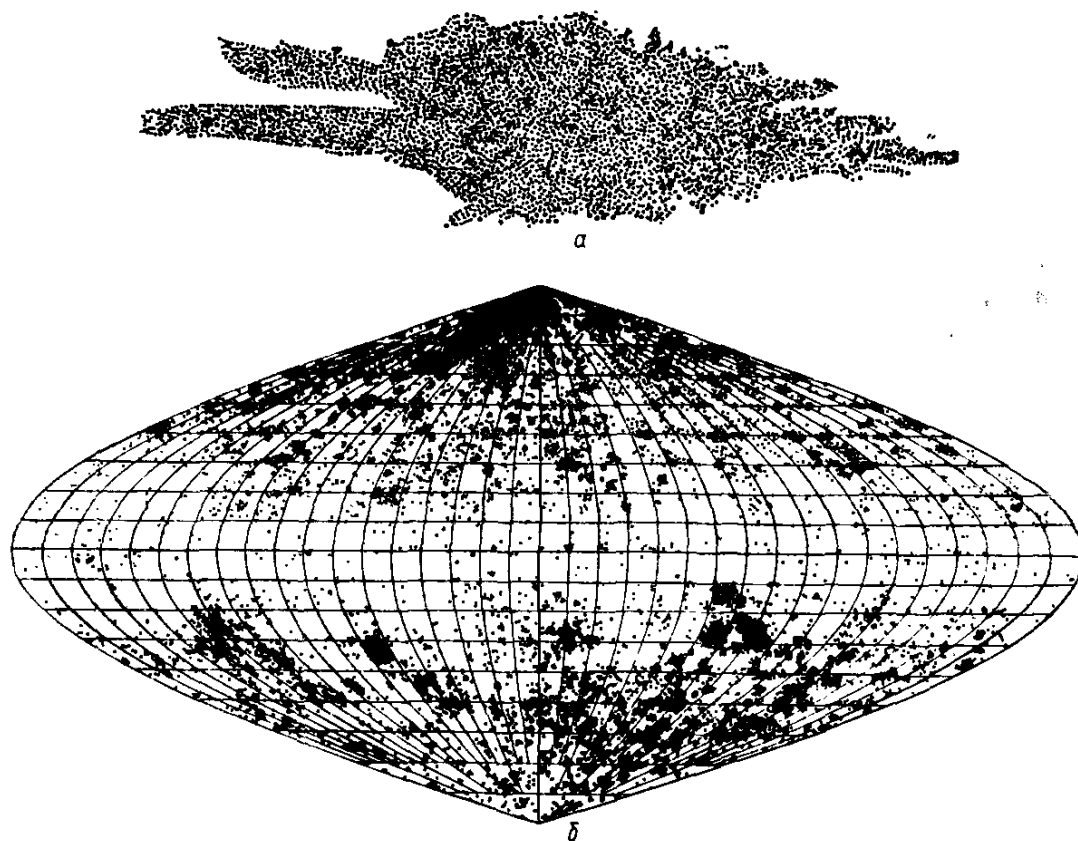


Рис. 22. Открытие В. Гершелем структурности Вселенной: а) сечение Галактики (1785), б) концентрация млечных туманностей к галактическим полюсам и неравномерность их распределения (тенденция к скапливанию—современная схема, подтверждающая выводы Гершеля)

назад во времени. И хотя сам Гершель в духе века считал себя истинно верующим человеком, его научные результаты и выводы были первым прямым опровержением библейских сказок о сотворении всего мира 6 тысяч лет назад. Так, под напором мощных ударов наблюдательной астрономии, экспериментальной физики, показавших конечную скорость света, рушился «идейный оплот» религиозного мировоззрения. Второй раз за всю историю человечества религия, некогда приспособившаяся к учению Аристотеля, теперь вынуждена была вновь пересматривать некоторые свои существенные догматы и приспособляться к новому естествознанию, вместо того, чтобы диктовать ему, как это было не только в древности и в средние века, но еще и в середине XVIII в. (вспомним Бюффона!).

Среди туманностей Гершель открыл также ряд двойных и кратных и даже связанных друг с другом перемычками и истолковал их в эволюционном смысле — как не полностью разделившиеся формирующиеся звездные системы (считая и перемычки состоя-

шими из звезд). Это его открытие было полностью забыто; заново взаимодействующие галактики были открыты Б. А. Воронцовым-Вельяминовым лишь в середине XX в.

В 1784 г. В. Гершель впервые подметил ряд закономерностей крупномасштабной структуры мира туманностей. Он открыл тенденцию туманностей к скапливанию, стремление их располагаться в виде компактных куч (рис. 22, б) и объединяться, кроме того, в еще более крупные протяженные «пласты». Последние включали как отдельные туманности, так и скопления их. Наиболее богатый из открытых им пластов он назвал «пластом Волос Вероники» (см. рис. 23, а), по созвездию, где насчитал более всего туманностей. Этот вытянутый пласт проходил сравнительно неширокой по-

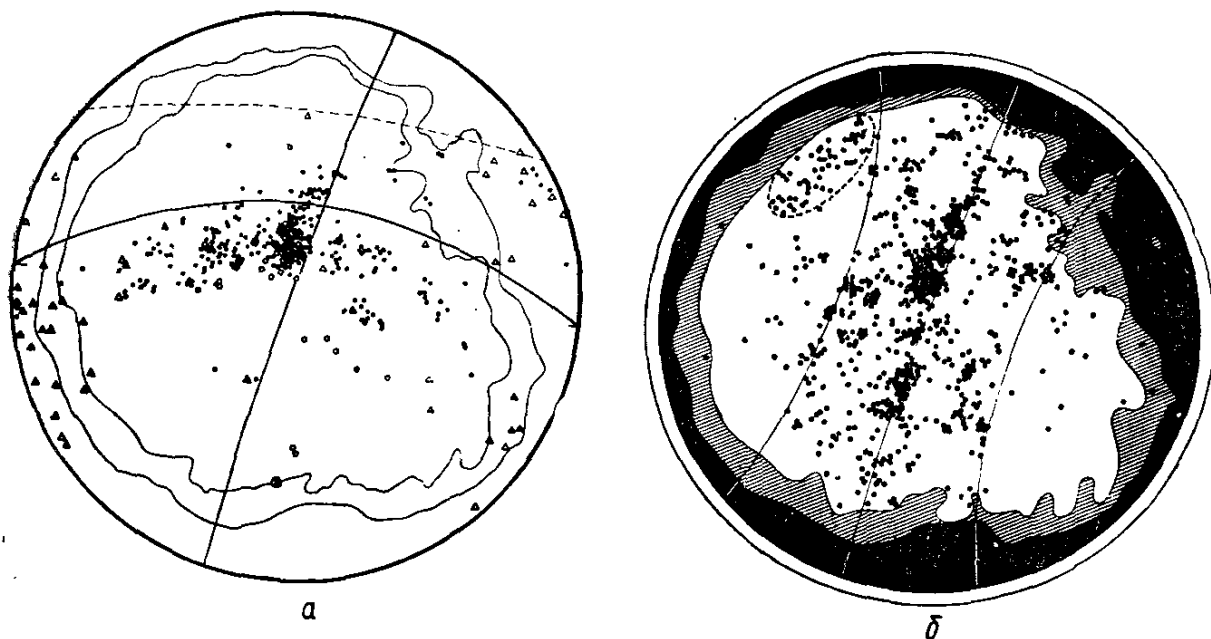


Рис. 23. Этапы открытия Местного сверхскопления галактик: а) выделение на небе «пласта Волос Вероники» как фрагмента кольца «млечных путей» (В. Гершель, 1784), б) экваториальная область «Сверхгалактики Вокулера» (1953)

лосой по созвездиям Девы, Большой Медведицы, Андромеды и ряду других, располагаясь в целом перпендикулярно Млечному Пути. Гершель предположил даже, что он, подобно Млечному Пути, может охватывать кольцом все небо. Пласт Волос Вероники действительно оказался северной частью пояса из ярких галактик, выделенного в 1953 г. Ж. де Вокулером. Последний назвал его «Млечным Путем галактик», или экваториальной зоной Сверхгалактики, в которую в числе десятков тысяч других входит и наша Галактика (вместе с Местной системой галактик).

Такая интерпретация сверхскопления галактик как бы продолжала и подтверждала умозрительную концепцию Канта—Ламберта, по существу распространивших на всю Вселенную закономерности Солнечной системы с ее иерархией планет и спутников и характерной уплощенной формой.

с. Но у самого Гершеля, однако, нет иерархии. Он полагал, что огромные пласты туманностей, состоящие из отдельных туманностей и их скоплений (и даже индивидуальных звезд) и формирующиеся под действием сил тяготения (а потому, быть может, даже имеющие разный возраст!), — что эти пласты по-разному располагаются в пространстве и даже пересекаются друг с другом. Последнее заключение, очевидно, опиралось и на картину непосредственно наблюдавшегося им пересечения пласта Млечного Пути и Пласта Волос Вероники (здесь Гершель, конечно, упускал из виду разницу масштабов объектов).

В наблюдаемой им картине пластообразного распределения туманностей Гершель усматривал аналогию с картиной геологических пластов, в которых раскрывалась история Земли (такие идеи относительно Земли развивали в XVIII в. первые эволюционисты — Бюффон, 1749 и П. С. Паллас, 1777).

Высказывания Гершеля в 80-е гг. XVIII в. о глобальной структуре Вселенной туманностей (которые он тогда все считал далекими звездными системами, подобными Млечному Пути) весьма небезынтересно звучат в наши дни, когда постепенно утверждается представление о ячеисто-филаментарной структуре Метагалактики.

В структуре Метагалактики отдельные галактики и их скопления, как выясняется в последнее десятилетие, объединены в сверхскопления, которые сосредоточены в узких длинных «волоках» (филаментах), соединяющих между собой наиболее богатые сверхскопления, располагающиеся в «узлах» — местах пересечения таких волокон. Третий вид сверхскоплений — сильно уплощенные объединения галактик и их скоплений, сосредоточенные как бы в тонких стенках объемной ячеистой сети (подробнее об этом ниже). Хотя гершелеево открытие крупномасштабной структуры мира туманностей к началу нового этапа изучения этой структуры — уже как мира галактик — было забыто, оно задавало определенное направление исследованиям. Но с середины XIX в. структурность мира туманностей рассматривалась лишь в свете идей иерархии систем, а затем получила иную, космогоническую интерпретацию, что надолго отвлекло астрономов-наблюдателей от космологической проблемы, точнее, от космологической интерпретации этого наблюдательного материала. Это было связано с ошибочным истолкованием природы млечных туманностей как сгустков диффузной материи, находящихся на пути к формированию из этой материи звезд и их скоплений.

Такая ошибочная интерпретация возникла под влиянием космогонических идей самого В. Гершеля.

§ 2. Идеи В. Гершеля об эволюции космической материи и его звездно-космогоническая гипотеза

Наблюдая колоссальное разнообразие вида скоплений звезд и отдельных туманностей, различную степень видимой концентрации

звезд в одних и света в других, Гершель уже в самом начале своих исследований строения неба понял, что перед ним не застывшая, мертвая пустыня Космоса, а огромная «Лаборатория Природы», как он назвал открывшийся ему мир звезд и туманностей.

Размышляя над причиной колоссального разнообразия внешнего вида млечных туманностей, он пришел к идее «сада», допустив, что эти объекты мы видим на разных стадиях их жизни, подобно деревьям (сходную идею при объяснении происхождения кольцевых гор Луны, как мы видели, почти тогда же высказал Эпинус). Такой метод изучения состояния космических объектов путем сравнения их внешней формы и эволюционного истолкования ее различий получил название морфологического и прочно вошел в астрономию.

Вместе с тем к 1791 г. Гершель пришел к заключению, что некоторые туманности, по всей вероятности, не могут быть скоплениями звезд. Одни (названные им «планетарными») имели круглую форму и почти однородную по всей площади яркость, кроме самого центра, где иногда наблюдалась яркая точка (особенно наглядный пример этого представляла туманность в Лире, в дальнейшем NGC1514). При «звездном» их объяснении приходилось допускать, что либо составляющие их звезды чудовищно слабы и мелки, либо же центральный объект — не звезда, а объект, совершенно немыслимый для XVIII в. по своим фантастическим размерам и светимости. Не имея оснований для последнего допущения, Гершель считал центральную точку за обычную звезду, что привело его к убеждению о незвездной, диффузной природе остальной части туманности. Более того, правильная форма туманности подсказала ему новую мысль: именно центральная звезда могла удерживать эту материю и даже стягивать ее на себя. Так родилась у Гершеля идея, что в подобных объектах налицо процесс *продолжающегося и в наше время формирования звезд из диффузного вещества*. В серии статей (1791—1811) он развил на этих основаниях широкую звездно-космогоническую гипотезу.

Под влиянием этой идеи Гершель временно отошел от своих первоначальных более правильных заключений о природе и, следовательно, о масштабах туманностей и принял многие млечные туманности с одним или несколькими яркими ядрами соответственно за одиночные протозвезды или группы протозвезд. При всей ошибочности такой интерпретации для большинства маленьких млечных туманностей³ гипотеза Гершеля сыграла прогрессивную роль в развитии астрономической картины мира. Его главные идеи — о продолжающемся и в наше время постепенном сгущении диффузной материи в отдельные звезды или их группы; эволюционная трактовка форм скоплений (рассеянные — молодые, шаровые — старые), прочно вошли в современную астрономию и космогонию. Одним из первых в XIX в. эту концепцию принял и горя-

³ В последние годы своей жизни Гершель и сам вновь пришел к выводу, что среди них имеются и далекие «млечные пути», т. е. звездные системы.

что пропагандировал французский физик и астроном Д. Ф. Араго в своих знаменитых публичных астрономических лекциях, которые он много лет читал в Парижской обсерватории.

В середине XX в. идея продолжающегося звездообразования возродилась в трудах академика В. А. Амбарцумяна, хотя и с противоположным представлением о направлении космогонического процесса — как дезинтеграции некой сверхплотной материи в звезды.

Впрочем, в широкой концепции Гершеля о развитии космической материи сочетались оба этих процесса. Высказав глубоко верную идею, что развитие звездного скопления должно идти от неправильного к шаровому за счет неупорядоченных взаимных возмущений движений отдельных звезд в нем (здесь можно видеть зародыш звездной динамики), Гершель пришел, по существу, к идее коллапса. В статье 1785 г. он предположил, что в процессе эволюции под действием сил гравитации шаровое скопление постепенно уплотняется; в конце концов звездам приходится двигаться сквозь атмосферы друг друга. В результате их движение тормозится и они все *падают* к центру скопления, что должно вызвать катастрофический *взрыв* и *рассеяние* материи скопления во Вселенной. (Такая идея перекликается с современными представлениями о так называемой «термогравитационной катастрофе» как финале эволюции ядер звездных систем, о природе активности ядер некоторых галактик, объясняемой обычно как явления, сопутствующие гравитационному коллапсу, о процессах в сверхновых и т. д.) Гершель высказал и интересное соображение о малой вероятности существования устойчивых планетных орбит в плотных звездных скоплениях (из-за сильных возмущений) и о целесообразности искать населенную планетную систему лишь вокруг одиночных звезд. Идея эта возродилась во второй половине XX в.

§ 3. Новые идеи и открытия в мире звезд и туманностей

Выдающимися продолжателями дела В. Гершеля стали, помимо его сына Джона Гершеля (1792—1871), основатель Пулковской обсерватории В. Я. Струве (1793—1864) и ирландский астроном, конструктор еще более крупного, чем у В. Гершеля, рефлектора В. Парсонс (1800—1867), неточно называемый в литературе «лорд Росс» (в действительности граф Росс, лорд Оксмантаун).

Василий Яковлевич Струве в первый период своей деятельности в Дерпте (Тарту) к 1837 г. открыл свыше 2 тысяч и исследовал около 3 тысяч двойных звезд. Более 5 тысяч двойных составили звездные каталоги Дж. Гершеля (опубликованы в 1837 и 1847 гг.). Оба ученых являются основоположниками этой области астрономии.

Главной заслугой Струве в изучении одиночных звезд стало первое в истории астрономии успешное измерение параллакса звезд

ды. Отсутствие наблюдаемых параллактических смещений у звезд служило сильнейшим наблюдательным аргументом против гелиоцентризма (т. е. движения Земли) в течение почти двух тысяч лет, еще со времен Аристотеля. В новое время над этой задачей не одно столетие, начиная с Коперника, тщетно трудились астрономы и физики (Гук, Пикар, Флемстид, Рёмер, В. Гершель, Бессель). Параллактические смещения оставались «нулевыми». Верхняя граница их была оценена косвенно Бадлеем ($0,5''$). Струве впервые попытался решить эту проблему в 1818—1821 гг. В 1822 г. он опубликовал параллаксы двух звезд, его параллакс Альтаира (α Орла) был довольно близок к истинному. Но сам Струве еще не был уверен в полученных данных.

В 1835 г. Струве вернулся к проблеме параллаксов, возлагая надежды на прекрасные оптические и механические качества только что установленного в Дерпте нового 9-дюймового рефрактора Фраунгофера. И он не ошибся. В феврале 1837 г. Струве опубликовал измеренный им уже уверенно параллакс Веги (α Лиры), найденный по 17 наблюдениям и оказавшийся весьма малой величиной ($0,125'' \pm 0,055''$, в действительности $0,121'' \pm 0,004''$). В октябре 1838 г. второй в истории астрономии полученный на основе надежных измерений параллакс звезды (61 Лебеда) опубликовал выдающийся немецкий астроном Ф. В. Бессель, работавший в Кенигсберге и, по его словам, вдохновленный успехом Струве. Его результат ($0,314'' \pm 0,11''$) был получен более чем по 400 измерениям и оказался очень точным. Это затмило пионерский характер результата Струве, и Лондонское королевское общество в 1842 г. присудило Бесселю золотую медаль за долгожданную победу над неуловимыми звездными параллаксами.

Позднее стало известно, что, видимо, раньше всех точный параллакс звезды был получен в Южной Африке английским астрономом Т. Гендерсоном для α Центавра. Но он обработал и опубликовал свои результаты значительно позднее и таким образом утратил пальму первенства⁴.

Измерение первых звездных параллаксов (т. е. надежное измерение расстояний звезд) явилось огромной победой и положило начало новой эпохе в астрономии. Впервые раскрывались достоверные масштабы звездной Вселенной. Начиналась эпоха накопления точных сведений о движениях, размерах, светимостях звезд, а тем самым закладывался фундамент для дальнейшего совершенствования астрономической картины мира, ее космологического и совершенно нового — астрофизического аспектов. О трудности решенной задачи говорит то, что до конца XIX в. было измерено менее полусотни звездных параллаксов. Только после внедрения

⁴ Выбор объектов для измерения параллактических смещений звезды был сделан тремя первопроходцами по разным критериям: Струве выбрал Вегу, в основном по яркости, Бессель основывался на большом собственном движении звезды 61 Лебеда, а Гендерсон руководствовался сразу обоими критериями. Комплексный критерий оказался наиболее эффективным: α Центавра входит в ближайшую к Солнцу кратную систему трех звезд.

в астрономию фотографии число их стало быстро расти и уже в первые десятилетия XX в. достигло двух тысяч.

Древнейшее возражение против гелиоцентризма было, наконец, снято (правда, к тому времени движение Земли получило прямое подтверждение с открытием аберрации Брадлеем еще в 1728 г.). Результат Струве — Бесселя — Гендерсона был неocenим для решения совершенно новых задач астрономии далеко за пределами Солнечной системы.

Вслед за В. Гершелем В. Я. Струве значительно продвинулся в исследовании Галактики. Струве отлично понимал грандиозность проблемы и колоссальность той кропотливой наблюдательной работы, которая необходима для возможных обобщений в будущем. Став директором Пулковской обсерватории и возглавив обширную работу по составлению знаменитых своей точностью Пулковских каталогов звезд (благодаря чему Пулково называли астрономической столицей мира), Струве продолжал заниматься проблемой строения Галактики, используя эти новые материалы. В 1841 г. он начал планомерную обработку астрономических данных с целью изучения истинного распределения звезд в пространстве. Он дальше и строже развил и обосновал статистические методы В. Гершеля для изучения звездной Вселенной и, намного опередив свою эпоху, заложил фундамент звездно-статистического анализа.

В результате многолетних звездно-статистических подсчетов и графического изучения распределения звезд Струве окончательно установил факт реального сгущения звезд в нашей звездной системе с приближением к *плоскости* Млечного Пути, а в пределах этой плоскости—в направлении, которое, как выяснилось позднее, указывает направление на *центр Галактики*. Свои выводы о строении Галактики Струве изложил в «Этюдах звездной астрономии» (1847). Одним из важнейших и неожиданных результатов этих исследований стало установление им неполной прозрачности межзвездного пространства. Правда, еще в 1744 г. швейцарский астроном Ж. Шезо, а в 1826 г. Г. Ольберс предположили существование поглощения света в мировом пространстве для объяснения «фотометрического парадокса» (см. ниже). Но до Струве никто не пытался специальными исследованиями обосновать этот исключительно важный вывод. Пересматривая «звездные черпки» В. Гершеля с целью уточнить пространственное распределение звезд, Струве впервые обратил внимание на то, что реальная проникающая сила телескопа Гершеля (измерявшаяся числом видимых в него в том или ином направлении звезд) оказывается меньше той, какая должна была бы получаться, если бы свет звезд ослаблялся только за счет их удаленности. Струве не только сделал из этого факта правильный и четкий вывод о существовании поглощения света в мировом пространстве, но впервые оценил величину поглощения. Его оценка — ослабление света на $0,6^m$ на 1 кпк — близка к оценке Р. Трюмплера (1930), с именем которого связывают окончательное установление эффекта. Лишь в последние десятилетия оценка поглощения света в Галактике была уточ-

нена и оказалась примерно раза в три больше. В свое время выдающееся открытие В. Я. Струве не было оценено и затем оказалось забытым почти на столетие. Игнорирование этого эффекта долгое время затрудняло понимание истинной природы млечных туманностей и способствовало укреплению искаженных представлений о строении Вселенной.

В 1845 г. вступил в строй гигант-рефлектор Парсонса ($D=183$ см, $F=17$ м). Уже первые наблюдения на нем пошатнули стройную гершелеву картину космического «сада» — представление о млечных туманностях как о *ступенях формирования* звезд. У многих из них Парсонс обнаружил явную комковатую структуру и подобно тому, как ранее, в начале своих наблюдений В. Гершель, сделал вывод о звездном составе этих объектов⁵. Вновь получила подкрепление старая концепция островных вселенных.

Дж. Гершель, удвоивший число известных млечных туманностей и скоплений (наблюдая их и в северном и в южном полушариях), продолжил исследование их распределения по небу. Хотя он и относился скептически к «фантастическим» заключениям своего отца (к образу большого кольца из туманностей, своего рода Млечного Пути из млечных путей), сам он делал не менее смелые выводы о том, что в сгущениях и цепях из туманностей проявляется не только островной характер, но и иерархическая структура всей звездной Вселенной, в которой наша Галактика, быть может, составляет элемент гораздо более сложной системы.

Однако наиболее впечатляющим событием в мире туманностей стало в XIX в. открытие совершенно неожиданной черты в их строении: спиральной структуры. Она была открыта Парсонсом сразу же, при испытании нового рефлектора (6-футового, эта характеристика впервые стала применяться к диаметру зеркала, а не к длине трубы) весной 1845 г. сначала у M51 (которую долгое время потом называли «Водоворотом Росса»), следующей весной у M99, а к 1850 г. еще у 12 других и у многих была заподозрена (рис. 24). Показавшееся сначала фантастическим, открытие Парсонса было подтверждено другими астрономами, главным образом американцем Д. Э. Килером (1857—1900). На полученных им фотографиях туманностей подтвердились многие структурные детали, зарисованные впервые Парсонсом.

Уже сам Парсонс обратил внимание на то, что системы со спиральной структурой вряд ли могут находиться в статическом равновесии, их внутренние части обязательно должны вращаться. Он даже пытался обнаружить вращение по изменению положения их деталей. Перед глазами астрономов как бы материализовались угаданные древними натурфилософами и возрожденные в свое время Декартом и Сведенборгом космические вихри. С этим открытием в астрономическую картину мира входило, по-

⁵ Но и Парсонс переоценил возможности инструмента: в звездные системы зачислил и планетарные туманности, и туманность Ориона, и Крабовидную, считая последние (поскольку у них оставались совершенно неразложимые участки) чудовищно громадными системами звезд.

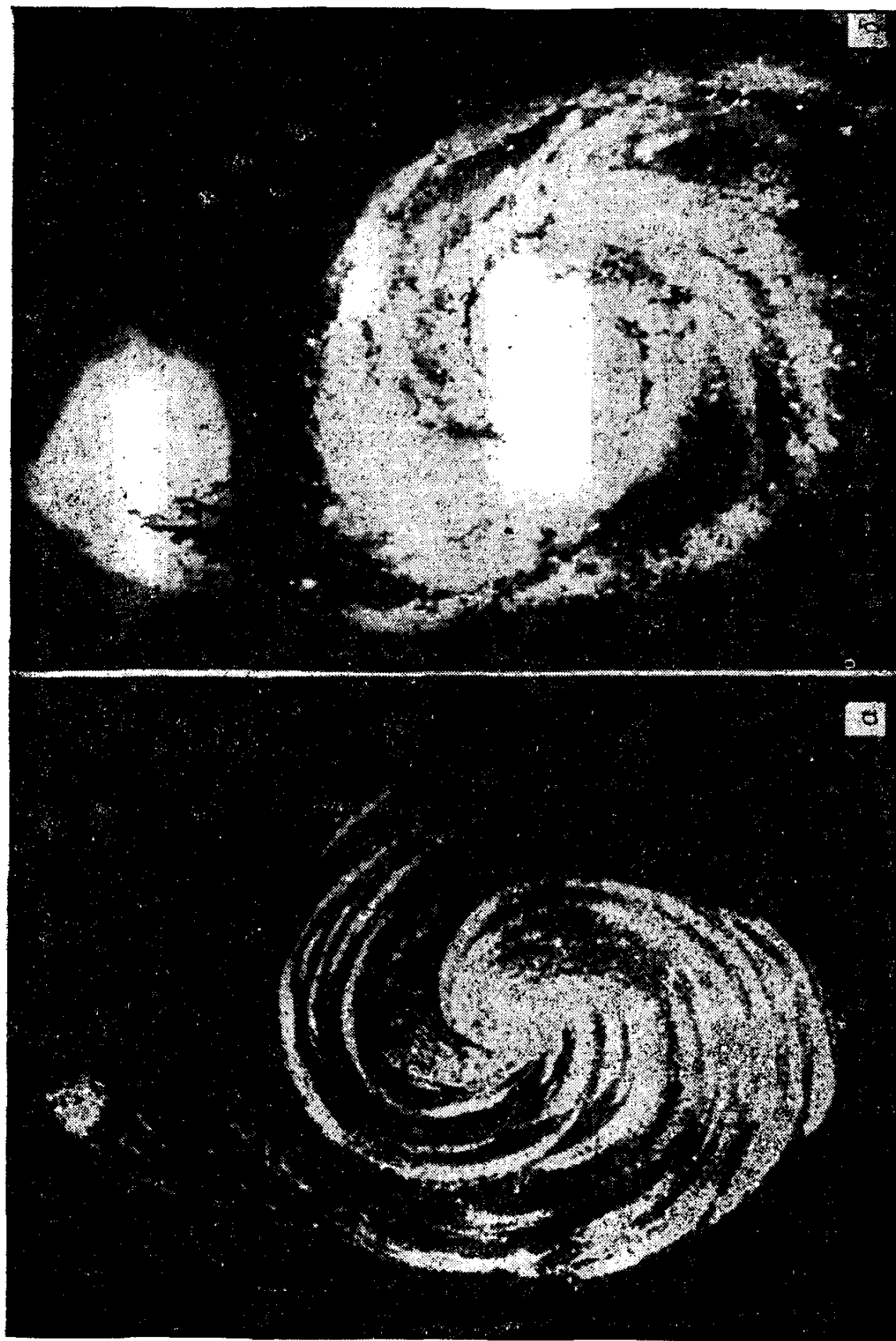


Рис. 24. Открытие спиральной структуры туманностей: а) «Водоворот Росса» (рисунок туманности М51 в созвездии Гончих Псов, сделанный Россом в 1845 г.), б) современная фотография той же туманности (двойная галактика NGC5194 — 95)

мимо идеи эволюции, представление о бурных процессах, резко нестационарных, неравновесных состояниях крупномасштабных космических объектов. Открытие спиральной структуры млечных туманностей стало особенно впечатляющим после того, как Килер в конце XIX в. осуществил часть задуманного им фотографического обзора гершелевых туманностей (т. е. ярче 14^m). Он не только открыл огромное количество новых туманностей (оценив их число, доступное его среднему рефлектору, в 120 тыс.), но и сделал вывод о преобладании среди них спиральных (эффект большей в среднем светимости таких туманностей). Это породило в дальнейшем поток гипотез об их природе, действующих там силах, о происхождении из спиралей планетных систем, звезд, звездных систем... А в наши дни именно спиральные галактики стали «космическим полигоном», на котором возникали и отработывались гипотезы о проявлении в Космосе электромагнитных сил, магнитогидродинамических эффектов, ударных волн, чем так наполнена современная многоаспектная астрофизика.

§ 4. Проблема структурности мира туманностей во второй половине XIX — начале XX в. От Р. Проктора до К. Шарлье

1. Проблема распределения туманностей после В. Гершеля прочно вошла в поле зрения астрономов в значительной степени благодаря Дж. Гершелю, который продолжил исследования отца. Он впервые рассмотрел эту проблему в свете *иерархической* концепции Вселенной. Дж. Гершель отметил скопления туманностей в Коме, Деве, Жирафе и то, что они соединены «линией повышенной плотности туманностей», но «неправильной и волнистой», «без видимого перехода в окружность с определенным центром». Всю эту сложную совокупность скоплений он считал системой высшего порядка, включающей в качестве окраинного члена и Млечный Путь, а область, наиболее богатую туманностями (в Деве), — «главным телом этой системы»!

Вместе с тем открытый старшим Гершелем «пласт Волос Вероники» как перпендикулярный Млечному Пути был утерян в картине Дж. Гершеля, а догадку о том, что этот пласт может окружать кольцом небесную сферу, наподобие Млечного Пути, Дж. Гершель и вовсе посчитал чистой фантазией отца, который, по его мнению, был склонен к подобного рода умозрительным построениям.

Заключительное описание общего распределения туманностей в виде «полога», занимающего область северного галактического полюса и спускающегося оттуда во все стороны (хотя с преобладанием к северному полюсу небесной сферы), а также полученные Дж. Гершелем первые количественные результаты: треть туманностей всего неба оказалась сосредоточенной на $1/8$ его площади, в районе северного галактического полюса — все это было опубликовано затем и в получившей широкую известность книге

Дж. Гершеля «Горизонты астрономии» (1850). Эти данные надолго приковали внимание астрономов к характерному распределению туманностей относительно *плоскости* Галактики. Оно рождало иллюзию физической связи туманностей с системой Млечного Пути. Последнее, наряду с увлечением поздними звездно-космогоническими идеями В. Гершеля, способствовало отходу от идеи островной Вселенной.

2. Детальные исследования Р. Проктора (1869) оказали особенно сильное влияние. Он нарисовал «струйчатую» картину распределения туманностей и первый после Дж. Гершеля вспомнил об открытии В. Гершелем перпендикулярного Млечному Пути пласта туманностей. Хотя сам Проктор и не был противником концепции островных вселенных в принципе, признавая, например, внешней системой туманность Андромеды, он, в немалой степени под влиянием идей В. Гершеля, истолковал этот пласт, как и другие выявленные им «потoki» туманностей, в качестве черт *внутренней* структуры Галактики и даже усматривал в этой картине следы продолжающегося в Галактике, согласно В. Гершелю, процесса звездообразования. (Кстати, именно Проктору принадлежит введение термина «зона избегания» для чрезвычайно бедной туманностями области близ галактического экватора.)

В том же «космогоническом ключе» описал гершелев перпендикулярный Млечному Пути пояс туманностей В. Майер в конце XIX в. в своей широкоизвестной книге «Мироздание» (но уже без упоминания имени В. Гершеля).

Повторное открытие в начале XX в. гершелева «пласта» туманностей, расположенного вдоль галактического меридиана, было воспринято сначала как открытие элемента внутренней, спиральной структуры Галактики и наличия в ней поглощающей материи клочковатой структуры (К. Истон, 1904; Р. Сэнфорд, 1917; последний, будучи сторонником концепции островной Вселенной, допускал существование и межгалактической клочковатой поглощающей материи). В начале 20-х годов гершелев «пласт» туманностей был независимо открыт и детально описан Дж. Рейнольдсом, но он не дал какой-либо интерпретации, а в дальнейшем и вовсе отошел от образа «пласта» и отмечал лишь асимметричность распределения туманностей, пытаясь согласовать его с первыми идеями де Ситтера в области релятивистской космологии.

3. Возрождение идеи иерархической островной Вселенной. В 1908 и 1922 гг. шведский астроном К. В. Шарлье (1862—1934), опираясь на гипотезу Ламберта, развил свою теорию иерархической Вселенной с целью объяснить фотометрический и гравитационный парадоксы (см. ниже). Шарлье возродил и детально разработал идею бесконечной иерархии систем во Вселенной. Он показал, что в такой Вселенной, если расстояния между системами последующих порядков достаточно велики по сравнению с их размерами, оба парадокса не возникают. Вплоть до эпохи расцвета релятивистской космологии схема Шарлье казалась лучшим способом устранения космологических парадоксов.

Возрожденная Шарлье иерархическая концепция Вселенной получила широкий отклик. Ее развивали В. Г. Фесенков (1937), В. А. Амбарцумян (1939) в связи с проблемой фотометрического парадокса. Но, пожалуй, наиболее важным было то, что теория Шарлье привлекла вновь внимание астрономов к проблеме крупномасштабной структуры Вселенной. Шарлье сам пытался исследовать распределение галактик. Он даже, как ему казалось, обнаружил признаки существования системы более высокого порядка, чем Галактика, и дал ей имя «Метагалактика». Результаты Шарлье оказались ошибочными (из-за неучета поглощения света). Но термин «Метагалактика» остался в астрономии, хотя и в ином смысле (вся наблюдаемая Вселенная).

Глава V

РОЖДЕНИЕ НАУЧНОЙ МЕТЕОРИТИКИ. ПОДСИСТЕМА МАЛЫХ ТЕЛ

Общедоступные мнения и то, что каждый считает делом давно решенным, чаще всего заслуживают исследования.

Г. Лихтенберг

§ 1. Космическая концепция аэролитов Хладни и ее следствия

На рубеже XVIII—XIX вв. на стыке астрономии, геологии, минералогии и химии возникла новая ветвь науки о Космосе — метеоритика. Это было связано с изменением существенных элементов традиционной астрономической картины мира.

До конца XVIII в. всевозможные кратковременные световые эффекты и явления, наблюдаемые на небе: «огненные шары» — болиды, падающие звезды — метеоры, вместе с обычной и шаровой молнией, блуждающими огоньками и «огнями Святого Эльма», полярными сияниями и т. п., объединяли, следуя еще аристотелевой традиции, в один класс «огненных метеоров», т. е. считали их атмосферными явлениями. В их объяснении к древней идее возгорания земных испарений добавилась лишь новая физическая идея — атмосферно-электрической природы свечения. Особенно впечатляющими и загадочными оставались более редкие феномены «огненных шаров», которые, внезапно появившись, проносились по небу, оставляя дымный хвост, разбрасывая искры и нередко с оглушительным грохотом взрывались в конце своего пути.

Отдельные астрономы еще в XVII в. высказывали догадки о космической природе болидов («огненных шаров»), считая их небольшими, близко проходящими кометами (Я. Гевелий, Дж. Валлис; впрочем, Гевелий и сами кометы считал оторвавшимися от Земли сгустками горючих испарений). Оригинальную гипотезу о болидах как сгустках истинно космического вещества, встречающихся на пути Земли, высказал в 1714 г. Э. Галлей. Но уже в 1719 г. отказался от нее в пользу идеи все тех же «горючих земных испарений», решив, вслед за Гуком, что в космическом пространстве неоткуда было взяться такому веществу. В свое время Гук, первым высказавший идею, по существу, метеоритной природы лунных цирков-кратеров, отказался от нее в пользу другой своей идеи — лунного вулканизма — также из-за «очевидной» пустоты космического пространства: не найдя ответа на вопрос, какие тела могли бы ударять в Луну.

Помимо давления общей ньютонианской картины практически пустого межпланетного и межзвездного пространства, трудность объяснения природы болидов состояла и в комплексной природе самого явления. В известном смысле оно — атмосферное, так как возникает лишь при движении сквозь земную атмосферу быстро летящего тела и нагревания его при трении о воздух. Правда, и комета может вызвать явление грандиозного болида, но опять-таки при влете ее в земную атмосферу (чем и объясняют, например, знаменитое Тунгусское явление). Но впервые измеренные во второй половине XVIII в. огромные (до многих десятков км/с!) скорости болидов и высоты их потухания (до сотни км), слишком большие для горючих земных сгустков-испарений, но слишком малые для прохождения мимо Земли комет, делали явление болидов еще более загадочным.

Вплоть до последней четверти XVIII в. еще большей загадкой оставались и случавшиеся иногда выпадения «из воздуха», «с неба», твердых и обычно горячих каменных или железных масс, причем порой это происходило вслед за погасанием болида. Определить истинную природу подобных «воздушных камней», или «аэролитов», было еще труднее. Самая древняя идея их космического объяснения — как обломков «обветшалого неба» или как падения потухших звезд (Анаксагор, V в. до н. э.) затем на тысячелетия сменилась другим, гораздо более «естественным» объяснением их как «громовых камней», падающих вместе с ударом грома и блеском молнии. Но еще Аристотель, взглянув на проблему как физик, дал явлению «небесных камней» для своего времени, быть может, наиболее естественное объяснение чисто земными причинами: далеким ураганом, переносящим камни и другие предметы порой на большие расстояния, или вулканическими выбросами, при которых камни поднимаются действительно на огромную высоту. В новое время эти объяснения дополнились идеей сгущения частиц, рассеянных в земной атмосфере (по аналогии с градом). И на фоне этих «разумных» объяснений более

ранние идеи космического происхождения аэролитов представлялись чистой фантазией.

Вместе с тем с древнейших времен эти удивительные феномены, резко отличавшиеся от закономерных циклических явлений в Космосе, воспринимались как чудеса, и чудо «ощутимое» — в виде «небесного камня» — было особенно впечатляюще. Суеверие народных масс, а затем и церковь не преминули истолковать космическую идею аэролитов (как, впрочем, и кометы) в религиозном и мистическом смысле — как небесные знамения. Новое естествознание ввело в естественнонаучную картину Вселенной прежде всего кометы — в качестве космических объектов и даже членов Солнечной системы. Было «найдено» естественное объяснение и другим огненным метеорам — как эффектам химических и электрических процессов в земной атмосфере, до поры до времени представляющееся убедительным (например, электрическое объяснение болидов). Аэролиты же полностью выпадали из этого круга естественно объяснимых феноменов.

С утверждением классической гравитационной ньютонианской картины мира, согласно которой все движения и местоположения тел в Космосе (вернее, расположение их орбит) строго упорядочены законом всемирного тяготения, укрепилось и представление, что между известными небесными телами нет ничего, кроме пустого мирового пространства, заполненного лишь невесомым эфиром — носителем света. Поэтому естествоиспытателям в XVIII в. само допущение падения твердых и порой огромных каменных или железных глыб с неба на Землю представлялось противным логике и разуму.

Широко известен факт официального отрицания реальности метеоритов Парижской академией наук в конце XVIII в. Но мало кто знает истинную историю и существо дела.

Французские ученые весьма серьезно отнеслись к трем сероватым камням, присланным уважаемым лицом, аббатом Башелайем вместе со сведениями о якобы падении их с неба в 1768 г. (сам Башелай падения не видел). Информация об этом «падении» была даже помещена в «Трудах» Парижской академии наук, в томе за 1769 г. Вещество камней было тщательно исследовано специальной комиссией, в состав которой вошли Фуркруа и Лавуазье. Ученые выявили все четыре характерные (как выяснилось много позднее) для каменных метеоритов составляющие их: кремнезем (кварц, или двуокись кремния), железо в металлическом и окисленном состоянии, магнию (окись магния) и сернистое железо (которое приняли за известный на Земле пирит FeS_2 ; то, что это характерный для метеоритного вещества троилит FeS , установил лишь в 1834 г. Берцелиус). Они совершенно справедливо отметили в веществе и следы алюминия (как элемент метеоритов — глинозем Al_2O_3 был открыт много позднее). Но химические признаки не давали основания «отсылать» камни на небо. Оплавленность поверхности камней также не была чудом: такое воздействие молнии было известно. В этих обстоятельствах фран-

цузские академики, не имея серьезных оснований признать вещество «небесным» и отвергнув «фольклорную» идею «громовых камней» (рождающихся якобы от удара грома в воздухе!), в своем — тогда единственно обоснованном заключении — о земной природе камней как пиритной породы, — сделали оговорку. Они отметили, что в этом феномене, быть может, проявились еще мало изученные эффекты воздействия на земные породы атмосферного электричества и призвали физиков к дальнейшему изучению подобных явлений! Это заключение было опубликовано в 1772 г.

Чтобы раскрыть истинную природу аэролитов, потребовалось еще почти четверть века развития атмосферной физики и накопления новых фактов, которые помогли обратить внимание на связь аэролитов с другими явлениями и таким образом объяснить весь комплекс их. Решение этой тысячелетней загадки связано в истории науки с именем выдающегося немецкого физика Э. Хладни (1756—1827).

Посетив в 1792 г. знаменитого геттингенского физика и философа Г. К. Лихтенберга, Хладни обратил его внимание на несовместимость главных особенностей болидов при атмосферно-электрическом объяснении их (к чему склонялся тогда и Лихтенберг). Компактная форма, явное горение чего-то плотного с испусканием света и дыма, картина бурного дробления, разрушения болида с громоподобными звуковыми эффектами (обычно при ясном небе) — противоречили огромной высоте их возгорания и потухания. Под влиянием этих соображений Лихтенберг неожиданно высказал идею о вероятной космической природе болидов и посоветовал ее проверить по старинным хроникам и научной литературе (припомнив, как Сенека, в I в. высказал мысль о внеземной природе комет, считавшихся тогда атмосферным явлением).

Охваченный энтузиазмом, Хладни изучил многочисленные свидетельства о загадочных «огненных шарах». Он обратил внимание, что в этих сообщениях нередко говорилось и о падении горячих камней после угасания болида. Разделенные веками, записи поражали сходством описанных явлений. Идея реальности и единства причины обоих явлений — болида и аэролита — четко выступила перед Хладни, не только физиком, но и юристом, — как достоверный результат анализа большого исторического материала.

В решении проблемы происхождения аэролитов большую роль сыграли космогонические идеи В. Гершеля — идеи «остаточного» строительного материала в космическом пространстве между крупными телами или пополнения космического пространства таким материалом в результате космических взрывов переуплотненных старых звездных скоплений. Концепция Гершеля подсказывала определенный космический источник аэролитов: небольшие плотные массы, которые время от времени встречаются на пути Земли, врезаются в ее атмосферу с огромными скоростями и вызывают явление болида. Иногда их несгоревшие оплавленные

остатки достигают поверхности Земли в виде метеоритов («метеорных камней», как называл их Хладни).

Однако аэролиты, даже когда падение их откуда-то сверху было достоверным фактом, оказывались слишком похожими на обычные земные камни, обожженные молнией, чтобы сделать выбор в пользу их космической природы. Недостающие аргументы Хладни получил, когда неожиданно столкнулся в литературе с новой вещественной «уликой», которая и стала для него наиболее впечатляющим доводом в пользу космического происхождения аэролитов и болидов.

Этой уликой стала загадочная 700-килограммовая глыба железа из Сибири, найденная в 1749 г., а затем повторно обнаруженная в 1771 г. экспедицией петербургского академика П. С. Палласа. В течение двух десятков лет сибирская находка оставалась загадкой ввиду своей необычной структуры, состава и огромного веса. Глыба представляла собой железную губку, наполненную прозрачными каплевидными зернами какого-то тугоплавкого минерала. Никакими известными процессами в минералогии, химии, металлургии не удавалось объяснить ее несовместимые друг с другом свойства. Чистейшее ковкое состояние металлического железа не допускало мысли о высокотемпературной переплавке (после которой оно становилось хрупким). Стеклообразное же состояние минеральных включений, напротив, свидетельствовало, что масса как бы вышла из огненного горна. В то же время все обстоятельства находки (глыба была найдена в дикой тайге, почти на вершине сопки, вдали от человеческого жилья), равно как и тугоплавкость включений, исключали ее искусственное происхождение. Сам Паллас высказал идею происхождения ее в огненном «горне Природы», но не в вулкане, которых не обнаружили в Сибири. Стеклообразность минеральных включений и пористая структура сибирской глыбы наводили современников Палласа на мысли о кипении этой массы, прежде чем она застыла. С другой стороны, ограниченность некоторых минеральных зерен в ней (равно как и сама неплавкость их для земных лабораторий) подсказывала и противоположное мнение — о кристаллизации их холодным образом из некоторого раствора...

К 90-м г. XVIII в. закрепилось представление об «огненном» происхождении сибирской находки в результате расплавления руды молнией. Эта идея не вызвала особенного отклика, пока она существовала изолированно, среди других столь же мало обоснованных умозаключений о природе данной единичной находки. Но она предстала в совершенно ином свете после того, как венский минералог, хранитель Венского минералогического музея А. Штютц попытался объединить два факта — официально зафиксированный случай падения на землю (после наблюдавшегося болида) двух оплавленных железных масс в местечке Грашина (Хорватия) и случай сибирской находки, которые показались ему сходными по некоторым признакам внешнего строения масс. Но при этом Штютц стремился как раз опровергнуть фантасти-

ческую, по его мнению, версию падения с неба железных кусков в Грашине, усмотрев в них аналогию с сибирским железом (широкоизвестным в Европе). Он утверждал, что и железо из Грашины имело то же происхождение (от удара молнии в руду). Именно эта статья Штютца неожиданно подсказала Хладни совсем другое и правильное решение относительно природы обоих объектов. Хладни уже был убежден в космической природе болидов. Поэтому, столкнувшись в работе Штютца с обоснованным объединением болида и появления оплавленных блоков железа в Грашине, с одной стороны, и сибирской находки, с другой, Хладни «лишь» перевернул с головы на ноги идею Штютца: он объявил, напротив, саму сибирскую массу упавшим с неба аэролитом, *куском космической материи*.

Концепция Хладни о космической природе болидов и аэролитов, а также странных находок «самородного» железа, подобных сибирскому (получившему вскоре название «Палласово железо»), была опубликована им в сочинении «О происхождении найденной Палласом и других подобных ей масс и о некоторых связанных с ними явлениях природы» (1794). Встреченная вначале скептически многими учеными (в том числе и Лихтенбергом), а другими даже враждебно, теория Хладни сразу вызвала бурные дискуссии и привлекла к феномену внимание крупных физиков, химиков, астрономов (в том числе Лапласа, Ольберса и др.).

Опубликованные незадолго до того, в 80-х гг. XVIII в., идеи продолжающегося лунного вулканизма (Эпинус, Лихтенберг) и некоторые наблюдения Гершеля, которые, казалось, подтверждали это, вызвали к жизни сначала теорию лунного источника метеоритов (Ольберс, 1795; Лаплас, 1802). Первоначальная идея Хладни — об источнике метеоритов как остаточном материале от космогонических и катастрофических процессов — ждала своего обоснования. Она восторжествовала лишь в середине XX в., в наши дни конкретизировавшись в теории астероидного (и отчасти кометного) источника метеоритов. Связываемый в основном с кометами редкий тип метеоритов — углистые хондриты, как считают, содержит вещество, сохранившееся в непереработанном виде со времен образования самой протосолнечной туманности из диффузной материи Галактики.

§ 2. Открытие малых планет и регулярных метеорных потоков в Солнечной системе. Пиаци, Ольберс; Олмстэд, Араго

Новым стимулом для развития концепции космической природы «метеорных камней» и «метеорного железа» стало открытие в 1801—1807 гг. первых астероидов (термин В. Гершеля) между орбитами Марса и Юпитера. Первый из них открыл совершенно случайно 1 января 1801 г. итальянский астроном Дж. Пиаци (1746—1826) в Палермо (Сицилия). Новая планета была названа

им Церерой (богиня-покровительница Сицилии), но тут же утеряна и вновь найдена на небе лишь благодаря придуманному молодым К. Гауссом (1777—1855) методу определения орбиты по трем наблюдениям. Планету отыскал в 1802 г. немецкий астроном Г. Ольберс (1758—1840), открывший затем еще две таких планетки в 1802 и 1807 гг. (причем с орбитами, пересекавшимися в одной области, что натолкнуло Ольберса на идею происхождения этих тел в результате разрыва одной большой планеты).

В эти же годы были открыты особые структурные особенности метеоритов (хондры), заметная примесь никеля и крупнокристаллическая структура метеорного железа. Это убедило ученых в реальности феномена. Но источник его оставался еще далеко не ясным (на уровне гипотезы удерживалось лунно-вулканическое объяснение). Надежды на прямое исследование метеорного вещества не оправдались: вопрос о природе падающих масс оставался нерешенным, поскольку в них не оказалось внеземных химических элементов (впрочем, известная история открытия гелия показывает, что и в этом случае проблема вряд ли могла бы считаться решенной).

В 1794 г. Хладни указал более надежный путь к установлению космического, внеземного источника метеорных масс: изучение количественных закономерностей тех световых эффектов, которые сопровождают падающие массы — болиды. Именно оценки скоростей болидов указали в свое время первым серьезным исследователям их в XVIII в. (Галлею, Принглю, Риттенхаузу) на *внеземную* природу объектов, движущихся в виде «огненных метеоров». О твердости, плотности, массивности, даже отчасти о характере вещества этих объектов косвенно свидетельствовали именно некоторые наблюдаемые эффекты летящих огненных шаров — разбрызгивание ими искр (подобно тому, как это бывает при плавлении железа), цвет плавящегося железа, раскалывание огненных шаров на части, дымный хвост.

И все же для XIX в., когда началось серьезное научное изучение феномена, таких в основном глазомерных оценок параметров болидов уже было недостаточно. Значительные расхождения в оценках скоростей, высот, размеров и длительности полета болидов требовали более систематических наблюдений и количественных исследований явления. Однако в отношении болидов это оказалось недостаточным в XIX в. из-за случайного, всегда внезапного и кратковременного, к тому же довольно редкого, появления ярких болидов. Еще реже их случалось наблюдать достаточно подготовленным наблюдателям (Хладни сетовал, что за свою жизнь ему так и не довелось увидеть болид). Поэтому подход к решению проблемы происхождения метеорных масс со стороны изучения болидов также не оправдал надежд.

Тем временем укрепившееся (особенно после обширного метеоритного дождя в Нормандии в 1803 г., специально исследованного Био по поручению Парижской академии наук) убеждение в реальности причинной связи падающих масс и «огненных метеоров»

вновь привлекло внимание исследователей к более слабому классу таких метеоров — падающим звездам. И поскольку падающие звезды могли наблюдаться каждую ночь и представляли собой объект, доступный систематическому наблюдению и изучению, то к ним обратились уже в конце XVIII в. астрономы в поисках решения общей проблемы метеорных масс и болидов. Особое внимание привлекало явление звездных дождей.

Таким образом, уже в первый период становления метеоритики наметились два пути изучения: астрономический и химико-физико-минералогический. Первый был начат с изучения падающих звезд (за которыми только и закрепилось название «метеоры») в 1798 г. И. Ф. Бенценбергом и Г. В. Брандесом. Этот путь и привел к прямому доказательству космической природы метеоров.

В ноябре 1833 г. американский математик и астроном Д. Олмстэд обратил внимание на тот факт, что радиант длившегося уже несколько часов подряд звездного дождя не меняет своего положения среди звезд (в созвездии Льва), т. е. не участвует в суточном движении Земли. Из этого он сделал правильный вывод, что источник падающих звезд находится в космосе. Вскоре после этого Д. Ф. Араго, собрав и проанализировав данные многочисленных наблюдений того же звездного дождя, сделал вывод о существовании в Солнечной системе регулярных орбитальных потоков малых (метеорных) тел — потоков, пересекающих орбиту Земли. Предположив неоднородное распределение метеорных частиц вдоль потока, Араго объяснил характерную периодичность особенно богатых звездных ноябрьских дождей и установил этот период равным приблизительно 33 годам (1837). Тем самым получило косвенное подтверждение и космическое происхождение болидов, равно как и падающих в их сопровождении плотных масс. Изучение падающих звезд сформировалось к концу 30-х годов XIX в. в самостоятельную область науки о космосе — метеорную астрономию. Она была поистине коллективным творением, так как у ее истоков стояли, помимо Лихтенберга, Бенценберга, Брандеса и Олмстэда, также Ольберс, Араго, А. Гумбольдт и др.

По мере укрепления концепции о метеорном веществе как о существенном структурном элементе Солнечной системы, вместе с картинами изолированных, связанных друг с другом лишь тяготением небесных тел, космическое (по меньшей мере, межпланетное) пространство представало в совершенно ином виде — как содержащее мелкодисперсное вещество, возможно более древнее, чем Солнечная система. Сам Хладни в 1803—1819 гг. развил свою концепцию космического происхождения метеоритов как остаточного строительного материала планетных систем, сохранившегося в межпланетном и межзвездном пространстве, допуская связь метеоритов и с кометами. Куски и частицы этого вещества («метеорные тела») время от времени сталкиваются друг с другом с Землей. Достигая ее поверхности в виде метеоритов, они приносят информацию об условиях существования и о природе космического вещества, об истории возникновения и эволюции нашей

планетной системы. До недавнего времени это был единственный материальный источник такой информации. В наши дни метеориты как источник информации приобретают особенно большое значение благодаря созданию на их основе космохимии, а также космических «продолжений» других, ранее чисто земных наук — минералогии, геологии, кристаллографии... А начался этот путь с Палласова Железа.

Космическая метеоритная концепция укрепила идею вещественного единства окружающей наблюдаемой Вселенной за десятилетия до открытия другого мощного метода изучения Вселенной — спектрального анализа.

Глава VI

ТРИУМФ НЬЮТонианской Астрономической картины мира и первое «облачко» на ее горизонте

§ 1. Создание классической небесной механики возмущенного движения и ее важнейшие следствия.

Лаплас

Последняя треть XVIII и первая четверть XIX вв. были временем окончательного утверждения теории тяготения Ньютона. Вместе с тем по мере увеличения точности наблюдений выявлялись отклонения в движении планет от кеплеровых. Это вызывало порой даже сомнения в справедливости закона всемирного тяготения и в устойчивости Солнечной системы. В свое время уже Ньютон указывал, что эти отклонения — следствия того же закона и что дело здесь в сложном взаимодействии многих взаимно притягивающихся тел, искажающем, или, как стали говорить, «возмущающем» правильное эллиптическое движение планет. Он же высказал мысль, что планетная система может в результате оказаться неустойчивой.

К концу XVIII в. были созданы основы классической небесной механики, объяснившей сложную картину возмущенных движений небесных тел на единой основе закона всемирного тяготения. Эта грандиозная работа связана с целым созвездием блистательных ученых, среди которых Ж. Л. Д'Аламбер (1717—1783), Л. Эйлер (1707—1783), А. Клеро (1713—1765), Ж. Л. Лагранж (1736—1813). Но прежде всего следует назвать П. С. Лапласа (1749—1827). Из названных гениальных математиков и механиков он был в наибольшей степени астрономом, теоретико-исследователем Солнечной системы. Для других небесная механика была в большей степени областью приложений разрабатываемых ими общих математических методов и принципов механики. Лаплас отличался необычайной целеустремленностью, постоянством научных интересов, упор-

ством в достижении намеченной цели. Еще в молодости он составил для себя план будущих научных исследований по небесной механике и выполнил его до конца. Все его работы в этой области связаны с наиболее сложными случаями возмущенного движения планет и их спутников. Уже в первой («О принципе всемирного тяготения и о вековых неравенствах планет, которые от него зависят», 1773) 24-летний ученый приступил к решению трех наиболее злободневных проблем небесной механики того времени — к объяснению известного с XVII в. «большого векового неравенства» в движении Юпитера и Сатурна, загадочного векового ускорения Луны и к решению поставленной еще Ньютоном общей проблемы — устойчивости Солнечной системы в целом, если она будет предоставлена самой себе. Сам Ньютон, а позднее Эйлер отвечали на этот вопрос, как известно, отрицательно и объясняли длительное существование Солнечной системы божественным вмешательством, периодически корректирующим ее.

В результате глубокого математического анализа возмущений Лаплас уже в 1773 г. обнаружил, что вековые ускорения так называемых средних движений Юпитера и Сатурна равны нулю, т. е. «добавочное ускорение этих планет периодически меняет знак». Тогда же Лаплас пришел к выводу, что вообще взаимные возмущения планет Солнечной системы, благодаря характерным особенностям ее устройства, не могут вызвать вековых ускорений в их движениях, т. е. не могут разрушить эту систему. Не поддавалось объяснению только вековое ускорение Луны. В 1784 г. Лаплас возвратился к этим проблемам и в работе, представленной Парижской академии наук 19 марта 1787 г., дал их полное решение. Он показал, в частности, что большое неравенство Юпитера и Сатурна — результат их взаимных возмущений, которые имеют периодический характер (с периодом 929,5 лет).

Теоретические заключения Лапласа подтвердились при сравнении их с результатами древних и современных ему наблюдений. В той же работе впервые было объяснено вековое ускорение Луны. Оно также оказалось долгопериодическим, зависящим от эксцентриситета земной орбиты; последний же, как показал Лаплас, также меняется под действием других планет. Убедительной проверкой и подтверждением лапласовой теории явилось то, что на ее основании он теоретически определил действительную величину сжатия Земли у полюсов и величину «астрономической единицы». Его результаты с большой точностью совпали с результатами измерений указанных величин, проведенных во время длительных и дорогостоящих специальных экспедиций. Наконец, в работе 1787 г. Лаплас более полно обосновал устойчивость Солнечной системы на основе законов механики. Рассматривая Солнечную систему как систему тел, взаимодействующих по закону всемирного тяготения, Лаплас показал, что все основные величины в ней (большие полуоси, эксцентриситеты, наклонения орбит) должны оставаться неизменными либо изменяться периодически и в узких пределах. Выводы об устойчивости Солнечной

системы и о характере векового ускорения Луны произвели наиболее сильное впечатление на современников Лапласа.

В дальнейшем проблема устойчивости Солнечной системы не раз пересматривалась крупнейшими механиками и математиками (А. Пуанкаре и др.). Менялось само содержание понятия устойчивости Солнечной системы. Задача оказалась несравненно сложнее. И тем не менее работы Лапласа не утратили своего значения: он учел главные, решающие в данном случае механические факторы (взаимные гравитационные возмущения планет) и доказал устойчивость Солнечной системы в течение очень длительного времени.

На этом не закончились небесно-механические исследования Лапласа. В 1789 г. он разработал первую полную теорию движения спутников Юпитера под действием притяжения Солнца, самой планеты и взаимных возмущений. Проблема с давних пор была чрезвычайно актуальной, так как с нею был связан метод определения географических долгот (длительное время остававшийся единственным более или менее точным и удобным). Прежние эмпирические таблицы движения и затмений спутников Юпитера устарели. Теоретическая работа Лапласа позволила составить новые, более точные таблицы, впервые опиравшиеся на строгую научную основу — теорию Ньютона.

Кроме этих фундаментальных проблем, Лаплас решил ряд других вопросов небесной механики. Он исследовал фигуры небесных тел, предложил новый метод определения планетных и кометных орбит, изучил движение полюсов по поверхности Земли. Одним из первых Лаплас построил динамическую теорию приливов. Все эти обширные исследования он объединил в своем пятитомном «Трактате о небесной механике» (1798—1825). В течение полувека этот классический труд был основным руководством по небесной механике для астрономов.

§ 2. Планетная космогоническая гипотеза Лапласа

Лаплас, как и Ньютон, очень осторожно относился к гипотезам. Но успехи ньютоновской механики и особенно теории тяготения, на основе которой оказалось возможным объяснить сложные движения тел Солнечной системы, привлекли его внимание к удивительным особенностям этой системы и к проблеме ее происхождения. В 1796 г. появилось его наиболее широкоизвестное сочинение «Изложение системы мира». В нем Лаплас популярно (без математических формул) изложил картину ньютоновской гравитирующей Вселенной. Но наиболее известно из всего объемистого сочинения его «седьмое и последнее» примечание, которое содержит небулярную планетную космогоническую гипотезу Лапласа. (В издании 1796 г. она занимала менее трех страниц. В отдельное примечание на 14 страницах была выделена начиная с издания 1824 г.)

Быть может, не без влияния Канта и В. Гершеля зародился первый вариант гипотезы Лапласа о возникновении из первичной туманности в едином процессе Солнца и планет. Во всяком случае начиная с изданий 1811—1813 гг. его «Изложения системы

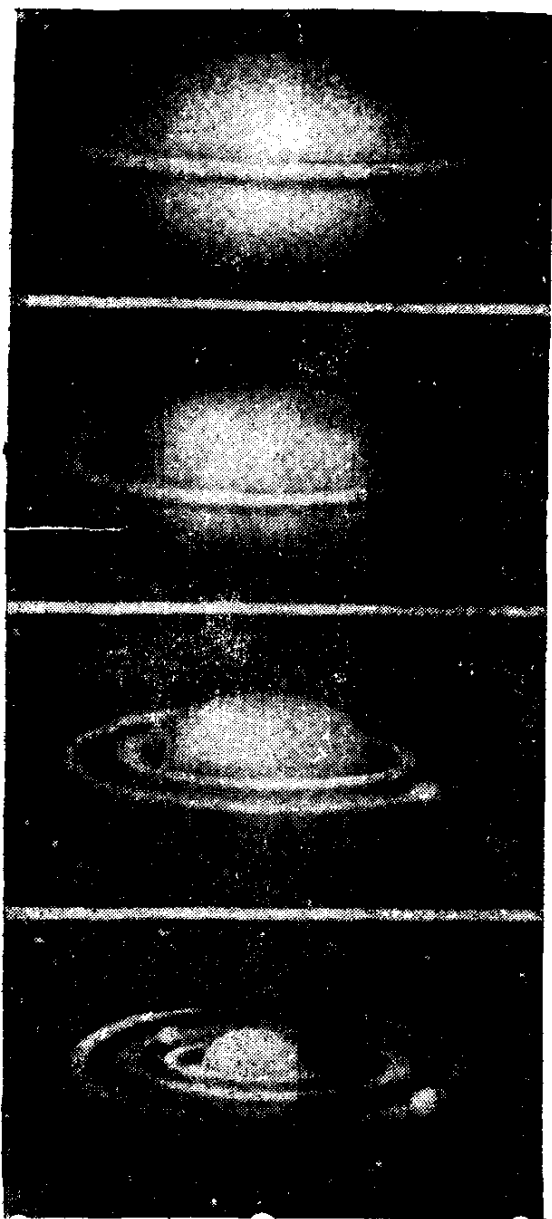


Рис. 25. Космогоническая гипотеза Лапласа

мира» Лаплас увязывал свою расширенную к тому времени концепцию со звездно-космогоническими выводами Гершеля и его наблюдениями соответствующих объектов («туманных звезд» — планетарных туманностей с ярким центром). Досадная ошибка Канта — допущение самопроизвольного возникновения вращения в изолированной массе — у Лапласа была уже немыслима. Он предположил протопланетную туманность изначально вращающейся (рис. 25).

Лаплас рассмотрел возможный путь образования — под действием силы всемирного тяготения — системы планет и спутников из первоначальной горячей разреженной туманности, вращавшейся вместе с сформировавшимся в ее центре Солнцем и составлявшей как бы его атмосферу. При ее охлаждении и сжатии от нее постепенно отслаивались в экваториальной плоскости газовые кольца. Отслаивание кольца происходило в тот момент, когда растущая при сжатии туманности центробежная сила на внешнем краю уравновешивала силу тяготения. В то время как основная часть туманности продолжала сжиматься и формировать новые кольца, в каждом из них, как полагал Лаплас, вещество стягивалось к случайной наиболее плотной части, образуя планету. Аналогично мыслилось возникновение спутников.

Лаплас писал, что, хотя он пришел к такой идее самостоятельно, существенным подкреплением ее стали для него выводы Гершеля о сгущении туманности в звезды, опиравшиеся на обширные наблюдения рядов туманностей с яркими ядрами и различной концентрацией света к центру.

Гипотеза Лапласа приобрела широчайшую известность и в те-

чение столетия царила над умами. Это и понятно. Туманные и весьма произвольные космогонические построения Декарта, идеи Сведенборга и Бюффона о возникновении планет как редкого, притом случайного акта (в результате отрыва от Солнца части его вещества под действием либо случайно возникшего вихря на самом Солнце, либо от удара внешнего тела — кометы), не могли идти ни в какое сравнение с четкой концепцией Лапласа. Ведь согласно его гипотезе рождение планетных систем становилось таким же закономерным процессом, каким, например, было вызревание колоса из зерна, брошенного в подходящую почву. Здесь такой «почвой» была гравитационная Вселенная Ньютона, а «зернами» — сжимающиеся в звезды вращающиеся туманности.

В звездно-планетной космогонической гипотезе Гершеля — Лапласа, рисовавшей широкую картину закономерной эволюции космической материи от состояния диффузной массы до плотных горячих звезд и планетных систем вокруг них, впервые обрастали плотью и наполнялись кровью общие идеи эволюции Вселенной, высказанные Кантом (напомним, что сочинение Канта 1755 г. практически стало известно лишь с 1791 г., когда космогония Гершеля уже далеко продвинулась).

Таким образом, идеи эволюционного развития природы первыми пробили себе дорогу именно в астрономии еще в конце XVIII в. Затем они появились и в «земных» науках — в биологии (Ламарк, 1809) и геологии (Ляйель, 1830—1833).

Обе небулярные гипотезы — звездная Гершеля и планетная Канта—Лапласа — подверглись в дальнейшем немалым испытаниям. Уже во времена Лапласа были известны явления, лишь с трудом объяснявшиеся его гипотезой (обратное, относительно Урана, движение его спутников, как это представлялось до открытия обратного вращения самого Урана); в дальнейшем выявились ее противоречия с новыми открытиями в астрономии и теоретическими выводами о невозможности сгущения материи газовых колец и планеты. Тем не менее и в середине XIX в. (А. Рош), и даже в начале XX в. (А. Пуанкаре) делались попытки математически обработать гипотезу Лапласа, не содержащую никаких количественных расчетов, придумывалась масса «спасающих» ее дополнений.

Наиболее уязвимой в гипотезе была ее неспособность объяснить распределение момента количества движения между Солнцем (2%) и планетами (98%) при массе их в 700 раз меньшей массы Солнца.

Еще в XIX в. планетарные гипотезы Канта и Лапласа были неоправданно объединены в одну «небулярную гипотезу Канта—Лапласа». Между тем они существенно различаются предполагаемым первоначальным состоянием вещества протопланетной туманности. У Канта это пыль, из которой к тому же на первой стадии процесса образуются в результате слипания (или химического соединения) и дальнейшей аккреции тела промежуточной

массы, — то, что позднее стали называть планетезималиями (букв. — маленькая планетка). У Лапласа же вся туманность чисто газовая и к тому же горячая. По сути, именно объединение обеих идей в идею туманности из газа и пыли оказывается плодотворным. Исходные идеи «гипотезы Канта—Лапласа» в таком смысле действительно входят в современную планетную космогонию как одна из основных предпосылок.

Что касается главного изъяна гипотезы Лапласа, связанного с загадкой момента, то, возможно, он устраним при учете гидродинамических и электромагнитных процессов (например, идея о передаче момента на периферию посредством магнитного поля).

Главные идеи, лежавшие в основе первых эволюционных космогонических гипотез Канта, Гершеля, Лапласа, выдержали испытание временем. Это — идея постепенного качественного изменения, эволюции космической материи и главной роли в этом процессе сил гравитации.

§ 3. Открытие Нептуна и загадка Меркурия

Величайшим триумфом ньютоновской гравитационной теории стало открытие в 1846 г. восьмой большой планеты — Нептуна, впервые предсказанной математическим расчетом на основе небесной механики. Ее положение на небе (на определенный момент) было предвычислено по возмущениям в движении Урана. Эти загадочные отклонения, замеченные еще в конце XVIII в., пытались объяснить по-разному. Одни допускали катастрофическое столкновение Урана с... кометой, другие начинали сомневаться в справедливости самого закона всемирного тяготения. Высказана была и гипотеза о существовании более далекой, заурановой планеты.

Проверка последней гипотезы представляла труднейшую задачу. Ее решили независимо и почти одновременно, — сначала в сентябре 1845 г. молодой кембриджский математик Д. К. Адамс (1819—1892) (но его работа до 1850 г. из-за чрезмерной «осторожности» рецензента, Королевского астронома Дж. Эри, не была опубликована), а летом 1846 г. французский астроном У. Ж. Ж. Леверье (1811—1877), взявшийся за решение задачи по совету Д. Ф. Араго. По указанным Леверье координатам планеты и была обнаружена 23 сентября 1846 г. берлинским астрономом Г. Галле всего в 52' от расчетного места, как звезда 8^м. Имя для планеты было взято из греческой мифологии (по предложению Араго) — Нептун. Орбита Нептуна, удаленная от Солнца в среднем на 4,5 млрд км, расширяла не только границы Солнечной системы, но и границы познания.

Поразительная точность научных предсказаний, казалось бы, навеки укрепила классическую ньютоновскую гравитационную картину Вселенной. Этому способствовали в немалой степени и дальнейшие труды ученых, открывших планету. Адамс уточнил

лапласову теорию векового ускорения Луны. Он же впервые определил уверенно орбиту нового, открытого в 1833 г. американцем Олмстэдом объекта в Солнечной системе — метеорного потока «Леониды» и показал, что орбита этого первого ставшего известным метеорного потока сходна с кометной.

Леверье на протяжении 30 лет провел первую капитальную ревизию теории движения Солнца и больших планет. На этом пути он открыл, однако, и новый эффект, необъяснимый классической теорией возмущенного движения.

Исследуя с 1843 г. движение Меркурия, Леверье к 1859 г. установил, что скорость, с которой перигелий его орбиты обращается вокруг Солнца, несколько больше той, какая следовала из обычной теории возмущенного движения. А именно на $38''$ в столетие (по современным данным на $43''$). Эта дополнительная скорость перигелия Меркурия не могла быть объяснена возмущениями от известных планет. И Леверье попытался объяснить ее возмущающим действием гипотетической планеты, которую он предположил существующей между Солнцем и Меркурием, и которой даже дал имя — Вулкан. Но дальнейшие поиски показали, что планета нужной величины в этой области не существует.

Объяснение было найдено лишь на основе общей теории относительности Эйнштейна. Таким образом, один из тех, кто укрепил гравитационную картину мира Ньютона открытием Нептуна, ее же и пошатнул, обнаружив нечто не согласующееся с нею, маленькое «облачко» на ясном небе гравитационной теории Ньютона. Неисчерпаемость Вселенной снова напомнила о себе. В пределах гравитационной физической, ставшей уже классической к тому времени, картины мира появился предвестник новой грядущей великой научной революции.

Раздел шестой

РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ XIX — НАЧАЛА XX в.

Продвигаясь вперед, наука непре-
станно перечеркивает сама себя.

В. Гюго

Глава I

НОВАЯ ФИЗИКА И ВСЕЛЕННАЯ. КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ И ПОПЫТКИ ИХ РЕШЕНИЯ

§ 1. Возникновение и содержание космологических парадоксов

Построение новой картины мира всегда состоит, в частности, в заполнении «белых пятен» в понимании Вселенной, обнаружившихся в господствовавшей ранее картине мира. Это обязательно сопряжено с гигантской экстраполяцией известного за его пределы. При этом исследователи неизбежно где-то переступают еще неизвестные им, но объективно существующие границы справедливости фундаментальных теорий, лежащих в основе картины мира соответствующей эпохи. В результате на некотором очередном шаге в исследовании Вселенной они рано или поздно сталкиваются с тем, что действительность не укладывается в общепринятую картину мира, факты начинают противоречить ей. Если эти факты противоречат основным, строжайшим ее положениям, они воспринимаются как нечто логически невозможное, как парадоксы.

Таково происхождение и знаменитых космологических парадоксов. Истоки некоторых из них восходят ко времени формирования основ классической ньютоновской картины мира. Например, вывод о таком фундаментальном свойстве модели мира, как ее бесконечность, т. е. бесконечность Вселенной, был получен Ньютоном как способ избежать парадокса: в конечной звездной Вселенной с его законом тяготения все тела через конечное время должны были, по мнению Ньютона, собраться в одну массу, «в

центре тяжести» Вселенной. В бесконечной модели Вселенной центра нет (вспомним идеи ряда мыслителей античности, Николая Кузанского, Джордано Бруно), и указанный парадокс, естественно, не возникал.

Несмотря на свою глубокую религиозность, Ньютон старался обходиться в науке без обращения к богу. Почему бы, казалось, не воспользоваться божественным вмешательством для восстановления первоначального порядка в сколлапсировавшей конечной звездной Вселенной? Однако Ньютон находит естественный выход из указанного парадокса — постулирует бесконечность Вселенной. Видимо, это был первый случай, когда бесконечность Вселенной оказывалась необходимой не из общих философских, а из конкретных физических соображений.

Но столкнувшись в дальнейшем с проблемой устойчивости планетной системы, он обратил внимание на те свойства мира планет, в которых фактически проглядывали уже трудности термодинамического (или даже, точнее, статистико-механического) характера. Опережая эпоху на полтора века, Ньютон подметил, по существу, то, что впоследствии было квалифицировано как «рассеяние энергии», неизбежность своего рода «трения» во всех механизмах планетного мира — единственной известной тогда сложной динамической системы (в отношении звездного мира могло казаться удовлетворительным представление о равновесии всех его частей под действием притяжения тел всей бесконечной системы). Для Ньютона это было необратимой потерей механического движения (ведь закон сохранения энергии не был установлен). Но вывод Ньютона был не менее определенным, чем у Клаузиуса и Томсона в середине XIX в.: «часы Вселенной», весь механизм планетной системы постепенно растрачивают «запас хода», в системе исчезает порядок, нарастает хаос и в конечном счете неизбежным становится прекращение всякого движения... Так что без вмешательства «Великого Часовщика» Ньютон обойтись не мог.

§ 2. Фотометрический парадокс

Ко времени Ньютона относится первая встреча исследователей и с другим космологическим парадоксом — фотометрическим. Формулировка его долгое время приписывалась швейцарскому астроному Х. Шезо (1744), а в более развитом виде — хорошо известному немецкому астроному В. Ольберсу (1826). Однако недавно было обнаружено, что этот парадокс практически в эквивалентной форме был высказан еще Э. Галлеем в начале XVIII в.

Содержанием фотометрического парадокса является вывод, что в бесконечной (и даже в конечной, но достаточно большой) звездной Вселенной, заполненной хаотически расположенными звездами, взгляд в любом направлении должен упереться в поверхность какой-либо звезды, т. е. все небо должно светиться примерно как поверхность Солнца.

Долгое время (начиная с Шезо) естественным способом преодоления фотометрического парадокса представлялась идея о наличии в межзвездном пространстве темной поглощающей материи. Однако, как показал в 30-е гг. нашего века акад. В. Г. Фесенков, это не снимает трудности, вследствие того, что в реальной «поглощающей материи» происходит лишь *рассеяние* энергии излучения и перевод ее в другой спектральный интервал, а не истинное поглощение.

Правда, еще раньше (1908, 1922) новый способ устранения фотометрического парадокса был найден Шарлье в его модели бесконечной иерархической Вселенной. Но сама эта космологическая модель вскоре уступила место совершенно новой, релятивистской модели расширяющейся Вселенной Фридмана — Леметра — Хаббла, в рамках которой фотометрический парадокс не возникает из-за существования красного смещения, которое уменьшает энергию приходящих фотонов (в дальнейшем, однако, было высказано мнение, что тщательный учет закона сохранения энергии может снять этот парадокс и в рамках ньютоновской картины мира).

§ 3. Гравитационный парадокс

Гравитационный парадокс, порождение основных положений теории всемирного тяготения и модели Вселенной Ньютона, появился, однако, довольно поздно — уже после обнаружения загадки Меркурия (избыточного, «сверхньютоновского» движения перигелия его орбиты). Парадокс возник, когда немецкий математик К. Нейман (1874) и независимо, в более развитой форме, его соотечественник, известный астроном Г. Зелигер (1895) показали, что в ньютоновской бесконечной Вселенной в каждой точке на материальное тело должны действовать бесконечные по величине «раздирающие» его силы. В «лучшем» случае эти силы оказывались неопределенными, т. е. движение любых тел — принципиально неопределимым. Гравитационный парадокс обнаруживал внутреннюю противоречивость ньютоновской модели Вселенной.

С целью преодоления указанной трудности была выдвинута идея изменить «немного» форму закона Ньютона. Например, предлагалось ввести в него экспоненциальный множитель вида $e^{-\beta r}$. При достаточно малом β он не отражался бы на результатах вычислений движения тел в конечной системе, что сохранило бы все достижения ньютоновской небесной механики, полученные в рамках конечной Солнечной системы, но устранило бы парадокс в отношении свойств бесконечной Вселенной. Заметим, что в указанном изменении формулы Ньютона проявилась одна из ранних попыток усовершенствовать, т. е., по существу, обобщить, казалось бы, окончательно утвержденный полутора веками триумфов незыблемый закон природы — закон всемирного тяготения. Наряду с проблемой движения перигелия Меркурия это был еще один сигнал о том, что начинает обнаруживаться ограниченность

господствовавшей ньютоновской картины мира. Подобные сигналы появляются рано или поздно в любой картине мира, однако отличить их от обычных трудностей, которые многократно возникают и преодолеваются (лишь увеличивая авторитет картины, как, например, «загадка Урана»), принципиально невозможно в рамках господствующих представлений принятой картины мира. «Чтобы познать истину, нужно выйти за ее пределы», — гласит древняя восточная мудрость, выражая, по существу, один из глубочайших и наиболее важных уроков истории науки.

Но возвратимся к гравитационному парадоксу. Другим способом устранения его мог быть отказ от бесконечности Вселенной. Такой путь предложил К. Шварцшильд, рассматривая модель Вселенной со сферической геометрией. Но эта идея не успела войти в картину мира до появления в 1917 г. релятивистской космологии. А в релятивистской космологии оказались реализованными обе идеи — отказ и от формы закона тяготения, и от постулата бесконечности Вселенной (см. ниже).

Оригинальным способом преодоления — притом сразу обоих парадоксов, и гравитационного и фотометрического — оказалась модель Вселенной, предложенная (1908) шведским астрономом К. В. Л. Шарлье (1862—1934), развившим старую концепцию иерархической Вселенной Ламберта. Шарлье показал, что если предположить бесконечность иерархии вверх (у Ламберта, по существу, иерархия и сама Вселенная оказывались конечными) и потребовать достаточно быстрого увеличения относительных взаимных расстояний систем с ростом «номера этажа», то и гравитационный и фотометрический парадоксы устраняются. То, что они исчезали вместе, неудивительно: и гравитация, по Ньютону, и расходящийся пучок света ослабевают с расстоянием пропорционально r^{-2} .

Правда, необходимые требования к свойствам иерархической Вселенной оказались довольно жесткими. В частности, условия «разрежения» систем должны выполняться на всей (!) бесконечной лестнице масштабов настолько строго, что достаточно большое отклонение на каком-то одном уровне масштабов может привести к «солнечной» яркости всего неба. Далее, средняя плотность материи во Вселенной Шарлье оказывалась равной нулю (при бесконечности полной массы). Все это, видимо, и привело к тому, что теория Шарлье не завоевала особой популярности. К тому же она возникла практически одновременно с релятивистской космологией, в которой оба этих парадокса не возникают либо непринужденно устраняются.

§ 4. Парадокс «теплой смерти» Вселенной

Этот парадокс был обнаружен в середине XIX в. Р. Клаузиусом и В. Томсоном (лорд Кельвин) при попытке распространить только что открытое II Начало термодинамики на весь физический

(ньютоновский) мир — бесконечное пространство, заполненное звездами. Суть парадокса состоит в одностороннем необратимом рассеянии энергии, ведущем Вселенную к тепловой смерти (Кельвин); в формулировке Клаузиуса: «Энергия мира постоянна. Энтропия мира стремится к максимуму».

В физическом аспекте этот парадокс возник в рамках континуальной модели вещества, используемой классической феноменологической термодинамикой. Устранить парадокс тепловой смерти с позиций указанных моделей материи и Вселенной в то время можно было, только предположив ограниченную справедливость II Начала. На такую возможность намекал при обсуждении границ II Начала и парадокса тепловой смерти сам Кельвин, говоря о справедливости II Начала с точностью лишь до «скрытых ресурсов природы». До сих пор эту возможность нельзя считать исключенной, поскольку II Начало остается постулатом, и ниоткуда не следует, что постулат этот неограниченно справедлив. Впоследствии эта возможность даже частично реализовалась — II Начало было «опровергнуто» на микроуровне открытием флуктуаций в первом десятилетии XX в. Но еще до экспериментального открытия флуктуаций само представление о возможности их уже оказалось достаточным для построения грандиозной космологической флуктуационной гипотезы Больцмана.

Людвиг Больцман (1844—1906) был первым, кто рассмотрел «статистическую модель Вселенной». По существу, это была та же, что и у Кельвина—Клаузиуса, ньютоновская бесконечная Вселенная. Однако Больцман использовал дискретную (атомную) модель материи вместо континуальной, принимаемой в классической феноменологической термодинамике. Он обнаружил неожиданный способ преодоления парадокса тепловой смерти — посредством учета эффекта флуктуаций.

Свое решение парадокса Больцман нашел, пойдя в признании тепловой смерти как бы даже дальше, чем Клаузиус и Кельвин, рассмотрев вопрос о том, что будет, когда установится термодинамическое равновесие, когда тепловая смерть наступит! Считая, что она, собственно говоря, является обычным состоянием любой области Вселенной, он указал, однако, принципиально новое обстоятельство; с учетом флуктуаций неизбежно возникновение как частых малых, так и чрезвычайно редких, но сколь угодно больших неравновесных областей во Вселенной.

В адрес флуктуационной гипотезы Больцмана делались критические замечания в связи с фантастической редкостью гигантских флуктуаций и с парадоксальными картинками обратного хода времени в половине флуктуаций. Ныне эти трудности не кажутся столь непреодолимыми, как во времена Больцмана, но ситуация все же может быть обрисована сказанными, хотя и по другому поводу, словами Б. Понтекорво: «Этот вопрос и до сих пор неясен, хотя и на совершенно другом уровне».

Более ясная перспектива решения космологических парадоксов видится в идее бесконечного качественного разнообразия Все-

ленной, когда рассмотренные трудности космологии оказываются локальными и не имеющими смысла парадоксов. Такое направление в наши дни привлекает все большее внимание исследователей.

Глава II

ФОРМИРОВАНИЕ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА (XIX—XX вв.)

§ 1. Создание физического фундамента

По мере развития физики и выхода ее за рамки механики вставали совершенно новые проблемы перед астрономией, менялось ее содержание и смысл терминов.

Со времен Кеплера, благодаря его «Новой астрономии... или физике неба», в науку о небе вошла проблема физической природы и причин астрономических явлений, а с нею и сам термин «физическая астрономия». Однако, несмотря на широкий смысл его у Кеплера (впервые попытавшегося объяснить некоторые небесные явления немеханической причиной — магнетизмом), смысл «физической астрономии» и «физики неба» уже вскоре свелся к «небесной механике», точнее, к гравитационной динамике неба. Под знаменем ее прошел XVIII век.

Новым фундаментом для астрономических исследований и развития астрономической картины мира стали крупные успехи в двух молодых областях физики — физической оптике, чем ознаменовался с самого начала век XIX, а затем и в термодинамике, родившейся вместе с открытием в 40-е гг. XIX в. закона сохранения и превращения энергии (I Начала термодинамики — Р. Майер, Г. Гельмгольц, Дж. Джоуль).

Истоки развития физической оптики также восходят к Кеплеру. Следующим крупнейшим шагом в этой области стала первая оценка скорости света О. Рёмером в 1676 г. Это резко изменило представления о масштабах Вселенной (первая оценка межзвездных расстояний Гюйгенсом в 1695 г. — 0,5 св. года, первая оценка В. Гершелем расстояния до млечных туманностей — миллионы световых лет). Базой количественной фотометрии стали результаты Ламберта в середине XVIII в.

Полная победа волновой теории света, выдвинутой еще Гюйгенсом, но признанной лишь в первой четверти XIX в., после открытия интерференции и поляризации, неожиданно позволила сделать реальный шаг к непосредственному изучению физической природы и состояния небесных тел, прежде всего Солнца.

Первым астрофизическим инструментом стал полярископ, изобретенный выдающимся французским физиком и астрономом

Д. Араго (1786—1853) в 1811 г. на основе открытого им явления хроматической поляризации света. С его помощью Араго первым дал достаточно убедительный и правильный ответ на вопрос, стоявший перед человечеством в течение тысячелетий: что представляет собой ослепительная поверхность Солнца. Араго доказал, что солнечная фотосфера — нагретый самосветящийся газ. Вместе с тем само тело Солнца (и следовательно, звезд) под фотосферой еще несколько десятилетий продолжали считать твердым и даже холодным. Была поставлена проблема изучения природы короны, относительно которой еще не было уверенности, что она принадлежит Солнцу. Под знаком астрофизических, главным образом поляризационных, наблюдений Солнца прошла в астрономии вся первая половина XIX в. Энтузиазм и самоотверженность астрономов, устремлявшихся в самые отдаленные и труднодоступные места для наблюдений короны в краткие мгновения полной фазы солнечных затмений, вошли в историю науки как одна из самых впечатляющих ее страниц. Но поляризация оказалась явлением, сложно и неоднозначно связанным с состоянием излучающего вещества, и сама требовала изучения, что приглушило в дальнейшем почти на столетие ее использование в приборах, анализирующих излучение небесных тел.

Впервые реальную информацию о составе и строении космического вещества принесли метеориты, по которым даже судили о составе Луны (в первой четверти XIX в. укрепилось представление о них как о лунных вулканических бомбах). Но метеориты, хотя и признанные космическими объектами, стали предметом изучения не для астрономов (из-за трудности определения их орбит, т. е. их космического адреса), а для химиков и минералогов.

Основанием для новых открытий стало развитие точной инструментальной оптики, начатое Й. Фраунгофером (1787—1826) и на десятки лет выдвинувшее вновь на первый план в астрономии линзовые телескопы — рефракторы.

В первой четверти XIX в. были заложены основы спектроскопии — открытием принципа щелевого спектрографа (Волластон, 1802) и спектральных линий поглощения в спектре Солнца (фраунгоферовы линии) в 1815 г. Первым важным для астрономии результатом в астроспектроскопии стал принцип Доплера, позволявший по смещению линий в спектре определять лучевые скорости излучающих небесных объектов. В 1842 г. его идею впервые предложил австрийский физик Х. Доплер (1803—1853), а затем уточнил И. Физо. Уже в 1868 г. В. Хеггинс применил принцип Доплера в астрономии и определил лучевые скорости нескольких звезд.

Тем временем зарождавшаяся астрофизика получила в свое распоряжение новый могучий метод — спектральный анализ, разработанный в 1861 г. немецкими учеными — выдающимся физиком Г. Кирхгофом и известным химиком Р. Буизеином. В результате уже в начале 60-х годов был дан ответ на вопрос, еще

недавно считавшийся неразрешимым, — о химическом составе звезд (в 1852 г. французский философ, отец позитивизма О. Конт говорил о принципиальной невозможности решить эту задачу). Кирхгоф первым, а вслед за ним и другие (Хеггинс, Жансен, Локьер) успешно приступили к исследованию химического состава Солнца и звезд.

§ 2. Первые астрофизические проблемы астрономии

Таковыми проблемами, как мы видели, стало изучение агрегатного состояния, температуры и химического состава Солнца и звезд. Кирхгоф первым высказал обоснованное предположение, что внутренняя часть Солнца не холодное твердое тело, а раскаленная жидкая масса (дающая непрерывный спектр), окруженная атмосферой из газа (поглощая в определенных линиях, он дает картину фраунгоферовых линий — перепись химических элементов, входящих в атмосферу Солнца).

В начале 60-х гг. английский астроном В. Хеггинс (1824—1910), сравнив лабораторные спектры различных веществ со спектрами звезд и Солнца, окончательно доказал единство их природы. Аналогичные выводы тогда же сделал итальянский астроном, один из основоположников астроспектроскопии А. Секки (1818—1878), изучивший в 1863—1868 гг. спектры около 4 тысяч звезд. Среди пионерских работ Хеггинса особенно выделяются его исследования спектров туманностей. Изучая их, он подтвердил разделение туманностей на два принципиально различных класса: «пылевые» (отражающие) и газовые; первые имели типичный «звездный» спектр с линиями поглощения, а вторые — типично газовый, из отдельных эмиссионных линий. Интерпретация первых как пылевых оказалась ошибочной (это были далекие галактики!). Во втором случае Хеггинс оказался прав, доказав реальность излучающих газовых туманностей, чрезвычайно разреженных диффузных образований (давнее открытие В. Гершеля).

Применив еще один новый мощный метод — появившуюся в 50-е гг. XIX в. в астрономии фотографию, — Хеггинс первым начал изучать спектры комет (и обнаружил в них углерод и характерные, как потом оказалось, для комет соединения CN и CN_2).

Французский астроном П. Жансен (1824—1907) в 1866 г. провел обширные лабораторные исследования спектров различных веществ и отождествил многие линии солнечного спектра с линиями известных химических элементов. Он первым начал изучать спектральным методом состав атмосфер планет.

В 1869 г. английский астроном Н. Локьер (1836—1920) открыл в спектре Солнца первый неизвестный тогда на Земле химический элемент и назвал его гелием (от греч. «гелиос» — Солнце). Он же раньше всех заподозрил присутствие на Солнце углерода.

Лабораторное изучение спектров металлов позволило Локьеру увеличить число отождествленных элементов солнечной атмосферы с 14 в 1872 г. до 33 — к 1878 г. Проведя лабораторные исследования спектров газов при различных давлениях и температурах, Локьер впервые связал интенсивность спектральных линий с физическими условиями на небесных светилах.

Грандиозный переворот произошел в этой области после того, как Локьер и Жансен в 1868 г. независимо предложили способ внеатомного наблюдения протуберанцев и хромосферы Солнца. Они же стали пионерами спектрального исследования и наиболее труднодоступных деталей структуры его короны и ее состава.

Одним из первых начав исследования в области солнечной и звездной спектроскопии, Локьер положил начало новому направлению — исследованию процессов на небесных телах по изменению их спектров. Он обнаружил изменение спектра солнечных пятен в течение 11-летнего цикла солнечной активности и в 1873 г. пришел к своей гениальной идее «небесного разложения элементов» — в звездах под действием громадных температур в их недрах. Причем Локьер на основании исследования условий в солнечных пятнах заключил, что в зависимости от изменений физических условий этот процесс может осуществляться в несколько этапов, и каждый новый этап распада, «упрощения» химического элемента должен отразиться в его спектре. И хотя Локьер называл это «диссоциацией» (других процессов распада физики еще не знали), его идея предвосхитила, по существу, идею многократной температурной ионизации атомов в чудовищно раскаленных атмосферах звезд. Эти исследования привели Локьера к замечательному обобщению: «весьма малое число вполне самостоятельных субстанций сочетается в различных пропорциях и тем дает начало знакомым нам элементам». Приводя эти слова, известный историк астрономии XIX в. А. Кларк писала в 1902 г., что никакого подтверждения реальности существования таких субстанций нет. Реальность их была доказана спустя 9 лет (через 38 лет после высказывания самого Локьера) в модели атома Э. Резерфорда. Так решение одной из фундаментальных проблем физики (строения вещества) впервые на экспериментальной основе наметилось в молодой тогда астрофизике.

С именами Секки (1863), Фогеля (1874) и Локьера (1887) связано появление первых классификаций звездных спектров. Этим была подготовлена наблюдательная база для формирования научно обоснованных представлений о природе звезд и об их эволюции.

Открытие закона сохранения энергии остро поставило вопрос об источнике звездной энергии. Наиболее ранней попыткой его решения была гипотеза Р. Майера (1848) о разогреве Солнца за счет падения на него внешних тел (метеоритов). Проблемы источника звездной энергии, строения, состава и эволюции звезд объединились в главную проблему астрофизики.

§ 3. Проблема звездной эволюции и идея гравитационного источника энергии звезд. Гельмгольц, В. Томсон, Локьер, Рессел

Во второй половине XIX в. окончательно утвердилось представление о звездах как о колоссальных газовых шарах, плотных и горячих в центральных частях и разреженных на периферии. В звездной космогонии высок был авторитет идей В. Гершеля о продолжающемся процессе рождения звезд в результате скапливания диффузной космической материи к случайным центрам повышенной плотности. Видимо, не без влияния этих идей Г. Гельмгольц и В. Томсон в середине XIX в. предложили свою теорию излучения газовой звезды за счет гравитационного сжатия (контракционная гипотеза). Они предположили, что энергия сжатия превращается в теплоту, которая тут же излучается. В целом при этом, как ожидалось, звезда постепенно остывала. Однако вскоре выяснилось, что в таком случае Солнце должно быть... моложе Земли! (Такого источника энергии хватило бы лишь на $\sim 10^7$ лет, тогда как геологи в конце XIX в. уже обоснованно оценивали возраст Земли $\sim 10^9$ лет.)

Казалось бы, выход был найден американским теоретиком Г. Лэном, показавшим в 1870 г., что излучающий за счет сжатия шар из идеального газа, напротив, будет разогреваться, и лишь перестав быть таковым, по достижении достаточной плотности, начнет далее остывать. Поскольку начальное состояние «протозвезды» или молодой звезды можно было сравнить с идеальным газом, и лишь во второй половине своей жизни она мыслилась как более плотная и остывающая при сжатии, теория Лэна позволяла продлить сроки жизни звезды с таким источником энергии.

Между тем еще в 1865 г. немецкий астроном И. Целльнер (1834—1882), основоположник астрофотометрии и автор самого термина «астрофизика», высказал мысль, что белые, желтые и красные звезды суть различные этапы «жизни» — охлаждения звезды. Эволюционные идеи в связи с различием цвета звезд высказывались многими, хотя и с различной трактовкой направления эволюции звезды.

Локьер, на основе своей классификации звездных спектров и опираясь на упомянутые выше расчеты Лэна, впервые в 80-е гг. XIX в. предложил эволюционную гипотезу развития звезды с восходящей и нисходящей ветвями — от состояния яркой крайне разреженной красной звезды к белой типа Сириуса, далее, — к желтой типа Солнца и, наконец, к состоянию слабого холодного красного карлика с полосчатым спектром. Таким образом, каждая звезда в своем развитии должна была дважды пройти через каждый спектральный класс, за исключением класса горячих белых звезд, где обе ветви сходились. Эта гипотеза Локьера, сначала не обратившая на себя внимание астрономов, неожиданно предстала в совершенно новом свете после установления основ-

ной зависимости в мире звезд — диаграммы Герцшпрунга—Рессела (рис. 26).

Американскому астрофизику Г. Н. Ресселу (1877—1957) и голландскому астроному Эйнару Герцшпрунгу (1873—1967) принадлежит установление первой фундаментальной физической закономерности в мире звезд: характер спектра звездной атмосферы

определяется ее температурой. Герцшпрунг начал, а Рессел завершил в 1905—1912 гг. колоссальную работу по сравнению спектров (а следовательно, и цвета) и светимостей звезд различных спектральных классов. На построенной им диаграмме «спектр (температура, цвет) — светимость» практически все звезды выстроились в две широкие полосы. Одна соединяла ярчайшие голубые горячие звезды с наиболее слабыми (красными, холодными) — «главная последовательность» (такое наименование ей дал Эддингтон). Вторая — близкие по светимости, но различные

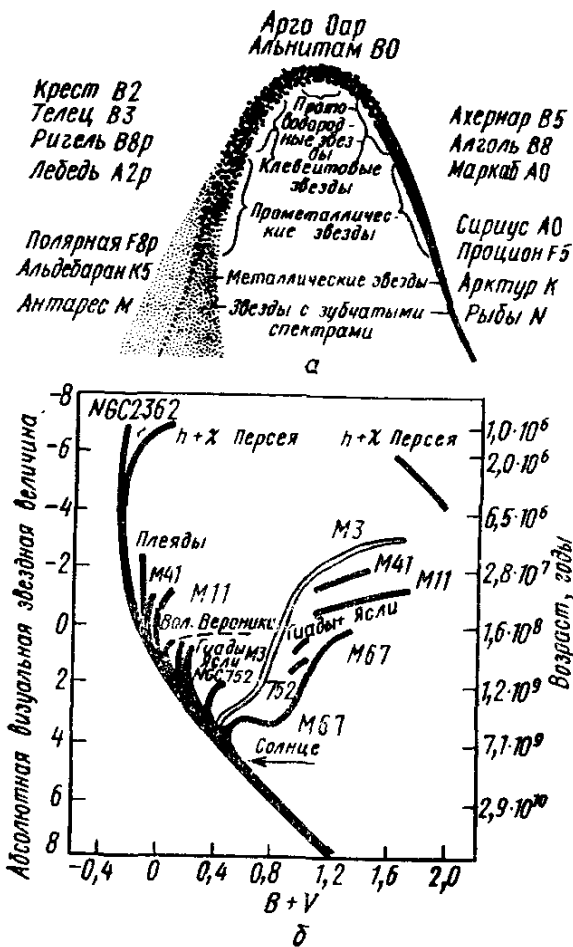


Рис. 26. К формированию представленной об эволюции звезд: а) первая схема эволюции звезды (Н. Локьер), б) диаграмма Герцшпрунга — Рессела (зависимость спектр — светимость)

по спектру — от голубых до красных («ветвь гигантов»). Эта знаменитая диаграмма Герцшпрунга—Рессела («диаграмма Г—Р») отражает фундаментальные физические закономерности строения и развития звезд. И вся дальнейшая история звездной астрофизики, по существу, состояла в попытках раскрыть истинный эволюционный смысл этой замечательной феноменологической закономерности.

Диаграмма «спектр—светимость» поразила Рессела замечательным совпадением предсказаний теории Локьера с данными наблюдений. Верхняя, горизонтальная ветвь гигантов как бы вела исследователя по первой половине жизненного пути звезды (разогрев). Вторая ветвь — «главная последовательность» — проследивала, казалось, с предельной очевидностью дальнейший путь развития уже достаточно уплотнившейся звезды, не подчиняющейся теперь законам идеального газа и остывающей при сжатии, что и утверждал в своей теории Локьер.

Увы! Несмотря на всю свою стройность и даже совпадение с наблюдениями, эта эволюционная теория Рессела, предложенная в 1913 г. и опиравшаяся на недостаточное знание состояния звезд, вскоре была разрушена новыми фактами. Вещество звезд главной последовательности также оказалось близким к состоянию идеального газа...

Снова остро вставала проблема такого источника энергии, который мог бы продлить жизнь звезды до 10^9 лет.

§ 4. Подходы к решению проблемы источников звездной энергии и эволюции звезд на базе фундаментальных открытий физики конца XIX — начала XX в. Джинс, Эддингтон, Рессел

Новые горизонты раскрылись перед астрофизикой с рождением в конце XIX в. атомной физики, с открытием таких новых явлений на атомном уровне, как радиоактивность (Беккерель, 1896). Для астрофизики особую роль сыграло последовавшее открытие П. Кюри и его сотрудником А. Лабордом явления самопроизвольного выделения тепла радиоактивными элементами (1903). Оно-то и помогло на первых порах вывести проблему источников звездной энергии из тупика. Это сделал в начале XX в. выдающийся английский физик-теоретик и астрофизик Дж. Х. Джинс (1877—1946), выдвинувший правильную идею *внутриатомной* природы источника звездной энергии. Сначала Джинс экстраполировал на звездную Вселенную идею излучения за счет радиоактивности (около 1/4000 массы вещества переходило в излучение). Это обеспечивало существование звезды типа Солнца не более чем в течение 10^{11} лет. Между тем подсчеты Джинсом возраста звезд из динамических соображений (по времени установления в Галактике равномерного распределения кинетической энергии звезд и др.) указывали на продолжительность их жизни в 10^{13} лет. В 1904 г. Джинс предложил в качестве механизма высвобождения внутриатомной энергии в звездах аннигиляцию при встрече электрона и протона и таким образом постепенное полное уничтожение всего вещества звезды и перехода его в излучение. После установления в 1906 г. Эйнштейном количественного закона превращения вещества в излучение ($E=mc^2$) Джинс подсчитал, что этот механизм мог бы обеспечить излучение Солнца в течение 10^{13} лет.

Предположение об аннигиляционном механизме выделения звездной энергии в дальнейшем под давлением новых фактов было оставлено. Но гениальная мысль Джинса о внутриатомном характере источника звездной энергии легла в основу всех последующих теорий эволюции звезд. Позднее Перрен и Эддингтон предложили другой внутриатомный источник энергии — синтез атомов He из атомов H, при котором в излучение переходит

ок. $1/130$ массы вещества (вес одного атома He немного меньше суммарного веса четырех атомов H). Это обеспечивало продолжительность жизни звезды порядка 10^{11} лет, что оказалось правильнее оценки Джинса (10^{13} лет).

Вместе с возникновением всеохватных комплексных проблем в астрофизике, ставшей с самого начала наукой не только о строении и составе, но и об эволюции небесных тел, конкретные исследования в ней по мере углубления все более дифференцировались. В первое десятилетие XX в. были заложены основы теории звездных атмосфер. Главная заслуга в этом принадлежала немецкому астроному Карлу Шварцшильду (1873—1916), одному из основоположников астрофизики. Шварцшильд распространил на звездные атмосферы и развил математическую теорию лучистого равновесия, согласно которой перенос энергии в атмосфере звезды осуществляется в основном излучением, а конвективным переносом ее можно пренебречь, причем в каждой точке удерживается равновесие поглощенной и излученной энергии. На этом основании Шварцшильд построил первую теоретическую модель звездной атмосферы. Однако центральные части звезды, ее недра еще в течение десяти лет оставались совершенной загадкой. Хотя они также представлялись газом, но в чудовищно сжатом состоянии, которое было недоступно для анализа на основе теории газов (рассматривавшихся в «идеальном» состоянии). Ключ к загадке был найден Джинсом. В 1917 г. он обратил внимание на то, что при звездных температурах вещество в недрах звезды должно быть полностью ионизированным. Таким образом, с точки зрения физики оно оказывалось почти идеальным газом из электронов и положительных ядер, доступным математическому описанию.

Опираясь на эти соображения, термодинамическую теорию лучистого равновесия Шварцшильда и открытие П. Н. Лебедевым в 1907 г. светового давления, английский астрофизик и физик-теоретик Артур Стэнли Эддингтон (1882—1944) построил первую полную математическую теорию равновесной излучающей звезды. Главное уравнение теории связало температуру, давление и плотность вещества звезды с расстоянием от ее центра (недаром сам Эддингтон назвал свою теорию образно «аналитической буровой машиной»). Звезда по теории Эддингтона находилась в механическом равновесии благодаря тому, что сила тяжести в ней уравновешивалась газовым и световым давлениями. Несмотря на ряд ошибочных начальных допущений Эддингтона (в частности, неправильной оказалась его оценка среднего атомного веса «электронно-ядерного газа» звезды), которые, как выяснилось, мало влияли на уравнения, построенная им теория позволила ему установить фундаментальную в физике звезд зависимость между массой и светимостью звезд: светимость возрастает в них значительно быстрее массы. Это полностью подтвердилось для звезд главной последовательности диаграммы Г—Р (т. е. для подавляющего числа звезд в наблюдаемой Вселенной) и впервые объяснило

наблюдаемый факт — то, что массы звезд различаются не более чем в сотни раз, тогда как светимости — в сотни миллионов раз. При росте массы звезды наступал момент, когда чудовищное световое давление делало звезду неустойчивой. Таким образом, Эддингтон ввел в 1924 г. в астрофизику представление о критической массе для нормальной устойчивой звезды и о предельной максимальной светимости звезды данной массы (эддингтонов предел: $L_{эд} = \frac{M_*}{M_{\odot}} \cdot 10^{38}$ эрг/с).

На основе своей теории Эддингтон впервые рассчитал диаметры некоторых звезд — красных гигантов (более 1 млрд км!), подтвердившиеся в дальнейшем интерферометрическими измерениями. Распространив теорию и на плотные звезды — «белые карлики», он впервые дал количественную оценку гигантской плотности такой звезды — спутника Сириуса (около $5 \cdot 10^4$ г/см³). В 1918—1919 гг. Эддингтон построил первую теорию цефеид как физических переменных, пульсирующих звезд (эта идея относительно природы их переменности впервые была высказана в 1879 г. А. Риттером, а в 1896 г. независимо Н. А. Умовым). В 1941 г. Эддингтон усовершенствовал эту теорию.

Эддингтон и Джинс первыми привлекли внимание к ядрам спиральных туманностей (которые они еще считали сгустками диффузной материи) как к особым точкам. Эддингтон считал, что это неустойчивые тела сверхкритической массы, а Джинс допускал даже, что в этих точках в нашу Вселенную втекает вещество из других, недоступных нам пространств Вселенной (в первые десятилетия XX в. получила распространение его гипотеза происхождения звезд как результата сгущения диффузной материи сначала в спиральную туманность). С окончательным установлением истинной природы спиральных туманностей как далеких галактик (Хаббл, 1924) эти идеи Эддингтона и Джинса отпали сами собой (но дальнейшее развитие представлений о галактиках возродило идею сингулярности ядер галактик).

Пример плодотворности общей математической теории при ошибочности конкретной модели явления продемонстрировала развитая Джинсом в 1914—1916 гг. теория фигур равновесия вращающейся массы несжимаемой тяжелой жидкости, которой он пытался объяснить происхождение двойных звезд (в результате разрыва одной такой массы) и спиральных туманностей. Образы «жидких» звезд, вращающихся и быстро уплощающихся диффузных спиральных туманностей ушли в прошлое, а теория осталась как эффективный метод исследования космических объектов.

Вслед за Джинсом Эддингтон и Рессел приняли идею о внутренней природе источников звездной энергии. И хотя в 1920 г. Эддингтон первым высказал идею термоядерного механизма выделения этой энергии в результате синтеза $H \rightarrow He$, он все же более склонялся тогда, как и Рессел, к джинсовской идее аннигиляции. Любопытно, однако, что в отличие от Джинса, который,

строго логически развивая свою идею, исходя из неверной предпосылки, пришел и к ошибочному конечному выводу — о независимости звездного источника энергии от температуры, Эддингтон и Рессел, нарушив логику, указали на необходимость некоторой критической температуры для включения энергоисточника звезды. Продолжив за Ресселом эволюционное истолкование диаграммы Г—Р, Эддингтон даже оценил такую критическую температуру в 32 млн градусов, что совпало с действительностью даже по порядку величины. Объяснение таким гениальным догадкам можно искать, думается, в колоссальной внутренней работе мозга ученого, что воспринимается другими (а порой и самим ученым) как озарение, как интуиция.

§ 5. Развитие представлений об эволюции звезд на основе теории термоядерных источников звездной энергии

1. Решение проблемы звездных источников энергии (30-е гг. XX в.). Идея выделения звездной энергии за счет термоядерного синтеза $H \rightarrow He$, высказанная Эддингтоном в 1920 г., почти два десятилетия оставалась неподкрепленной гипотезой, а сам он склонялся, вслед за Джинсом, к идее аннигиляции: непосредственное превращение H в He требовало случайного столкновения и взаимодействия одновременно четырех ядер атомов водорода, вероятность чего очень мала.

Поиски более реалистического механизма такого синтеза были продолжены с начала 30-х гг. Между тем оценки Джинса для возраста Галактики, подтверждавшие так называемую «длинную шкалу» существования звезды (10^{13} лет и более), в 1934—1937 гг. подверглись критике со стороны американского астронома Б. Бока (1906—1983) и молодого советского астрофизика В. А. Амбарцумяна, давших оценку возраста Галактики (как и Джинс, по времени «жизни» скоплений) в 10^{10} лет.

Термоядерная природа источника энергии звезд была обоснована и получила прочный теоретический фундамент, после того как были открыты, почти одновременно несколькими учеными, два механизма осуществления перехода H в He в недрах звезды: протон-протонный и углеродно-азотный циклы, иначе две цепи ядерных превращений, результатом которых в обоих случаях было превращение водорода в гелий. Первый был открыт в 1938 г. американским физиком-теоретиком Г. Бете (и одновременно независимо Ч. Критчфильдом), а второй в 1938—1939 гг. независимо Бете и немецким физиком и астрофизиком К. Вейцзеккером. Вся дальнейшая теория эволюции звезд развивалась и развивается в наши дни на основе этих представлений об источниках звездной энергии. Первый расчет модели равновесной звезды (Солнца) с термоядерным источником энергии провел в 1941 г. американский астрофизик Мартин Шварцшильд (сын К. Шварцшильда). Он оценил содержание He на Солнце и тео-

ретически предсказал наблюдательные следствия — параметры дифференциального вращения Солнца, в целом подтвердившие теорию.

По современным представлениям, в звездах имеют место оба цикла (называемые теперь соответственно водородным и углеродным). Первый, идущий без катализаторов, осуществляется в звездах с массой $M \leq 1,2 M_{\odot}$, второй — с участием в качестве катализаторов углерода, азота, кислорода и фтора, требует более высокой температуры и осуществляется в звездах с $M \geq 1,2 M_{\odot}$. Проблема источника звездной энергии в настоящее время считается в основном решенной. Возникавшие в последние годы трудности в связи с обнаружением недостаточности потока нейтрино из недр Солнца (обусловленного указанными реакциями), как считают, могут быть сняты и в рамках принятой теории.

2. Возрождение идеи продолжающегося звездообразования в Галактике (40—50-е гг. XX в.). Эта идея впервые была рассмотрена в конце XVIII — начале XIX в. В. Гершелем на основе теории гравитации и эволюционной интерпретации планетарных туманностей с ярким центром и путем построения длинных «эволюционных» рядов наблюдаемых туманностей, демонстрирующих различную степень концентрации материи к одному или нескольким центрам (которые он называл центрами преимущественного скапливания). Вывод Гершеля о продолжающемся и в наше время рождении звезд, поддержанный раньше всех Араго в его знаменитых астрономических публичных лекциях, господствовал вплоть до начала XX в. Оценки времени жизни звезд постепенно возрастали, по мере того как уточнялся возраст Земли (к концу XIX в. он оценивался уже в 10^9 лет).

На новом этапе развития звездной астрофизики трудности эволюционной теории звезд (и эволюционной интерпретации диаграммы Г—Р) на основе гравитационного сжатия (последние попытки в этом направлении были сделаны Ресселом во втором десятилетии XX в.) привели к усиленной разработке гениальной догадки Дж. Джинса о внутриатомной природе источника звездной энергии. Однако аннигиляционное объяснение процесса привело к выводу о чудовищно длинной «жизни» звезды (длинная шкала эволюции) в десятки миллиардов лет! Эта оценка господствовала немногим более четверти века, но вследствие огромного авторитета Джинса закрепилась в астрономической картине мира, странным образом при этом трансформировавшись — усилившись до вывода о чрезвычайно давнем и практически одновременном образовании всех наблюдаемых звезд (хотя одно вовсе не следовало с необходимостью из другого). Такое представление сформировалось в значительной степени еще и под влиянием знаменитой теории Джинса о гравитационной неустойчивости и фрагментации диффузного вещества как начале формирования вообще небесных тел, в частности звезд. Разработанная еще до окончательного установления межзвездного поглощения света (Трюмплер, 1930) и, следовательно, до открытия существенной роли

поглощающей материи в Галактике, теория Джинса в сочетании с «очевидной» пустотой межзвездного пространства и оценкой жизни звезд в 10^{13} лет и более убедительно свидетельствовала, что формирование звезд давно исчерпало практически всю диффузную материю, т. е. завершилось.

Оценки Джинса оказались ошибочными (как и аннигиляционная идея звездных источников энергии), но его теория гравитационной неустойчивости, напротив, стала фундаментом дальнейшего развития представлений как в космогонии, так и в современной эволюционной релятивистской космологии.

С конца 30-х гг. в звездной астрофизике (а затем и в космологии) начинается борьба между сторонниками «длинной шкалы» развития звезд (а с ними и всей наблюдаемой Вселенной) и «короткой шкалы», защитники которой опирались на идею (а затем и теорию) термоядерной природы звездных источников энергии. Развитие и довольно быстрый, к середине 50-х гг., исход этой борьбы в пользу второй концепции определились стремительным прогрессом научно-технической базы астрофизики и выходом этого раздела на передний план в качестве главного направления астрономических исследований. Решать поставленные проблемы стало возможно только на основе огромного и точного наблюдательного материала — данных о светимостях, массах, составе звезд, равно как на основе успехов в самой ядерной физике.

Тогда же произошло существенное изменение представлений о масштабах внегалактической Вселенной. В начале 50-х гг. было обнаружено существенно большее различие, чем полагали, светимости коротко- и долгопериодических цефеид. Последние оказались много ярче, чем считалось. Это привело к увеличению оценок расстояний до галактик (в 2—3 раза до ближайших и в 5—6 раз до наиболее далеких, В. Бааде).

Еще в начале 40-х гг. американские астрономы Ф. Уиппл и Г. Рессел обратили внимание на то, что голубые звезды-гиганты (по светимости), чрезвычайно «расточительно» расходующие свою энергию, не могут существовать в таком режиме миллиарды лет (возраст Солнца).

И действительно, по скорости протекания реакции ядерного синтеза и реальному расходу энергии такими звездами немецкий астроном А. Унзольд в 1944 г. рассчитал время жизни звезд класса O7 (около $1,3 \cdot 10^7$ лет). И хотя в конце 40-х гг. была сделана попытка объяснить это в рамках картины длинной шкалы «омоложением» таких звезд за счет аккреции внешнего вещества (Ф. Хойл, по существу возрождавший этим старую гипотезу Майера), появились новые независимые факты, свидетельствовавшие об истинной молодости таких звезд.

Признание после 1930 г. роли газовой-пылевой материи в звездной Вселенной вновь возродило интерес к исследованию распределения ярких звезд по соседству с пылевыми космическими облаками (такие исследования в середине XIX в. под влиянием

космогонии Гершеля усиленно проводил английский астроном Р. Проктор). Все это с неизбежностью вело и к возрождению гершелевой идеи продолжающегося (в том числе и группового) рождения звезд в нашу эпоху. Еще в 1946 г. Б. Бок пришел к заключению, что «мы почти вынуждены допустить вероятность того, что звезды все еще «рождаются» или что по крайней мере некоторые сверхгиганты начали существование менее $5 \cdot 10^8$ лет назад». В 1947 г. В. А. Амбарцумян впервые интерпретировал известные и ранее видимые группировки О- и В-звезд как реальные пространственные динамически неустойчивые, распадающиеся системы и увидел в этом прямое свидетельство продолжающегося, к тому же группового, звездообразования в Галактике. Он назвал их О- и В-ассоциациями (см. ниже). А в 1948 г. Рессел констатировал уже определенное изменение в общей астрономической картине мира: «Убеждение, что эти расточительные звезды [яркие сверхгиганты] начали свою излучательную карьеру относительно недавно в космическом масштабе времени, широко распространено».

В том же 1947 г., объясняя сочетание молодости и динамической неустойчивости ОВ-ассоциаций, Амбарцумян выдвинул гипотезу образования звезд в результате распада неких сверхплотных тел (в дальнейшем за ними укрепилось название «Д-тела»). Стремгрен детализировал картину продолжающегося звездообразования, сделав вывод, что молодые, горячие голубые звезды-гиганты принадлежат населению I, тогда как звезды населения II намного старше.

Проблема продолжающегося звездообразования в настоящее время считается решенной. Главным доказательством полагают при этом следующее исходное обстоятельство — существование массивных ярких звезд О- и В-классов, возраст которых не может превышать (при термоядерном источнике их энергии) $\approx 10^7$ лет.

3. Развитие представлений о направлении эволюции звезд и судьба прежних идей. С конца 30-х гг. укрепление представлений о термоядерной природе источника звездной энергии вновь поставило перед астрономами — теоретиками и наблюдателями проблему эволюционной интерпретации Г—Р диаграммы. И поскольку первоначальная «очевидная» интерпретация ее обеих ветвей — горизонтальной ветви гигантов и главной последовательности — как направления хода эволюции не прошла, вставал вопрос о самом направлении эволюционного пути звезд.

Новую теорию эволюции звезд успешно разрабатывали в 40—50-е гг. Стремгрен, Хойл, но главным образом М. Шварцшильд. На втором, наблюдательном пути (первым был теоретический расчет термоядерных реакций в недрах звезд как фактор их эволюции) огромную роль сыграли построения диаграмм Герцшпрунга—Рессела для отдельных скоплений звезд, начатые впервые американским астрофизиком Д. П. Койпером (1905—1973). Скопления давно и естественно воспринимались как группы генетически связанных, т. е. сходных по возрасту и химическому сос-

таву звезд, к тому же находящихся практически на одном расстоянии от земного наблюдателя, что позволяло судить и об истинных отношениях светимостей звезд скопления.

Койпер первым построил в 1937 г. сводную диаграмму Герцшпрунга—Рессела для многих рассеянных скоплений и обратил внимание на резкое различие их между собой. Он сравнил со своими результатами проведенные ранее теоретические расчеты Стремгрена и объяснил различие диаграмм различным содержанием водорода в звездах разных скоплений, что уже могло служить намеком на разный возраст скоплений. Скопления стали в дальнейшем главным ключом к разгадке самого направления эволюции звезд, к выявлению так называемых эволюционных треков звезд.

Наиболее ценную информацию принесло подобное исследование шаровых скоплений. Первые детальные диаграммы для них были построены и изучены в 1952 г. Э. Сэндиджем и М. Шварцшильдом. Звезды этих наиболее старых комплексов в Галактике неожиданно связали относительно узким «мостом» ветвь гигантов и главную последовательность, а иные (рис. 26 б) заполнили пробел Герцшпрунга между красными карликами и красными гигантами. Таким образом, появилось отчетливое указание, что направление эволюции звезд, вопреки всем ожиданиям, «перпендикулярно» главной последовательности! Этот вывод Сэндидж подтвердил и уточнил в 1954 г., показав, что звезды шаровых скоплений переходят с главной последовательности в область красных гигантов.

В начале 50-х гг. рядом астрономов США (Г. Джонсоном и др.) был разработан новый эффективный метод точной звездной фотометрии — трехцветной электрофотометрической так называемой UVV-системы (для видимой и близкой ультрафиолетовой областей спектра). Это на порядок повысило точность определений истинных блеска и цвета звезд (с учетом поглощения света) и позволило проводить сравнительное исследование огромного и однородного наблюдательного материала — характеристик звезд. Одним из первых результатов стала оценка относительного возраста рассеянных скоплений по светимости их ярчайших звезд (чем звезды ярче, тем скопление моложе), проведенная в 1954 г. Сэндиджем и независимо рядом других астрономов. Важным шагом в определении относительного возраста скоплений было установление Сэндиджем (1956) положения «стандартной главной последовательности» для скоплений так называемого «нулевого» возраста (принятого за нулевой). Большой вклад в исследование скоплений разного типа начиная с 40-х гг. XX в. внесли советские астрономы П. Н. Холопов, Б. Е. Маркарян, И. М. Копылов и др. В частности, для уточнения масс скоплений чрезвычайно важным было открытие П. Н. Холоповым обширных внешних областей — «корон» скоплений.

В результате этой многолетней колоссальной работы по исследованию скоплений к настоящему времени сформировалась весь-

ма стройная картина образования и развития скоплений как группировок генетически связанных звезд (возникающих преимущественно именно в виде скоплений). В нашей Галактике выделено два больших класса их, один из которых ведет свою родословную от газопылевой плоской составляющей ее (рассеянные скопления со звездным населением I типа), а другой — от диффузной материи сферической составляющей (шаровые скопления со звездами населения II типа, в целом на несколько порядков более богатые по населенности и более старые образования из материи первичного состава, т. е. бедные тяжелыми элементами, в частности металлами). Возрасты первых оцениваются в 10^6 — 10^9 лет, тогда как вторых, шаровых, до 10^{10} лет. В этой картине ассоциации, т. е. весьма обширные разреженные группировки без заметной концентрации, включающие O- и B-звезды, рассматриваются как реальные, но не самостоятельные системы, а лишь наиболее заметные элементы протяженных областей звездообразования — «звездных комплексов» (Ю. Н. Ефремов).

Новые характерные элементы диаграмм Г—Р для скоплений стали мощным стимулом развития теории внутреннего строения и эволюции звезд. Современная теория образования и эволюции звезд базируется на представлениях восходящей еще к В. Гершелю классической «диффузной космогонии». Она позволяет удовлетворительно объяснить практически все типы звезд и их группировок, явлений и эволюционных процессов в мире звезд и туманностей, вплоть до таких загадочных ранее феноменов, как, например, образование планетарных туманностей, взрывы сверхновых, от которых остаются нейтронные звезды-пульсары либо черные дыры (или то, что заменит черные дыры в будущей квантово-гравитационной теории).

Любопытна судьба более ранних идей относительно источников звездной энергии. Идея выделения энергии звездой за счет сжатия возродилась в описании стадии протозвезды—сравнительно кратковременного (10^5 — 10^6 лет) сжатия диффузной газопылевой материи и разогрева ее в центральной части (при достаточной массе) до критической температуры в 10^7 К. Затем наступает основная, ядерная стадия излучения звезды в течение 10^6 — 10^{10} лет (для звезд с массами от $30 M_{\odot}$ до $1 M_{\odot}$ соответственно). Наконец, после исчерпания запасов ядерной энергии наступает чисто тепловое высвечивание энергии (стадия белого карлика) в зависимости от массы до 10^9 лет. Таким образом, современную картину эволюции звезды можно представить как последовательную смену источников энергии.

Глава III
**КОСМОГОНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ КАРТИНЫ МИРА
В КОНЦЕ XIX—XX в.**

Нет ни на миг остановки, и не может быть остановки.
Если бы я, и вы, и все миры, сколько есть; и все,
что на них
и под ними, снова в эту минуту свелись к бледной
текучей туманности, это была бы безделица
при нашем долгом пути,
Мы вернулись бы снова сюда, где мы стоим сейчас,
И отсюда пошли бы дальше, все дальше и дальше...

У. Уитмен

**§ 1. Два направления
в планетной космогонии.
Закономерность или случайность
возникновения планетной системы**

Еще в XVIII в. в рамках гравитационной ньютоновской картины мира возникло два направления в объяснении происхождения Солнечной системы: как чрезвычайно редкого и случайного (Уистон, Бюффон) или как закономерного (Кант, Лаплас) процесса.

Несмотря на выяснившуюся позже несостоятельность обеих концепций в существенном, каждая включала отдельные плодотворные идеи, которые не раз использовались в дальнейшем и вновь используются в наши дни. О первой вспомнили, когда в конце XIX в. столкнулись с необъяснимым на основе механики распределением в Солнечной системе момента количества движения, обратным распределению масс. Это подрывало идею о единой родительской туманности Солнца и планет.

Противоречие снималось при допущении взаимодействия Солнца с внешним телом. Эта идея получила воплощение в ряде вариантов предполагавшегося приливного воздействия на Солнце прошедшей близ него звезды (Т. Чемберлин и Ф. Мультион, 1900, 1916; Дж. Джинс и Х. Джеффрис, 1916, 1917).

**§ 2. Вихревая гипотеза Фая
как возрождение идей вихревой Вселенной
Анаксагора — Декарта
и ее развитие В. Г. Фесенковым**

Возродив декартову идею космических вихрей, но в применении не к современному, а лишь прошлому состоянию Вселенной, Э. Фай (1814—1902) развил в 1884 г. свою космогоническую гипотезу происхождения Солнечной системы и звезд, особое внимание уделив двойным звездам. Начальное состояние материи нынешней Вселенной по гипотезе Фая — хаотически рассеянные в пространстве частицы типа метеорной пыли, в отличие от сход-

ных предположений Канта наделенные не только взаимным тяготением, но и беспорядочными движениями. Последнее порождает местные завихрения различных направлений, так что суммарный момент количества движения всей рассматриваемой системы остается равным нулю (этим был устранен основной дефект гипотезы Канта). Поскольку большая часть вещества при этом втягивается в центр соответствующего вихря, то все пространство подразделяется на «вихревые клетки», одна из которых и стала протосолнечной системой. Метеорный (немолекулярный) характер частиц обеспечивал возможность неупругих столкновений, что в свою очередь делало реальным торможение, слипание и разогрев частиц. Для формирования планет и спутников Фай предположил возникновение в спиралевидных ветвях вихрей (которые, как он думал, постепенно превращаются в полностью оторвавшиеся кольца) вторичных завихрений и т. д. Между тем часть материи втягивается в центр основного вихря и образует центральное сгущение, которое от сжатия разогревается, превращаясь в звезду — Солнце. Солнце образуется значительно позднее планет (особенно внутренних, наиболее старых, по гипотезе Фая).

Зная лишь один возможный источник звездной энергии — сжатие под действием силы тяготения, которое обеспечивало излучение звезды не более чем на десятки миллионов лет (Гельмгольц, Кельвин), — Фай пытался согласовать это с геологическими и палеонтологическими данными о том, что возраст Земли не менее миллиарда лет.

Гипотеза Фая впервые объясняла некоторые детали Солнечной системы — распределение эксцентриситетов планетных орбит, образование комет (у Лапласа они считались чуждыми «пришельцами»), обратное вращение Урана и т. п. Свою вихревую гипотезу Фай применил и к образованию двойных звезд из различных ядер-сгущений одной и той же туманности (в духе В. Гершеля). Более того, он рассмотрел общую концепцию развития первоначальной хаотической материи и пришел к выводу, что в различных случаях можно ожидать разных результатов — образования одиночной звезды без спутников; звезды, окруженной бесчисленными малыми телами, типа астероидов и комет; двойной звезды или же, наконец, звезд с набором спутников планетарных размеров, составляющих плоскую систему (предвосхитив результаты современных расчетов процесса на ЭВМ).

Интенсивное развитие наблюдательной астрономии, физики и рождение астрофизики показали к концу XIX в. неудовлетворительность гипотезы Фая в целом, как и ряда других гипотез, выдвигавшихся тогда. Но некоторые идеи Фая удержались в науке. Особенно плодотворной оказалась его идея местных завихрений, которая нашла выражение в более поздних космогонических гипотезах (например, у Вайцзеккера) и продолжает привлекать внимание космогонистов наших дней при рассмотрении проблем происхождения галактик и более крупномасштабных элементов Метагалактики.

В 1918 г. подобную же вихревую гипотезу развил молодой тогда советский ученый В. Г. Фесенков (1889—1972). Она была интересна тем, что впервые включала идею необходимости учета в космогонии астрофизических процессов. Так, Фесенков обратил внимание на возможную роль конвекционных токов в протопланетной туманности в формировании первичных вихрей — зародышей планет.

§ 3. Планетезимальная гипотеза Чемберлина — Мультона

Новую гипотезу происхождения Солнечной системы выдвинули в США (1900) геолог и астроном Т. К. Чемберлин (1843—1928) и астроном-теоретик Ф. Р. Мултон (1872—1952).

К концу XIX в. в космогонии все еще удерживалась классическая небулярная планетная гипотеза Лапласа. Ее главное противоречие, относящееся к проблеме распределения момента количества движения в Солнечной системе, и устранялось гипотезой Чемберлина — Мультона.

По этой гипотезе планетная система возникла из вещества самого Солнца в результате отрыва от него «струи» газа приливным действием близко прошедшей звезды. Предполагалось, что газовая струя, получив от другой звезды часть ее момента количества движения, сначала закручивалась вокруг Солнца спиралью, а затем, по мере расширения и быстрого охлаждения газа, конденсировалась в рой мелких сгустков — «планетезималей» (маленьких планеток). Подобно снежным хлопьям, они стали падать обратно на Солнце, но имея тангенциальную скорость от «пришлой» звезды, приобретали эллиптическое движение вокруг него. Далее все шло, как в гипотезах Канта и Лапласа: образование планет и спутников в результате конденсации вокруг случайных сгущений — но не из частиц газа или пыли, а из промежуточных тел — планетезималей. В своей последней, незаконченной работе («Две солнечные семьи: дети Солнца», 1928) Чемберлин рассмотрел образование планет со спутниками, астероидов и отдельно — комет и метеоритов. Чемберлин допускал, что последние могут быть обломками планетоподобных тел, но не современной нам Солнечной системы, а других, ранее существовавших на ее месте планетных систем.

Основная критика планетезимальной гипотезы со стороны астрономов была вызвана ее казавшимся неприемлемым мировоззренчески следствием — выводом о крайней редкости планетных систем из-за малой вероятности сближения звезд в Галактике. В 20-е г. ее критиковали и геологи, так как тогдашние данные геологии и геофизики, казалось, говорили о прохождении Земли через огненно-жидкую стадию. Дело в том, что существенным отличием планетезимальной гипотезы от предыдущих было утверждение нового, очень длительного процесса постепенного слипания планетезималей при неупругих столкновениях друг с другом.

Но при таком слипании разогрев вещества не доходил до его плавления и расплавленному состоянию Земли в этом процессе не находилось места.

§ 4. Приливная гипотеза Джинса — Джеффриса

Идею Чемберлина — Мультонна о приливном образовании планетной системы использовал Дж. Джинс, построив в 1916 г. новую приливную гипотезу в сотрудничестве с английским астрономом и геофизиком Х. Джеффрисом (рис. 27). Гипотеза эта была особенно популярна в 20—30-е гг. В отличие от Чемберлина и Мультонна Джинс вновь вернулся к идее исходного горячего (расплавленного) состояния планет. По его расчетам, такие планеты могли образоваться непосредственно из еще не остывшего вещества, вырванной из Солнца струи. Его результаты, благодаря огромному авторитету Джинса, были восприняты с большим доверием и долгое время практически не подвергались сомнению (до конца 30-х гг.). В этой гипотезе, как казалось, снимались все главные трудности прежней планетной космогонии: проблема момента, необходимость огненно-жидкой стадии планет (что долгое время неправильно понималось как необходимость такого состояния всей планеты целиком в самом начале ее существования), наконец, сама возможность формирования планет из горячей газовой струи под действием сил гравитации, как казалось, доказанная Джинсом.

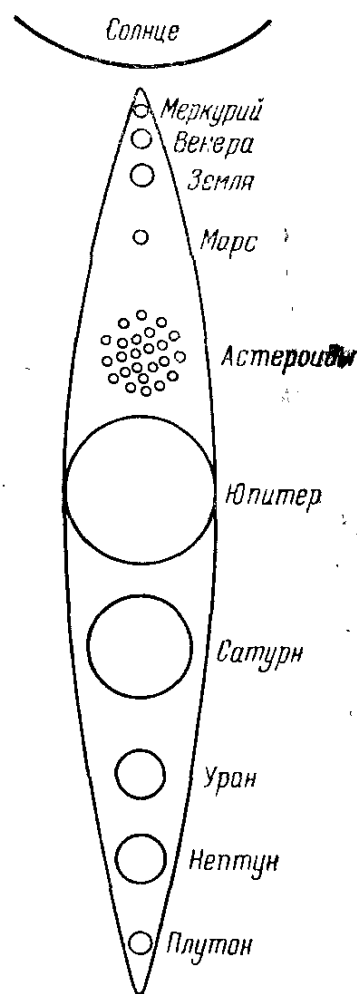


Рис. 27. Приливная космогоническая планетная гипотеза Джинса — Джеффриса. Схема сигарообразного приливного «выброса» солнечной материи и формирование из него планет

Но и гипотеза Джинса не выдержала строгого анализа. Критика этой гипотезы Г. Н. Ресселом (1938) и Н. Н. Парийским (1943), а также другими астрономами показала ее несостоятельность, главным образом ввиду того, что она не могла объяснить, как выяснилось при более строгих расчетах, ни проблемы момента, ни самого возникновения планет из вещества Солнца. (Необходимость огненно-жидкого начального состояния планет ставил под сомнение еще В. И. Вернадский; он выдвинул и идею радиоактивного разогрева первоначально холодной планеты. Но эти идеи не были восприняты астрономами-космогонистами.)

В свое время гипотеза Джинса (как и вообще приливные гипотезы) критиковалась рядом астрономов и философов еще и за то, что из нее вытекала крайне малая вероятность самого возникновения планетных систем ввиду малой вероятности сближения звезд в мировом пространстве. Но Джинс, ссылаясь на расширение Вселенной, указывал, что звездная плотность и, следовательно, вероятность сближений звезд были намного больше на ранней стадии существования Вселенной.

§ 5. Кризис механической и формирование новой планетной космогонии на базе астрофизики, космохимии, метеоритики, геологии

Приливные гипотезы были оставлены в начале 40-х гг. Наиболее ценным их вкладом в космогонию последующей эпохи было возрождение и значительно более четкое, чем у Канта, выражение идеи «промежуточных» тел — планетезималей и их холодного постепенного слипания. Это, в частности, впервые объяснило недостаток на Земле легких летучих элементов. Но во всех остальных существенных пунктах эти гипотезы, как и предшествовавшие, потерпели крах. В итоге в начале 40-х годов планетная космогония оказалась в тупике (где давно пребывала и звездная...).

Из кризисного состояния планетную космогонию вывел советский математик, геофизик, географ, академик О. Ю. Шмидт (1891—1956). Прежде всего он осуществил синтез обоих направлений в космогонии. В 1944 г. Шмидт опубликовал свою «метеоритную» гипотезу образования планетной системы опять-таки при взаимодействии двух независимых объектов: Солнца и «роя тел», захваченного им при прохождении через плоскость Галактики, что делало подобную встречу существенно более вероятной, чем у Джинса и его предшественников. «Асимметричность» захвата аргументировалась ссылкой на возможность «косого» (по краю облака) прохождения Солнца. До Шмидта захват в задаче трех тел считался в небесной механике принципиально невозможным (теорема Шазы). Хотя в острых дискуссиях с астрономами Шмидт доказал возможность захвата в задаче трех тел, эту первую, но не главную часть концепции он в дальнейшем оставил. В этом отпала нужда, когда шведский астрофизик Х. О. Альвен позже показал, что момент количества движения Солнца мог быть значительно уменьшен в результате передачи его через посредство магнитного поля прото-Солнца окружающей протопланетной туманности.

В дальнейшем Шмидт, его последователи, а также авторы других подобных гипотез — об образовании планет в околосолярном газопылевом облаке (именно к газопылевому от чисто «метеоритного», т. е. пылевого облака Шмидт перешел в развитии своей гипотезы) — допускали генетическую связь Солнца и про-

топланетного облака. Эта мысль в наши дни находит подтверждение в обнаружении пылевых колец, возможно, протопланетных дисков около некоторых молодых горячих звезд, например вокруг Веги.

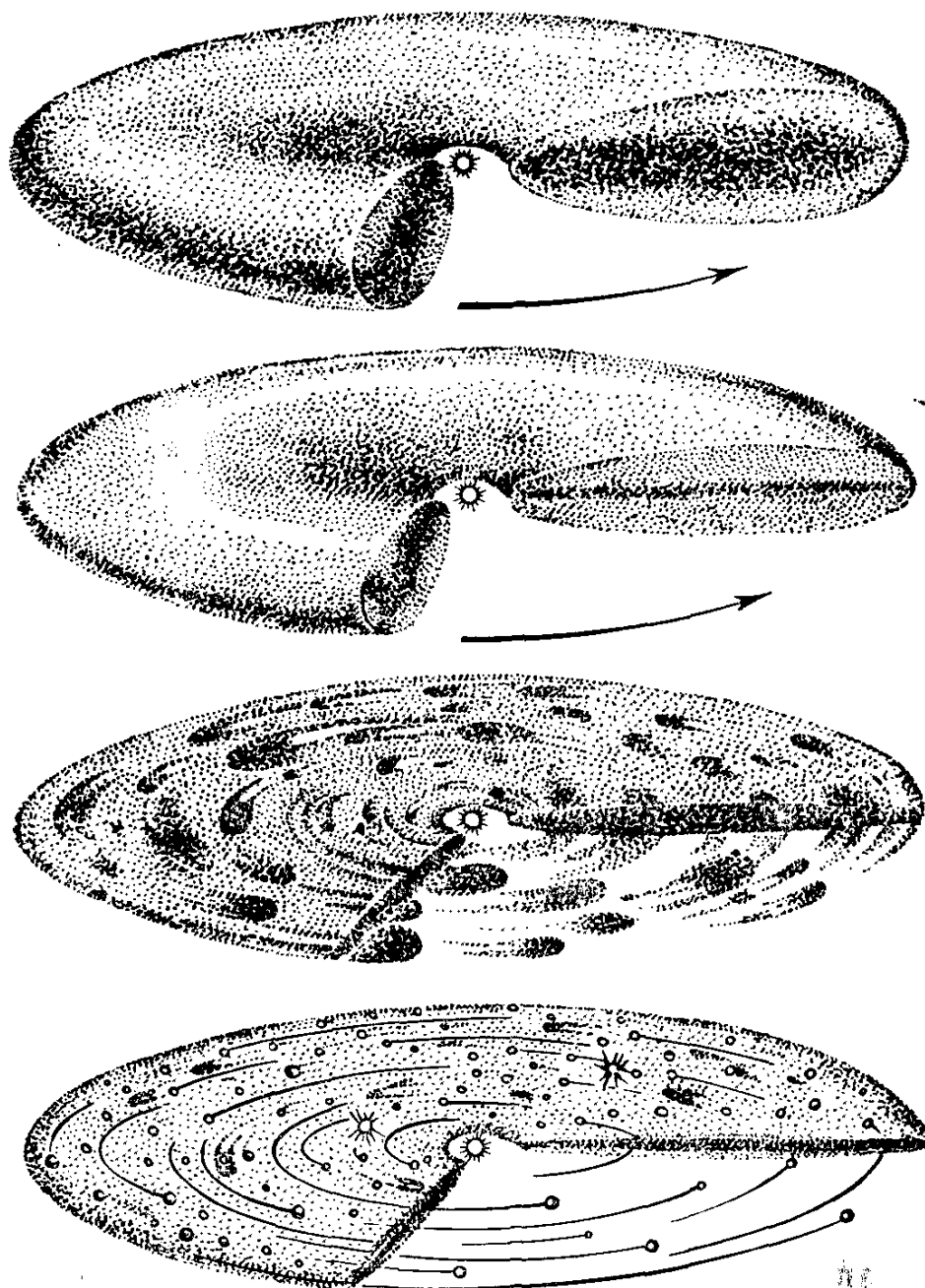


Рис. 28.
Космогоническая гипотеза О. Ю. Шмидта (первый этап планетообразования — формирование планетезималей)

Развитая Шмидтом и его школой теория холодного формирования планет из газопылевого облака составляет вторую часть и основное ядро его космогонической концепции и содержит наиболее ценные результаты (рис. 28). Она, несомненно, оказала определяющее влияние на все дальнейшее развитие планетной

космогонии и легла в основу современных, практически ставших общепризнанными представлений.

Наконец, третья группа вопросов, рассмотренных в космогонии Шмидта, относится к проблеме эволюции Земли как планеты после завершения в основном процессе ее формирования. Исходным пунктом здесь явился общий вывод Шмидта об отсутствии в развитии планет и Земли огненно-жидкой стадии для всей планеты в целом. Разогревание и частичное расплавление центральных областей Земли согласно гипотезе Шмидта происходило позже, в результате накопления внутри нее тепла за счет распада радиоактивных элементов (идея В. И. Вернадского), сжатия протопланеты, а также за счет выделения энергии при гравитационной дифференциации первоначально более или менее однородной массы Земли.

§ 6. Звездная космогония на основе идеи гравитационного скапливания диффузной материи. От В. Гершеля до наших дней

Идея возникновения звезд родилась еще в древности, когда впервые были замечены неизвестные ранее звезды в уже знакомых созвездиях (Гиппарх, 134 г. до н. э.). Позднее к ней возвращались первые европейские наблюдатели сверхновых звезд — Тихо Браге (1572) и Кеплер (1604), которые полагали, что эти две звезды действительно вновь образовались из туманной материи Млечного Пути. Таким образом, продолжающееся звездообразование представлялось более или менее естественным. В космогонии Декарта звезды возникали в центре вихрей (куда якобы стекалась легкая материя, тогда как тяжелая была отброшена на периферию вихря, где и формировались планеты).

Зарождение физически более обоснованной гравитационной звездной космогонии можно связать с предположением Ньютона о формировании звезд из разреженной первичной материи (саму эту идею высказывали еще Т. Браге и И. Кеплер). Но он представлял это как единичный акт в «начале» существования Вселенной, которая в дальнейшем мыслилась стационарной, неизменной. Такое представление стало надолго общепринятым. Другую позицию занял Кант (1755), что, впрочем, стало известно практически лишь после 1791 г.

Между тем именно в 1791 г. В. Гершель, рассматривавший до этого все туманности в духе Райта, как звездные острова Вселенной, установил диффузную природу планетарных туманностей (по NGC 1514 в Лире) и разделил туманности на «истинные» и «ложные» (звездные системы). Упомянутую планетарную туманность с ярким ядром он интерпретировал как звезду, формирующуюся в результате гравитационного сжатия диффузной материи. Развивая эту гипотезу путем подбора длинных рядов туманностей с постепенно усиливающейся к центру (или нескольким центрам) яркостью, что интерпретировалось как последовательные

стадии сгущения, он зачислил в 1811—1814 гг. большинство «ложных» туманностей (галактик) в число диффузных объектов — якобы формирующихся звезд (или их групп). Гипноз этой гипотезы, временно поколебленной в середине XIX в. открытиями Росса (комковатой структурности туманностей, особенно спиральных), в последней трети XIX в. вновь усилился после спектрального доказательства В. Хеггинсом газовой природы многих туманностей и «объяснения» звездного типа спектров остальных млечных туманностей их якобы пылевым составом (т. е. отраженным свечением).

Необходимо подчеркнуть, что в течение практически всего XIX и в первой четверти XX в. господствовали восходящие к Гершелю представления о том, что звездообразование продолжается и в нашу эпоху и проявляется в разнообразии вида млечных туманностей. Эту идею широко пропагандировал Араго. С начала же второй половины XIX в. под влиянием прежде всего работ Р. Проктора, заострившего внимание на существовании на небесной сфере «зоны избегания» млечных туманностей близ галактического экватора, концепция островных вселенных, казалось, совершенно рухнула, и вплоть до начала XX в. весь массив млечных туманностей с их характерной завораживающей концентрацией к галактическим полюсам рассматривался как множество центров конденсации диффузной газовой материи в пределах нашей звездной системы. Под этим углом зрения воспринималась наблюдаемыми уже выявлявшаяся струйчатая (филаментарная) картина распределения млечных туманностей, в частности и гершелев пласт туманностей (перпендикулярный Млечному Пути); в этой характерной структуре видели проявление процессов фрагментации диффузной материи Галактики с дальнейшим превращением этого вещества в звезды и их скопления.

Подобные тенденции в какой-то мере сохранялись и в первые два десятилетия XX в. в космогонических работах, например Джинса, который рассматривал, в частности, эллиптические туманности как формирующиеся звезды, а структуру спиральных туманностей считал результатом процесса сжатия в звезду быстро вращающегося и уплощающегося при этом сгустка диффузной материи.

Лишь с середины 20-х гг. XX в., после окончательного доказательства того, что «мир туманностей», наблюдаемых вне полосы Млечного Пути (и потому называвшихся «внегалактическими»), — это множество далеких самостоятельных звездных систем — галактик, а не эволюционная последовательность сгущающихся в звезды масс диффузной материи, звездная космогония надолго утратила наблюдательную почву. Образование звезд стали относить к весьма далекому прошлому (до 10^{14} — 10^{15} лет тому назад). К этому астрономов согласованно толкали как звездно-динамические соображения, требовавшие, казалось, с полной определенностью именно таких колоссальных сроков для достижения Галактикой ее современного динамического равновесного состояния,

так и господствовавшие астрофизические представления о том, что источником энергии звезд является аннигиляция вещества, которая обеспечивала их существование в течение указанных гигантских периодов времени.

§ 7. Дезинтеграционная звездная космогония Амбарцумяна

На новой наблюдательной основе звездная космогония возродилась к середине XX в. в виде концепции советского астрофизика академика В. А. Амбарцумяна, самостоятельно пришедшего к выводу о продолжающемся в наше время, к тому же групповом (что допускал еще В. Гершель), звездообразовании. Основой для построения этой концепции послужило то, что В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян в 1947 г. обратили внимание на особые свойства весьма разреженных групп горячих голубых звезд спектральных классов О и В (сверхгигантов, весьма интенсивно расходующих запасы своей энергии), которые называли «звездными ассоциациями». В последних они усмотрели признаки расширения. Все это трактовалось как свидетельство неустойчивости и, следовательно, молодости таких систем: их возраст оценивался всего в несколько миллионов лет. Вместе с тем сам процесс звездообразования Амбарцумян мыслил как противоположный гравитационной конденсации.

Быть может, не без влияния все более входивших тогда в сознание идей расширяющейся Вселенной и вытекающих отсюда следствий—о начале такого расширения из сверхплотного состояния (идеи Леметра, Эддингтона, развитые Гамовым и др.) Амбарцумян выдвинул в 1947 г. гипотезу, которая как бы повторяла в миниатюре картину эволюции всей наблюдаемой Вселенной: в любой части современной Вселенной могут сохраняться остатки сверхплотного первичного вещества, которые, распадаясь, дают начало звездам, точнее, группам их. Это и наблюдается, по мысли Амбарцумяна, в виде расширяющихся недолговечных и, следовательно, молодых скоплений горячих звезд—О- и В-ассоциаций.

Предположив, что такие области звездообразования находятся в центральных частях галактик, Амбарцумян в середине 50-х гг. предсказал открытие особой активности ядер галактик—в виде разного рода быстропеременных процессов, сопутствующих дезинтеграции вещества (взрывы, интенсивные истечения и выбросы вещества, быстрые изменения светимости).

В целом гипотеза Амбарцумяна не вошла в современную астрономическую картину мира как равноправно сосуществующая с классической концепцией конденсации. Не последней причиной этого, видимо, было то, что гипотеза Амбарцумяна не была детально развита. Но ее удивительное соответствие открытиям последних десятилетий (активность ядер у так называемых сейфертовских галактик и позже открытых галактик Маркаряна; чудовищная активность ядер радиогалактик и особенно квазаров) поз-

воляет утверждать, что в концепции дезинтеграции, видимо, есть зерно истины, обнаруженное благодаря глубине интуиции и независимости мышления автора этой гипотезы.

Между тем возрождение общей идеи продолжающегося процесса звездообразования стало новым стимулом для звездно-космогонических исследований и на традиционной основе гравитационной конденсации разреженной материи. Здесь в качестве подтверждающих наблюдательных данных рассматривалось открытие (Б. Бок, 1947) чрезвычайно плотных небольших округлых образований — «глобул».

Безусловно, господствующая ныне «диффузная космогония» внесла огромный вклад в современную астрономическую картину мира. А многие ее результаты в известном смысле и окончательны. Так, даже если альтернативная «бюраканская» концепция подтвердилась бы в главном (существование не подчиняющихся современной фундаментальной физике Д-тел как исходного пункта космогонического процесса), и в этом случае экзотические Д-тела должны в конечном счете производить обычную диффузную материю. Дальнейшая же эволюция ее подчиняется обычной физике и должна описываться с позиций классической диффузной космогонии.

В рамках последней перспективную идею механизма звездообразования выдвинул в 60-е гг. советский астрофизик Э. А. Дибай (1931—1983). Это — звездообразование, стимулированное возникшими ранее молодыми массивными, быстро эволюционирующими звездами, с сильным звездным ветром, которые нагревают окружающий газ или даже взрываются как сверхновые. Стремительное расширение вещества в окрестностях такой звезды вызывает образование ударной волны, которая, встречая случайные уплотнения среды, резко обжимает их, ускоряя превращение их в звезды. Объект при этом приобретает характерный вид «кометообразной туманности» (интересно, что еще В. Гершель отметил на небе такие загадочные для него формы туманностей). Идея Дибая — вклад в фундамент новой, «нелинейной» космогонии, находящей ныне широкое развитие.

По современным данным, образование звезд в спиральных галактиках происходит в гигантских комплексах из звезд и диффузной среды размерами во многие сотни парсеков, содержащих не только отдельные молодые звезды, группы и ассоциации их, молодые звездные скопления, но и группы скоплений и, так сказать, «ассоциации ассоциаций».

Можно думать (и на это наводят исторические примеры подобных дискуссий, например о природе лунных кратеров, о природе света...), что рассматриваемые альтернативные звездно-космогонические концепции отражают лишь *разные стороны* одного общего более сложного космогонического процесса. Описываемые ими процессы, возможно, сосуществуют либо в разных областях пространства, либо сменяют друг друга во времени в качестве преимущественных в ту или иную эпоху развития как Метагалак-

тики в целом, так и отдельных объектов в ней (особенно таких, для которых есть основания предполагать недостаточность известных фундаментальных законов физики, вроде черных дыр — от звездного до квазарного масштабов).

§ 8. Современный этап общей звездно-планетной космогонии как синтез классических и новых идей

После Лапласа до недавнего времени никто не пытался увязать между собой процессы плането- и звездообразования (можно лишь вспомнить Б. П. Герасимовича (1889—1937), который с позиций именно звездной космогонии критиковал популярную в начале 20-х гг. вихревую планетную космогоническую гипотезу Белó). Лишь с 60-х гг. XX в. В. Г. Фесенков обратил серьезное внимание на необходимость: во-первых, объединенного исследования проблем планетной и звездной космогонии, а во-вторых, более детального учета сложности, многоаспектности космогонического процесса. Он указывал на необходимость учета данных не только небесной механики, астрофизики, теории гравитации, геологии, но и других наук о Земле, а главное — метеоритики, не говоря уже о ядерной физике, магнитогидродинамике и т. п. Такой подход стал в наши дни определяющим в космогонических исследованиях.

Существенный вклад в дальнейшее развитие планетной космогонии внесли в 50—80-е гг. советские космогонисты школы О. Ю. Шмидта. Ряд важных направлений его концепции был разработан Л. Э. Гуревичем и А. И. Лебединским (свойства и эволюция протопланетного облака). Глубокие вопросы теории эволюции этого облака, а также роя промежуточных (планетезимальных, астероидальных) тел и последующей аккумуляции больших планет и их спутников, особенно Луны, исследовались и достаточно далеко были продвинуты в работах сотрудников космогонического отдела Института физики Земли (основанного О. Ю. Шмидтом) Б. Ю. Левина, В. С. Сафронова, Е. Л. Рускол и др.

Совершенно новый стимул развитию планетной космогонии дают современные исследования вещества метеоритов, главным образом космохимические (изучение изотопного состава, выявление признаков существования короткоживущих изотопов в них в прошлом, что позволяет раскрыть историю метеорита в Космосе).

В наши дни соединились в всеобразном компромиссе и два главных исторически сложившихся подхода к пониманию феномена Солнечной системы. Прежде одни считали ее редчайшей случайностью, другие — неизбежным следствием закономерного развития обычной околозвездной туманности. В настоящее время процесс рассматривается как закономерный, но осуществляющийся все же в весьма специфических условиях, т. е. не столь уж часто и требующий реализации некоторых случайных, хотя, мо-

жет быть, и не очень редких событий (например, взрыва сверхновой в близкой окрестности как инициатора космогонического процесса и источника тяжелых элементов).

Сейчас уже ясно, что проблема планетной космогонии более трудна, нежели другие эволюционные проблемы астрономии, такие как происхождение и развитие галактик, звездообразование или даже возникновение крупномасштабной структуры Метагалактики. Во-первых, мы наблюдаем планетную систему пока в единственном экземпляре. Во-вторых, в отличие от сверхскоплений галактик в Солнечной системе мы видим устойчивую структуру, «забывшую» свою историю, по крайней мере динамическую. Но в последнее время растет надежда найти следы космогонического процесса в космохимии, равно как и в минералогии наименее изменившегося со временем космического материала — вещества метеоритов, особенно углистых хондритов — самого древнего, по современным представлениям, из химически достаточно сложных веществ во Вселенной, которого когда-либо касалась рука человека.

Новой тенденцией в космогонии (и в этом сказывается учет уроков ее истории) стало более терпимое отношение к прежним гипотезам, из запаса которых снова черпаются те или иные забытые или даже отвергнутые некогда идеи, поскольку они оказываются плодотворными в свете новых фактов. Через большие промежутки времени полезно бывает обратиться за советом к предшественникам. Об этом напомнили современным ученым, например, злободневные сейчас в космогонии идеи астронома начала XX в. Т. Си, который обращал внимание астрономов на важную космогоническую роль образования вокруг звезд пылевых туманностей; называл кометы сохранившимися остатками древней туманности, из которой была построена Солнечная система, и вообще придавал большое значение метеорной материи во Вселенной. Менее одиозной становится идея участия в космогоническом процессе внешнего тела, случайного события (например, упомянутый взрыв сверхновой). Дело в том, что в общем контексте развития всей наблюдаемой Вселенной многие такие «случайности» оказываются более вероятными. Так, в период образования Солнечной системы, около 5 млрд лет тому назад, Галактика также была моложе, интенсивность звездообразования, частота взрывов сверхновых — больше.

Современная космогоническая картина мира в качестве своего важного элемента — принимаемой материальной основы — утверждает существование в Космосе диффузно-газовой и мелкодисперсной формы материи, которая способна к постепенному усложнению своей организации, т. е. к развитию, а не только к возникновению и разрушению. В отличие от физики (или, скажем, химии, классической минералогии), астрономия, подобно биологии, является наукой эволюционной. Объекты ее исследования — от комет, астероидов, планет и до сверхскоплений галактик, а может быть и Метагалактики в целом — формируются, развиваются

и лишь затем гибнут. К идеям эволюции всей мыслимой Вселенной в целом мы еще вернемся ниже.

Главным механизмом осуществления космогонического процесса долгое время считалась лишь гравитация. Практически только в нашем веке этот механизм обогатился за счет введения в космогонию электромагнитных и ядерных сил. В перспективе можно ожидать построения космогонии, от планетной и до метagalактической, а может быть, и больших структурных масштабов, на основе реализации великого замысла Эйнштейна — создания единой теории всех фундаментальных физических взаимодействий.

Многообразие моделей свидетельствует прежде всего о недостаточно развитых представлениях о характере механизмов космогонического и эволюционного процессов. С ростом знаний в этой области число гипотез уменьшается, происходит отбор и синтез различных гипотез (вернее, содержащихся в них плодотворных идей). Как ни парадоксально, первой моделью, в значительной степени перешедшей из ранга элементов картины мира в ранг достоверного научного знания оказалась именно предельно универсальная в наше время космогоническая модель — модель горячей Вселенной. Открытие предсказанного этой теорией реликтового микроволнового радиоизлучения убедительно показало, что вся наблюдаемая ныне Вселенная в прошлом находилась в сверхплотном состоянии, существенно отличавшемся от современного. И поскольку это начальное состояние ее мыслится менее организованным, не содержащим еще всего богатства, например ядер разных элементов (не говоря уже о космических объектах и их системах), то отсюда заключают, что Вселенная не просто изменилась, а проэволюционировала за истекшие 15—20 млрд лет своего расширения от более примитивного к более сложному современному состоянию.

Необходимо подчеркнуть, однако, что речь идет именно о *наблюдаемой* части Вселенной, за которой и закрепилось название «Метагалактика» в смысле — система наиболее (пока?) высокого порядка, границ которой мы еще не достигли... Нередко в этом же смысле употребляется в наши дни и термин «Вселенная», для уточнения смысла которого обычно добавляют: «видимая», «наблюдаемая», «доступная изучению» или, напротив, «вся», «в целом» «целиком» и даже иногда придают ей смысл «всего существующего», всей материи. С точки зрения материалистической философии говорить о направленном изменении, эволюции, развитии «всей существующей материи» во всех мыслимых формах вряд ли имеет смысл.

Раздел седьмой

ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ К РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТИНЕ МИРА

Основная ошибка, которой следует остерегаться, — полагать, что мы знаем больше, чем на самом деле.

Сократ

Глава I

ВТОРАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ. ЭЙНШТЕЙН

§ 1. Кризис классической космофизической картины мира на рубеже XIX—XX вв.

В первой четверти XX в. произошла вторая в истории естествознания великая научная революция, приведшая к полной ломке классической гравитационной физико-космологической картины мира. Эта революция подготавливалась трудами многих, но своим свершением она обязана Альберту Эйнштейну (1879—1955). Базой для создания новой научной картины мира стали две его фундаментальные физические теории — специальная и общая теория относительности, а также квантовая теория, в разработку которой вклад Эйнштейна также весьма значителен.

Ньютоновская физическая (гравитационно-механическая) картина мира, дополненная к концу XIX в. идеями электродинамики Максвелла и Лоренца, опиралась на представления о полностью независимых, или абсолютных — существовании и качествах таких фундаментальных сущностей, как пространство, время, масса. Пространство представлялось евклидовым — плоским, трехмерным, бесконечным. Материя же мыслилась состоящей из нейтральных атомов, которые в свою очередь составлялись из электрически заряженных частей (электрон и некая заряженная положительно «основа» атома). Были известны два фундаменталь-

ных, абсолютных, не связанных друг с другом типа явлений — механические и электромагнитные. Законы их считались не зависящими от масштабов и от состояния и движения тел.

В механике со времен Галилея укрепился принцип относительности, утверждавший одинаковость механических явлений в системах, покоящихся или движущихся равномерно и прямолинейно. При этом мыслилась одна абсолютная система, относительно которой рассматривались движения всех остальных тел и систем. Это была гипотетическая материальная среда — мировой эфир, заполняющий Космос, введенный в физику нового времени Декартом и использованный впоследствии для объяснения явления света в волновой теории. Свет считался формой движения эфира. Сама же идея мирового эфира уходит своими истоками в глубочайшую древность.

Особой, также абсолютной силой (неизвестной природы) считалось тяготение — как врожденное универсальное, «всемирное» качество материи. Законы, открытые при наблюдении макроскопических тел, экстраполировались на всю шкалу масштабов — от микромира до космологических.

Но уже в последние десятилетия XIX в. в этой физической картине стали проявляться парадоксы — противоречия между, казалось бы, окончательно утвердившейся теорией и наблюдениями. Одним из таких парадоксов стал результат опыта Майкельсона, который попытался в 1881 г. прямыми наблюдениями обнаружить мировой эфир, а именно возникающий при движении Земли сквозь него «эфирный ветер». Однако в опытах Майкельсона и последующих скорость света оставалась постоянной, не зависящей от направлений взаимных движений луча света и Земли.

Сначала физики попытались объяснить загадочный эффект в духе принципа относительности Галилея: неощутимостью движения Земли относительно мирового эфира, хотя существование самого эфира и, следовательно, движение Земли относительно него продолжали считать реальностью. Причину этой «неощутимости» движения объясняли по-разному. Г. Герц предположил, что Земля просто увлекает с собой часть мирового эфира, и в этой неподвижной относительно Земли окрестности и производятся наши опыты с лучом света. Однако это противоречило опытам Физо, показавшим, что если эфир существует, то он увлекается Землей лишь частично. Автор электронной теории материи Х. А. Лоренц и Дж. Фитцджеральд пытались объяснить отрицательный результат опыта Майкельсона гипотезой о реальном сокращении размеров всех движущихся тел, включая Землю, в направлении их движений, под действием электромагнитных сил, возникающих при движении. Лоренц вывел формулы («преобразования Лоренца») для вычисления сокращений линейных масштабов движущихся тел и промежутков времени между событиями на них в зависимости от скорости движения, которые объяснили бы результат опыта Майкельсона.

Эффект неощутимости якобы реально существующего движения Земли сквозь мировой эфир и был назван впервые А. Пуанкаре в 1904 г. новым принципом относительности (по аналогии с принципом относительности Галилея).

Перед физиками встала проблема поисков новой фундаментальной теории, которая на единой основе объяснила бы и механические и электромагнитные процессы и явления. Эту проблему решил Эйнштейн в 1905 г., создав специальную теорию относительности (СТО).

§ 2. Научная революция в физике и космологии. Эйнштейн

Из утверждения о принципиальной неощутимости движения Земли относительно мирового эфира Эйнштейн сделал революционный вывод: такой абсолютной системы отсчета вовсе не существует и вообще отказался от идеи мирового эфира. Вместо этого он, обобщая принцип относительности Галилея, провозгласил равноправие всех инерциальных систем в отношении любых физических процессов. В преобразованиях Лоренца, как показал Эйнштейн, отражаются не реальные изменения неких абсолютных размеров тел при их движении, а лишь тот факт, что сам результат измерения размера тела зависит от движения системы отсчета. Таким образом, относительными становились сами понятия «длина» и «промежуток времени» между событиями, даже одновременность событий, иначе говоря, не только всякое движение, но и пространство и время, рассматриваемые по отдельности. Абсолютным физическим объектом у Эйнштейна становится четырехмерное пространство-время. Кроме того, он постулировал постоянство скорости света в вакууме (независимость ее от движения наблюдателя и излучающих тел) и пришел к выводу, что скорость света является максимальной для всякого физического взаимодействия.

Одним из фундаментальных выводов СТО было знаменитое соотношение $E=mc^2$, которое открывало совершенно новые перспективы для решения проблемы источника энергии излучения звезд.

В 1916 г. Эйнштейн завершил создание общей теории относительности (ОТО), которая стала обобщением ньютоновской теории тяготения (специальная теория относительности вошла в ОТО как частный случай). Новая теория утверждала глубокую связь между пространством, временем и тяготением. В ней ньютоновское тяготение получало объяснение как эффект движения тела в пространстве, искривленном влиянием других масс. Первым успехом ОТО стало объяснение открытой еще в 1859 г. и непонятной в рамках ньютоновской теории возмущенного движения дополнительной скорости движения перигелия Меркурия (около $43''$ в столетие). К. Шварцшильд (1873—1916) получил

первое точное решение уравнений Эйнштейна, которые связывают геометрические свойства, или метрику четырехмерного искривленного пространства-времени со свойствами заключенной в нем материи.

Поскольку тяготение распространялось и на свет как поток фотонов, то из общей теории относительности следовало, что луч света, проходя вблизи звезды, должен искривляться в направлении этой звезды. Последнее действительно было обнаружено во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. А. С. Эддингтоном и Ф. У. Дайсоном, которые впервые подтвердили предсказанное ОТО отклонение луча света от прямолинейного пути вблизи Солнца.

Таким образом, физика, зародившаяся некогда как «космофизика», вновь возвращалась к своим космическим масштабам: следствия новых физических теорий — СТО и ОТО — впервые могли быть проверены в явлениях именно таких масштабов.

В свою очередь ОТО стала фундаментом для выявления новых свойств и закономерностей Вселенной в самых крупных масштабах и создания релятивистской космологии.

Глава II

КОНЦЕПЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ВСЕЛЕННОЙ ФРИДМАНА — ЛЕМЕТРА КАК УГЛУБЛЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНОВСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ В КОСМОЛОГИИ

§ 1. Нестационарные модели и философия Вселенной. Фридман

Решение уравнений ОТО позволяет в принципе построить математическую модель Вселенной. Эту космологическую проблему впервые поставил сам Эйнштейн в 1917 г. Считая радиус кривизны пространства постоянным, т. е. исходя из представлений о стационарности Вселенной в целом во времени (что казалось наиболее разумным), он пришел к заключению, что Вселенная должна быть пространственно конечной, хотя и бесконечной во времени (вечной), — модель Вселенной в форме четырехмерного цилиндра.

В этом решении уже изначально было заложено определяющее его утверждение — постулат вроде принципа неподвижности Земли в древних космологиях. Теперь это был принцип стационарности Вселенной — чисто мировоззренческое утверждение — квинтэссенция многотысячелетнего философского осмысления самого понятия «Вселенная» как всего существующего, как всей мыслимой совокупности материи. Но, приняв этот постулат, Эйнштейн первым столкнулся и с проявлением «строптивости» своей новой, обобщенной теории гравитации (ОТО): решение мировых уравнений не давало стационарной модели мира, пока

Эйнштейн не ввел в них дополнительный «космологический член» — постоянную величину (Λ), имеющую (при $\Lambda > 0$) физический смысл сил отталкивания, или «отрицательного давления».

Фридман первым отказался от исходного постулата о стационарности Вселенной, показав его теоретическую необоснованность. В 1922 г. он заново проанализировал уравнения ОТО и пришел к фундаментальному выводу о том, что сами по себе эти уравнения не дают однозначный ответ на вопрос о форме Вселенной, о ее конечности или бесконечности.

Исходя из возможности изменения радиуса кривизны пространства во времени (по существу, из постулата о возможности эволюции Вселенной как целого) и приняв лишь условия однородности и изотропности Вселенной, Фридман нашел нестационарные решения уравнений ОТО в виде различных (определяемых значением Λ и знаком кривизны пространства) моделей нестационарной Вселенной. Некоторые из этих моделей рисовали Вселенную с монотонно растущим радиусом кривизны. Вселенная как целое оказывалась расширяющейся: в одном случае из точки, в другом — начиная с некоторого ненулевого объема. Время расширения ее до современного значения радиуса кривизны он условно назвал «временем, прошедшим от сотворения мира», отметив, что «это время может быть бесконечным». В другой модели радиус кривизны пространства возрастал от нуля до некоторой величины за время t , которое Фридман назвал «периодом мира», а затем уменьшался до нуля (Вселенная сжималась в точку). Здесь Фридман видел два возможных варианта реализации модели: в зависимости от определения смысла понятия «совпадения» явлений время существования такой Вселенной может быть конечным (от расширения из точки сжатия обратно в точку) либо же, если считать время изменяющимся от $-\infty$ до $+\infty$, «мы приходим, — заключал Фридман, — к действительной периодичности кривизны пространства».

Плотность Вселенной Фридмана также зависит от времени, изменяясь обратно пропорционально кубу радиуса кривизны. Модель «стационарной Вселенной Эйнштейна», как показал Фридман, представляет собой лишь частный случай решения уравнений ОТО. Тем самым Фридман опроверг мнение Эйнштейна о том, что ОТО обязательно приводит к конечности Вселенной при любой положительной средней плотности материи в ней.

Результаты Фридмана, опубликованные в 1922 г. в немецком научном журнале, сначала вызвали критику со стороны Эйнштейна как якобы ошибочные. Но после разъяснений Фридмана великий преобразователь физики в заметке 1923 г. признал правоту молодого советского теоретика и назвал его результаты правильными и проливающими новый свет. Более полную оценку вклада Фридмана Эйнштейн дал в 1945 г.: «Его результат затем получил неожиданное подтверждение в открытом Хабблом расширении звездной системы... Последующее представляет не что иное, как изложение идеи Фридмана. ...Не вызывает поэтому никаких

сомнений, что это наиболее общая схема, дающая решение космологической проблемы».

Разумеется, развитие космологии на этом не остановилось. Но дальнейшее всестороннее и бурное развитие астрономической картины мира убеждает, что имя Фридмана — по его роли в этом процессе — можно с полным основанием поставить рядом с именем Эйнштейна. Революция Эйнштейна в физике получила совершенно неожиданное развитие в космологической революции Фридмана. Исторически соотношение имен «Фридман — Эйнштейн» повторило другое великое сочетание: «Кеплер — Коперник». Как и Кеплер, Фридман разрушил господствовавший в его время принцип космологии. Во времена Кеплера это была, как мы помним, всеобщая «одержимость округленностью»; во времена Фридмана — принцип стационарности Вселенной.

В космологии Фридман не был чистым теоретиком. Получив модель «периодической» Вселенной, он обращается мыслью к глубинной истории осмысления окружающего мира. «Невольное вспоминается, — писал Фридман в своей философской брошюре «Мир как пространство и время», — сказание индусской мифологии о периодах жизни». В космологии он большое значение придавал наблюдениям. «Вернейший и наиболее глубокий способ изучения, при помощи теории Эйнштейна, геометрии мира и строения нашей Вселенной состоит в применении этой теории ко всему миру и в использовании астрономических исследований... И хотя астрономические исследования не дают еще достаточно надежной базы для экспериментального изучения нашей Вселенной... наши потомки, без сомнения, узнают характер Вселенной, в которой мы обречены жить...» — писал Фридман в той же брошюре.

Космологическая концепция Фридмана включала и проблему взаимоотношения астрономии и философии. Обычно теорию Фридмана принято относить ко всей мыслимой Вселенной. Но так ли это понимал сам ее автор? Фридман в упоминавшейся уже брошюре поднимает проблему определения самого понятия Вселенной. Он различает измеримый, наблюдаемый мир естествоиспытателя от несравненно более широкого по смыслу мира — вселенной философа. Фридман подчеркивал, что принцип относительности (речь идет об ОТО) и, следовательно, космологические схемы мира, построенные на нем, могут иметь отношение лишь к этому «измеримому», наблюдаемому миру естествоиспытателя, тогда как для философа все эти космологические схемы, как и сам принцип относительности, не более чем гипотетические построения вроде космогонических гипотез.

Вместе с тем Фридман был убежден, что и на само развитие идей современных философов неизбежно окажет влияние «грандиозный и смелый размах мысли, характеризующий общие концепции и идеи принципа относительности, затрагивающие такие объекты, как пространство и время (правда, измеримое)». (Таким образом, и здесь он различал «время» как физическую величину и как философскую категорию.)

Эти глубокие философские размышления Фридмана в космологии в высшей степени созвучны нашему времени, когда после длительного очарования образом единой, единственно существующей расширяющейся Вселенной (Метагалактики) космология вновь выходит на просторы изучения необъятного, качественно неисчерпаемого мира.

§ 2. Наблюдательное подтверждение концепции расширяющейся Вселенной.

В. Слайфер, В. де Ситтер, Э. Хаббл

Модель расширяющейся Вселенной Фридмана уже вскоре нашла удивительно точное подтверждение в непосредственных наблюдениях движений далеких галактик. В 1913 г. американский астроном В. М. Слайфер (1875—1969) на Ловелловской обсерватории первым стал измерять лучевые скорости спиральных туманностей и обратил внимание на их значительные величины и, главное, большое различие. Результаты Слайфера привлекли внимание голландского астронома В. де Ситтера (1872—1934), который первым рассмотрел астрономические следствия ОТО и первым же отметил преобладание красных смещений в спектрах галактик. Этот эффект он попытался объяснить в своей релятивистской модели «пустой» Вселенной, наполненной лишь полем отталкивательных сил (Λ). Исходя из теории де Ситтера и из принципа однородности и изотропности Вселенной, немецкий математик Г. Вейль показал, что взаимное удаление галактик пропорционально их взаимному расстоянию.

Быть может, не без влияния этих идей американский астроном и астрофизик Э. П. Хаббл (1889—1953) занялся анализом лучевых скоростей галактик (v_r), располагая сначала данными лишь о 18 объектах, расположенных не далее скопления галактик в Деве (параметр красного смещения для них составляет не более десятых долей процента). Тем не менее Хаббл уловил общую закономерность и в 1929 г. установил один из важнейших космологических законов: $v_r = H \cdot r$, который вошел в астрономию как «закон Хаббла», или «закон красного смещения». Спустя несколько лет он подтвердил его, опираясь на наблюдения более далеких галактик. Для коэффициента пропорциональности H он нашел значение свыше 500 км/с·Мпк. Этот параметр — «постоянная Хаббла» — является одним из фундаментальных в космологии. Первая оценка его оказалась сильно завышенной, и после уточнений H в настоящее время принимается в пределах от 50 до 100 км/с·Мпк.

§ 3. Проблема начала и возраста наблюдаемой Вселенной

Первым эту проблему затронул А. А. Фридман в 1922 г. Свою первую статью по космологии он закончил хотя и чисто иллю-

стративным, но тем не менее любопытным подсчетом: если положить $\Lambda=0$ и общую массу Вселенной $M=5 \cdot 10^{21} M_{\odot}$ (масса, близкая по порядку величины к массе Метагалактики!), то «период мира» будет исчисляться величиной порядка 10 млрд лет. Более детально вопрос о «возрасте» и о «начале» Вселенной он обсуждает в брошюре 1923 г., упоминавшейся выше: «Является возможность также говорить о «сотворении мира из ничего», но все это пока должно рассматриваться как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим экспериментальным материалом. ...Бесполезно, — продолжает он, — за отсутствием надежных астрономических данных приводить какие-либо цифры, характеризующие «жизни» переменной Вселенной» (имеется в виду аналогия с древнеиндийскими «циклами жизни»). И все же Фридман-естествоиспытатель не удерживается от некой прикидки, от доведения своих рассуждений до числа: «Если все же начать подсчитывать, для курьеза, время, прошедшее с момента, когда Вселенная создавалась из точки, до теперешнего ее состояния, начать определять, следовательно, время, прошедшее от создания мира, то получатся числа в десятки миллиардов наших обычных лет».

Вывод о «начале» Вселенной следовал и из эффекта красного смещения при его объяснении эффектом Доплера. Это осознал (еще по данным Слайфера, до опубликования закона Хаббла) бельгийский астроном аббат Ж. Леметр (1884—1966), который в конце 20-х гг. именно так истолковал наблюдаемый эффект в спектрах галактик и развил свою концепцию рождения нашей Вселенной.

Закон Хаббла давал в принципе ответ и на вопрос о том, когда это произошло: величина $1/H$ характеризует время, в течение которого разбегаются галактики, и указывает момент начала разбегания, а быть может, и начала самого существования Вселенной.

Поскольку релятивистская концепция Вселенной подразумевала вначале всю мыслимую материальную Вселенную, то идея ее «начала» вела, казалось, к полному перевороту и отрицанию веками и тысячелетиями складывавшегося представления о вечности материи вообще. Все это настораживало философов-материалистов и многих астрономов. В 30-е гг. разгорелись острые дискуссии о смысле красного смещения, а затем и об оценке «возраста» Вселенной и о «космологической шкале времени». Дело в том, что в соответствии с первоначальной оценкой величины H возраст Вселенной оказывался равным всего около 2 млрд лет, т. е. меньше возраста Земли! В еще большей степени противоречил он оценкам времени жизни звезд (последние делались на основе еще распространенных тогда представлений об аннигиляционном процессе как причине их излучения и составляли огромные величины до 10^{15} лет, — так называемая «длинная космологическая шкала времени»).

Вместе с тем попытки объяснить эффект красного смещения не доплеровским эффектом, а, например, потерей фотонами энергии на пути от далеких галактик или же приписать его действию сильных полей тяготения в космосе (гравитационное красное смещение) также не имели успеха. В первом случае должна была бы существовать зависимость красного смещения от длины волны, чего нет; во втором величина эффекта для всех известных тогда объектов (вплоть до белых карликов) была бы существенно меньше наблюдаемой. Тем временем наблюдения все более подтверждали универсальность закона Хаббла, а уточнение величины H и времени жизни звезд делали более согласованными указанные выше временные оценки. В настоящее время действие закона красного смещения, в том числе в радиодиапазоне, прослежено до расстояний более 10 млрд св. лет (по квазарам), и реальность общего расширения всей наблюдаемой Вселенной можно считать доказанной.

Делались и попытки спасти идею стационарности Вселенной без отрицания ее расширения в целом. В 1948 г. английские космологи Ф. Хойл, Х. Бонди и Т. Голд, а также немецкий физик П. Йордан выдвинули и математически разработали идею, согласно которой вместо ушедших из данного объема пространства галактик непрерывно возникают новые как бы «из ничего» (по мысли авторов идеи, из неизвестной формы материи — « S -поля»), так что средняя плотность материи во Вселенной сохраняется и Вселенная оказывается «стационарной». Но и это объяснение вошло в противоречие с новыми наблюдениями.

Открытие Хабблом расширения всей наблюдаемой Вселенной и подтверждение в дальнейшем этого закона завершило начатую Фридманом революционную смену космологической картины мира. В космологии надолго утвердился релятивистский образ Вселенной — как нестационарной, развивающейся в целом, единой всеохватывающей системы. Революционным переворотом стало возрождение на новой основе ОТО космогонических и эволюционных представлений о Вселенной в целом: по существу, утверждалось представление о возникновении конечное время тому назад Вселенной как всего мыслимого физического комплекса «пространства-времени-материи» и о его направленном развитии!

И все же, несмотря на успехи и теоретической и наблюдательной космологии (а расширяющуюся Вселенную наблюдают уже до расстояний, близких к теоретическим размерам «Вселенной Фридмана»), вся история знаний настораживала и заставляла многих сомневаться в правомерности этой новой безграничной экстраполяции опыта — распространения законов наблюдаемой Вселенной на весь мыслимый материальный мир. Утверждения космологов-релятивистов (вплоть до начала 80-х гг.) о единственности и всеохватности нашей расширяющейся Вселенной — Метагалактики невольно напоминали многократно повторявшиеся подобные заявления в прошлом: о единственности Земли со светилами вокруг нее, Солнечной системы, Галактики...

Тем временем в ходе космологических дискуссий постепенно уточнялись фундаментальные понятия: конечность и бесконечность, ограниченность и безграничность Вселенной, осознавались неоднозначность таких понятий, как «вся Вселенная» и «Вселенная в целом» (большой вклад в прояснение этих понятий внес А. Л. Зельманов (1913—1987)), наконец, неправомерность отождествления понятий «Вселенная» вообще и «наша наблюдаемая» или даже вообще доступная нам Вселенная (вспомним первые указания на этот счет А. А. Фридмана).

Глава III ИДЕИ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КОСМОЛОГИИ

§ 1. Концепция «Большого Взрыва». От Леметра до Гамова

В 1927 г. Ж. Леметр (тогда недавний студент Эддингтона) независимо от Фридмана выдвинул свою идею возникновения Вселенной и ее дальнейшего расширения из точки. (За ней закрепилось на некоторое время название «атома-отца», хотя сам Леметр избегал этого образа и вообще теологической трактовки своей теории.) Процесс возникновения Вселенной Леметр представил в форме Большого Взрыва. Он первым попытался «нащупать» и возможные наблюдаемые следы начального Взрыва, допуская, что таким отголоском могли быть космические лучи. Но гипотеза Леметра была «услышана» астрономами лишь после его выступления в 1933 г., когда он выдвинул новый вариант концепции расширения Вселенной — из плотного сгустка материи конечных, но очень малых размеров.

Не обошлось без попыток использовать новую концепцию в целях пропаганды идеи божественного сотворения мира, что вызвало сначала резко отрицательное отношение к самой концепции со стороны некоторых философов и астрономов. В то же время новая концепция впечатляюще соответствовала наблюдениям и релятивистской физической картине мира. Поэтому она привлекла внимание физиков и астрономов, развивавших астрономические следствия релятивизма.

Формирование более конкретной, физически разработанной эволюционной космолого-космогонической модели расширяющейся Вселенной связано в первую очередь с именем русско-американского физика Джорджа (Георгия Антоновича) Гамова (1904—1968)¹. Согласно теории, впервые предложенной Гамом

¹ Гамов был специалистом в атомной и ядерной физике, но внес фундаментальный вклад и в астрофизику (а также в генетику). Он использовал одним

вым в 1946 г. и получившей затем наименование «теории Большого Взрыва» (а точнее — «Большого Удара», или даже «Большого Хлопка» — Big Bang), вся современная наблюдаемая Вселенная представляет собой результат катастрофически быстрого разлета материи, находившейся до того в сверхплотном состоянии, недоступном для описания в рамках современной физики². Начавшееся при этом расширение материи — в форме неразделимой вначале высокотемпературной смеси излучения и вещества (элементарных частиц) — наблюдается и в наши дни в виде эффекта «красного смещения». В 1948 г. Гамов и его сотрудники Р. Альфер и Р. Герман предсказали, что должно наблюдаться и остывшее первичное изотропное электромагнитное излучение — тепловое с температурой около 5 К. Однако развитию теории в значительной степени препятствовало общее скептическое отношение астрофизиков тех лет к возможности решения столь фантастической задачи — понять «начало истории всей Вселенной в целом».

С другой стороны, уловить в мировом пространстве с помощью имевшейся аппаратуры тепловое радиоизлучение столь низкой температуры специалисты-радиофизики считали совершенно невозможным уже из-за того, что подобный сигнал был бы заглушен радиоизлучением звезд, галактик, межзвездной среды, короче, космическим радиошумом.

§ 2. Подтверждение теории Большого Взрыва

1. **Открытие реликтового излучения.** Пензиас, Вильсон. Почти два десятилетия концепция Большого Взрыва для большинства астрономов оставалась «игрой ума» немногих физиков и космологов. И только позднее стало ясно, что более раннему решению проблемы в немалой степени помешал тот разрыв в научных контактах, который все еще существует между современными теоретиками и наблюдателями. Сыграла существенную негативную роль и дифференцированность науки, из-за которой специалисты, даже работающие в близких областях, порой мало знают о проблемах своих соседей.

Еще в 1941 г. канадский астрофизик Э. Мак-Келлар (1910—1960), открывший за год до этого в межзвездном пространстве молекулы CN, CN⁺, CN и др., столкнулся с загадочным фак-

из первых успехи ядерной физики, включая собственные результаты, для решения проблемы источников внутризвездной энергии и для развития теории эволюции звезд. В значительной степени под его влиянием Ганс Бете создал теорию азотно-углеродного цикла как источника энергии звезд. В свою очередь Гамов построил на этой основе первую ядерную теорию эволюции звезд (1937—1940). В 1939 г. он предложил нейтринную теорию взрыва сверхновых; в 1942 г. детальную теорию эволюции красных гигантов.

² Разлет этот происходит без начального перепада давлений в среде и поэтому не был «взрывом» в обычном смысле.

том — возбужденным состоянием молекул межзвездного циана (CN), температура возбуждения которых составляет 2,3 К. Это могло бы послужить первым сигналом о наличии в мировом пространстве соответствующего излучения-возбудителя! Но авторы теории Большого Взрыва, по-видимому, об этом открытии не знали. И то, что такое состояние молекул циана вызвано именно реликтовым излучением, показали позднее советский астрофизик И. С. Шкловский (1916—1985) и независимо ряд других авторов.

Более того, в 1956 г. молодой пулковский радиоастроном Т. А. Шмаонов впервые зарегистрировал радиоизлучение космического фона с абсолютной эффективной температурой, «равной $3,7 \pm 3,7$ К (в зените) и $3,9 \pm 4,2$ К (в полярной области)», отметив, что температура излучения «не менялась существенно со временем» (т. е. радиоизлучение было близко к изотропному!). При этом задача была поставлена именно для «измерения эквивалентной температуры радиоизлучения фона на волне 3,2 см», для чего была сконструирована аппаратура — рупорная антенна. При постановке исследования указанных областей неба учитывалось, что «согласно теоретическим расчетам максимальная величина температуры радиоизлучения в области зенита не должна превышать 5 К на волне 3,2 см», писал автор указанного исследования. (Вспомним, что Гамов предсказывал именно такую температуру остаточного излучения! Видимо, о работах Гамова было известно в Пулкове.) В 1957 г. Шмаонов защитил диссертацию, в которой сообщал, в частности, что он зарегистрировал некое фоновое радиоизлучение с температурой около 4 К (но еще с небольшой точностью ± 3 К) и доказал его космическое происхождение. Но этот результат, важность которого (несмотря на невысокую еще точность измерения) отметил тогда же руководитель пулковских астрономов известный радиофизик С. Э. Хайкин (1901—1968), основоположник советской экспериментальной радиоастрономии, тем не менее прошел мимо внимания других астрофизиков и космологов.

Аналогичный «недолет» случился с японскими радиоастрономами, которые еще в начале 50-х гг. фактически зарегистрировали низкотемпературное фоновое радиоизлучение из космоса, но также не обратили на это должного внимания.

Наконец, и опубликованный в 1964 г. молодыми советскими астрофизиками А. Г. Дорошкевичем и И. Д. Новиковым расчет, впервые показавший, что на сантиметровых волнах предсказанное первичное радиоизлучение должно «забивать» все известные источники и вполне обнаружимо, в свою очередь остался неизвестным наблюдателям-радиоастрономам.

Между тем интерес к проблеме в 60-е гг. начал расти в связи с попытками рассмотреть вопрос о формировании химических элементов во Вселенной на ранних стадиях ее расширения. Проблема холодного или горячего начального состояния Вселенной вызывала острые споры и сама становилась «горячим» дискусси-

онным элементом в астрономической картине мира. В результате американский физик-космолог и радиофизик Р. Дикке с сотрудниками начал подготовку к наблюдательной проверке концепции Большого Взрыва. Поэтому, когда в 1965 г. американские радиоинженеры А. Пензиас и Р. Вильсон (не слыхавшие о теории Гамова!) при испытании рупорной антенны для наблюдения американского спутника «Эхо» совершенно случайно открыли существование микроволнового (на волне 7,35 см) космического радишума с температурой около 3 К, не зависящего от направления антенны, и это стало известным группе Дикке, те сразу поняли, что речь идет о первичном остаточном радиоизлучении. Так, теория Большого Взрыва, или, как ее стали еще называть, теория «горячей Вселенной», получила наблюдательное подтверждение, а инженеры — Нобелевскую премию. Известный советский астрофизик И. С. Шкловский назвал это излучение реликтовым.

Открытие реликтового излучения стало величайшим достижением в астрономии XX в. и в значительной степени явилось результатом развития радиоастрономической техники и того, что сама научная атмосфера созрела для его восприятия. Это открытие сделало достоверным фактом по меньшей мере то, что Вселенная (Метагалактика) действительно эволюционирует. Наконец, открытие реликтового излучения стало мощным стимулом для дальнейшей разработки идеи Большого Взрыва.

2. Развитие теории горячей Вселенной. Новым этапом развития представлений о ранних стадиях эволюции Вселенной стала «теория горячей Вселенной», особенно в работах академика Я. Б. Зельдовича (1914—1987) и его школы. Представление о характере начального расширения Вселенной в наши дни сильно изменилось. Помимо главной трудности в описании такого «начала» (надоступности его для современной теоретической физики), обнаружились другие серьезные трудности при попытке описать и последующую, уже в принципе доступную современной физике, но еще очень раннюю историю расширения Вселенной как целого.

С целью преодоления этих трудностей в 80-е гг. была предложена концепция раздувающейся (или инфляционной) Вселенной (А. Гут, США; А. Д. Линде, СССР). Обсуждается идея множественности и неоднократного возникновения в разные моменты времени самих раздувающихся вселенных. Таким образом, древнейшая идея возрождения Вселенной, идея бесконечной цепи рождений и гибели миров всех масштабов, как и концепция островных вселенных, родившаяся уже в результате соединения гравитационной теории и наблюдений, в наши дни возрождаются, но уже на несравненно более высоком уровне — как в отношении масштабов, так и качественного многообразия объектов. Эти идеи могут рассматриваться как предвестник, а может быть и начало уже третьей революции в космологической картине мира.

§ 3. Концепция крупномасштабной ячеистой структуры Вселенной в XX в. От Ф. Цвикки до наших дней

1. Возрождение иерархической концепции Вселенной. Создание первой строгой математической космологической теории (Эйнштейн), прогресс наблюдательной астрономии и, наконец, установление внегалактической природы спиральных туманностей (Хаббл, 1924) — все это вновь привлекло внимание астрономов к проблеме строения, структуры Вселенной в целом. Наблюдательное решение проблемы виделось в изучении распределения галактик.

На первых порах результаты оказались диаметрально противоположными выводам В. Гершеля о крупномасштабной структуре Вселенной. Попытка глобального обзора гершелевым методом черпков (теперь уже не звезд, а галактик), предпринятая Хабблом в 20-е гг., показала в целом равномерное их распределение и, следовательно, бесструктурность, однородность Вселенной.

Несколько ранее Рейнолдс вновь выявил таинственный пласт туманностей, пересекающий все небо перпендикулярно Млечному Пути. Однако обнаруживался этот пласт более четко лишь по ярким туманностям-галактикам. Переход и других астрономов к такому дифференцированному (по яркости) изучению распределения галактик привел к иной, по сравнению с их же первыми результатами, картине. Оказалось, что мир галактик, подобно миру звезд, имеет все же крупномасштабную структуру. Галактики обнаружили тенденцию к скупиванию. Они образовывали и небольшие скопления (вроде нашей Местной группы), и колоссальные «метегалактические» системы-скопления. Установить это удалось по распределению галактик ярче 14^m (каковая, кстати, была предельной рабочей величиной и для телескопов Гершеля).

Первое такое сверхскопление галактик обнаружил Ж. де Вокулер на основании изучения каталога галактик, составленного Х. Шепли и А. Эймз. Экваториальная область этой сверхсистемы в точности совпала с «пластом Волос Вероники», открытым В. Гершелем.

Вокулер только и наблюдал эту полосу резко повышенной видимой плотности распределения галактик по небу. Дальше шла интерпретация явления. Оно было объяснено им в рамках иерархической концепции Вселенной: как экваториальная часть сильно уплощенной сверхсистемы, возможно, даже вращающейся, иначе как Сверхгалактика. И хотя сам Вокулер назвал ее Местным (Локальным) сверхскоплением, в астрономическую картину мира в 50-е гг. она вошла сначала как Сверхгалактика Вокулера.

Господство иерархических представлений сказывалось и в идеях, выдвигавшихся в первой половине XX в. другими крупными астрономами. Так, американский астроном Ф. Цвикки (1898—

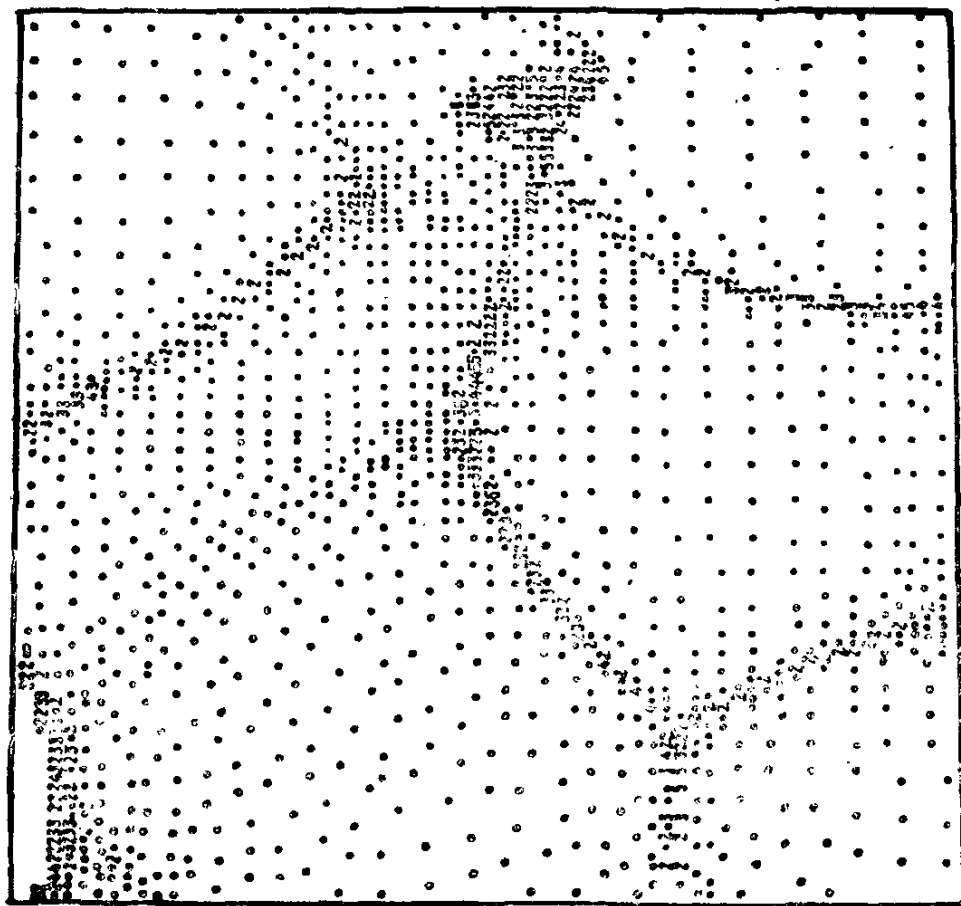
1974) еще в 1938 г. высказал мысль, что вся наша Местная группа галактик является членом некоторой более крупной системы галактик. Вокулер в 1956 г. также писал, что «большинство, если не все, галактики мыслятся как принадлежащие к большому числу сверхсистем... правильных скоплений и неправильной формы облаков, начиная от маленьких плотных групп... до огромных объединений туманностей в несколько десятков мегапарсеков в поперечнике...» Поперечник Местного сверхскопления он оценил в 30—50 Мпк, расстояние от нас ее центральной части — огромного скопления галактик в созвездии Девы — в 10—13 Мпк (по современным данным, около 20 Мпк).

2. Новый этап наблюдательного изучения распределения галактик. Открытие принципиального различия между скоплениями и сверхскоплениями. К настоящему времени выявлено множество новых сверхскоплений галактик типа Местного и больших масштабов. Тенденцию к скапливанию показали и радиогалактики. Таким образом, идея крупномасштабной структурности Вселенной, выдвинутая впервые на основе наблюдений В. Гершелем в конце XVIII в., в наши дни перешла из области элементов картины мира в ранг достоверных научных знаний.

Вместе с тем уже на уровне скоплений галактик современная картина структурности Вселенной оказывается весьма далекой от классических представлений Канта — Ламберта: скопления не имеют правильной уплощенной формы «сверхгалактик», не вращаются. Экстраполяция на «всю Вселенную» образца Солнечной системы, а затем и спирально-эллиптических галактик показала свою неправомерность. Скопления галактик напоминают, скорее, «рой мошек». В то же время, по современным представлениям, они могут быть завершающим этапом формирования иерархической структуры в Космосе: допускается, что галактики объединяются в скопления под действием гравитации так же, как сами галактики являются результатом гравитационных взаимодействий звезд и звездных скоплений.

Идея бесконечной иерархии космических систем в наши дни поддерживалась лишь немногими. На передний план вышло иное направление в космологии. В его основе лежит вытекающая из наблюдений идея крупномасштабной структурности также с постепенным усложнением систем, но не чисто иерархического типа.

Наиболее крупномасштабными из наблюдаемых (а может быть, и из возможных, на что первым указал Цвикки) объединениями галактик представляются сверхскопления, которые включают отдельные галактики и скопления их и размеры которых достигают многих десятков мегапарсеков. Они состоят из десятков тысяч членов. Расстояния между ними уже сравнимы с их размерами. Последнее еще в 30-х гг. XX в. привело Цвикки к идее структуры Вселенной вроде «мыльной пены», где сверхскопления занимали, однако, сами ячейки — пузыри пены. Тогда, правда, эта идея не нашла поддержки.



а

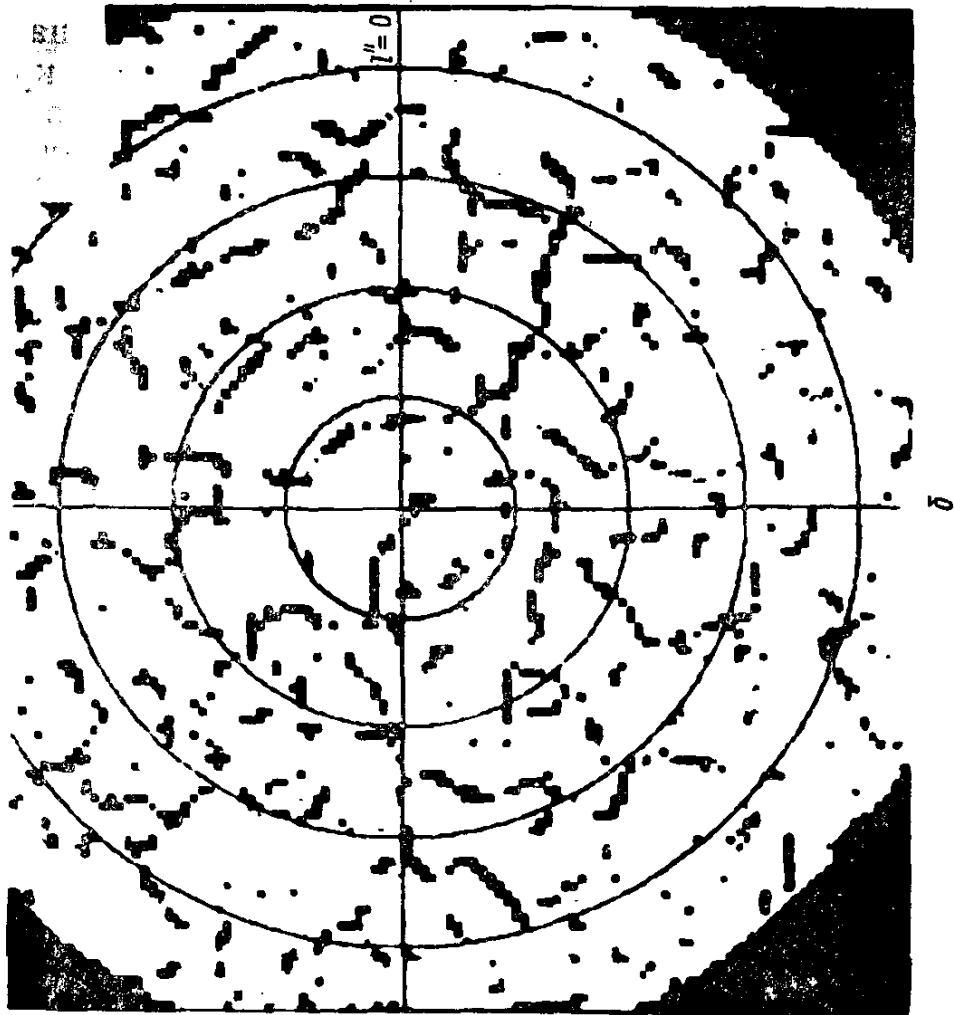


Рис. 29. Крупномасштабная структура Мегалактики: а) двумерная модель филаментарно-ячейковой структуры (А. Г. Дорошкевич, С. Ф. Шандарин, 1975 г.), б) схема наблюдаемого распределения галактик

3. **Открытие ячеисто-филаментарной крупномасштабной структуры Метагалактики.** По современным данным, структура Вселенной действительно ячеистая, но галактики и скопления их располагаются, напротив, не в ячейках, а как бы в стенках ячеек, по окраинам огромных пустых (или почти пустых) областей, получивших название «войды». Такая структура нашла объяснение в теории «горячей Вселенной». Я. Б. Зельдович на основе обобщения теории гравитационной неустойчивости Дж. Джинса показал, что в ранней Вселенной гравитационная неустойчивость сначала ведет к сгущению вещества в направлении не к отдельным центрам (классическая идея Ньютона), а к *поверхностям*. В результате происходит как бы расслоение вещества на сравнительно тонкие уплотняющиеся искривленные и разнонаправленные «пласты» (образно названные «блинами»).

В 1975 г. Дж. Кинкарини и Г. Руд (США), рассмотрев красные смещения у тысяч галактик, обнаружили, что они растут ступенчато. Это и показало существование колоссальных пустот в Метагалактике. В том же году С. Ф. Шандарин и А. Д. Дорошкевич провели первый в мире численный расчет двумерной модели эволюции совокупности гравитирующих точек, сначала распределенных приблизительно равномерно, лишь с небольшими местными возмущениями плотности. Они показали, что эволюция идет в направлении образования вытянутых нитеобразных (филаментарных) структур, которые, пересекаясь, создают сетчатую картину (см. рис. 29, а), т. е. налицо было как бы сечение объемной ячеистой структуры. В последующие годы эти результаты, имеющие принципиально новый характер, были полностью подтверждены английскими и американскими космологами (рис. 29, б), а в 1978 г. и группой эстонских исследователей Я. Э. Эйнасто, уже на наблюдательном материале каталога галактик. Наконец, в 1981 г. тот же результат был получен при расчете трехмерной модели А. Клыпиным и С. Шандариным. К этому времени в 1980 г. группа Эйнасто обнаружила и реальную филаментарную структуру — сверхскопление в Персее.

В рамках теории гравитационной неустойчивости было показано, что стягивание почти однородно распределенного вещества к некоторым поверхностям, усиливаясь и распространяясь вдоль них, приводит к взаимному пересечению этих поверхностей (вспомним картину пересекающихся пластов у Гершеля). В результате образуется непрерывная объемная ячеистая структура, так что вещество оказывается сосредоточенным в стенках ячеек. В дальнейшем «стенка» превращается в колоссальное уплощенное клочковатое собрание галактик и их скоплений (один вид сверхскоплений). Пересечение стенок образует второй вид сверхскоплений — нитевидных (филаментарных). Наконец, в местах пересечения ребер — в «узлах» сетки формируются сверхскопления третьего типа, наиболее заметные. Такова общая картина структуры наблюдаемой Вселенной — Метагалактики по данным современной науки.

4. Современные идеи об эволюции структуры Метагалактики. Структура сверхскоплений — неправильная, клочковатая — и колоссальные размеры их свидетельствуют о неравновесности этих систем. (Характерный срок достижения равновесия — время пересечения системы телом, движущимся в ее гравитационном поле, — сравнимо здесь с возрастом наблюдаемой Вселенной.) В структуре сверхскоплений прослеживаются признаки предшествующего «коллапса». В связи с этим небезынтересно сопоставить высказывания исследователей, разделенные почти двумя столетиями, но созвучные по эволюционному подходу и пониманию Вселенной. В 1811 г. Гершель писал: «...Если они [туманности] обязаны своим происхождением разрушению прежде существовавших обширных туманных образований ...мы можем ожидать, что... эти разрозненные туманности должны находиться не только в большом изобилии, но и поблизости друг к другу или даже в непрерывном соединении друг с другом в зависимости от различной протяженности и расположения прежних диффузных образований из такой туманной материи». В работе 1983 г. Я. Б. Зельдовича, А. В. Мамаева и С. Ф. Шандарина читаем: «Галактики в значительной мере объединены в скопления, и все вместе скопления галактик и изолированные галактики долго — до сегодняшнего дня — помнят об облаке, где родились...»

В последние годы были высказаны и некоторые теоретические предположения о возможной дальнейшей эволюции крупномасштабной структуры Вселенной (Метагалактики): вещество из стенок ячеек постепенно переходит в ребра, а далее стягивается к вершинам ячеек. В результате сверхскопления в узлах растут и могут в дальнейшем сливаться периферийными частями, так что возникает некоторое непрерывное распределение галактик и их скоплений с уплотнениями в местах бывших узлов. Картина оказывается неожиданно близкой к идее Цвикки полувековой давности — к его образу Вселенной, заполненной сверхскоплениями галактик как мыльная пена пузырями воздуха.

Что же дальше? Повторятся ли условия для образования вновь крупномасштабной ячеистой структуры, или же она является неким не повторяющимся этапом эволюции Метагалактики (что представляется, пожалуй, более вероятным)? Ясно одно — процессы эти будут существенно зависеть и от типа модели нашей Вселенной (открытой или закрытой). Ситуация осложняется еще и тем, что до сих пор, несмотря на значительные усилия теоретиков, так и не создана внутренне непротиворечивая статистическая механика системы гравитирующих частиц. Вместе с тем на возможность дальнейшего продвижения в проблеме эволюции крупномасштабной структуры Вселенной позволяет надеяться быстрое развитие компьютерной техники.

**ИЗМЕНЕНИЕ КАРТИНЫ ВСЕЛЕННОЙ
ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX в.**

§ 1. Открытие радиовселенной

До третьего десятилетия XX в. астрономическая картина мира формировалась, опираясь исключительно на наблюдения в оптическом диапазоне спектра. Характерными чертами этой картины были представления о космической материи главным образом в виде звезд с «примесью», казалось, второстепенной диффузной газо-пылевой материи. Основные наблюдаемые явления объяснялись действием гравитации, ядерными и атомными процессами на базе новой физики: теории относительности и квантовой механики. Но как и ранее, все излучение мыслилось по своей природе тепловым, а процессы в космосе установившимися, устойчивыми. Все объекты во Вселенной, хотя и считались в принципе эволюционирующими, но процесс этот предполагался чрезвычайно медленным. Взрывы — новых и сверхновых звезд — представлялись если не случайными, то редкими событиями. Открытие в 20-х гг. глобальной нестационарности (расширения) Вселенной не изменило представлений о «локально спокойной» космогонической картине мира.

И вот в начале 30-х гг. был сделан важный шаг, который в дальнейшем привел к созданию ветви астрономии, ставшей в наши дни одной из ведущих и не только обогатившей картину мира, но и поставившей перед астрономами и физиками принципиально новые проблемы. Речь идет о появлении радиоастрономии (а позже и всеволновой, корпускулярной и в перспективе еще и гравитационно-волновой астрономии).

Первый радиосигнал — непрерывный идущий из космоса свистящий шум, источник которого угадывался или в центральных частях Галактики, или в области Геркулеса, был обнаружен в 1931 г. американским радиоинженером К. Янским (1905—1950). Но эпохальное открытие космического радиоизлучения тогда прошло почти незамеченным. На него откликнулся лишь другой американский радиоинженер Г. Ребер. Ребера можно с полным основанием назвать Галилеем радиоастрономии: в 1937 г. он построил первый в мире радиотелескоп (с параболической антенной-«зеркалом») и начал с ним систематические наблюдения неба. И в 40-е гг. именно радиоинженеры были пионерами в этой области, и лишь отдельные астрономы (в первую очередь Я. Оорт, И. С. Шкловский, Дж. Гринстейн, О. Струве) понимали ее важность.

Между тем уже первые наблюдения открывали неизвестную прежде «радиовселенную»: яркие звезды — «молчали»; радиоизлучение, имевшее непрерывный спектр, шло в основном из области Млечного Пути, т. е. излучала диффузная материя.

В период 40 — начала 50-х гг. было сделано фундаментальное открытие: предсказана (ван де Хюлст), теоретически рассчитана (Шкловский) и открыта (Юэн и Парселл, 1951) первая и главная спектральная линия радиоспектра — 21 см (запрещенная линия нейтрального водорода). Это позволило приступить к более детальному изучению спиральной структуры Галактики и ее центральной области.

Одним из крупнейших научных достижений XX в. стало открытие нетеплового, синхротронного (сначала более точно названного магнитотормозным) механизма радиоизлучения с непрерывным спектром. Источниками такого радиоизлучения оказались дискретные объекты, открытые еще в 1946—1949 гг. английскими и австралийскими радиоастрономами. Природа этих радиоисточников — Лебедь-А, Кассиопея-А и Телец-А долгое время оставалась загадочной. Сначала они (во всяком случае первые два) из-за быстрой стохастической переменности радиояркости были приняты за близкие (ближе соседних звезд) объекты и названы «радиозвездами». Вскоре, однако, Телец-А был отождествлен с остатком сверхновой 1054 г. — Крабовидной туманностью. Источники же Лебедь-А, Дева-А и Центавр-А оказались радиогалактиками, которые в сотни раз больше обычных галактик излучают в радиодиапазоне. Они и в оптическом диапазоне имеют столь необычный вид, такую сложную, непривычную для одиночных галактик структуру (свидетельствующую о каких-то грандиозных процессах в них), что поначалу их приняли за пары сталкивающихся галактик. Источники в пределах Солнечной системы (помимо Солнца, это атмосферы некоторых планет и кометы) составили третий тип дискретных источников радиоизлучения.

С 1960 г. были известны удивительные почти точечные оптические источники с сильным радиоизлучением (их называли квазизвездными радиоисточниками, или квазарами). В оптике они напоминали чрезвычайно горячие голубые звезды, но с совершенно неизвестными линиями в спектре. Природа источников оставалась полной загадкой, пока в 1963 г. молодой голландский астроном, работавший в США, М. Шмидт не установил, что странные линии в их спектрах принадлежат обычным элементам, но чудовищно (в рамках представлений того времени) сдвинуты в красную область: при доплеровском смысле сдвига эти объекты должны были удаляться от нас со скоростями около $5 \cdot 10^4$ км/с! Квазары представляют собой самые мощные из известных источники энергии во Вселенной. У них были обнаружены и признаки явной нестационарности: переменность блеска и выбросы вещества с огромными скоростями. Квазары поставили перед астрономами новую и еще не до конца решенную проблему их природы и, в частности, источника их энергии.

С 60-х гг. картина Вселенной стала быстро пополняться и другими экзотическими объектами (пульсары, мазерные источники, лацертиды, плерионы, барстеры и др.). Пульсары (1967), как известно, вначале даже приняли за сигналы... внеземного разума.

Позже было показано, что это давно предсказывавшиеся (Л. Д. Ландау; В. Бааде и Ф. Цвикки, 30-е гг.) нейтронные звезды. Другой тип источников радиоизлучения — космические мазеры — рассматриваются как сгустки диффузной материи в газопылевых облаках, окружающих молодые или даже формирующиеся звезды. Таким образом, открытие мазерных источников и пульсаров, возможно, впервые позволило увидеть начальные и конечные этапы жизни звезд.

§ 2. Новые проблемы и перспективы развития астрономической картины мира на основе всеволновой и корпускулярной астрономии

Диапазон частот принимаемого современной астрономической аппаратурой излучения охватывает уже почти весь электромагнитный спектр. Наряду с двумя главными каналами приема информации из космоса — в оптическом и радиодиапазоне, с середины века был освоен канал приема ИК-излучения, с 60-х гг. получили развитие новые коротковолновые области астрономии — УФ-, рентгеновская, гамма-астрономия. Первым обнаруженным рентгеновским источником было Солнце. Позднее рентгеновское излучение было открыто у пульсаров (впервые у пульсара в Крабовидной туманности, Телец X-1). Другие, еще более загадочные сначала рентгеновские источники Геркулес X-1, Центавр X-1 и Центавр X-3, Лебедь X-1 в последние годы получили объяснение также как внутrigалактические объекты — тесные двойные системы из обычной звезды-гиганта и нейтронной звезды, либо даже гипотетической черной дыры. Такое же объяснение было дано и удивительному переменному рентгеновскому источнику SS 433 в Орле (хотя с ним до сих пор не все ясно). Но большая часть рентгеновских источников была отождествлена с внегалактическими объектами — обычными и радиогалактиками и некоторыми квазарами.

Еще в 1961 г. космический аппарат «Эксплорер-11» обнаружил γ -излучение из центра Галактики; природа этого и ряда других типов γ -источников пока не ясна.

Перспективной областью является «корпускулярная» астрономия — изучение космических лучей, а также нейтрино. Нейтринная астрономия уже преподнесла сюрприз: поток нейтрино от Солнца оказался заметно слабее предсказанного теорией. Это вновь поставило вопрос о том, достаточно ли надежна современная теория звездных источников энергии.

К корпускулярной астрономии можно отнести и метеоритику (включая сюда и поступающее из космоса мелкодисперсное вещество) — один из наиболее информативных каналов получения сведений о составе и эволюции космического вещества в Солнечной системе, о ее истории и предыстории и об эволюции вещества в масштабах всей Галактики.

Итак, астрономическая картина мира в последние десятилетия неизмеримо обогатилась новыми понятиями и представлениями как о составе и состоянии материи в космосе, так и о характерных для него процессах. Что касается состава Вселенной, то чрезвычайно расширился набор включаемых сейчас в общую картину Космоса объектов с огромным диапазоном параметров — от физического вакуума до нейтронных звезд и черных дыр.

Не менее существенный элемент астрономической картины мира — представления о характерных для Космоса силах и взаимодействиях, о темпе процессов также обогатились. К двум классическим взаимодействиям — гравитации и электромагнетизму — добавились ядерные (сильные) и слабые; теоретикам удалось свести электромагнитные и слабые силы в единое электрослабое взаимодействие. Стоит проблема дальнейших объединений, вплоть до сведения всех взаимодействий к единому. С другой стороны, есть предположения, что современный перечень фундаментальных взаимодействий еще неполон.

В астрономическую картину мира прочно вошло представление о существенной роли процессов быстропеременных с огромным выходом энергии (выбросы массы, мощного излучения) или, наоборот, с чудовищным концентрированием энергии. Поэтому наряду с уже привычным в наше время образом «взрывающейся Вселенной» (именно в смысле распространенности в ней взрывных, бурных процессов) в астрономическую картину мира уже вошел, по существу, и образ «коллапсирующей Вселенной» в том же и более широком смысле — от поведения отдельных объектов и их крупномасштабных систем вплоть до всей наблюдаемой Вселенной (закрытая модель).

Характерным для состояния самой астрономической картины мира становится быстрый переход различных понятий и образов из ранга гипотез и экстраполяций, т. е. из элементов собственно картины мира в ранг достоверных знаний, по крайней мере в свете всех доступных наблюдательных и теоретических данных современной науки. Всего с десятков лет отделяли образ «сталкивающихся галактик», вошедший в картину мира в 50-е гг., от представления об активных ядрах индивидуальных галактик как причине явления радиогалактик, а затем и квазаров и т. п., и лишь месяцы — первоначальные объяснения пульсаров как особым образом пульсирующих белых карликов от современного представления о них как о нейтронных звездах. Причем существование нейтронных звезд быстро стало рассматриваться как достоверный факт и таким образом перешло из ранга практически общепринятых гипотез, т. е. элементов картины мира, в ранг элементов фактического и теоретического ядра науки.

Напротив, также прочно вошедшие в астрономическую картину мира черные дыры все еще являются именно элементом картины мира, поскольку остаются пока гипотетическими объектами, за рамками доступных наблюдательной проверке явлений (хотя их существование считается весьма вероятным).

В связи с их введением в астрономической картине мира на- зревал очередной космологический парадокс: необратимая кон- центрация массы Вселенной в черных дырах. Парадокс был в принципе снят выдающимся английским физиком-теоретиком С. Хокингом, который в середине 70-х гг. показал, что процесс этот в конечном счете обратим. Черные дыры должны расходо- вать свою энергию и массу на излучение электромагнитных волн и даже частиц. Этот процесс, получивший наименование «испа- рение черных дыр», оказывается (кроме последней стадии) очень медленным. Тем не менее он означает, что, строго говоря, «чер- ные дыры» не являются таковыми.

Гипотетической остается природа активности ядер галактик. Вместе с тем само явление активности ядер (открытое К. Сейфер- том и введенное как характерный элемент современной картины мира В. А. Амбарцумяном) стало достоверным фактом. При по- пытках объяснения активности ядер конкурируют две, казалось бы, взаимоисключающие концепции звездно-галактической космо- гонии: классическая идея «постадийного» гравитационного сжа- тия диффузной материи и концепция Амбарцумяна, опирающаяся на идею дезинтеграции, разрежения вещества. Господствующее положение в астрономии, однако, прочно удерживает классиче- ская диффузно-концентрационная концепция космогонии, предпо- лагающая образование в центрах галактик, в квазарах в конеч- ном счете гигантских по массе «черных дыр» (с $M=10^9 M_{\odot}$ и бо- лее).

Ряд «странностей» наблюдаемой Вселенной заставляет вновь задумываться (в который уже раз!) о достаточности известных фундаментальных физических законов для описания и понимания как локальных, так и глобальных свойств наблюдаемой Вселен- ной. Такие вопросы вставали в связи с феноменом активности ядер галактик, квазаров и т. п.; колоссальным различием крас- ных смещений членов некоторых компактных групп галактик; за- гадкой «скрытой массы» и т. д. Некоторые из этих проблем еще требуют решения и могут привести к существенным изменениям в картине мира.

Но одно такое изменение уже происходит. Это — развитие кон- цепции раздувающейся (инфляционной) Вселенной, возрождаю- щей идею множественности вселенных — метагалактик, с различ- ной «фундаментальной физикой» и даже размерностью простран- ства в них. Утверждение этой концепции означало бы свершение в космологии новой революции — смену космологической карти- ны мира. Такой поворот в представлениях о Вселенной имел бы огромное значение, еще раз демонстрируя неизбежную времен- ность экстраполяции всегда ограниченного знания на безгранич- ную и бесконечно разнообразную действительность.

§ 1. О перспективах развития астрономической картины мира

Мы рассмотрели развитие астрономической картины мира в течение веков и тысячелетий изучения Вселенной человеком — от времен, когда Вселенная измерялась и исчерпывалась местообитанием племени, через эпохи утверждения бесконечности и единственности наблюдаемой Вселенной и до современных представлений о множественности и качественном разнообразии физических вселенных — метagalactic.

Несмотря на принципиальную несовместимость новой и старой научной картины мира — как двух одинаково безграничных экстраполяций несовместимых идей — между предшествующей и последующей картинами мира, как мы видели, имеется взаимосвязь и даже своего рода преемственность. Старая картина мира как некая целостная модель действительности разрушается, но в то же время ее отдельные элементы, подтвержденные общим ходом развития науки, пополняют ядро достоверных, хотя и ограниченных знаний, иначе — обогащают фундамент, который служит опорой при выдвижении новых идей. Но прежде чем уступить место новой картине мира, старая система представлений, вошедшая в привычку и ставшая почти объектом веры, оказывает тормозящее действие на дальнейшее развитие идей: ведь существующие представления о мире воспринимаются большинством как последняя истина. И каждый раз такое убеждение оказывается иллюзией.

Отсюда можно сделать два вывода о перспективах развития картины мира вообще — «пессимистический» и оптимистический.

Первый — это заключение о неизбежно временном, преходящем значении каждой картины мира на любом этапе развития знаний. На это в свое время обратил внимание еще Ф. Энгельс, заметив вместе с тем, что нет надобности приходить в ужас по поводу того, что ступень познания, на которой мы находимся теперь, столь же мало окончательна, как и все предшествующие. Убеждение, что физик (добавим — астроном, космолог и т. д.) никогда не станет безработным, характерно для многих широко мыслящих исследователей.

Второй, оптимистический, вывод касается наиболее общего, философского аспекта научной картины мира. Этот аспект со-

стоит в постепенно растущем, укрепляющемся осознании, с одной стороны, неизбежности *неограниченной* экстраполяции наших всегда ограниченных знаний как формы продвижения к новым знаниям; а с другой — в понимании *модельности* и неизбежной *временности* всяких экстраполяций, любой картины мира. Это последнее все в большей степени должно предохранять науку будущего от тяжелого пресса господствующей картины мира на ее предреволюционном этапе развития.

Такая тенденция в развитии и понимании картины мира как всеобъемлющей, но всегда временной модели действительности не парализует, а наоборот стимулирует и более правильно на каждом этапе ориентирует процесс познания мира, концентрированно выражая один из главных уроков истории науки — бесконечность процесса познания, неисчерпаемость Вселенной любой моделью, любой астрономической картиной мира.

Напомним еще о некоторых уроках истории.

§ 2. Об отношении к истории науки

Итак, из неоглядной дали веков мы поднялись в наш век небывало ускорившегося темпа развития науки и техники. На этом долгом пути безмерно обогатилась научная, в том числе астрономическая, картина мира, развились философско-методологические основы научного исследования, математический и модельно-расчетный аппарат, поставленный ныне на базу ЭВМ. На фоне этого прогресса возможности познания, которыми располагали наши далекие и даже не очень далекие предки, их общие идеи о Вселенной, могут представляться примитивными и недостойными внимания.

Историю астрономы-специалисты нередко воспринимают как серый вылинявший холст, на котором ярче могут засверкать многоцветные узоры современных идей, открытий, «окончательных» решений той или иной проблемы. Редко когда современный астроном оглянется назад в поисках совета в решении широких глобальных проблем, в поисках идей и уроков, как это делали в свое время Коперник и Бруно. Другое дело обратиться к истории как к летописи фактов: польза от такого обращения историей же и доказана — в открытии прецессии и периодичности комет, в обнаружении собственных движений звезд и в разгадке природы метеоритов, наконец, в решении проблемы природы многих новых, открываемых в наши дни необычных источников излучения — отголосков далеких взрывов звезд и других катастроф во Вселенной.

Такое пренебрежительное либо узкоутилитарное отношение к истории знаний объясняется, с одной стороны, сильнейшим перевесом в науке последних полутора — двух веков технических средств как способа получения новых знаний (в действительности — лишь новых явлений, требующих еще объяснения). Другая

причина — чрезвычайная дифференциация науки, когда изучение одного узкого участка как бы запирает специалиста в глубоком «проблемном каньоне», из которого он не видит даже современников, не говоря уже о своих предшественниках.

Колоссальные успехи в развитии научно-технической базы астрономии, накопление огромного объема знаний в конкретных ее областях в известной степени оправдывают самоуверенные заявления специалистов вроде того, что мы — первое поколение астрономов, знающих, как эволюционируют звезды.

Еще недавно убеждение космологов в единственности и всеохватности расширяющегося (и даже, быть может, конечного) мира Фридмана — Леметра — Хаббла было незыблемым, а сомнение в этом считалось признаком научной отсталости. Но если обратиться к истории, то подобные несколько самоуверенные высказывания не будут удивлять — они обычны, как обычна и временность их силы. Это свидетельствует, что, по сравнению с развитием изобретений человеческого мозга, сам мозг человека и психология научного творчества мало изменились. Поэтому путь познания и имеет вид развертывающейся вширь и уходящей вдаль спирали. Вместе с тем можно говорить о сквозных идеях и проблемах науки, направляющих само движение по такой спирали.

§ 3. Смена проблем и сквозные проблемы и идеи в истории астрономии

За протекшие тысячелетия и особенно за последние почти четыре века развития телескопической астрономии в убыстряющемся темпе шло обогащение ее прежде всего новыми фактами, уточнение количественных сведений о Вселенной и ее объектах, а также открытие качественно новых явлений, объектов, процессов. Объяснение тех или иных явлений с веками изменялось; гипотезы, которые подтверждались наблюдениями, способностью предсказывать новые явления, переходили из ранга элементов картины мира, т. е. гипотетических построений, в ранг достоверных научных знаний. Такова была судьба проблемы устройства планетной системы; существования и строения звездных систем — от двойных звезд в Галактике до колоссальных других галактик, их скоплений и сверхскоплений, до ячеистой структуры Метагалактики; в значительной степени построена (хотя и не представляется еще окончательной) теория эволюции звезд и источников их энергии на разных стадиях развития; установлена природа многих новых, порой экзотических источников излучения благодаря выходу наблюдательной астрономии на уровень всеволновой.

Вместе с тем в современную астрономическую картину мира вошел ряд новых гипотетических элементов, наиболее удивительным из которых является черная дыра — главный герой современной релятивистской астрофизической картины мира, предельная экстраполяция ОТО; т. е., как можно думать, потенциально

это — объект, который получит объяснение лишь в результате нового революционного изменения астрономической, а быть может, и физической картины мира и создания картины мира пострелятивистской, квантово-гравитационной.

Современная астрономия ставит и частью успешно решает проблемы столь глубокие и столь глобальные, такой степени общности, для постановки которых у наших предков, казалось, не было ни средств, ни оснований, ни стимулов. Это — проблемы самых общих (из доступных в данную эпоху) закономерностей мира, проблемы космологии и космогонии, иначе — проблемы вечные... И тут мы неожиданно сталкиваемся с некоторыми идеями и проблемами, новизна которых оказывается иллюзорной. Они эстафетой проходят сквозь века, сближая нас с теми, кто в отдаленные времена не мог (впрочем, как и мы!) «окончательно» решить их, но, оказывается, уже мог их поставить.

Вспомним древние очаги астрономии. Их объединяют в научном плане две главные проблемы, родившиеся из непосредственного наблюдения небесных явлений. Одна из них — это проблема календаря, обычно воспринимаемая человеком наших дней как чисто практическая (или «культовая») задача. Но если присмотреться к ней, она вырастает в несравненно более общую проблему соизмеримости или несоизмеримости небесных движений, и вообще цикличности или нецикличности развития самой Вселенной. Циклическая, строго упорядоченная на первый взгляд Вселенная оказывалась наполненной несоизмеримыми процессами. Многовековые стремления усовершенствовать и действительное совершенствование календаря — далеко за пределами потребностей практики — были попытками решить и эту, одну из величайших по своей философской общности и глубине, проблему свойств действительности. Само понятие времени родилось из наблюдения циклического движения неба. Но затем в средние века под воздействием нового, христианского мировоззрения понятие времени было «спрямлено», и время стало восприниматься как ошутимая неповторяемость течения истории (сначала — библейской).

Пифагорейская идея «Великого Года» — круговорота событий, повторяющихся, хотя бы через огромные промежутки времени, — идея, ставшая опорой астрологии, была разбита теоретически в XIV в. Николаем Оремом, который первым обоснованно выдвинул принцип несоизмеримости небесных движений (догадку об этом впервые высказывал Птолемей). Из этого Орем сделал глубочайший философский вывод — о неповторимости качеств Вселенной во времени, о бесконечном качественном изменении Вселенной. Спустя шесть столетий эта идея вновь стала актуальной для физиков и математиков, космологов и философов нашего времени.

С идеей цикличности изменений или, напротив, однонаправленной эволюции материи во Вселенной тесно связано решение космологических и космогонических проблем и, наконец, решение

проблемы, пожалуй, более других затрагивающей человека, — о его месте и судьбе во Вселенной, о месте и судьбе явления Жизни и Разума в Космосе. Это вторая сквозная проблема. Она вновь обсуждается сейчас как в конкретной форме (внеземные цивилизации), так и в наиболее обобщенной (антропный принцип).

Вопрос о месте и роли человека во Вселенной волновал людей на протяжении всей истории человечества. Антропный принцип проявляется как элемент мировоззрения с самых ранних времен уже на уровне мифологической картины мира. И здесь особенно ярко выступает характерное для истории познания зеркальное, т. е. обращенное отображение действительности: человек воспринимался как центр мира; в течение тысячелетий господствовали варианты антропоцентрической картины мира. Даже в наши дни отголоски этого «перевернутого» восприятия звучат в высказываниях некоторых астрономов о том, что Вселенная создавалась так, чтобы «предусмотреть» появление в ней разумной формы жизни. Представляется несомненным, что правильное и глубже понимать антропный принцип как утверждение, что человек не цель, изначально заложенная в «программу» нашей Вселенной, а закономерное порождение, — одно из возможных следствий развития ее. Не утверждение, что Вселенная «сделана» для человека, а, напротив, что человек мог возникнуть в условиях именно такой Вселенной, что для такой именно формы жизни Вселенная оказалась благоприятной. Такое материалистическое истолкование антропного принципа противостоит попытке возродить идеалистически-религиозную телеологическую идею целесообразности Вселенной.

Третьей сквозной проблемой, связанной с только что упомянутой, является проблема космическо-земных связей. Она перерастает в общую диалектическую идею взаимосвязанности всех вещей в мире вообще. Но родилась эта идея (опять-таки раньше всего в астрономии!) в несчастливой сорочке — в форме астрологии, выродившейся в бесплодное гадание по звездам и прямое шарлатанство. Отбросив астрологию в целом (со всеми ее высокими первоначальными замыслами), наука надолго выбросила и глубоко правильную идею о воздействии Космоса на Землю. Так, фундаментальные идеи А. Л. Чижевского о влиянии солнечной активности на творческую деятельность личности и даже на социальные процессы долгое время подвергались у нас гонениям как крамольные или игнорировались.

Еще одна сквозная проблема — устройство и структура Вселенной и ее происхождение или хотя бы состояние, предшествовавшее наблюдаемому нами. Поднимаясь к истокам этой проблемы, мы не без удивления узнаем, что уже древние мыслители не только думали о том же, но и выдвигали идеи, с которыми перекликаются некоторые новейшие космологические гипотезы. Вспомним в связи с этим хотя бы идею первичного элементарного состояния материи во Вселенной — «апейрон» Анаксимандра;

непроявленную форму материи «авьякту» древних индийцев; упорядочивающий принцип развития «рита» в индийской философии или китайский принцип однонаправленного развития Вселенной «дао» (путь); первичную разреженную туманность — в космогонии некоторых китайских натурфилософов; шесть видов первоначального «небесного элемента» «ци» и т. д. и т. п.

А идея о роли «большого жара», «напряжения» (тапас) в начале образования Вселенной! А пифагорейская картина рождения Вселенной из «Огненной Единицы» — путем ее развития в движении — развертывания в линию, плоскость, объем! (Сравни — начальная «сингулярность», эволюция — хотя и в противоположном направлении — размерности пространства-времени, формирование ячеисто-филаментарной крупномасштабной структуры Метагалактики...)

А идея борьбы противоположных начал «инь» и «ян» как источника бесконечного разнообразия и развития, развертывания свойств Вселенной! Эти идеи пронизывают философию древних греков, особенно пифагорейцев; наполняют философские учения Древнего Востока; звучат в высказываниях среднеазиатского философа XI в. знаменитого врача и ученого Ибн Сины (Авиценны); возрождаются в сочинениях англосаксонского монаха-ученого XIII в. Роберта Гроссетета. Все это, несмотря на ясное понимание пропасти между их и нашими знаниями, невольно обращает мысли к современной нам идее «горячей Вселенной», к концепции «раздувающейся Вселенной» с ее важнейшим космологическим следствием — выводом о бесконечном качественном многообразии мира...

Идея великих циклов — рождения и гибели Вселенной, характерная для философии и космологии Индии, майя, перекликается с флуктуационной гипотезой Больцмана (конец XIX в.), с идеей гигантских флуктуаций и флуктуационных по своей природе процессов в космологических масштабах, обсуждаемой и в наши дни. Конечно, можно понять точку зрения тех, кто утверждает, что, хотя практически все более или менее общие идеи о Вселенной были высказаны в древности, но эти идеи были равноправными, **так как не было основания для выбора между ними.** Да, от любой достаточно общей современной идеи можно дойти до сходной догадки (среди десятков других, отличных от нее!), высказанной на заре астрономии. Но даже если принять это соображение, то и тогда не перестает удивлять глубина поднимаемых проблем, упорство и пронизательность в попытках их решения, какие проявлял человек (вернее, человечество), сумев уже на ранних ступенях осмысления окружающего мира не только задать эти вопросы, но и предложить практически все важные варианты ответов на них. Идеи мыслителей разных стран и эпох оказываются созвучными. Это — призывы к смелости поисков, осторожности в выводах, творческому обобщению наблюдений, свидетельства негаснущего восхищения величиим Вселенной и неслабеющего энтузиазма в стремлении понять место в ней человека.

1. Амбарцумян В. А., Казютицкий В. В. Нестационарные объекты во Вселенной и современная революция в астрономии//ВАФ. С. 104—117.
2. Арат. Феномены//ИАИ. М., 1988. Вып. 20.
3. Аристотель. О небе//Соч. Т. 3. М., 1981. С. 263—378.
4. Астрономия, методология, мировоззрение. М., 1979.
5. Баев К. Л. Космология Леонардо да Винчи//Мироведение. 1919. Т. 8. № 2. С. 82—93.
6. Беккерт М. Железо. Факты и легенды. М., 1984.
7. Белый Ю. А. Иоганн Кеплер. М., 1971.
8. Белый Ю. А. Тихо Браге. М., 1984.
9. Берри А. Краткая история астрономии. М.—Л., 1946.
10. Беруни Абу Райхан. Избр. произв. Ташкент, 1963. Т. 2 (Индия); 1973—1976. Т. 5. Ч. 1—2 (Каюн Мас'уда); 1975. Т. 6 (Книга вразумления начаткам науки о звездах).
11. Бонгард-Левин Г. М., Герасимов А. В. Мудрецы и философы Древней Индии. М., 1975.
12. Бонгард-Левин Г. М., Ильин Г. Ф. Индия в древности. М., 1985.
13. Браге Т. Автобиография//ИАИ. 1984. Вып. 17. С. 337—396.
14. Бруно Дж. Диалоги. М., 1949. С. 163—294 (О причине, начале и едином); 295—448 (О бесконечности, Вселенной и мирах).
15. Булгаков П. Г. Жизнь и труды Беруни. Ташкент, 1972.
16. Вайнберг С. Первые три минуты. М., 1981.
17. Вадлин Н. Л. Геометрия, арифметика и музыкальное творчество//Импакт. 1985. № 3. С. 25—37.
18. Веселовский И. Н. Аристарх Самосский — Коперник античного мира//ИАИ. 1961. Вып. 7. С. 11—70.
19. Веселовский И. Н. Египетские деканы//ИАИ. 1969. Вып. 10. С. 39—62.
20. Веселовский И. Н., Белый Ю. А. Николай Коперник. 1473—1543. М., 1974.
21. Володарский А. И. Астрономия в древней Индии//ИАИ. 1975. Вып. 12. С. 237—352.
22. Володарский А. И. Ариабхата. М., 1977.
23. Вороицов-Вельяминов Б. А. Лаплас. М., 1985.
24. Вороицов-Вельяминов Б. А. Очерки истории астрономии в России. М., 1956.

* Сокращения:

- ВАФ — Вселенная, астрономия, философия. М., 1988.
 ИАИ — Историко-астрономические исследования. М.
 УФН — Успехи физических наук.
 ФПА — Философские проблемы астрономии XX века. М., 1976.

25. Воронцов - Вельяминов Б. А. Очерки истории астрономии в СССР. М., 1960.
26. Вселенная, астрономия, философия. М., 1988.
27. Вуд Дж. Солнце, луна и древние камни. М., 1981.
28. Гаврюшин Н. К. Византийская космология в XI веке//ИИАИ. 1983. Вып. 16. С. 327—338.
29. Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой. М.—Л., 1948.
30. Галилей Г. Звездный вестник//ВИЕТ. 1964. Вып. 16. С. 3—28.
31. Гейберг И. Л. Естествознание и математика в классической древности. М.—Л., 1936.
32. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике: какие проблемы представляются сейчас особенно важными и интересными. М., 1980.
33. Горфункель А. Х. Философия эпохи Возрождения. М., 1980.
34. Гурев Г. А. Системы мира от древнейших времен до наших дней. М., 1950.
35. Гурштейн А. А. Проблема общенаучных революций и революции в астрономии//ВАФ. С. 158—168.
36. Гут А. Г., Стейнхардт П. Дж. Раздувающаяся Вселенная//В мире науки. 1984. № 7. С. 56—69.
37. Декарт Р. Космогония. Два трактата. М.—Л., 1934.
38. Дингль Г. Эдмунд Галлей. Его и наша эпохи//ИИАИ. 1958. Вып. 4. С. 341—366.
39. Дноген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М., 1986.
40. Докучаева О. Д. Уточнение данных о первых опытах фотографирования Луны и Солища в России//ИИАИ. 1966. Вып. 9. С. 199—209.
41. Еремеева А. И. Вселенная Гершеля. М., 1966.
42. Еремеева А. И. Рождение научной метеоритики. М., 1982.
43. Еремеева А. И. Вильям Гершель и современная космология//ИИАИ. 1984. Вып. 17. С. 45—66.
44. Еремеева А. И. Фраисуа Араго и становление инструментальной астрофизики. (К 200-летию со дня рождения ученого)//ИИАИ. 1987. Вып. 19. С. 256—272.
45. Еремеева А. И. Астрономическая картина мира и научные революции//ВАФ. С. 169—179.
46. Еремеева А. И. Борис Петрович Герасимович. К 100-летию со дня рождения//ИИАИ. 1989. Вып. 21. С. 253—301.
47. Ерпылев Н. П. Развитие звездной астрономии в России в XIX веке//ИИАИ. 1958. Вып. 4. С. 13—252.
48. Ефремов Ю. Н. Развитие эволюционных представлений в звездной астрономии//Происхождение и эволюция галактик и звезд. М., 1976. С. 371—407.
49. Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной. М., 1984.
50. Ефремов Ю. Н. Звездная астрономия и горизонты знания//ВАФ. С. 117—124.
51. Жизнь науки. Антология вступлений к классике естествознания. М., 1973.
52. Житомирский С. В. Астрономические работы Архимеда//ИИАИ. 1977. Вып. 13. С. 319—338.
53. Зельдович Я. Б. Современная космология//Природа. 1983. № 9. С. 11—24.
54. Зельдович Я. Б. Избран. труды. Частицы, ядра, Вселенная (Астрофизика и космология). М., 1985. Т. II.
55. Зельманов А. Л. Метагалактика и Вселенная//Наука и человечество. М., 1962. С. 383—405.
56. Зельманов А. Л. Некоторые философские аспекты современной космологии и смежных проблем физики//Диалектика и современное естествознание. М., 1970. С. 395—404.
57. Зубов В. П. Аристотель. М., 1963.
58. Зубов В. П. Из истории средневековой атомистики//Труды ИИЕТ АН СССР. М., 1947. Т. I. С. 283—314.

59. Зубов В. П. Неизвестный русский перевод «Трактата о сфере» Иоанна де Сакробоско//ИАИ. 1962. Вып. 8. С. 221—240.
60. Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. М., 1975.
61. Идлис Г. М. Революции в астрономии, физике и космологии. М., 1985.
62. Идлис Г. М. Гармония Вселенной//ВАФ. С. 65—77.
63. Кант И. Всеобщая естественная история и теория неба//Соч. Т. 1. М., 1963. С. 115—262.
64. Кары-Ниязов Т. Н. Астрономическая школа Улугбека. М.—Л., 1950.
65. Кеплер И. О шестигольных снежинках. М., 1982.
66. Кларк А. Общедоступная история астрономии в XIX столетии. Одесса, 1913.
67. Классические космогонические гипотезы. М., 1923.
68. Климишин И. А. Календарь и хронология. М., 1985.
69. Климишин И. А. Открытие Вселенной. М., 1987.
70. Климишин И. А. Астрономия вчера и сегодня. Киев, 1977.
71. Кнорозов Ю. В. Иероглифические рукописи майя. Л., 1975.
72. Кожанчиков В. И. Принцип построения и действия календаря майя//ИАИ. 1975. Вып. 12. С. 335—354.
73. Кожанчиков В. И. Нулевые даты календарных систем древних майя//ИАИ. 1978. Вып. 14. С. 155—172.
74. Койре А.//У истоков классической науки. М., 1968. С. 27.
75. Колчинский И. Т., Корсунь А. А., Родригес М. Г. Астрономы. Биографич. справочник. Киев, 1986.
76. Коперник Н. О вращениях небесных сфер. М., 1964.
77. Крупномасштабная структура Вселенной. М., 1981.
78. Кузаков В. К. Очерки развития естественнонаучных и технических представлений на Руси в X—XVII веках. М., 1976.
79. Кузьмищев В. Тайна жрецов майя. М., 1968.
80. Кукаркин Б. В. Некоторые методологические вопросы истории астрономии//ИАИ. 1961. Вып. 7. С. 131—146.
81. Кукаркин Б. В. Первые шаги в развитии астрономии//ИАИ. 1966. Вып. 9. С. 127—144.
82. Куликовский П. Г. М. В. Ломоносов — астроном и астрофизик. М., 1986.
83. Куликовский П. Г. О некоторых вопросах изучения истории астрономии//ИАИ. 1960. Вып. 6. С. 13—28.
84. Кун Т. Структура научных революций. М., 1977.
85. Лавринович К. К. Фридрих Вильгельм Бессель (1786—1846)//ИАИ. 1984. Вып. 17. С. 285—322.
86. Лаврова Н. Б. Библиография русской астрономической литературы. 1800—1900 гг. М., 1968.
87. Лаплас П. С. Изложение системы мира. Л., 1982.
88. Лемэтр Г. Расширяющаяся Вселенная//Мироведение. 1935. Т. 24. № 4. С. 225—230.
89. Ларичев В. Е. Колесо времени. Новосибирск, 1986.
90. Линде А. Д. Раздувающаяся Вселенная//УФН. 1984. Т. 144. С. 177—214.
91. Лукреций Кар. О природе вещей. М., 1946.
92. Мамедбейли Г. Д. Основатель Марагиской обсерватории Насирэддин Туси. Баку, 1961.
93. Мартынов Д. Я. Пулковская обсерватория в годы 1926—1933//ИАИ. Вып. 17. М., 1984. С. 425—440.
94. Мартынов Д. Я. Антропный принцип в астрономии и его философское значение//ВАФ. С. 58—65.
95. Матвиевская Г. П. Рене Декарт. М., 1976.
96. Моно Р. Леонардо да Винчи и астрономия//Мироведение. 1935. Т. 24. № 5. С. 303—308.
97. Наан Г. И. Понятие бесконечности в математике и космологии//Бесконечность и Вселенная. М., 1969. С. 55.
98. Надор Д. Мировоззрение Кеплера и его роль в развитии понимания законов природы//ИАИ. 1955. Вып. 1. С. 119—132.

99. Невская Н. И. Петербургская астрономическая школа XVIII в. Л., 1984.
100. Нейгебауэр О. Точные науки в древности. М., 1968.
101. Николай Орем. Трактат о соизмеримости или несоизмеримости движений неба//ИИАИ. 1960. Вып. 6. С. 317—386.
102. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Спб., 1916 (Кн. 3. О системе мира)//Изв. Николаевской мор. акад. Вып. V. См. также: Крылов А. Н. Соч. Т. 6. М., 1936.
103. Очерки истории радиоастрономии в СССР. Киев, 1985.
104. Памятные даты истории астрономии//Астрономический календарь (Ежегодник). Часть переменная. М., 1930—1989.
105. Паннекук А. История астрономии. М., 1966.
106. Перель Ю. Г. Развитие представлений о Вселенной. М., 1962.
107. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957. С. 220—230 (О Кеплере).
108. Прокопович Феофан. Naturфилософия или физика//ИИАИ. 1975. Вып. 12. С. 357—368.
109. Протозвезды и планеты. М., 1982. Т. 1—2.
110. Рабинович И. М. На пути к открытию дальнего действия//ИИАИ. 1972. Вып. 11. С. 119—130.
111. Развитие астрономии в СССР. 1917—1967. М., 1967.
112. Райков Б. Е. Очерки по истории гелиоцентрического мировоззрения в России. М.—Л., 1947.
113. Райнов Т. Наука в России XI—XVII вв. М.—Л., 1940.
114. Ретковская Л. С. Вселенная в искусстве древней Руси//Труды Гос. ист. музея. М., 1961. Вып. 33.
115. Рожанская М. М., Григорьян А. Т. Механика и астрономия на средневековом Востоке. М., 1980.
116. Рожанская М. М., Розенфельд Б. А. Абу-р-Райхан ал-Бируни. 973—1048. М., 1973.
117. Рожанский И. Д. Анаксагор. (У истоков античной науки). М., 1972.
118. Рожанский И. Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М., 1979.
119. Рожанский И. Д. Античная наука. М., 1980.
120. Розенфельд Б. А. Астрономия стран ислама//ИИАИ. 1984. Вып. 17. С. 67—122.
121. Святский Д. О. Очерки истории астрономии в Древней Руси//ИИАИ. 1961. Вып. 7. С. 71—130; 1962. Вып. 8. С. 9—82; 1966. Вып. 9. С. 11—126.
122. Симоненко А. Н. Астероиды или тернистые пути исследования. М., 1985.
123. Селешников И. М. История календаря и хронология. М., 1977.
124. Старцев П. А. Очерки истории астрономии в Китае. М., 1961.
125. Степин В. С. Идеалы и нормы науки в современном познании Вселенной//ВАФ. С. 20—32.
126. Струве В. Я. Этюды звездной астрономии. М., 1953.
127. Струве О., Зебергс В. Астрономия XX в. М., 1968.
128. Турсунов А. Беседы о Вселенной. М., 1984.
129. Уитни Ч. Открытие нашей Галактики. М., 1975.
130. У истоков классической науки. М., 1968.
131. Умов Н. А. Значение Декарта в истории физических наук//Соч. М., 1916. Т. 3. С. 101.
132. Фесенков В. Г. Очерк истории астрономии в России в XVII и XVIII столетиях//Труды ИИЕТ. АН СССР. М., 1948. Т. 2. С. 3—25.
133. Физика Космоса. Маленькая энциклопедия. М., 1986.
134. Философские проблемы астрономии XX века. М., 1976.
135. Фолта Я., Новы Л. История естествознания в датах. М., 1987.
136. Хокинг С. Край Вселенной//Прошлое и будущее Вселенной. М., 1986. С. 92—123.
137. Хокинг С. Дж., Уайт Дж. Разгадка тайны Стоуихенджа. М., 1984.

138. Цицин Ф. А. //Труды шестого совещания по вопросам космогонии. М., 1959. С. 225.
139. Цицин Ф. А. Понятие вероятности и термодинамика Вселенной//ФПА. С. 456—478.
140. Цицин Ф. А. Об альтернативных концепциях космогонического процесса//ВАФ. С. 134—139.
141. Цицин Ф. А. Термодинамика, Вселенная и флуктуации //ВАФ. С. 142—155.
142. Чэн Цзун-вэн. Астрономия в Китае//ИАИ. 1958. Вып. 4. С. 341—366.
143. Ширяев А. А. О смещении точек равноденствий и солнцестояний//Астрон. календарь на 1988. М., 1987. С. 189—194.
144. Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. М., 1982.
145. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. 6-е изд. М., 1987.
146. Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. 3-е изд. М., 1954.
147. Эйнштейн А. Иоганн Кеплер//Соч. Т. 4. М., 1967. С. 121—124.
148. Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности //Соч. Т. 1. М., 1965. С. 601—612.
149. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979. С. 287—298.
150. Ян Хиншун. Материалистическая мысль в Древнем Китае. М., 1984.

І. Зарождение астрономии в древних очагах цивилизации (до 1 тыс. до н. э.)

4 тыс. до н. э. и ранее

4713.1.1 — расчетная начальная дата юлианского периода (эра Скалигера). 4 тыс. — начало астрономической деятельности шумеров (Месопотамия), египтян, майя; отождествление «вечерней» и «утренней» звезды (Венеры) как единого светила (шумеры); открытие совпадения разливов Нила с гелиакическими восходами Сириуса и возникновение культа Солнца. Ок. 3400 — сооружение пирамиды Хеопса с ориентацией по странам света (Др. Египет). 3113 — легендарное начало исторической хронологии майя.

3 тыс. до н. э.

Выделение созвездия Дракона (близ α Дракона располагался северный полюс мира) (шумеры); первое определение длины солнечного тропического года в Китае (366 дн.). 2770 — принятие сотического календаря в Др. Египте. 2697 — древнейшее сообщение о солнечном затмении (Китай). 2637 — расчетное начало китайской циклической системы счета лет (ганьчжи). Ок. 2500 — введение целочисленного гражданского календаря с длиной года в 365 дн. без вставок (Др. Египет). 2315—2287 — первые записи о кометах (Китай). 2137.22.X — полное солнечное затмение в Китае (за непредсказание которого были, по легенде, казнены придворные астрономы Хо и Хи). XXI—XVIII вв. — разделение приэкваториальной зоны неба на 36 участков-созвездий (по 10° — «деканы», Др. Египет); открытие сотического периода (1461) возвращения начала календарного года (по 365 дн.) к исходному взаимному расположению Солнца и Сириуса в день летнего солнцестояния. 3—2 тыс. — отмечено совпадение дня весеннего равноденствия с гелиакическим восходом Плеяд (доантинная Древняя Греция); учреждение должностей придворных чиновников-астрономов (Китай); символы мифологической космологии и космогонии на печатях доарийской (индской) культуры (Индия); изобретение гномона и первого угломерного инструмента для измерений зенитных расстояний (отвес с подвижной линейкой, направляемой на светило) (Вавилон, Др. Египет).

2 тыс. до н. э.

Наименование ярких звезд и созвездий (Сириус, Орион, Плеяды, — Вавилон); изобретение лунного календаря и 7-дневной недели (Вавилон); солнечных и водяных часов (Вавилон, позднее — Египет); древнейшая звездная карта (на

камне — Китай). 1900—1600—строительство культовой «обсерватории» Стоунхендж (Южная Англия). XVIII в. — возникновение астрологии в Китае и начало регистрации для ее целей комет, новых звезд, метеоров, болидов. XVIII—XIII вв. — границы сезонов по направлению ручки ковша Б. Медведицы (Китай). XVI—XI вв. — наиболее древние изображения созвездий северного неба (на крышке саркофага, Египет). XV в. — выделение ярких звезд и созвездий (Скорпион, Гидра, — Китай). 1478 (1168?) — легендарная старейшая находка железного метеорита (на горе Ида, остров Крит). XIII—XII вв. — зарождение астрологии в Др. Египте (предсказания по Луне и планетам). 1137 — первое сообщение о наблюдении лунного затмения (Китай). 1100 — основание Чжоугунской обсерватории (Китай). Ок. 1100 — наиболее раннее измерение наклона эклиптики к экватору ϵ (Чу Конг, — Китай). 1058/1057 — первое сообщение о наблюдении кометы (Галлея, — Китай). 2—1 тыс. — разделение неба на 28 созвездий близ небесного экватора (Индия, Китай).

II. Развитие натурфилософской космофизики (Древняя Греция, Китай, Индия)

I тыс. до н. э., первая половина

IX—VII вв. — выделение созвездий и ярких звезд: Медведицы (без разделения на Большую и Малую), Ориона, Волопаса, Сириуса (букв. «Сверкающий»); мифологические представления о Вселенной как арене борьбы антропоморфных богов (Др. Греция, — Гесиод, «Труды и дни», «Теогония»; Гомер, «Илиада», «Одиссея»). 776 — расчетное начало греческого летосчисления по олимпиадам. 763 — наиболее старое из известных наблюдение полного солнечного затмения в Вавилоне. 753.21.IV — начало римского летосчисления «от основания Рима». VIII—V вв. — открытие лунных узлов и их перемещений по небу (Китай). 720 — начало систематической регистрации солнечных затмений (Китай). Ок. 700 — выделение зоны близ небесного экватора и эклиптики (шириной в 30°) и разделение ее на 15 созвездий, названных именами животных (Вавилон). 687.16.III — первая запись о звездном дожде (Китай). VII в. — время изготовления древнейшей найденной на Земле (Вавилон) отшлифованной линзы. 603.18.V — солнечное затмение, якобы наблюдавшееся Фалесом. VII—VI вв. — возникновение учения о «ян-ци» и «инь-ци» — противоположных первоэлементах, борьбой и неразрывным единством которых объяснялось существование всего окружающего мира (Китай); разделение круга на 360 частей, лунного пути на 36 10-градусных участков («деканы»), изобретение арифметического метода описания неравномерного движения Луны («зигзагообразная функция»), установление периодичности появления планет в разных участках неба, введение должности придворного астронома (Вавилон). VI в. — возникновение учения «даосизма» о трех принципах природы: «дао» (материальная первооснова, направляющая события, букв. — «путь»), «дэ» (способ проявления «дао», близкий к понятию «энергии») и «у-вэй» (принцип «недеятельности» — невмешательства в порядок природы, гармонии с ней) — основатель: Лао-цзы (Китай). Конец 2 — первая пол. I тыс. — объяснение упорядоченности мира (небесных движений) действием организующего принципа «риты» и борьбой «риты» и «анриты» (хаоса), идея взаимозависимости существования человека и Вселенной, идея возникновения Вселенной (из «зародыша» под влиянием первоначального космического «жара», или «напряжения» (тапас) и бесконечно повторяющихся циклов рождения и смерти Вселенной (Индия, «Ригведа»). 595 — наиболее раннее открытие 19-летнего цикла сочетаний лунных фаз и дней солнечного тропического года (Китай; в 450 г. переоткрыт в Вавилоне; в 433 г. независимо Метонем, Др. Греция). VI в. — выделение на небе Млечного Пути; космолого-космогонические элементы в учении Конфуция; небесный первоэлемент «ци» как начало всего (Цзы Хань); шесть видов «ци» и опасность вмешательства в природные процессы, чтобы не нарушить порядок «ци» (Сян-гун, — Китай). VI в. — различные календарные системы лунного, солнечного и гражданского календаря, 7-дневная неделя с планетными названиями (Индия); деятельность Клеострата Тенедосского — первого из-

вестного древнегреческого астронома-наблюдателя, введение созвездия Малая Медведица с Полярной звездой (*Фалес*), открытие неодинаковой длительности сезонов (*Евктемон*), установление единства «Утренней звезды» («Фосфор») и «Вечерней» («Геспер») (*Пифагор, Парменид*). VI в. — формирование трех главных философских школ в Др. Греции: ионийской (основатель — *Фалес*, ученики и последователи — *Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит*), пифагорейской (основатель — *Пифагор*, последователи — *Алкмеон, Хикетас, Экфант, Филолай*), элейской (основатель — *Парменид*, последователи — *Мелисс, Зенон Элейский*, автор логических парадоксов — «апорий»); начало наблюдений пяти планет пифагорейцами и открытие их движений с запада на восток, помимо суточного (*Алкмеон Кротонский*); идея шарообразности Земли (*Фалес, Пифагор*); утверждение, что Луна заимствует свет от Солнца (*Фалес*); идеи *Анаксимандра* об «апейроне» (беспредельного, вечного и направляющего первоначала всего), циклически возрождающейся и единственной Вселенной, древнейшее известное Европе сочинение «О природе»; учение *Пифагора*: о числовой гармонии мира («все есть число»), возникновении Вселенной из «зародыша» — Огненной Единицы, первая негеоцентрическая модель мира (движение Земли вокруг центрального огня). 532 — первая известная регистрация «звезды-гостя» (Китай). Вторая пол. VI в. — *Анаксимен*: идея вечного движения первичной субстанции («воздуха»), ее сгущения и разрежения как механизма формирования всех вещей, небесные светила — воспламенившиеся испарения Земли. Конец VI в. — *Парменид*: учение о Вселенной как едином, протяженном, неделимом, неподвижном, неизменном вечном бытии, первое определение физики как учения о мире осязаемых вещей. Конец VI — нач. V в. — *Гераклит Эфесский* («Темный»): учение об особой «огненной субстанции» как первоначале всего, об универсальном управляющем принципе закономерности и необходимости (Логос), о бесконечной изменчивости всего, светила — особые чистые испарения Земли; наряду с *Хикетасом* и *Экфантом* проповедовал идею подвижности Земли. I тыс. — появление и расцвет астрологии в Вавилоне (на основе наблюдений Венеры), наблюдения пяти планет, совершенствование лунного календаря, открытие (по *Нейгебауэру*) 18-летнего цикла повторяемости лунных затмений (но не сароса! Время и место открытия последнего неясны). Сер. I тыс. — создание древнейших известных книг с астрономическими сведениями (Китай).

I тыс. до н. э., вторая половина

Появление учения джайнизма о Вселенной, состоящей из пустоты, изменяющихся — путем соединения и разделения — материальных тел (состоящих в свою очередь из «атомов» — ану и «молекул» — скандха) и эфира (Индия). Ок. 470 — падение огромного метеорита у р. Эгос (Козья) (Фракия), объясненного *Анаксагором* как кусок, оторвавшийся от раскаленного Солнца. V в. — *Анаксагор*: учение о бесчисленном множестве «элементов» бытия — элементарных качеств, о развитии всего под действием направляющего принципа «Нус» (букв. — Ум) и двух противоположных сил — разделяющей (вращение) и «стремления подобного к подобному», Вселенную считал единственной, возникшей в виде гигантского вихря, внезапно зародившегося в неподвижной вначале среде и постепенно замедлившегося, небесные светила — оторвавшимися при вращении молодой Земли кусками скал, допускал обитаемость Луны; *Филолай Кротонский*: первое обнаружение пифагорейской системы мира; *Левкипп*: учение о беспредельной и закономерно развивающейся Вселенной, состоящей из пустоты и множества разнообразных телец (Др. Греция). V в., вторая пол. — первое в Европе измерение наклона эклиптики к экватору ϵ (*Энопид Хиосский*, — Др. Греция). Конец V — нач. IV в. — атомизм *Демокрита* как развитие учения *Левкиппа* (дискретно не только вещество, но и пространство); первое утверждение, что Млечный Путь — скопление звезд; идея сосуществующих одновременно, различных по размерам, структуре и возрасту вселенных; *Платон*: основы теоретического познания природы (в том числе движения небесных тел), идея мирового эфира, конечной, единственной, но не вечной Вселенной (само время возникает вместе со Вселенной).

III. Начало точной математической астрономии как науки, объясняющей причины и механизм явлений

60-е гг. IV в. — *Евдокс Книдский*: первая математическая геоцентрическая модель мира (27 гомоцентрических сфер, вращающихся вокруг различных осей), первая попытка объяснить петлеобразное движение планет, первый сохранившийся результат измерения ϵ (24°) и первый звездный каталог (Др. Греция). Ок. 355 — звездный каталог (ок. 800 звезд, — *Гань Гун* и *Ши Шэнь*, — Китай). Ок. 350 — *Гераклид Понтийский*: идея суточного вращения Земли и описание гео-гелиоцентрической системы мира («египетская») — все светила обращаются вокруг Земли, а Меркурий и Венера еще и вокруг Солнца (Др. Греция). IV в. — разделение эклиптики на 12 созвездий (12 равных участков — «знаков Зодиака», важных в астрологии и календарной астрономии); введение эклиптической долготы; измерение сидерического периода Юпитера (12 лет, — Вавилон); введение 7-дневной недели с планетными названиями дней; лунно-солнечный цикл *Каллиппа* (Др. Греция). 332 — основание Александрийского Музеума с кингохранилищами и обсерваторией. 30—20-е гг. IV в. — *Аристотель*: создание первой логически и физически обоснованной универсальной системы природы и космологической концепции единственной, замкнутой, конечной и вечной Вселенной; развитие системы мира *Евдокса—Каллиппа* (увеличение числа гомоцентрических сфер с 34 до 56). 301 — первая запись о солнечных пятнах (Китай). Ок. 300 — теория основных небесных кругов и координат (эклиптических и экваториальных) — «сферика» (*Евклид*, «Явления»). Рубеж IV—III вв. — идея наполненности космического пространства особой средой (пневма), находящейся в состоянии натяжения и направляющей развитие вещей (*Зенон Китийский*, Др. Греция); учение о единстве мира, его бесконечности в пространстве и во времени (*Куэй Ши* и *Гунсунь*, — Китай). Ок. 280 — первый звездный каталог с указанием координат (эклиптических) (*Аристилл* и *Тимохарис*, Александрийская школа). Ок. 270 — поэма *Арата* «Явления» (описание созвездий по *Евдоксу*). Ок. 265 — *Аристарх Самосский* (Александрия): первая гелиоцентрическая система мира, измерение расстояния до Солнца и до Луны и оценка их размеров, утверждение «бесконечно большой» удаленности звезд (чем объяснена ненаблюдаемость звездных параллакс). Ок. 264 — введение летосчисления по олимпиадам (Др. Греция, действовало до 394 г. н. э.). III в. — начало употребления солнечных и водяных часов, изобретение компаса (Китай). Сер. III в. — *Сунь-цзы*, основатель материалистического направления в конфуцианстве (Китай): теория материальной Вселенной, развивающейся по естественным законам; *Архимед*: первое весьма точное измерение углового диаметра Солнца, сооружение наиболее древнего известного небесного глобуса, первая умозрительная математическая оценка размеров Вселенной. 240 — первое «градусное» измерение окружности Земли (252 тыс. стадиев, или $40 \div 46$ тыс. км) и уточнение ϵ ($23^\circ 51'$) (*Эратосфен*, Александрия). 238 — первая (неудачная) попытка введения високосных годов (*Птолемей III Эвергет*, «Канопский декрет», Александрия). Ок. 250—230 — теория конических сечений, эпициклическая теория неравномерного периодического движения (*Аполлоний Пергский*, Александрия). 164 — наиболее ранняя запись о наблюдении кометы (Галлея) в Вавилоне. II в. — учение «санкхья» (рациональное) и «локаята» (от «лока» — материя): материальность Вселенной и (по санкхье) саморазвитие материи из непроявленной формы (авьякта) в мир вещей (вьякта); идея рождения Вселенной «из пустоты» («жизненного», т. е. саморазвивающегося мирового эфира. — *Лю Ань*, Китай). Ок. 150 — открытие связи приливов и отливов с положением Луны на небе, защита идеи движения Земли (*Селевк* из эллинистической Селевкии). 150—123 — *Гиппарх*: открытие прецессии, первая теория движения Солнца и Луны, каталог ок. 850 звезд с разделением на 6 классов по блеску, наблюдение Новой 134 года (Др. Греция). 104 — первая календарная реформа и уточнение длины тропического года (365,2502) и синодического месяца (29,5311) (Китай). I в. — весьма точное измерение синодических периодов Марса, Юпитера и Сатурна (Китай); поэма «О природе вещей» *Лукреция Кара*; 45.1.1 — введение в Римской империи юлианского солнечного календаря (проект *Созигена*, Александрия) с високосными годами.

I в. — очень точное измерение аномалистического месяца (27,55336. — *Лю Хун*, Китай); соч. *Ван Чуня* «Критические рассуждения»: материалистическое учение о возникновении Вселенной из вечно существующей тонкой первичной материальной субстанции «ци» в силу принципа «дао» как самодвижения и саморазвития материи; Вселенная беспредельна, вечна и неизменна в целом (Китай); первый универсальный инструмент — прообраз теодолита и секстанта (описан *Героном Александрийским*). I в. — идея космической природы комет (*Сенека Мл.*, Рим). Конец I—II в. — разделение неба на 124 созвездия; водяные часы для приведения во вращение глобусов, теория и изготовление армиллярных сфер с разделением кругов на $365 \frac{1}{4}$ частей — «китайские градусы» (*Чжан Хэн*). Нач. II в. — вывод о сходстве Земли и Луны на основании опытов с отражением света различными поверхностями (*Плутарх*, Рим). Ок. 140 — *Птолемей* (Александрия): создание первой универсальной математической теории движения планет, Солнца и Луны на основе физики *Аристотеля*, принципа геоцентризма и теории эпициклического движения, дополненной собственной идеей экванта; дополнение каталога *Гиппарха* до 1025 звезд и разделение неба на 48 созвездий; изобретение новых астрономических инструментов — трикветрума (более позднее название) и астролябона (термин *Птолемея*). II в. — первые сочинения о полетах на Луну, Солнце и звезды (*Лукиан Самосатский*, Рим: «Истинная история», «Икарומенипп»); наиболее ранние сохранившиеся памятники астрономической деятельности майя. II—III вв. — начало выступлений христиан против эллинистической науки (*Тертуллиан*, Рим). Ранее III в. — космологическая теория «сюанье» — о безграничности Вселенной, движении Земли (незаметного из-за движения вместе с ней наблюдателя, — Китай). Первые века н. э. — создание астрономических трактатов — «сиддхант» (Индия).

IV. Утверждение централизованных государственных религий Запада и Востока и закат региональной астрономии

III в. — попытки согласовать древнегреческую эллинистическую натурфилософию с Библией: защита концепции множественности населенных миров и самих вселенных на основе идей всемогущества Бога (*Ориген*, Римская империя). 311 — утверждение христианства как государственной религии Рима. Ок. 330 — переоткрытие прецессии (*Юй Си*, Китай). IV в. — утверждение, что идея шарообразности Земли не противоречит Библии (*Василий Великий*, *Григорий Нисский*, Византия). Конец IV — нач. V в. — переосмысление на христианский лад понятий пространства и времени: время — не мера циклического движения неба (первоначальные идеи *Платона* и *Аристотеля*), а ощущение неповторимости прямолинейного движения истории (библейской, — *Августин Блаженный*, Сев. Африка). 390—415 — деятельность *Гипатии* (Александрия). IV—V вв. — создание «Сурья-сиддханты», переложения «Альмагеста» *Птолемея* (Индия). 415 — убийство *Гипатии* фанатиками-христианами. V в. — возрождение представлений о плоской Земле (Византия). 475 — разгром христианами научного центра в Константинополе. 479—501 — деятельность *Цзу Чунчжи*: сидерический период Юпитера (83/7 года), драконический месяц (с отличием от современного измерения на 10^{-5} суток: 27,21223), уникальный календарь (учет прецессии при сравнении солнечного и звездного годов, использовался с 510 до 588 г.). 499 — соч. «Ариабхатия» с идеей шарообразности Земли и развитием тригонометрии.

1 тыс. н. э., вторая половина

Ок. 547 — «Христианская топография Вселенной» *Космы Индикоплова* (Византия). VI в. — первая критика *Аристотеля* (*Иоанн Филопон*, Византия). IV—VIII вв. — расцвет инструментостроения в астрономии Китая (армиллярные сферы, секстанты, квадранты и др.) 622.16.VII — начало мусульманского летосчисления (эра хиджры). 628 — критика «Ариабхатии» и защита мифо-

логических представлений о затмениях (*Брахмагупта*, Индия). 640 — взятие Александрии арабами и конец ее как последнего эллинистического центра науки. Ок. 660 — «Космография» *Анании Ширакаци* (Армения). 665 — соч. «Кхандакхадьяка» *Брахмагупты* (развитие математического аппарата астрономии и введение отрицательных чисел, идея тяготения). Первая четверть VIII в. — открытие собственных движений звезд (*И Синь*, Китай); *Бэда Достопочтенный* (начало вычислений пасхалий по астрономическим данным, Западная Европа); рубеж VII—VIII вв. — первая обсерватория в арабском халифате (Дамаск).

V. Объединение астрономии Востока и Запада в рамках картины мира Аристотеля—Птолемея (VIII—XV вв.)

VIII в. — элементы античных и эллинистических космологических учений (*Иоанн Дамаскин*, «Источник знания», Византия); создание первых «академий» при дворах багдадских халифов *аль-Мансура* и *Гаруна аль-Рашида* и знакомство арабов с теорией *Птолемея* по индийским источникам; учреждение первой западноевропейской «академии» *Алкуина* при дворе *Карла Великого*. 827 — первый перевод (по приказу халифа *аль-Мамуна*) «Альмагеста» с греческого на арабский язык. 829 — основание Багдадской астрономической обсерватории. VIII—IX вв. — развитие строительства астрономических инструментов — по описанию *Птолемея* (армилярные сферы, тройные жезлы, квадранты) и оригинальных (астролябии) в арабском мире. IX в. — создание государственного астрономического учреждения «Тайшицзюй» (Китай), открытие псевдоэффекта — трепидации (якобы вариации прецессии) и уточнение перевода «Альмагеста» (*Сабит ибн Курра*, Багдад). Рубеж IX—X вв. — открытие движения солнечного апогея, введение синусов и методы решения сферических треугольников (*аль-Баттани*, Сирия). X в. — первые «зиджи» — астрономические таблицы со звездным каталогом (перевычисление птолемея с учетом прецессии, — *аль-Баттани*, Дамаск; *ас Суфи*, Исфахан); первое оригинальное сочинение по астрономии в арабском халифате (*Абу ль-Вэфа*, Багдад); «Хакимитские таблицы» Солнца, Луны и планет (*ибн Юнис*, Каир). Конец X в. — *Герберт* (папа *Сильвестр II*): изготовление астрономических инструментов.

2 тыс. н. э., первая половина

Первая пол. XI в. — деятельность *Бируни* (Хорезм, Ургенч, Газна): первый в мире большой стеноидный квадрант (радиус дуги 7,5 м), открытие уменьшения ϵ (на 52,6" в столетие), идея триангуляции (звездный каталог 1029 звезд на основе каталогов *Птолемея* и *ас Суфи*, с прецессией 52,46" в год), измерение окружности Земли методом понижения горизонта с высотой (41500 км), первые описания зодиакального света, солнечной короны, объяснение явления зари, разработка основ сравнительной хронологии («Хронология», 1000; «Геодезия», 1025; «Канон Мас'уда», 1036—1037). 1054.28.VI—1056 — наблюдение сверхновой в Тельце, образовавшей Крабовидную туманность (Китай, Европа). XI в. — развитие материалистической концепции формирования Вселенной путем сгущения распыленной субстанции «ци» в туманную массу «тайхэ» (Великую Гармонию), разделения каждого элемента «ци» на положительные и отрицательные части, в результате взаимодействия которых создается вся природа (*Чжан Цзай*, Китай). 1064 — первая запись в русской летописи о солнечном затмении; 1066 — о комете (*Галлея*, — о ней же на стене храма в Абхазии), о звездном дожде (Леониды). 1079.16.III — начало «эры Джелали» по календарной системе *Омара Хайяма* (в 33 годах 2 високосных, ошибка—1 день в 5 тыс. лет); защита идеи бесконечности Вселенной (*Омар Хайям*, Исфахан). 1080 — «Толедские таблицы» (*Арзахель*, Испания). 1154 — основание Пекинской обсерватории. XII в. — переводы на латынь «Альмагеста» и других сочинений с арабского (*Герардо из Кремоны* и др.). Рубеж XII—XIII вв. — первая запись о протуберанце (во время затмения 1185 г., Русь). XII—XIII вв. — космолого-космогоническая концепция на основе представлений геометрической оптики,

атомизма и пифагорейской идеи «Огненной Единицы» (*Гроссетет, Р. Бэкон, Англия*). 1252 — «Альфонсинские таблицы» (составленные под руководством короля Кастилии *Альфонса X Мудрого*). Сер. XIII в. — систематизация католического учения путем объединения его с упрощенной и препарированной космологией *Аристотеля* (*Фома Аквинский, Италия*). 1256 — одно из первых астрономических популярных сочинений в Западной Европе — «Сфера Вселенной» *Джона Галифакса* (*Сакробоско, Англия*). 1259 — основание Марагинской обсерватории (*Насирэддин ат Туси*) со стенным квадрантом в 6,5 м. 1271 — «Ильханские таблицы» *ат Туси* (вкл. звездный каталог с постоянной прецессии $51,428''$). В теории пытался усовершенствовать птолемееву систему, отбросив эквант. Первая пол. XIV в. — критика *Аристотеля* и защита идеи осевого вращения Земли и ее поступательного движения, а также ее нецентрального положения во Вселенной (*Жан Буридан, Париж*). Сер. XIV в. — идея несоизмеримости небесных движений и эволюционного, нециклического развития Вселенной (*Николай Орем, Париж*). 1365 — первая запись о солнечных пятнах в русской (Никоновской) летописи. Ок. 1425 — сооружение обсерватории *Улугбека* с уникальным квадрантом ($R=40$ м) близ Самарканда (*Улугбек, Гураган*): переопределение ε , положения точки весеннего равноденствия (с точностью $1''$), длины тропического года (в результате первых в истории систематических — около четверти века — наблюдений Солнца). 1420—1437 — «Гураганские таблицы» — звездный каталог *Улугбека* (1019 звезд, заново определены координаты около 700, с точностью $15'$). 1449 — убийство *Улугбека* как «отступника от ислама» и разрушение обсерватории. 1453 — взятие турками Константинополя (в дальнейшем — Стамбул) и прекращение существования Византии (часть греческих рукописей вывезена в Италию). Сер. XV в. — *Николай Кузанский* (Германия, Рим): антиаристотелевская космология — утверждение безграничности и ацентричности Вселенной, движения Земли в пространстве, неощутимого в силу принципа относительности (и равноправия ее в этом отношении с любым другим космическим телом — первая формулировка принципа однородности Вселенной), идея вещественного единства Вселенной и широкой распространенности жизни в ней (опубл. в 1514 г.). 50—60-е гг. XV в. — деятельность *Г. Пурбаха* и *И. Мюллера* (*Региомонтана*) в Вене: 1456—1457 — наблюдение ими кометы (*Галлея*) и вывод *Пурбаха* (вопреки картине мира *Аристотеля*) о громадных размерах и большой удаленности ее; развитие методов сферической тригонометрии и составление таблицы синусов для углов 0° — 90° через $1'$ (*Региомонтан*), что обеспечило высокую точность последних геоцентрических и первых гелиоцентрических планетных таблиц. 1471—1475 — начало деятельности обсерватории *Региомонтана* — *Вальтера* в Нюрнберге и создание наблюдательной школы *Вальтера* (существовала до XVII в.). 1472 — первые численные оценки размеров и «высоты» кометы с выводом о ее космической природе, за 100 лет до *Тихо Браге* (ученики *Пурбаха* *Региомонтан* и *Э. Шлезингер*); издание основного труда *Пурбаха* — «Новая теория планет» (последняя на основе теории *Птолемея*, — типография *Региомонтана* в Нюрнберге). Первая пол. 70-х гг. XV в. — установление расхождения юлианского календаря с солнечным годом почти на 10 дней (*Региомонтан*, «Эфемериды на 1474 г.»); последние астрономические геоцентрические таблицы и новый метод определения долготы на море («метод лунных расстояний», *Региомонтан*, «Эфемериды на 1475—1506 гг.»); завершение *Региомонтаном* перевода и комментирования греческого текста «Мегале синтаксис» *Птолемея* (начато *Пурбахом*, опубл. в 1496 г.). 1492 — падение старейшего из сохранившихся каменного метеорита (близ Энзисгейма, Германия, ок. 127 кг); перенос начала календарного года на Руси с 25 марта на 1 сентября; плавание *Х. Колумба* с использованием таблиц *Региомонтана*. Конец XV в. — появление на Руси переводных книг с изложением учения *Аристотеля* — *Птолемея*.

VI. Эпоха первых научных революций в астрономии и физике:

Коперник—Кеплер—Галилей—Ньютон
(XVI—XVII вв.)

1499—1504 — плавание *Америго Веспуччи* с использованием таблиц *Региомонтана*, завершившееся окончательным открытием Америки. Конец XV —

начало XVI в. — *Леонардо да Винчи*: правильное объяснение пепельного света Луны; космология, содержащая идеи единства материальной Вселенной (подлунного и надлунного миров), множественности центров тяготения (все небесные тела — тяжелые), нецентрального положения Земли. 1503—1512 — создание (и рассылка друзьям) первого краткого варианта новой гелиоцентрической теории *Коперника* («Малый комментарий о гипотезах, относящихся к небесным движениям»). 1512—1517 — Латеранский собор в Риме (проблема календарной реформы: юлианский календарь отстал от солнечного года на 10 дней). 1519 — начало первого кругосветного плавания, доказавшего изолированность Земли в пространстве и существование антиподов (*Ф. Магеллан*, Португалия). 1528 — первое в Западной Европе градусное измерение (*Ж. Фернель*, Франция). Первая треть XVI в. — открытие ориентации хвостов комет прочь от Солнца (*Д. Фракасторо*, *П. Апиан*). 1530 — завершение *Коперником* работы над гелиоцентрической теорией. 1538 — последняя попытка (ввиду сложности птолемеевой системы) вернуться к моделированию Вселенной гомоцентрическими сферами (*Фракасторо*, 79 сфер). 1539 — первое печатное изложение гелиоцентрической системы (*Петик*). 1542 — публикация математической (тригонометрической) части труда *Коперника* о новой системе мира. 1543, май — выход сочинения *Коперника* «О вращениях небесных сфер» — полного изложения гелиоцентрической теории Вселенной. 1551 — первые гелиоцентрические «Прусские таблицы» (*Э. Рейнгольд*). Нач. 60 — конец 80-х гг. XVI в. — начало пропаганды коперниканской теории мира в университетских лекциях в Швейцарии и Италии (*Х. Вурстейзен* из Базеля, прообраз *Сагрето* в «Диалоге» *Галилея*). 1561 — обсерватория ландграфа *Вильгельма IV Гессен-Кассельского*, впервые с вращающейся крышей и использованием нового изобретения — маятниковых часов *И. Бюрги* (Германия). 1572.11.XI — сверхновая в Кассиопее (*Тихо Браге*). 1576 — обсерватория *Тихо Браге* «Уранибург» с квадрантом в 6 м (Дания, остров Вэн). 1576—1597 — впервые в Европе систематические непрерывные высокоточные наблюдения Солнца, Луны, планет (Марса — в течение 8 оборотов), составление звездного каталога с точностью положения звезд до 1' (*Тихо Браге*). 1577 — первое ставшее известным доказательство космической (надлунной) природы комет (параллакс кометы 1577 г. меньше шестой доли лунного. — *Т. Браге*). 1582.5(15).X — введение григорианского календаря (проект *Л. Лиллио*, ошибка — 1 день за 3280 лет). 1583 — система мира *Тихо Браге* (распространение в рукописи — 1588; опубликована в 1603); введение *Скалигером* (Франция) непрерывного счета времени в днях «юлианского периода» (7980 лет). 1584 — издание в Лондоне соч. *Дж. Бруно* «О бесконечности, вселенной и мирах». 1596 — открытие первой переменной (Миры Кита, — *Д. Фабриций*, Фрисландия; название дал независимо открывший ее *Я. Гевелий*). 1600.17.II — сожжение *Бруно* (Рим). 1600 — *В. Гильберт* (Англия): первое учение «О магните, магнитных телах и о большом магните Земле» (первая попытка физического объяснения вращения Земли ее магнитными свойствами).

XVII век

1603 — «Уранометрия» — первый атлас всех видимых звезд с введением их обозначений греческими буквами и новых созвездий: Павлин, Тукан, Журавль, Феникс, Летучая Рыба, Хамелеон, Пчела, Золотая Рыба, Райская Птица, Южный Треугольник, Южная Гидра, Индеец (*И. Байер*, Германия). 1604.10.X — «Сверхновая *Кеплера*» в Змееносце (независимо открыта также *Галилеем* и *Д. Фабрицием*). 1608 — изобретение зрительной трубы (*И. Липперсгейм*, *Я. Мециус*, *З. Янсен*, Голландия). 1609 — «Новая изыскивающая причины астрономия, или физика неба...» *Кеплера* с двумя первыми планетными законами, начало революционного переворота в механике неба. 1609—1610 — *Галилей*: сооружение зрительной трубы и начало телескопической астрономии. 1610 — «Звездный вестник» *Галилея* (об открытии им четырех спутников Юпитера, гор на Луне, фаз у Венеры, о разложении облаков Млечного Пути на звезды). 1611—1613 — сообщения о новых телескопических открытиях: солнечных пятен (*И. Фабриций*, *Галилей*, *Х. Шейнер*), вращения Солнца (*И. Фабриций*, *Шейнер*). 1611 — изобретение схемы рефрактора (*Кеплер*).

1612 — открытие (невооруженным глазом) туманности Андромеды (*С. Марий*, Германия). 1613 — сооружение первой астрономической (кеплеровой) трубы (*Шейнер*). 1616.5.III — включение труда *Коперника* в «Индекс» запрещенных церковью книг. 1617 — первое измерение длины градуса меридиана (ок. 108 км) новым методом — триангуляцией (*В. Снеллий*, Голландия). 1618 — «Сокращение коперниковой астрономии» (т. I — распространение 1-го и 2-го планетных законов с Марса на остальных членов Солнечной системы. — *Кеплер*); изобретение параллактической монтировки телескопа (*Шейнер*). 1619 — «Гармония мира» *Кеплера* (открытие 3-го закона); открытие туманности Ориона (*И. Цизат*, Швейцария). 1624 — критика средневековой науки и первое обоснование системы *Коперника* с точки зрения механики (*Галилей*, «Послание к *Франческо Инголи*»). Первая пол. XVII в. — появление телескопа в Китае и переход на европейские градусы при делении окружности. 1627 — «Рудольфинские таблицы» *Кеплера*. 1630—1632 — формирование вихревой космогонии и материалистической космологии *Декарта* (сокращенная публикация в «Началах философии», 1644, полная — в «Трактате о свете», 1664). 1631 — первое наблюдение предвычисленного *Кеплером* прохождения Меркурия по диску Солнца (*П. Гассенди*, Франция). 1632, февраль — выход «Диалога о двух главнейших системах мира...» *Галилея* (в августе внесен в папский «Индекс»). 1633 — суд инквизиции над *Галилеем* и принуждение его к отречению. 1634 — посмертная публикация соч. *Кеплера* «Сон или астрономия Луны»; идея использования трубы *Галилея* в качестве визира в измерительных инструментах — квадрантах (*Ж. Б. Морен*, Франция). 1635 — издание латинского перевода «Диалога» *Галилея* в Голландии. 1638 — «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению...» — соч. *Галилея*, совершившее переворот в механике; первая попытка экспериментально измерить скорость света (*Галилей*); описание фантастического полета на Луну (на лебедях), включавшее идею невесомости на больших высотах (*Ф. Годвин*, «Человек на Луне»). 1639 — первое измерение солнечного параллакса π_{\odot} по прохождению Венеры по диску Солнца (*И. Хоррокс*, Англия). 1640 — первое объединение микрометра с окуляром кеплеровой трубы (*В. Гаскойнь*, Франция. — Оба факта стали известны много позднее). 1641 — сооружение обсерватории *Гевелия* с «воздушной трубой» в 45 м (Польша, Гданьск). 1647 — «Селенография» *Гевелия* с географическими наименованиями деталей на Луне и первыми подробными картами Луны. 1651 — «Новый Альмагест» — модернизация теории *Птолемея* на основе системы *Т. Браге* (*Дж. Риччиоли*), с приложением карты Луны (*Риччиоли* и *Ф. Гримальди*, — с введением названий по именам астрономов, включая *Коперника*!). 1652 — открытие затмений спутников Юпитера (*Дж. Ходжерна*, Сицилия). 1655 — открытие спутника Сатурна—Титана (*Гюйгенс*). 1656 — открытие кольца Сатурна (*Гюйгенс*, — публикация в виде анаграммы, расшифровку которой он дал в 1659 г. в соч. «Система Сатурна»). 1657—основание «Академии дель чименто» (академии естествознания) (Италия, Флоренция); первое изложение на русском языке системы *Коперника* («*Епифаний Славинецкий* «Зерцало всея Вселенная» — пер. «Введения в космографию» *И. Блеу*). 1662 — разложение солнечного света призмой — открытие явления спектра (*Ньютон*); официальное учреждение Лондонского королевского общества. 1663 — изобретение и описание рефлектора (*Дж. Грегори*, Англия); внесение в папский «Индекс» всех соч. *Декарта*. 1664 — «Трактат о свете» *Декарта* (полное изложение его космогонии). 1665 — открытие вращения у планеты — Юпитера (9 ч 56 мин, *Дж. Д. Кассини*, Италия); открытие «красного пятна» Юпитера (*Р. Гук*, *Дж. Д. Кассини*); первая теория движения спутников Юпитера (*Дж. Борелли*, Италия); идея двух возможных путей образования лунных кратеров: ударом постороннего тела и в результате извержений лунных вулканов (*Гук*, опубл. в 1667 — «Микрография»). 1666 — открытие вращения Марса (24 ч 37 мин, *Дж. Д. Кассини*); официальное учреждение Парижской академии наук; основание Парижской обсерватории (построена в 1667—1672). 1667 — независимое соединение микрометра с окуляром кеплеровой трубы, сделавшее телескоп измерительным инструментом (*А. Озу*, Франция, — впервые применен тогда же в качестве визира при измерительном инструменте — зенитном секторе, — *Ж. Пикар*). 1668 — *Ньютон* построил первый рефлектор; первые таблицы движения спутников Юпитера —

основание нового метода определения долготы на море (*Дж. Д. Кассини*); «Кометография» *Гевелия*. 1671—1673 — первое получившее известность и достаточно точное определение π_{\odot} (9,5") и астрономической единицы (ок. 140 млн км) (*Дж. Кассини, Ж. Рише*). 1675 — открытие конечности и оценка скорости света *О. Рёмером* по запаздыванию затмений спутника Юпитера в соединении в сравнении с противостоянием; открытие первого промежутка в кольце Сатурна («щель *Кассини*», — *Дж. Кассини*). 1676 — открытие «большого неравенства» Сатурна и Юпитера (*Э. Галлей*) и возникновение проблемы устойчивости Солнечной системы; основание Гринвичской обсерватории. 1677 — первая попытка космического объяснения болидов (как близко проходящих комет, — *Дж. Валлис, Англия*). 1679 — опубликование первого каталога звезд южного неба (341, вкл. 6 «туманностей», — *Галлей*). 1683 — первое научное описание в Европе зодиакального света (*Дж. Кассини*); идея первоначально раскаленного состояния Земли как самосветящегося тела (*Г. Лейбниц*, — подробнее в соч. «Протогея», 1748). 1686 — «Беседы о множественности миров» (с идеей обитаемости Луны и других планет и бесконечного разнообразия форм жизни, — *Б. Фонтенель*). 1687 — опубликование «Начал» *Ньютона* — завершающий этап эпохи научных революций XVI—XVII вв. издание «Каталога неподвижных звезд» *Гевелия* (1564 звезды, впервые в эклиптических и экваториальных координатах с точностью 2' — последний крупный успех дотелескопических методов). 1689, 1690 — изобретение пассажного инструмента и меридианного круга (*Рёмер*). 1690 — «Уранография» *Гевелия* (54 карты созвездий, доступных в Гданьске, с введением 11 новых (сохранилось восемь названий: Гончие Псы, Жираф, Ящерица, Малый Лев, Секстант, Единорог, Лисичка, Щит). 1692 — первая в России астрономическая обсерватория (частная, *А. А. Любимова, Холмогоры*). 1692—1693 — идея формирования звезд из диффузной материи под действием гравитации (*Ньютон*). 1693 — открытие векового ускорения Луны (*Галлей*). 1694—1695 — создание «Космотеороса» (защита системы *Коперника*, идея множественности обитаемых миров с описанием «жителей Венеры», первая фотометрическая оценка расстояний до звезд: 0,5 св. года до Сириуса, — *Гюйгенс*, опубл. в 1698). 1696 — первая «катастрофическая» гипотеза формирования обитаемой Земли — в результате удара кометы в другую комету, обращавшуюся вокруг Солнца (Протоземля) (*В. Уистон*, «Новая теория Земли...», Англия). 1699.15.XII — введение в России, по указу *Петра I*, летосчисления «от Р. Х.», вместо счета «от сотворения мира», и начала года с 1 января (1.1.1708 = 1.1.1700).

XVIII век, первая половина

1701 — первое крупномасштабное исследование земного магнетизма (*Галлей*, «Генеральная карта вариаций (склонений) компаса»). 1701.14.I — открытие первого в России учебного заведения с преподаванием астрономии (Навигацкая школа).

VII. Развитие астрономии в рамках гравитационно-механической ньютоновской картины мира. Рост масштабов наблюдаемой Вселенной

1705 — установление периодичности комет и прогнозирование возвращения кометы 1682 года в 1758 г. на основе ньютоновской гравитационной теории (*Э. Галлей*). 1714 — первая научно обоснованная гипотеза о космической природе болидов (*Галлей*). 1715 — первая работа о «туманных пятнах» с выводом об их громадных размерах (*Галлей*). 1717 — наиболее ранняя идея возможности столкновения кометы с Солнцем (*В. Уистон*, «Астрономические принципы религии»). 1718 — открытие собственных движений звезд (у Сириуса, Альдебарана и Арктура, — *Галлей*). 1727 — открытие абберации света с оценкой постоянной абберации в 20,25", учет которой повышал нижнюю границу межзвездных расстояний до 1,6 св. года (*Дж. Брайлей*, опубл. в 1729 г.). 1729 — опубликование космолого-космогонической концепции *Сведенборга*: вихревая гипотеза возникновения Солнечной системы, идея структурности звезд-

ной Вселенной. 1731 — выход соч. *Ньютона* «Система мира» с описанием идеи искусственного спутника Земли; изобретение октанта (для измерения высоты светила с корабля) (*Дж. Гадлей*, Англия), 1733 — *В. Дерхэм*, «Наблюдения среди неподвижных звезд явлений, называемых туманными звездами» (с первым каталогом 16 туманностей и описанием шести галлеевых, одна из которых впервые отождествлялась при этом со звездным скоплением; впервые отмечена овальная форма некоторых млечных туманностей). 1734 — первая космологическая работа *Т. Райта*. 1735 — 1743 — экспедиции Парижской академии наук для измерения длины градуса в Перу и Лапландию, доказавшие сплюснутость Земли у полюсов (подтверждение теории *Ньютона*). 1742 — вывод о вращении млечных туманностей, принятых за единичные тела (*П. де Мопертюи*), 1743 — *А. Клеро*, «Теория фигуры Земли». 1744 — формулировка фотометрического парадокса и гипотеза о поглощении света в мировом пространстве для снятия его (*Ж. Шезо*). 1747 — теоретическое обоснование возможности ахроматических объектов (отрицавшихся *Ньютоном*) (*Л. Эйлер*). 1748 — сообщение *Брадлея* об открытии им нутации (впервые замеченной им в 1727), учет которой повышал верхнюю границу звездных параллаксов до 0,5" (межзвездное расстояние 6,5 св. лет). 1749 — первая катастрофическая космогоническая планетарная гипотеза (*Ж. Бюффон*, «История и теория Земли»); теория прецессии и нутации (*Ж. Д'Аламбер*); 1750 — *Т. Райт*, «Оригинальная теория, или новая гипотеза Вселенной» (островной, гравитационной).

XVIII век, вторая половина

1752 — лунные таблицы *Т. Майера* (точность 1'). 1755 — *И. Кант*, «Всеобщая естественная история и теория неба» (концепция иерархической, развивающейся гравитационной Вселенной; космогоническая метеоритная планетная гипотеза); издание высокоточного звездного каталога *Дж. Брадлея* (3268 звезд). 1757 — первое определение масс планет, не имеющих спутников (*Клеро*); создание первого ахроматического (трехлинзового) объектива (*Дж. Доллонд*); идея воздушной подушки при взаимодействии (столкновении) кометы с атмосферой Земли (*Ф. Эпинус*, Россия). 1758 — идея единого закона сил и структурной бесконечности Вселенной (*Р. Бошкович*, «Теория натуральной философии, приведенная к единому закону сил, существующих в природе» с концепцией динамического атомизма, первый в истории вывод о возможности сжатия и расширения Вселенной без изменения физических явлений в ней); первое предвычисление, с учетом возмущений от планет, предсказанного *Галлеем* возвращения кометы (*Ж. Лаланд*, *А. Клеро*, мадам *Лепот*); 1758.12.IX — независимое открытие *Ш. Мессье* Крабовидной туманности (впервые ее наблюдал в 1731 г. *Бэвис*, Англия). 1760 — разработка теоретических основ фотометрии и первая весьма точная оценка межзвездных расстояний: ок. 8 св. лет до Сириуса (*Ламберт*). 1761.24.VI — открытие атмосферы на Венере (*М. В. Ломоносов*); 1761 — *Ламберт* «Космологические письма» (концепция структурной иерархической Вселенной с неподвижным общим ее центром и выделением в наблюдаемой Вселенной систем трех порядков сложности). 1763 — первый большой каталог южных звезд (10 тыс., *Н. Лакайль*). 1764—1771 — уточнение π_{\odot} (8,67"), по наблюдениям Венеры в 1761 и 1769 гг. (*С. Я. Румовский*). 1766 — установление правила планетных расстояний (*И. Тициус*, с 1722 г. известно как «закон *Тициуса* — *Бодде*»). 1770 — «Рассуждение о строении мира» (анонимное соч. *Ф. Эпинуса* с идеей ледяного ядра комет и гипотезой о поддержании энергии Солнца за счет падения на него комет как «топлива»). 1771 — список туманностей *Мессье* (103 объекта); обнаружение сибирской экспедицией *П. С. Палласа* загадочной «железной» массы, с разгадки природы которой ведет начало наука метеоритика. 1773—1787 — доказательство на основе теории *Ньютона* устойчивости Солнечной системы: периодического характера «большого неравенства» Юпитера и Сатурна, «векового» ускорения Луны и всех других мыслимых изменений параметров системы, вызываемых взаимными возмущениями ее членов; точное вычисление сжатия Земли (*Лаплас*). 1774 — первое экспериментальное определение средней плотности Земли (4,71 г/см³, — по уклонению отвеса близ горы. — *Н. Маскеллин*, Англия). 1775 — начало систематических обзоров неба *В. Гершелем*.

1781.13.III — открытие Урана (*В. Гершель*); первая вулканическая теория лунных цирков и продолжающейся вулканической активности Луны (*Ф. Эпинус*, Россия; *Г. К. Лихтенберг*, Германия). 1783 — открытие движения Солнца относительно соседних звезд к λ Геркулеса (*В. Гершель*); идея «черной дыры» (*Дж. Мичел*, Англия; в 1796 г. независимо — *Лаплас*). 1784 — открытие тенденции туманностей к сгущиванию в скопления и «пласты», первое выделение экваториальной зоны Местного сверхскопления («Пласт Волос Вероники») (*В. Гершель*); разгадка затменной природы переменности Алголя (*Дж. Гудрайк*). 1785 — первые оценки (методом звездных «черпков») размеров и формы Млечного Пути как изолированной системы звезд; идея коллапса и взрыва как последнего этапа развития звездного скопления под действием его общей гравитации и растущих взаимных возмущений орбитальных движений звезд в нем (прообраз регулярных и иррегулярных сил) (*В. Гершель*). 1786, 1789, 1802 — три каталога туманностей и скоплений (свыше 2,5 тыс., включая 182 двойных и кратных туманности; идея физической и генетической связи между их компонентами. — *В. Гершель*). 1787—1789 — сооружение крупнейшего тогда в мире рефлектора (длина 12 м, диаметр металлического зеркала 122 см. — *В. Гершель*). 1787 — открытие первых двух спутников у Урана (*В. Гершель*). 1789 — первая полная динамическая теория спутников Юпитера (*Лаплас*). 1790 — измерение периода вращения Сатурна и его колец (*В. Гершель*). 1791 — разделение млечных туманностей на истинные (из диффузной материи) и ложные (далекие звездные системы) и развитие (1789—1811) звездно-космогонической гипотезы продолжающегося звездообразования (в том числе группового) путем гравитационного сжатия диффузной материи (*В. Гершель*). 1794 — космическая теория метеоритов (*Э. Хладни*). 1795 — идея лунно-вулканического происхождения метеоритов (*Ольберс*). 1796 — небулярная космогоническая планетарная гипотеза *Лапласа* («Изложение системы мира», в последующих изданиях дополнена на основании наблюдений и звездно-космогонической гипотезы *В. Гершеля*). 1796—1822 — шесть фотометрических каталогов *В. Гершеля* (ок. 3 тыс. звезд, точность 0,1^m). 1797 — открытие первых обратных движений в Солнечной системе (Оберон, Титания) (*В. Гершель*); разработка метода вычисления кометных орбит (*Ольберс*). 1798 — первое лабораторное определение средней плотности Земли (5,448 г/см³), подтверждение закона тяготения *Ньютона* и определение величины гравитационной постоянной (*Г. Кавендиш*, Англия); начало исследований *Г. Брандесом* и *И. Бенценбергом* природы метеоров. 1798—1825 — пятитомный «Трактат о небесной механике» *Лапласа* — завершение создания основ классической небесной механики. 1798 — открытие одной из отличительных структурных черт — хондр — в каменных метеоритах (*Дж. Л. Вильямс*, Индия). 1800 — открытие ИК-излучения (в спектре Солнца) (*В. Гершель*).

ХІХ век, первая половина

1801.1.I — открытие первого астероида — Цереры (*Дж. Пиаци*), вскоре, однако, утерянного; новый метод определения орбиты по трем наблюдениям и доказательство, что это не комета (как думал *Пиаци*), а новая планета (*К. Гаусс*), что позволило вновь обнаружить Цереру в декабре 1801 г. (*Ф. фон Цах*) (а 1.I.1802 г. — *Ольберс*). 1802 — сообщение об открытии физической (динамической) связи между компонентами для первых 50 пар (видимых двойных) звезд (*В. Гершель*, — всего им открыто ок. 800 двойных); теоретическое вычисление π (8,56"), возрождение и динамическое обоснование лунно-вулканической гипотезы метеоритов (*Лаплас*); открытие второго астероида — Паллады и гипотеза их происхождения в результате разрушения большой планеты между Марсом и Юпитером (*Ольберс*); изобретение щелевого спектроскопа и открытие первых 7 темных линий в спектре Солнца (*В. Волластон*, Англия); открытие главного химического признака неземного метеоритного железа (значительная примесь никеля, — *Ч. Говард*, Англия). 1803 — окончательное установление и официальное признание реальности метеоритных дождей (в результате обследования района падения каменного дождя в Нормандии, близ г. Эгль, — *Ж. Б. Био*). 1804 — первое экспериментальное доказательство вращения Земли (по наблюдению падения тела в шахту, —

И. Бенценберг); открытие третьего астероида — Юноны (*К. Гардинг*, Германия); открытие главного структурного признака — крупнокристаллической структуры — метеоритного железа («фигур травления», — *В. Томсон*, позднее переоткрыто *А. фон Видманштетеном*). 1807 — открытие четвертого астероида — Весты (*Ольберс*. Следующий был открыт лишь в 1845 г.).

VIII. От механики к физике и химии небесных тел — в рамках классической гравитационной и электромагнитной картины мира

1809 — открытие линейной поляризации света небесных тел (по наблюдениям двух комет и Луны, — *Ф. Д. Араго*). 1811 — открытие хроматической поляризации света, изобретение полярископа — индикатора поляризованности излучения и доказательство с его помощью газообразного состояния солнечной фотосферы (*Араго*). 1814—1815 — открытие 576 темных (фраунгоферовых) линий в спектре Солнца, совпадение лабораторной линии Na с такой же, но темной в спектре Солнца, первая «классификация» звезд по спектрам (синие, красные и «солнечные») (*И. Фраунгофер*). 1817 — окончательное доказательство отраженного характера свечения Луны и планет (*Фраунгофер*); высококачественные рефракторы (на основе новой, научной технологии варки оптического стекла) с точным часовым механизмом (*Фраунгофер*). 1820 — основание первой астрономической обсерватории в южном полушарии (на мысе Доброй Надежды, Юж. Африка). Конец XVIII — нач. 40-х гг. XIX в. — создание точной теории движения Урана и обнаружение загадочных отклонений его от трижды уточнявшейся орбиты, что породило сомнения в справедливости самой ньютоновской теории тяготения. 1821 — идея существования за Ураном новой, возмущающей его движение планеты (*А. Бувар*, Франция). 1821—1822 — изобретение дифракционной решетки (*Фраунгофер*); первые правильные идеи о физике болида: объяснение огромных размеров головы за счет свечения окружающего воздуха; разрушения метеорного тела в полете сквозь атмосферу Земли — резким сжатием воздуха перед его лобовой поверхностью; первые заключения о химии космоса: идея безводности среды формирования метеоритного вещества, идея существования характерных прочных тройных союзов элементов в метеоритах (*Т. Гротгус*). 1822 — первый каталог двойных звезд *В. Я. Струве* (975). 1826 — повторная независимая формулировка фотометрического парадокса и вывод о необходимости поглощения света в межзвездном пространстве (*Ольберс*). 1827 — второй каталог двойных звезд *В. Я. Струве* (св. 3 тыс., ок. 2,5 открыто им самим). 1831 — сооружение Московской университетской обсерватории (основатель — *Д. М. Перевощиков*). 1833 — доказательство космической природы «падающих звезд» (по наблюдению ноябрьского звездного дождя (леониды), — *Д. Олмстэд*, США); каталог 2306 туманностей и скоплений, каталог свыше 3 тыс. двойных звезд (*Дж. Гершель*); обнаружение загадочных темных полос переменной интенсивности в спектре Солнца (*Д. Брюстер*). 1834 — доказательство безатмосферности Луны — по отсутствию рефракции близ края ее диска (*Ф. В. Бессель*); открытие первого «неземного» минерала в метеоритах (FeS — троилит, — *И. Берцелиус*). 1836 — пылевая составляющая в хвостах комет, — по поляризации света кометы *Галлея* (*Ф. Араго*). 1837 — первое прямое (тригонометрическое) измерение звездного параллакса (*В. Я. Струве*); третий каталог двойных звезд *В. Струве* (ок. 3 тыс.); идея периодичности ноябрьских метеоров, с периодом 33—34 года (*Ольберс*, *А. Гумбольдт*); идея подсистемы малых тел в Солнечной системе (*Ольберс*). 1838 — второе измерение звездного параллакса (61 Лебедя, — *Бессель*). 1839 — первое печатное сообщение о третьем случае измерения звездного параллакса (α Центавра, — *Т. Гендерсон*, Юж. Африка); основание Пулковской обсерватории (*В. Я. Струве*). 1839—1840 — первые фотографии в астрономии (Луны, — *Л. Дагерр*, *Араго*; *Д. Дрэпер*). 1840 — основание Гарвардской обсерватории в г. Кембридж (США). 1842 — открытие эффекта *Доплера* (*Х. Доплер*, Австрия); первая фотография Солнца (Франция). 1842—1843 — установление изменчивости широты (*Х. Петерс*, Пулково). 1843 — открытие периодичности изменения числа солнечных пятен (с перио-

дом ок. 10 лет, — *Г. Швабе*, Германия). 1844 — предсказание невидимых («темных») спутников у Сириуса и Прочиона, возмущающих их движение (*Бессель*); первая фотография лунного затмения (*Е. Кнорр*, Казанский университет). 1845 — завершение строительства нового крупнейшего в мире рефлектора ($D=182$ см, длина 17 м) и открытие спиральной структуры у M51, а затем у ряда других млечных туманностей (*В. Парсонс*, граф Росс). 1846.23.IX — открытие Нептуна, предвычисленного на основе ньютоновской теории тяготения (*Дж. К. Адамс*, *У. Ж. Леверье*); открытие первого спутника у Нептуна — Тритона (*У. Ласселл*, Англия). 1846 — установление существования межзвездного поглощения света с первой реалистической оценкой его величины ($0,6^m$ на кпк — *В. Я. Струве*); описание вновь открытых двойных звезд (более 2 тыс.) и около 2 тыс. туманностей в результате наблюдений в Южной Африке (*Дж. Гершель*). 1848 — идея источника энергии Солнца за счет падения на него метеоритов, с учетом принципа сохранения и превращения энергии (*Р. Майер*, Германия). 1850 — первая фотография звезды (Веги — *У. и Дж. Бонд*, США). Сер. XIX в. — контракционная гипотеза источника солнечной энергии (*Г. Гельмгольц*, Германия; *В. Томсон*, Англия).

ХІХ век, вторая половина

1851 — второе (после *Бенценберга*) и более известное экспериментальное доказательство вращения Земли — «маятник *Фуко*»; первое успешное фотографирование короны и протуберанцев (*Берковский*, Германия; *Секки*, Италия; *Де ла Рю*, Англия). 1851—1852 — первое лабораторное измерение скорости света (*Л. Фуко*, *И. Физо*, идея *Араго*). 1851—1852 — открытие связи геомагнитных возмущений с изменением числа солнечных пятен (*И. Ламонт*, *Р. Вольф*, *Э. Сэбин*, *А. Готье*). 1852 — установление 11-летнего периода солнечных пятен (*Р. Вольф*). 1854 — открытие «противосияния» (*Т. Брорзен*); каталог всех известных переменных звезд (*Н. Погсон*). 1857 — точная шкала звездных величин (*Погсон*). 1858 — первая фотография кометы (*Ушервуд*). 1859 — «метеоритная» теория строения колец Сатурна (*Дж. К. Максвелл*); открытие избытка в скорости вращения перигелия Меркурия (*Леверье*); открытие солнечных вспышек (*Р. Х. Кэррингтон*); первая математическая разработка идеи вращения Галактики (*М. А. Ковальский*); «Боннское обозрение» (более 324 тыс. звезд до $9,5^m$, — первая международная работа, начата в 1852 г., опубликована к 1862 г. — *Ф. Аргеландер* и др.). 1859—1862 — лабораторное открытие явления обращения спектральной линии (желтой линии натрия) и разработка метода определения химического состава излучающих тел — спектральный анализ (*Г. Кирхгоф*, *Р. Бунзен*, Германия). 1860 — окончательное доказательство принадлежности протуберанцев Солнцу (по фотографии Солнца во время затмения, — *Де ла Рю*). 1860—1863 — начало спектроскопических исследований звезд (*Дж. Донати*, *У. Хеггинс*, *А. Секки*). 1861 — первое описание химического состава солнечной атмосферы (*Кирхгоф*). 1861—1864 — разработка основ астрофотометрии (*И. Целльнер*, автор термина «астрофизика»). 1862 — начало изучения физической природы хвостов комет (*Ф. А. Бредихин*); 1862.31.I — открытие предсказанного *Бесселем* спутника Сириуса — «Сириус-В» (*А. и А. Г. Кларк*, США); объяснение темных полос (*Брюстера*) в солнечном спектре как теллурических (*П. Ж. С. Жансен*). 1863 — основание в Гейдельберге немецкого астрономического общества (AG), игравшего до создания МАС роль международного; первая классификация звездных спектров (*Секки*). 1864 — начало спектральных наблюдений туманностей (открытие линий «небулия») и доказательство газовой природы некоторых из них (первой — в Драконе — *У. Хеггинс*, Англия); начало спектрального изучения состава комет (*Донати*); издание «Общего каталога туманностей и скоплений» (GC, 5079 объектов) (*Дж. Гершель*); уточнение периода (33,3 года) и первое предвычисление встречи с потоком «Леонид» (наблюдался 14—15.XI.1866 г.) (*Г. А. Ньютон*, США). 1866 — обнаружение первых проявлений резонанса в Солнечной системе (отсутствие астероидов с периодами в $1/2$ и $1/3$ периода Юпитера) (*Д. Кирквуд*, США); установление генетической связи метеорных потоков с кометами («Персеиды» — комета 1862III, «Леониды» — комета 1866I) (*Дж. Скиапарелли*). 1867 — открытие нового типа нестационарных звезд (*Ш. Вольф*, *Ж. Райе*).

первое измерение лучевой скорости звезды (*Хеггинс*). 1868—1871 — открытие на Солнце гелия (*Жансен, Локьер*). 1869—1872 — первые измерения собственного излучения Луны (*Л. Парсонс*). 1870 — открытие «обращающего слоя» в атмосфере Солнца (*Ч. Юнг*). 1871 — новая схема телескопа (коленчатая «система кудэ» (*Б. Леви, Франция*)). 1872 — новый метод определения орбит двойных звезд (*М. А. Ковальский*); первая фотография спектра звезды с объективной призмой (*Веги*) (*Г. Дрэпер*). 1876—1884 — первые фотометрические каталоги звезд в современной системе звездных величин (*Э. Пикеринг, США, В. К. Цераский, Россия*). 1877 — открытие «каналов» на Марсе (*Дж. Скиапарелли*); открытие спутников Марса (*Фобос и Деймос*) (*А. Холл, США*); теория кометных форм (*Ф. А. Бредихин*); «Карта лунных гор» (32856 кратеров, — *Ю. Шмидт, Германия*). 1878—1882 — следующее, после *Л. Фуко* и *И. Физо*, прямое измерение скорости света (*А. Майкельсон*). 1878—1883 — начало работы над созданием теории внутреннего строения Солнца (*А. Риттер, Германия*). 1879 — теория приливов и гипотеза приливного происхождения (отрыва от Земли) Луны (*Дж. Х. Дарвин*); наиболее ранняя идея пульсации цефеид (*А. Риттер*); предложение системы часовых поясов (*С. Флеминг, Канада*). 1881 — открытие независимости скорости света от движения источника света — «опыт *Майкельсона*»; теория рассеяния света в земной атмосфере (*Дж. Рэлей, Англия*). 1884 — введение поясного времени в 26 странах; введение счета долгот от Гринвичского меридиана и линии смеиы дат (середина 12-го часового пояса); публикация космогонической планетарной гипотезы *Э. Фая*; изобретение вилочной монтировки телескопов (*Л. Парсонс, Ирландия*). 1885 — открытие «серебристых обломков» (*Цераский*); установка в Пулково крупнейшего в мире рефрактора ($D=76$ см, разрушен во время Великой Отечественной войны); первое наблюдение вспышки «новой» (в действительности оказалась сверхновой) во внегалактической туманности Андромеды. 1887 — выход «Канона затмений» (8 тыс. солнечных и свыше 5 тыс. лунных с XIII в. до н. э. до XXII в. н. э.) (*Т. Опольцер*); «Новый общий каталог» (NGC, 13 тыс. туманностей, — *И. Л. Дрейер*). 1890 — издание первого Дрэперовского каталога звездных спектров (свыше 10 тыс.) на основе гарвардской классификации, применяемой до настоящего времени (*Э. Пикеринг, А. Мори* и др.). 1891 — установление двух периодов колебаний широт — годовичного и 14-месячного («период *Чандлера*», — *С. К. Чандлер, США*. — Расхождение этого периода с теоретическим 10-месячным периодом *Л. Эйлера* объяснено *С. Ньюкомом* — упругими свойствами Земли); обнаружение уникального метеоритного кратера (в Аризоне). 1892 — первое фотографическое открытие кометы (*Э. Барнард, США*); космогонические идеи *Т. Си*, в том числе идея существенной космогонической роли пылевых облаков в окрестностях звезд. 1894 — установление периодичности изменения лучевой скорости у δ Цефея, параллельного с изменением блеска (*А. А. Белопольский*). 1895 — спектроскопическое доказательство «метеоритного» строения колец Сатурна (*Белопольский, Дж. Килер*); первое экспериментальное определение нижней границы температуры поверхности Солнца (3500°C , — *В. К. Цераский*); открытие характерных переменных звезд в шаровых скоплениях (в дальнейшем — переменные типа RR Лиры, — *С. Бейли, США*); уточнение фундаментальных постоянных величин в астрономии (прецессии, аберации, нутации...) (*С. Ньюком, США*). 1896 — независимая идея пульсации цефеид (*Н. А. Умов*). 1897 — установка 40-дюймового рефрактора — тогда крупнейшего в мире — в Йеркской обсерватории (США). 1898 — открытие первого спутника с истинно (т. е. относительно своей планеты) обратным движением — Фебы (у Сатурна, — *У. Г. Пикеринг, США*). 1899 — экспериментальное доказательство давления света на твердые тела (*П. Н. Лебедев, Москва*). 1900 — попытка нового определения (методами *В. Гершеля*) формы и размеров Галактики (*Я. Каптейн, Голландия*); планетезимальная космогоническая гипотеза (*Т. К. Чемберлин* и *Ф. Р. Мультон, США*); гипотеза квантов (*М. Планк, Германия*).

XX век, первая четверть

1902 — уточнение скорости света (299890 ± 60 км/с, — *А. Майкельсон*). 1902—1905 — первая теория поглощения и рассеяния в звездных атмосферах (*А. Шустер, Германия*). 1903 — начало исследования солнечной грануляции (*А. П. Ган-*

ский); теоретическое, техническое и философское обоснование возможности и необходимости непосредственного исследования и освоения человеком космического пространства (*К. Э. Циолковский*, «Исследование мировых пространств реактивными приборами», продолжение и дополнение в 1911—1912, 1914 гг.). 1903—1906 — определение видимой зв. вел. Солнца ($-26,5^m$) (*Цераский*). 1904 — открытие межзвездного Са (*И. Гартман*, Германия); первая идея внутриатомного источника звездной энергии: аннигиляция положительных и отрицательных частиц и превращения их в «материальную энергию» (*Дж. Джинс*); теория двух «звездных потоков» (*Я. Каптейн*); основание обсерватории Маунт Вилсон (*Дж. Хейл*).

IX. Вторая научная революция в физике и ее главные следствия в астрономии: рождение релятивистской космологии и формирование современной атомно-ядерной астрофизики

1905 — создание специальной теории относительности (*Эйнштейн*); создание квантовой теории излучения (*Эйнштейн*, в развитие идей квантовой теории *Планка*). 1905—1913 — открытие универсальной астрофизической закономерности в мире звезд: диаграмма «спектр-светимость» (*Э. Герцшпрунг*, Дания; *Г. Н. Рессел*, США), 1906 — теория лучистого равновесия — основа дальнейшей разработки теорий внутреннего строения звезд; эллипсоидальное распределение скоростей звезд (*К. Шварцшильд*, Германия); план «избранных площадок» *Каптейна* (для изучения строения и динамики Галактики). 1906—1907 — начало астрономической фотоэлектрометрии (первые наблюдения с фотоэлементом, — *Дж. Стеббинс*, США). 1907 — сообщение об экспериментальном доказательстве давления света на газы (*П. Н. Лебедев*, опубликовано в 1910 г.); общая теория равновесия газового шара (как основа первых теорий внутреннего строения звезд (*Р. Эмден*, Швейцария); открытие первого астероида из семейства «троянецв» (*М. Вольф*, Германия). 1908—1916 — открытие прямо пропорциональной зависимости между периодом и видимой звездной величиной у цефеид в Малом Магеллановом облаке (*Г. Ливитт*, США), разработка на этой основе метода определения расстояний по цефеидам: по соотношению «период — светимость» (*Э. Герцшпрунг*, *Х. Шепли*). 1908 — возрождение модели иерархической структуры Вселенной (*К. Шарлье*, Швеция); открытие магнитного поля впервые у внеземного объекта (Солнца, — *Дж. Хейл*, США); 1908. 30.VI — «падение Тунгусского метеорита»; установка на обсерватории Маунт Вилсон 150-см рефлектора *Дж. Ричи*, тогда крупнейшего в мире). 1909 — наиболее ранняя идея, что скопленность шаровых звездных скоплений на границе созвездий Стрельца, Скорпиона и Змееносца (открыто *Дж. Гершелем*) указывает местоположение центра Галактики (*К. Болин*, Швеция); метод определения осевого вращения компонентов затменных двойных звезд по кривой лучевых скоростей (*Э. Шлезингер*, США); первые исследования поверхности Марса со светофильтрами (*Г. А. Тихов*); представление формы Земли «эллипсоидом *Хейфорда*» (США). 1910 — начало разработки теории звездных атмосфер (*К. Шварцшильд*). 1911 — начало исследования зависимости «спектр-светимость» для скоплений и открытие различия их звездных населений, установлено, что Полярная — цефеида (*Герцшпрунг*). 1912 — открытие космических лучей (*В. Гесс* и *В. Кольхерстер*). 1912—1918 — первая оценка (по цефеидам) расстояния Малого Магелланова облака, оказавшегося превышающим принятый радиус Галактики, что ввиду общепризнанности тогда центрального положения в ней Солнца показывало внегалактическое положение ММО (*Герцшпрунг*). 1913 — обнаружение необычайно больших лучевых скоростей (до сотен км/с) у шаровых скоплений и спиральных туманностей, с преобладанием среди последних «удаляющихся» (красное смещение линий в спектрах) (*В. М. Слайфер*, США); формальное общее решение в задаче трех тел (*К. Сундман*, Финляндия). 1914 — обнаружение вековых нерегулярных изменений суточного вращения Земли (*Э. У. Браун*, США). 1914—1916 — теория эволюции фигур равновесия вращающихся масс из тяжелой

несжимаемой жидкости и вывод об образовании двойных звезд (в результате разрыва такой массы) или спиральной туманности (в результате сильного уплотнения массы и истечения материи с ее ребра) (*Джинс*, итоги в кн. «Проблемы космогонии и звездной динамики», 1919). 1914—1919 — теория пульсации цефеид (*Х. Шепли, А. Эддингтон*). 1915 — определение плотности Сириуса-В (выявление первого «белого карлика», *У. С. Адамс*, США). 1916 — создание общей теории относительности (ОТО) (*Эйнштейн*), первое точное решение мировых уравнений ОТО для сферического случая распределения масс (*К. Шварцшильд*). 1916—1918 — теория внутреннего строения звезд (*Эддингтон*). 1916 — приливная планетная (катастрофическая) космогоническая гипотеза *Джинса—Джеффриса* (сменила «эволюционные» гипотезы *Лапласа* и *Канта*, господствовала до конца 30-х гг.) обнаружение звезды с наибольшим известным собственным движением ($10,27''$ — «летающая звезда *Барнарда*») (*Э. Барнард*, США). 1917 — первые релятивистские модели Вселенной (*Эйнштейн, В. де Ситтер*); идея *Джинса* о полной ионизованности вещества в недрах звезд; введение в строй крупнейшего 100" рефлектора (*Маунт Вилсон*). 1918 — новая выведенная из наблюдений модель Галактики как системы звезд диаметром в 300 тыс. св. лет, охватывающей всю видимую Вселенную; установление местоположения ее центра (на стыке созвездий Стрельца, Скорпиона и Змееносца) и, впервые в истории астрономии, установление нецентрального положения Солнца в Галактике, с оценкой расстояния от центра системы ок. 50 тыс. св. лет (*Шепли*). 1919 — наблюдательное подтверждение ОТО (обнаружение отклонения луча света к Солнцу, — *Эддингтон* и *Ф. Дайсон*); создание Международного астрономического союза. 1919—1922 — космогоническая планетарная гипотеза *В. Г. Фесенкова* (образование планетной системы из околосолнечного кометного облака с учетом химического состава метеоритов). 1920 — первое измерение углового диаметра звезды (*Бетельгейзе* $0,04''$, — *Майкельсон* и *Ф. Пиз*, США). 1920.26.IV — «Великий спор» о размерах Галактики и природе спиральных туманностей (*Х. Шепли* и *Г. Кертис* в Вашингтоне). 1920 — открытие астероида, наиболее далеко отходящего от Солнца (*Гидальго*, — *В. Бааде*, Германия). 1920—1925 — создание теории ионизации атомов (*М. Саха*, Индия). 1922 — доказательство, что свечение светлых диффузных туманностей вызывается близлежащими звездами и механизм его, как и в планетарных туманностях, — флуоресценция (*Э. Хаббл*). 1922—1923 — первые результаты исследований планетарных туманностей в СССР, идея термодинамически неравновесного состояния их вещества и гипотеза об их происхождении в результате катастрофического сбрасывания или постепенного истечения материи из нестационарных звезд (*Б. П. Герасимович*, Харьков). 1922—1923 — создание первого Российского (с 1923 г. — Государственного) астрофизического института (с 1931 — ГАИШ).

Х. Научная революция Фридмана— Леметра—Хаббла в космологии

1922 — получение нестационарных релятивистских моделей Вселенной (*А. А. Фридман*, СССР). 1923 — открытие 22-летнего периода магнитной активности Солнца (переменности знака полярности пятен, — *Дж. Хейл*, США). 1923—1924 — разрешение на звезды внешних частей спиральных туманностей М31 и М33 и доказательство их внегалактической природы по обнаруженным (сначала в М31) цефеидам (*Хаббл*); установление зависимости «масса—светимость» для звезд (*Э. Гершицпрунг, Г. Н. Рессел, А. Эддингтон*) и выдвижение идеи критической массы звезды и неустойчивости массивных ядер спиральных туманностей, еще принимавшихся за единичные массы сгущающейся диффузией материи (*Эддингтон*). 1924—1926 — теория лучистого равновесия звездных недр и первая аналитическая теория внутреннего строения звезд (*Эддингтон*); 1924 — открытие двойственности Полярной звезды (*Б. П. Герасимович*); Продолжение «Каталога *Генри Дрэпера*» 400 тыс. звезд, — *А. Кэннон*, (США). 1925 — начало разработки первой эволюционной морфологической классификации форм галактик (*Хаббл*); первые близкие к современным оценки абсолютной звездной величины ядер планетарных туманностей и плотности их оболочек (*Б. П. Герасимович*).

XX век, вторая четверть

1925—1934 — открытие CO₂ на Венере (*У. Адамс, Ч. Сент-Джон и Т. Данхем, США*). 1926—1927 — установление вращения Галактики (*Б. Линдبلاد, Швеция*, — по асимметрии движения звезд с большими скоростями; *Я. Оорт*, — на основании эффектов дифференциального вращения в движениях звезд). 1926 — идея, что ядра планетарных туманностей — «белые карлики» (но еще с завышенной оценкой их масс как звезд В-класса, *Д. Мензел, США*). 1926 — доказательство существования межзвездного Са (*Эддингтон*). 1927 — объяснение линий «небулия» как запрещенных линий ионов кислорода O III (*А. Боуэн, США*); уточнение расстояния Солица от плоскости Галактики (ок. 30 пк, по цефеидам, против принимавшихся ранее 10 пк) (*Б. П. Герасимович, СССР и В. Лейтен, США*); выдвигание концепции рождения и расширения всей Вселенной в качестве объяснения эффекта «красного смещения» (*Ж. Леметр, Бельгия*); первое заключение, что массы голубых ядер планетарных туманностей должны быть малыми (вопреки представлениям о массивности В-звезд) (*Б. П. Герасимович*); установление места Тунгусской катастрофы (на Подкаменной Тунгуске) — по обнаруженному гигантскому сплошному вывалу тайги радиусом 40—50 км (*Л. А. Кулик*). 1928—1929 — метод и первое определение скоростей вращения звезд (*Г. А. Шайн, СССР и О. Струве, США*). 1929 — установление «закона Хаббла»; первая количественная теория гравитационной неустойчивости на основе представления о критическом размере возникающих в веществе возмущений плотности (*Дж. Джинс*); заключение об облачной структуре межзвездного Са (*О. Струве*) и подтверждение по его движению вращения Галактики (*О. Струве, Б. П. Герасимович*).

XI. Многоаспектная всеволновая астрономия в рамках классической релятивистской картины мира

1930.19.II — открытие Плутона (*К. Томбо, США*). 1930 — окончательное доказательство существования межзвездного поглощения света, с оценкой его величины (*Р. Дж. Трюмлер, США*); 1931 — открытие космического радиоизлучения (*К. Янский, США*); *Берман, Занстра* — объяснение физики планетарных туманностей; гипотеза *Милна*: остаток взрыва новой — белый карлик. 1932 — уточнение расстояния Солнца от центра Галактики (*Б. П. Герасимович*); постановка проблемы создания Каталога слабых звезд (КСЗ) для изучения структуры Галактики и звездных движений (*Б. П. Герасимович и Н. И. Днепровский*); организация в СССР службы Солица (*Е. Я. Переспелкин, Пулково*); изобретение зеркально-линзовой системы телескопа (*Б. Шмидт, Эстония—Германия*); каталог *Шепли—Эймз* ярких галактик (сыгравший важную роль в выявлении крупномасштабной структуры Метагалактики). 1932—1933 — методы определения расстояний до планетарных туманностей, температур их ядер, классификация форм (*Б. А. Воронцов-Вельяминов*). Начало 30-х гг. — возрождение идей скоплений и сверхскоплений галактик (*Х. Шепли, Э. Хаббл, М. Хьюмсон, В. де Ситтер*); заключение о существовании во Вселенной скрытой массы на основе применения теоремы вириала к скоплениям галактик (*Ф. Цвикки, США*). 1932—1951 — повторное обнаружение частей пояса ярких галактик, перпендикулярного Млечному Пути, некогда открытого *В. Гершелем* (*Х. Шепли, К. Сейферт*). 1932 — идея возможности нейтронных звезд (*Л. Д. Ландау, СССР*). 1933 — разработка теории лучистого равновесия планетарных туманностей и теории возбуждения метастабильных уровней в газовых туманностях (*В. А. Амбарцумян*). 1934 — гипотеза о том, что остатком взрыва сверхновой должна быть нейтронная звезда (*В. Бааде, Ф. Цвикки, США*); теория протяженных атмосфер звезд («теория *Козырева — Чандрасекара*»); первое детальное исследование Ве-звезд, в том числе проблемы истечения вещества из них и состояния вещества в расширяющихся оболочках (*Б. П. Герасимович*); открытие для новоподобных звезд зависимости «амплитуда изменения блеска — период» и предсказание вспышки Т Северной Короны (*П. П. Паренаго, Б. В. Кукаркин, Москва*. — Подтвердилось в 1946 г.). 1935—1936 — разработка методов статистического исследования звездных систем и

обоснование «короткой шкалы» возраста Галактики (согласующейся с релятивистской теорией) (*В. А. Амбарцумян*). 1936 — первая классификация новых звезд (*Герасимович*); обнаружение различного относительного содержания ^{13}C и ^{12}C в звездах разных классов (*Э. Мак-Келлар*, Канада). 1936—1937 — массовые репрессии советских астрономов в эпоху культа личности (*Б. В. Нумеров, Н. А. Козырев, Д. И. Еропкин, П. И. Яшнов, Н. В. Комендантов, И. А. Балановский, В. Ф. Газе, Н. И. Днепровский, Е. Я. Перепелкин, М. М. Мусселиус, Б. П. Герасимович*). 1936—1940 — вывод элементов земного эллипсоида (*Ф. Н. Красовский*). 1937 — теория термоядерных реакций синтеза ($\text{H} \rightarrow \text{He}$) как источника внутризвездной энергии (*Г. Бете*, США; *К. Вейцзеккер*, Германия); сооружение первого параболического радиотелескопа и подтверждение результата *Янского* о радиоизлучении Галактики (на волне 1,8 м), догадка об излучении диффузной материи (*Г. Ребер*, США) — начало радиоастрономии; разработка эффективного метода определения пространственной плотности звезд на основе звездных подсчетов с учетом межзвездного поглощения (метод *Вашакидзе — Оорта*); обнаружение молекул CN в межзвездной среде (*П. Свингс*, Бельгия; *Л. Розенфельд*, США); идея крупномасштабного галактического магнитного поля (*Х. О. Альвен*, Швеция); идея неиерархической крупномасштабной структуры Вселенной (аналогия с «мыльной пеной», где скопления галактик играют роль «пузырей») (*Ф. Цвикки*, США). 1937—1940 — теория звездной эволюции на основе ядерных источников энергии (*Дж. Гамов*, США). 1938 — критика космогонической гипотезы *Джинса* (*Г. Рессел*, окончательное доказательство несостоятельности этой приливной гипотезы, — *Н. Н. Парийский*, 1943). 1938—1939 — открытие двух типов ядерных реакций синтеза $\text{H} \rightarrow \text{He}$: протон-протонного цикла (*К. Критчфилд*, Англия; *К. Вейцзеккер*) и углеродно-азотного (*Г. Бете*). 1939 — нейтринная теория взрыва сверхновых (*Дж. Гамов*); вывод на основании ОТО неизбежности черной дыры (*Р. Оппенгеймер, Х. Снайдер*, США). 1939—1941 — разработка физической теории движения метеорных тел в атмосфере и установление верхней границы геоцентрической скорости метеоритообразующих из них (*Б. Ю. Левин*). 1939—1942 — основы космической электродинамики (*Х. Альвен*, Швеция). 1939 — нач. 40-х гг. — два новых метода определения электронной температуры планетарных туманностей (*В. А. Амбарцумян, В. В. Соболев*). 1940 — открытие молекул CN, NH в межзвездной среде (*Э. Мак-Келлар*, Канада); создание теории поглощения света в Галактике (*П. П. Паренаго*). 1940—1942 — выделение галактик с активными ядрами как качественно нового загадочного феномена (*К. Сейферт*, — «сейфертовские галактики»); открытие возбужденного состояния молекул межзвездного циана (*Мак-Келлар*, — в дальнейшем объяснено реликтовым излучением). 1941 — изобретение менисковой оптической системы телескопа (*Д. Д. Максудов*). 1941—1942 — расшифровка «короиния», как многократно ионизированных атомов Fe, Ni и др. (*Б. Эдлен*, Швеция). 1942 — Крабовидная туманность — остаток взрыва сверхновой 1054 года (*Н. Мейолл, Я. Оорт*); первая радиокарта неба (*Ребер*); открытие теплового радиоизлучения Солнца (*Дж. С. Хей* и *Дж. Стюарт*). 1942—1947 — динамическая теория зодиакального света (*В. Г. Фесенков*). 1943 — заключение о поляризации излучения в затменных двойных с компонентом раннего класса («эффект *Соболева — Чандрасекара*»). 1943—1944 — разделение звезд Галактики на подсистемы, имеющие эволюционный смысл (звездные населения) (*В. Бааде, Б. В. Кукаркин*). 1944 — наиболее ранее сообщение об открытии теплового радиоизлучения Солнца (*Г. Ребер*); разложение на звезды центральных частей M31 и ее эллиптических спутников M32 и NGC 205 (*Бааде*); теоретическое предсказание радиоизлучения нейтрального водорода на $\lambda = 21$ см в межзвездном пространстве (*Х. К. ван де Хюлст*, Нидерланды); первая краткая публикация космогонической гипотезы *О. Ю. Шмидта* («Метеоритная теория происхождения Земли и планет»). 1945 — теория определения фигуры реальной Земли (геоида) (*М. С. Молоденский*). 1945 начало составления Кембриджских каталогов дискретных радионисточников в результате радиообзоров северного неба с антеннами высокой разрешающей способности методом апертурного синтеза (*М. Райл* с сотрудниками, Англия); подтверждение эффекта красного смещения в радиодиапазоне (*Райл*). 1946 — радиолокация и обнаружение радиоизлучения Луны; радиолокация метеорных по-

токов (доказательство возможности дневного их наблюдения) (Дж. Хей, Дж. Стюарт); получение УФ-спектра Солнца (Р. Таузи, США) и открытие его рентгеновского излучения (Х. Фридман, США); создание радиоинтерферометра (Дж. Поззи, М. Райл); теория «горячей Вселенной» (Дж. Гамов); обнаружение магнитного поля у звезды (78 Девы) и его переменности (Х. У. Бэбкок, США); открытие первого дискретного космического радионисточника Лебедь А (Дж. Хей, С. Парсонс, Дж. Филлипс, Англия); получение первых ИК-спектров планет и звезд (Дж. Койпер); интерпретация радиоизлучения «спокойного» Солнца как теплового излучения верхней атмосферы (В. Л. Гинзбург, И. С. Шкловский, СССР; Д. Мартин, Англия). 1947 — открытие глобул (Б. Бок, Рэйли, США); основание обсерватории Маунт Паломар (США). 1947—1948 — открытие «звездных О- и В-ассоциаций» как областей продолжающегося звездообразования (В. А. Амбарцумян, Б. Е. Маркарян). 1948 — предсказание остаточного (от первичного взрыва) излучения во Вселенной с $T \cong 5\text{К}$ (Дж. Гамов, Р. Альфер и Р. Герман); обнаружение ядра Галактики с помощью ИК-фотографии (В. Б. Никонов, А. А. Калинин, В. И. Красовский); открытие межзвездной поляризации света (У. А. Хилтнер, Дж. Холл, США; В. А. Домбровский, СССР); обоснование наблюдаемости космического радионизлучения в линии 21 см (И. С. Шкловский, СССР); выход первого издания «Общего каталога переменных звезд» (ок. 11 тыс. объектов) (под ред. Б. В. Кукаркина и П. П. Паренаго). 1948—1949 — введение в строй нового крупнейшего в мире 200-дюймового рефлектора на Маунт Паломар. 1949 — обоснование наблюдаемости межзвездных молекул OH, CN и других в радиодиапазоне с расчетом радиолиний (Шкловский); открытие уникального астероида, орбита которого заходит за орбиту Меркурия, — Икар (Бааде). 1949—1951 — детальная разработка космогонической гипотезы О. Ю. Шмидтом. 1949—1953 — открытие обилия эмиссионных водородных туманностей в галактиках (Г. А. Шайн и В. Ф. Газе). 1950 — гипотеза о существовании на периферии Солнечной системы (100—150 тыс. а. е.) сферического слоя кометных тел — «кометное облако Оорта» (Я. Оорт; ранее близкие идеи были высказаны В. Г. Фесенковым, а затем Э. Ю. Эпиком); открытие радиоизлучения M31, сравнимого с галактическим (Р. Браун и К. Хэзард, Англия).

XX век, третья четверть

1951 — обнаружение предсказанного радиоизлучения H с $\lambda = 21$ см (Х. Юэн, Э. Парселл, США и независимо К. Мюллер, Я. Оорт, Нидерланды); 1951 — 1952 — выявление спиральной структуры Галактики по распределению звезд ранних классов (У. Морган, С. Шарплесс и Д. Остерброк, США) и по радиоастрономическим данным (Оорт, ван де Хюлст, Шкловский). 1952 — обнаружение технеция в спектрах холодных звезд (П. Меррилл, США); первый переосмотр (удвоение) шкалы межзвездных расстояний, определяемых по цефеидам (Бааде); предсказание теплового радиоизлучения зон ионизированного водорода в Галактике (Шкловский); выделение класса очень вытянутых волокнистых туманностей и правильная интерпретация их формы как свидетельства существования Галактического магнитного поля (Шайн, Газе). 1953 — первое отождествление дискретного радионисточника с оптическим — Крабовидной туманностью — остатком сверхновой (Бааде, Р. Минковский); открытие Местного сверхскопления галактик — «Сверхгалактика Вокулера» (Ж. де Вокулер, Австралия); идея синхротронного механизма радиоизлучения в непрерывном спектре дискретных источников (Шкловский); модель галактического происхождения космических лучей (В. Л. Гинзбург); создание точной UVV-системы звездной фотометрии (У. Морган, Х. Джонсон, Д. Хэррис, США). 1954 — открытие сверхкороны Солнца (В. В. Виткевич, СССР); открытие предсказанной И. М. Гордоном (Харьков) сильной линейной поляризации оптического излучения бесструктурной составляющей Крабовидной туманности (как следствия синхротронности излучения) (В. А. Домбровский и М. А. Вашакидзе, СССР). 1955—1956 — открытие радиоизлучения Юпитера (К. Франклин и Б. Берк, США), Венеры (К. Майер, Т. Мак-Каллаф, Р. Слоунекер, США), кометы Аренда—Ролана (США, Бельгия). 1957.4.X — запуск первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) (СССР, рук. проекта С. П. Королев, двигатели ракеты конструкции В. П. Глушко); 1957 — открытие регулярных магнитных полей в

сверхкороткие Волны (В. В. Виткевич, Б. Н. Пановкин); первая современная формулировка антропного принципа (Г. М. Идлис, А. Л. Зельманов); вывод В. А. Амбарцумяна об активности ядер галактик как следствие его нетрадиционной космогонии; второй пересмотр шкалы межгалактических расстояний (Э. Сэндидж, США); установка крупнейшего полиповоротного параболического радиотелескопа в обсерватории Джодрелл-Бэйк. Манчестерского университета (Англия). 1958 — открытие радиационных поясов Земли (Дж. Ван Аллен, США); обнаружение признаков продолжающейся вулканической активности на Луне в кратере Альфонс (Н. А. Козырев, Пулково). 1959 — радиолокация Солнца (США); 14.IX — первая (жесткая) посадка АМС («Луна-2») на Луну, доказавшая отсутствие у Луны магнитного поля; 4.X — первый облет Луны с фотографированием ее обратной стороны (СССР). 1959 — предсказание сверхтекучести вещества нейтронных звезд (А. Б. Мигдал, СССР). 1960 — первые попытки поиска искусственных радиосигналов на волне 21 см от ближайших звезд (Ф. Дрейк, США). 1961.12.IV — первый полет человека в космическое пространство (Ю. А. Гагарин, рук. проекта С. П. Королёв). 1961 — открытие космического γ -излучения (диффузного); ввод в строй 2,6-метрового рефлектора им. Шайна (Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР, до 1975 г. — крупнейший в Европе). 1961—1964 — радиолокация Венеры, Меркурия, Марса и Юпитера (установлены период и обратный характер вращения Венеры, уточнены физические свойства поверхностей планет, уточнена а. е.: ± 2 км, — СССР, США). 1962 — открытие первого галактического источника рентгеновского излучения (Р. Джакони, Х. Гурский, Ф. Паolini, Б. Росси, США) — начало рентгеновской астрономии; 7.III — первый ИСЗ для исследования Солнца (серия OSO, США); 16.III — первый ИСЗ серии «Космос» (СССР); 14.XII — первые исследования Венеры с КА «Маринер-2» при пролете планеты (запуск 27.VIII, — США). 1962 — классификация гипотетических космических цивилизаций по уровню их энергетической мощи (Н. С. Кардашев). 1963 — открытие квазаров (М. Шмидт, США); открытие рентгеновского излучения Крабовидной туманности (Х. Фридман и др., США); обнаружение предсказанных Шкловским линий межзвездного гидроксила (ОН) (США); открытие нового класса галактик — с УФ-избытком излучения ядер нетеплового характера (Б. Е. Маркарян, СССР); обнаружение Н в атмосфере Меркурия (Н. А. Козырев); оценка температуры в центре Юпитера (до 200 тыс. град. — Козырев); 1963.13.IX — первая лазерная локация Луны (КРАО АН СССР). 1964 — теоретическое обоснование возможности обнаружения имевшейся аппаратурой «остаточного излучения», предсказанного Дж. Гамовым (А. Г. Дорошкевич, И. Д. Новиков, СССР); предсказание, что компактный радиоисточник в центральной части Крабовидной туманности является сверхмагнитной быстровращающейся нейтронной звездой (Н. С. Кардашев); гипотеза симметричной Вселенной, сочетающей «мир» и «антимир», и теория нетривиальной пространственно-временной топологии Вселенной (Г. И. Наан, СССР). 1965 — открытие реликтового радиоизлучения с температурой 2,7 К, подтвердившее гипотезу «горячей Вселенной» (А. Пензиас и Р. Вильсон, США); 18.III — первый выход человека в открытый космос (А. А. Леонов); 15.VII — открытие луноподобного (с обилием кратеров) характера поверхности Марса и окончательное крушение гипотез о возможности развитых форм жизни на этой планете в настоящее время («Маринер-4»). 1965 — открытие «квазаров» (Э. Сэндидж, США); предсказание высокоэнергетического нейтринного излучения при коллапсе звезд (Я. Б. Зельдович, О. Х. Гусейнов); 1965.16.XII — запуск искусственного спутника Солнца «Пионер-4» (США); создание метода радиоинтерференционных наблюдений на независимых антеннах со сверхдлинными (межконтинентальными) базами (Л. М. Матвеевко, Г. Б. Шоломицкий, Н. С. Кардашев). 1966 — открытие первого точечного источника космических лучей (Дж. Дати, США); открытие дискретных источников γ -излучения (Х. Фридман, Дж. Дати, США); отождествление рентгеновского источника Скорпион X-1 с остатком сверхновой. 1966.3.II — первая мягкая посадка на поверхность Луны и передача лунной фотопанорамы («Луна-9», СССР); 31.III — первый в мире искусственный спутник Луны «Луна-10» и получение с помощью установленного на нем γ -спектрографа данных о химическом составе лунных пород (ГЕОХИ АН СССР); 3.VI — основание Специальной астрофизической обсерватории (САО) АН

СССР на Сев. Кавказе; расчет из космологических данных верхней границы массы нейтрино (С. С. Герштейн, Я. Б. Зельдович). Начало 60—70-е гг. — развитие концепции «черных дыр» и попытки объяснения ими активности ядер галактик, феноменов в тесных двойных звездах, центральных частях звездных скоплений и т. д. (Дж. Уилер, Ч. Мизнер, К. Торн и др., США; Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, Р. А. Сюняев, Шварцман, СССР). Вторая пол. 60-х — сер. 70-х гг. — развитие теории возникновения крупномасштабной структуры Метагалактики в рамках теории «горячей Вселенной» на основе новой нелинейной теории гравитационной неустойчивости (теория «блинов») (Я. Б. Зельдович и его школа). 1967 — открытие пульсаров (Дж. Белл, Э. Хьюиш, Англия); первое исследование атмосферы Венеры со спускаемого аппарата «Венера-4», идея объяснения барионной асимметрии Вселенной несохранением СР-инвариантности и барионного заряда (А. Д. Сахаров). 1967—1980 — гидродинамическая теория гравитационного коллапса звездных ядер в нейтронную звезду с учетом переноса энергии нейтринным излучением (В. С. Имшенник, Д. К. Надежин, Л. Н. Иванова); расчет параметров возникающего при этом нейтринного всплеска (Имшенник, Надежин, Г. В. Домогацкий, Р. А. Эрамжан). 1968 — космологическая оценка числа сортов нейтрино (В. Ф. Шварцман, СССР. САО); 24.XII — первый облет Луны человеком («Аполлон-8», космонавты Ф. Борман, Дж. Ловелл, А. Андерс, США). 1969.20—21.VII — первая посадка человека на Луну с выходом на лунную поверхность («Аполлон-11», космонавты Н. Армстронг, Э. Олдрин, США); 1969 — метод определения термодинамических параметров атмосфер планет (А. М. Обухов, СССР); 1970 — первая доставка грунта Луны на Землю («Луна-16»), СССР); 17.XI — начало работы на Луне радиоуправляемого с Земли «Лунохода-1». 1970 — предсказание рентгеновского излучения пульсаров, входящих в двойные системы (В. Ф. Шварцман); изобретение «спекл-интерферометрии» (А. Лабейри, Франция); установка ИК-телескопа (380 см) на обсерватории Мауна-Кеа (Гавайи, США); ввод первого многоэлементного радиотелескопа (Вестерборк, Нидерланды); 1970.12.XII — запуск первого ИСЗ для рентгеновских исследований («Ухуру», США). 1971 — открытие рентгеновских пульсаров (США); открытие неокисляемости ультрадисперсных форм простых веществ, в частности Fe, Ti, Si, на поверхности космических тел (А. П. Виноградов, В. Л. Барсуков, Н. М. Жаворонков и др.); 2.XII — первая мягкая посадка на Марс («Марс-3», СССР). 1971—1972 — теория дисковой аккреции вещества нормальной звезды на релятивистские объекты (нейтронная звезда или черная дыра) в двойных системах (Н. И. Шакура, Р. А. Сюняев, СССР), для объяснения компактных рентгеновских источников, позволившая открыть двойные рентгеновские системы. 1972.22.VII — посадка АМС «Венера-8», изучение атмосферы и поверхности планеты (СССР). 1973.16.I — начало работы на Луне «Лунохода-2»: в течение 5 лунных суток прошел 37 км, исследована яркость лунного неба в визуальном и УФ-диапазонах (СССР). 1973—1985 — обнаружение в первичных космических лучах частиц с энергией до $5 \cdot 10^{19}$ эВ (Н. Н. Ефимов, Д. Д. Красильников, С. И. Никольский, Г. Б. Христиансен, СССР). 1974 — вывод о неизбежности «испарения» черных дыр (С. Хокинг, Англия); открытие глобальных пульсаций Солнца с $P=160$ мин и амплитудой изменения радиуса ± 10 км (А. Б. Северный, В. А. Котов, Т. Т. Цап, КрАО). 1974 — независимая формулировка антропного принципа (Б. Картер, Англия). 1975 — открытие вспышечных источников рентгеновского излучения — «барстеры» (США); открытие гигантских «пустот» (многие десятки мегапарсеков) в распределении галактик в Метагалактике (Дж. Кинкарини, Г. Руд, США); первый в мире численный расчет на ЭВМ двумерной модели эволюции распределения гравитирующего вещества в ранней Вселенной и вывод о тенденции к образованию крупномасштабной филаментарно-сетчатой структуры (С. Ф. Шандарин, А. Г. Дорошкевич, Москва); вывод о небольшом замедлении расширения Метагалактики по измерению лучевых скоростей и расстояний далеких галактик, новая оценка H (55 ± 6 мк/с·Мпк, — Э. Сэндидж, Г. Тамман, США); 22 и 25.X — спускаемые аппараты первых искусственных спутников Венеры — «Венера-9» и «Венера-10», совершив мягкую посадку, впервые передали на Землю фотопанораму планеты (СССР).

XX век, последняя четверть

70—80-е гг. — развитие концепции ячеисто-филаментарной крупномасштабной структуры Вселенной (Я. Б. Зельдович, С. Ф. Шандарин, Я. Эйнасто и др. — СССР; Дж. Муди, Э. Тернер, Дж. Готт и др. — США); предсказание эффекта понижения яркостной температуры реликтового излучения в направлении скоплений галактик (эффект Зельдовича — Сюняева), что позволяет независимо оценить H и возраст нашей Вселенной. 1976. 20.VII и 4.IX — передача фотоснимков поверхности Марса, снимков Фобоса и Деймоса, эксперименты по поиску признаков жизни на Марсе (АМС «Викинг-1» и «Викинг-2», США); 1976 — ввод в строй самого крупного в мире оптического рефлектора (конструктор Б. К. Иоаннисидис, САО, СССР). 1977 — открытие колец у Урана; открытие крупнейшего филаментарного сверхскопления галактик (Я. Э. Эйнасто с сотрудниками, СССР); 1977.1.XI — открытие уникальной малой планеты — между орбитами Сатурна и Урана (Хирон) (Ч. Кауэл, США); 1977.20.VIII — запуск АМС «Вояджер-2» (проведено исследование в пролете систем внешних планет: Юпитера (1979), Сатурна (1981), Урана (1986), Нептуна (1989), далее уход из Солнечной системы); ввод в строй радиотелескопа РАТАН-600 (конструктор О. Н. Шиврис, САО АН СССР) (с его помощью открыта радиогрануляция на Солнце в см-диапазоне, обнаружено радиоизлучение Ио и Европы); ввод в строй 300-тонного сцинтилляционного телескопа Баксанской нейтринной обсерватории (ИЯИ АН СССР). 1978 — открытие уникального галактического объекта — с релятивистскими выбросами (SS 433) (Б. Маргон, США); 22.VI — открытие спутника у Плутона (Харон) (Дж. У. Кристи, США); 26.XI — выведение орбитальной обсерватории «Эйнштейн» для обзоров неба в рентгеновском диапазоне (США). 1979 — 1981 — снимки Юпитера, обнаружение кольца Юпитера («Вояджер-1, -2», США); ввод нового телескопа — многозеркального с автоматической настройкой (МЗТ) с эквивалентным $D=4,5$ м для ИК-наблюдений (США). Рубеж 70—80-х гг. — создание теории инфляционной Вселенной (А. Гут, США; А. Д. Линде, СССР). 1981 — цветные панорамные снимки поверхности Венеры («Венера-13, -14», СССР); получение ячеисто-филаментарной структуры в первой расчетной трехмерной модели эволюции системы гравитирующих точек (А. А. Клыпин, С. Ф. Шандарин, СССР). 1982 — полиый разрез Галактики в см-диапазоне с помощью Ратан-600: обнаружение новой популяции радиоисточников и «ряби» в фоновом излучении Галактики (Ю. Н. Парийский и др.). 1983.25.I — запуск ИСЗ IRAS для ИК-обзоров неба (исследовано 96% его площади в диапазоне 12—100 мкм, составлен каталог ок. 250 тыс. дискретных ИК-источников, в том числе открыто 5 новых комет. — США, Нидерланды, Англия). 1983—1984 — высокоточное картографирование и радиояркостное исследование северного полушария поверхности Венеры (обнаружение загадочных «тепловых ям» глубиной до 200К) при помощи радиоаппаратуры, разработанной в ОКБ МЭИ (рук. А. Ф. Богомолов): локатора бокового обзора «Полюс» (конструкторы Н. В. Жерихин, Г. А. Соколов и др.) и радиометрической системы «Омега-В» (конструкторы В. А. Назаркин, В. И. Еремеев и др.) (искусственные спутники Венеры, АМС «Венера-15, -16»). 1985.11.IX — первое исследование кометного вещества при пролете сквозь хвост и голову кометы Джакобини — Циннера на расстоянии 8 тыс. км от ее ядра (исследования магнитного и электрического полей, плазмы и пылевых частиц, взаимодействия кометы с солнечным ветром. — КА ICE, США). 1986.24.I — получение изображений Урана, его спутников и колец, открытие 10 новых спутников и еще одного кольца, исследование магнитосферы («Вояджер-2»); 8—14.III — исследование кометы Галлея при пролете сквозь ее голову («Вега-1», «Вега-2», «Джотто»).

**Авторы и пропагандисты фундаментальных идей,
формировавших астрономическую картину мира
на разных этапах ее развития**

Фалес Милетский (624—548): материалистическое представление о Вселенной, шарообразность Земли, первоначало всего — вода.

Анаксимандр (ок. 610—546): беспредельное первоначало — апейрон; единственность и циклическое развитие Вселенной.

Анаксимен (ок. 588—525): первичная субстанция — вечно движущийся воздух; сгущение и разрежение как способ формирования всех вещей; звезды — воспламенившиеся испарения Земли, ниже Луны и Солица.

Пифагор (ок. 570—497): первая негеоцентрическая система мира; числовая гармония Вселенной, музыка сфер.

Лао Цзы (VI в. до н. э.): материальность Вселенной; три принципа ее развития (дао — путь, направление изменений, дэ — «энергия», у-вэй — невмешательство, гармония с природой).

Цзы Хань (VI в. до н. э.): первоначало всего — небесный элемент цн.

Сян-гун (VI в. до н. э.): шесть видов ци; опасность вмешательства в природу — нарушения порядка цн.

Гераклит Эфесский (ок. 544—ок. 483): первоначало всего — огонь; принцип закономерности, необходимости, управляющий Вселенной (Логос); бесконечная изменяемость всего, идея подвижности Земли.

Парменид (вторая пол. VI — нач. V в.): первое логически завершенное учение о Вселенной в целом как о единственном, однородном, поэтому абсолютно неподвижном, неизменном, непроявляющемся бытии, а потому абсолютно непознаваемом (первый «космологический парадокс»).

Левкипп (ок. 500—440): Вселенная как беспредельное множество бескачественных, различающихся размером и формой атомов (букв. — нерассекаемых), движущихся в пустоте и составляющих видимые тела, а потому подвижная в своих элементах, проявляющаяся для наблюдателя и развивающаяся (снятие парадокса Парменида). Введение абсолютной пустоты.

Анаксагор (ок. 500—428): Вселенная как бесчисленное множество вечных неизменных первичных качеств — самостоятельно существующих элементов бытия, в том числе парных (холод — теплота и т. п.). Развитие Вселенной под действием противоположных сил (разделяющего вращения и стремления подобного к подобному) и направляющего принципа «Нус» (Ум). Отрицание абсолютной пустоты. Возникновение единственной материальной Вселенной как внезапного вихря; светила — оторвавшиеся от Земли при ее быстром первоначальном вращении куски скал, раскалившиеся при движении сквозь огненный эфир.

Филолай (V в. до н. э.): первое обнаружение пифагорейской системы мира.

Демокрит (470/457 — 370/357): развитие атомистического учения *Левкиппа*. Вселенная — из неделимых бескачественных движущихся элементов материи, подчиняющихся строгим механическим законам (идея детерминизма). Абсолютное пространство как однородная изотропная пустота. Возникновение местных вихрей — зародышей будущих вселенных с локально анизотропным пространством. Сосуществование вселенных, различающихся структурой и возрастом. Утверждение звездного состава Млечного Пути.

Платон (429—347): введение мирового эфира как особой небесной стихии; геометризация стихий (сопоставление их с пятью правильными многогранниками — «платоновыми» телами); идея рождения времени с рождением Вселенной — единственной, конечной, невечной. Идея изучения природы путем разложения сложных явлений на простые элементы, доступные математическому описанию.

Евдокс (ок. 408—ок. 355): первая математическая геоцентрическая модель мира (из 27 гомоцентрических сфер).

Гераклид Понтийский (388—315): гелиогеоцентрическая система мира; идея суточного вращения Земли.

Аристотель (384—322): первая целостная логически завершенная и опирающаяся на наблюдения космофизическая картина мира: материальная Вселенная конечна, замкнута, единственна (охватывает всю существующую материю), а потому вечна; разделение природы тел и движений на принципиально различающиеся подлунный и надлунный (космический) миры (принцип «дихотомии»). Идея анизотропии пространства, объясняющая геоцентризм мира. Отрицание существования абсолютной пустоты.

Эпикур (341—270): материальная беспредельная Вселенная, подчиняющаяся механическим законам; дополнение механического детерминизма *Демокрита* идеей самопроизвольных отклонений движений атомов от прямолинейных («кли-намен»), обеспечивающих столкновение атомов и общее изменение, развитие материального мира. Идея анизотропности беспредельного пространства (наличие «верха» и «низа» в нем).

Зенон Китийский (ок. 336—ок. 264): идея «пневмы» — особой среды, находящейся в состоянии натяжения, заполняющей Вселенную, пронизывающей все тела и определяющей развитие всего.

Куэй Ши и *Гуньсунь* (IV—III вв.): материальное единство и бесконечность Вселенной в пространстве и во времени.

Аристарх Самосский (ок. 310—230): наиболее ранняя известная идея гелиоцентризма.

Сунь Цзы (296—238): материальность Вселенной, развивающейся по естественным законам.

Архимед (ок. 287—212): первая известная умозрительная оценка колоссальных размеров звездной Вселенной; изложение гелиоцентрической идеи *Аристарха*.

Гиппарх (190/180—125): идея движения звездной сферы, помимо суточного (как объяснение явления прецессии); математическое моделирование неравномерного движения Солнца и Луны с помощью эксцентриков.

Лю Ань (II в. до н. э.): рождение Вселенной «из пустоты» (в смысле — из жизненного мирового эфира).

Ван Чунь (I в. до н. э.): рождение Вселенной из вечной материальной субстанции «ци» как проявление самодвижения материи и в силу принципа «дао».

Сенека Л. А. (Младший) (ок. 4 г. до н. э. — 65 г.): космическая природа комет (наиболее ранняя известная идея).

Птолемей К. (ок. 87—165): полная математическая геоцентрическая модель движений Солнца, Луны и планет на базе идеи деферента, эпицикла и новой оригинальной идеи экванта — как основа для формирования классической геоцентрической картины мира.

Плутарх (ок. 46 — ок. 127): обоснованная косвенным экспериментом идея неровности поверхности Луны (отрицание идеальной гладкости поверхности **небесных светил**).

Лукиан Самосатский (II в.): первое сочинение о полетах на Луну, Солнце и звезды как свидетельство укреплявшейся идеи материальности небесных тел.

Ориген (ок. 185—253/254): библейское обоснование идеи множественности обитаемых миров и множественности вселенных.

Василий Великий, Григорий Нисский (IV в.): защита идеи шарообразности Земли как не противоречащей Библии.

Ариабхата (476—550): поддержка идеи шарообразности Земли.

Косма Индикоплов (VI в.): возвращение к идее плоской Земли.

Брахмагупта (598 — после 665): идея тяготения.

Анания Ширакаци (VII в.): защита идеи шарообразности Земли, звездного состава Млечного Пути, естественного развития мира.

Иоанн Дамаскин (VIII в.): возрождение элементов античных космологических учений.

Бируни (973—1048): возможность осевого вращения Земли; идеи астрофизического содержания (наиболее раннее объяснение зодиакального света и др.).

Чжан Цзай (1020—1077): формирование Вселенной в результате сгущения первоначальной субстанции ци и развитие ее в результате взаимодействия противоположных начал «инь» и «ян» (составных частей ци).

Гроссетет Р. (1175—1253), *Бэкон Р.* (1214—1292/1294): геометрико-оптико-космологическая концепция формирования Вселенной по аналогии с мгновенным распространением сферического пучка света; световая сфера как силовая с ослаблением действия $\sim r^{-2}$; ее плотное ядро — **Земля, небесные тела** — из неоднородностей плотности на периферии мгновенно расширившейся, но конечной сферы световой материи.

Буридан Ж. (ок. 1300 — ок. 1358): защита идеи движения Земли (осевого и поступательного, пространственного).

Орем Н. (ок. 1323—1382): несоизмеримость небесных движений и нециклическое, эволюционное изменение Вселенной.

Николай Кузанский (*Кребс*, 1401—1464): бесконечная, однородная, изотропная, вещественно единая Вселенная; движение Земли в пространстве; пространственность жизни во Вселенной.

Леонардо да Винчи (1452—1519): материальное единство Вселенной, множественность центров тяготения, но не взаимодействующих друг с другом; нецентральность положения Земли.

Коперник Н. (1473—1543): полная логически и физически обоснованная и математически разработанная гелиоцентрическая система мира; допущение трех движений Земли: осевого, орбитального и «третьего» (для объяснения прецессии) — отправная точка первой великой научной революции в естествознании.

Гильберт В. (1540—1603): идея глобального магнетизма и первая попытка объяснить на этой основе осевое вращение Земли.

Тихо Браге (1546—1601): полная гелио-геоцентрическая система мира; идея рождения звезд из диффузной материи, якобы составляющей Млечный Путь (для объяснения сверхновой 1572 г. в Кассиопее).

Бруно Дж. (1548—1600): дальнейшее развитие идеи гелиоцентризма, отрицание абсолютного гелиоцентризма; идея бесконечности, ацентричности Вселенной, множественности обитаемых миров, самодвижения (одушевленности) небесных тел.

Галилей Г. (1564—1642): научная революция в механике; опровержение принципа дихотомии (разделения надлунного и подлунного миров) открытием гор на Луне; наблюдательное обоснование и пропаганда гелиоцентризма.

Кеплер И. (1572—1630): защита и развитие гелиоцентризма — отказ от принципа круговых равномерных бессиловых движений небесных тел (научная революция в небесной механике); новое понимание числовой гармонии мира (в основе природы — количественные законы); идея всемирной космической силы типа магнитной с источником в Солнце.

Декарт Р. (1596—1650): возрождение вихревой космогонии; бесконечность Вселенной, отрицание абсолютной пустоты; множественность солнечных систем.

Гюйгенс Х. (1629—1695): гипотеза о туманности Ориона как разрыве в небесной сфере, сквозь который видны далекие огненные области Вселенной.

Гук Р. (1635—1703): развитие идеи силы всемирного тяготения; два возможных объяснения лунных кратеров-цирков (вулканическое и ударное, от внешнего тела).

Ньютон И. (1643—1727): завершенная физическая и астрономическая картина мира на основе классической ньютоновской механики и закона всемирного тяготения; неизбежность бесконечности гравитирующей звездной Вселенной; абсолютные независимые пространство и время, не зависящие от наличия материи. Отрицание чисто механической космогонии (из-за симметрии механических движений); идея необходимости вмешательства разумной силы для компенсации взаимных возмущений в движениях небесных тел и поддержания устойчивости Солнечной системы.

Лейбниц Г. (1646—1716): первая гипотеза о раскаленном состоянии прото-Земли («Протогеи»).

Галлей Э. (1656—1742): млечные туманности — самосветящиеся образования огромных размеров; первая идея космической природы болидов; наиболее ранняя формулировка фотометрического парадокса.

Дерхем В. (1657—1735): идея огромных размеров и чудовищной удаленности млечных туманностей, их существенной роли во Вселенной. Две допускаемые гипотезы об их природе: скопление тонких паров или разрывы в небесах (возрождение идеи Гюйгенса).

Фонтенель Б. (1657—1757): множественность обитаемых миров и качественное разнообразие жизни во Вселенной.

Уистон В. (1667—1752): первая катастрофическая гипотеза о происхождении Земли (из кометы, захваченной Солнцем в результате столкновения ее с несколькими другими кометами).

Сведенборг Э. (1688—1772): развитие вихревой космогонии: Земля — из вихревой струи вещества, вырвавшегося из Солица. Упорядоченность системы звезд Млечного Пути под действием магнитных сил.

Бюффон Ж. Л. Л. (1707—1788): планетная катастрофическая космогоническая гипотеза: синтез и развитие идей *Уистона* и *Сведенборга*.

Райт Т. (1711—1786): млечные туманности — самостоятельные вселенные в виде относительно толстых полых сферических или кольцевых звездных слоев («островные вселенные»). Млечный Путь — визуальный эффект наблюдения изнутри звездного слоя. Идея движений звезд слоя вокруг общего центра системы («эклиптика звезд»).

Бошкович Р. (1711—1787): идея взаимопроникающих, но взаимно неаблюдаемых вселенных.

Эпинус Ф. (1724—1802): лунные цирки — свидетельство продолжающейся вулканической деятельности на Луне; идея ледяного ядра комет.

Кант И. (1724—1804): первая универсальная эволюционная космолого-космогоническая гипотеза холодного образования Солнечной системы из пылевидной материи; первая интерпретация Млечного Пути как реальной дисковидной динамической системы звезд; идея иерархической структуры островной Вселенной с общим центром вращения.

Ламберт Г. (1728—1777): иерархическая структура Вселенной с конечным (единым покоящимся) центром; идея динамической эволюции Млечного Пути как системы звезд.

Гершель В. (1738—1822): сгущивание млечных туманностей в скопления и сверхскопления и пластообразная крупномасштабная структура мира туманностей. Гипотеза группового формирования звезд из диффузной материи (под действием гравитационного сжатия), продолжающегося и в наше время.

Лаплас П. С. (1749—1827): детальное развитие небулярной планетной космогонической гипотезы.

Хладни Э. (1756—1827): космическое происхождение аэролитов (детально развитая и обоснованная концепция).

Ольберс Г. (1758—1840): первая ставшая широко известной формулировка фотометрического парадокса, с выводом о необходимости существования межзвездного поглощения света (парадокс Ольберса—Шезо). Катастрофическая гипотеза происхождения астероидов в результате разрушения большой планеты между Марсом и Юпитером. Метеориты — выбросы лунных вулканов.

Томсон В. (лорд *Кельвин*, 1824—1907): разогрев вещества в результате гравитационного сжатия как источник звездной энергии («контракционная гипотеза»). Идея тепловой смерти Вселенной ввиду действия II Начала термодинамики (роста энтропии).

Скиапарелли Дж. (1835—1910): метеорные потоки (звездные дожди) — остатки разрушающихся комет; гипотеза о существовании каналов на Марсе.

Чемберлин Т. К. (1843—1928): вихревая катастрофическая планетная космогоническая гипотеза с новой идеей — возникновения промежуточных тел — «планетезималей» в процессе холодного формирования планет.

Больцман Л. (1844—1906): флуктуационная космологическая гипотеза, снимающая парадокс тепловой смерти Вселенной.

Зелигер Х. (1849—1924): формулировка гравитационного парадокса.

Шарлье К. В. Л. (1862—1934): усовершенствованная концепция иерархической Вселенной, снимающая фотометрический и гравитационный парадоксы. Идея Метагалактики как сверхсистемы второго (после Галактики) порядка.

Джинс Дж. (1877—1946): гравитационная неустойчивость как основа эволюционных процессов в космосе; развитая катастрофическая планетная космогоническая гипотеза. Аннигиляция $e^- + p$ как механизм высвобождения внутриатомной звездной энергии. Идея особой роли ядер спиральных туманностей как мест, где в нашу Вселенную втекает материя иной Вселенной.

Эйнштейн А. (1879—1955): принципиально новая интерпретация тяготения как эффекта искривленности пространства—времени при наличии материи; релятивистская космология. Модель стационарной Вселенной, конечной в пространстве, бесконечной во времени.

Эддингтон А. С. (1882—1944): развитие новой концепции внутриатомного источника звездной энергии (синтеза элементов); первая математическая теория внутреннего строения звезд.

Шепли Х. (1885—1972): идея Галактики как единственной наблюдаемой звездной системы (спиральные и другие млечные туманности — внутригалактические объекты).

Фридман А. А. (1888—1925): первая математическая теория нестационарной релятивистской Вселенной; первые расчетные оценки возраста Вселенной (времени ее расширения, или «периода мира») в десятки миллиардов лет.

Хаббл Э. (1889—1953): закон красного смещения в спектрах далеких галактик и доплеровская интерпретация его, подтверждающая концепцию расширения Вселенной.

Фесенков В. Г. (1889—1972): идея многоаспектности и комплексности космогонической проблемы — выделение роли астрофизики, а в дальнейшем и метеоритики в ее развитии, необходимость объединения звездной и планетной космогонии.

Шмидт О. Ю. (1891—1956): возрождение и развитие эволюционной планетной «метеоритной» космогонической гипотезы холодного формирования Земли и планет.

Леметр Ж. (1894—1966): возникновение Вселенной из сверхплотного состояния материи.

Цвикки Ф. (1898—1974): идея ячеистой крупномасштабной структуры Вселенной — почти соприкасающихся сверхскоплений галактик (модель «мыльная пена»).

Оорт Я. (р. 1900): идея существования постоянного кометного «облака» («Облако Оорта» — резервуар комет) на периферии Солнечной системы на расстояниях, сравнимых с межзвездными.

Гамов Г. А. (1904—1968): концепция «горячей Вселенной» с выводом о существовании в наблюдаемой Вселенной остаточного (от первоначального «Большого Взрыва») реликтового радиоизлучения.

- Абеляр П. 102
 Августин Блаженный 105
 Адамс Д. К. 238, 320
 Адамс У. С. 323, 324
 Агриппа 95
 Александр Македонский 35, 78, 84
 Алкмеон 59, 61, 309
 Алкуии (Флакк Альбии) 120, 312
 Альберт Великий 122
 Альберт Саксонский 132
 Альвеи Х. О. 264, 325
 Альфер Р. 284, 326
 Альфонс Х Мудрый 121, 127, 131, 134, 313, 327
 Амбарцумяи В. А. 218, 225, 254, 257, 269, 295, 324—327
 Аиаксагор 37, 67—70, 73, 74, 79, 83, 85, 92, 175, 226, 260, 309, 330
 Анаксимаидр 59—61, 66, 71, 300, 309, 330
 Анаксимен 68, 79, 330
 Андерс А. 328
 Апиан П. 131, 314
 Аполлоий Пергский 36, 76, 88, 89, 101, 310
 Араго Д. Ф. 218, 230, 232, 238, 246, 255, 268, 319, 320
 Арат 310
 Аргеландер Ф. 320
 Аренд 326
 Арзахель 120, 312
 Ариабхата 109—111, 113, 114, 331
 Аристарх Самосский 1, 83, 85, 86, 88, 94, 97, 115, 148, 157, 310, 331
 Аристилл 37, 86, 189, 310
 Аристотель 10, 14, 35, 60—67, 77—86, 89, 93, 94, 96, 97, 100, 102, 104—108, 115, 119, 121—125, 128, 129, 131, 132, 134, 135, 140—142, 145, 147, 153, 154, 157, 159, 160, 162, 163, 167, 168, 177, 184, 214, 219, 226, 310—313, 330
 Армстроиг Н. 328
 Архимед 75, 79, 86, 94, 171, 310, 331
 Ателяр из Бата 121
 Бааде В. 256, 293, 323—326
 Байер И. 314
 Байи Ж. 166
 Балаиовский И. А. 325
 Барберини (Урбан VII) 159
 Барриард Э. 321, 323
 Барсуков В. Л. 328
 Бархатова К. А. 5
 аль-Баттаи 113, 116, 120, 312
 Башелай 227
 Бейли С. 321
 Беккерель А. 251
 Белл Дж. 328
 Беллинсгаузен Ф. Ф. 209
 Белл 270
 Белопольский А. А. 321
 Бентли Р. 184
 Бейнцберг И. Ф. 94, 232, 318—320
 Берк Б. 326
 Берковский 320
 Берман 324
 Бернет 177
 Берцелиус И. 227, 319
 Бессель Ф. В. 149, 219, 220, 319
 Бете Г. 254, 284, 325
 Био Ж. Б. 231, 318
 Бируни 108, 110, 114—116, 125, 134, 142, 181, 312, 331
 Блеу И. 315
 Богомолов А. Ф. 329

- Бодэ 162, 199
 Бок Б. 254, 257, 270, 326
 Болии К. 322
 Больцман Л. 244, 300, 333
 Бонд Дж. 320
 Бонд У. 320
 Бонди Х. 281
 Бониэ Ш. 198
 Борелли Дж. 315
 Борман Ф. 328
 Боуэн А. 324
 Бошкович Р. 317, 333
 Браге Тихо 85, 130, 139, 148—150,
 159, 161, 163, 164, 168—170, 267,
 313—315, 332
 Бродлей Дж. 219, 220, 316, 317
 Брандес Г. В. 232, 318
 Браун Р. 326
 Браун Э. У. 322
 Брахмагупта 110, 111, 113, 114, 181,
 312, 331
 Бреднхин Ф. А. 320, 321
 де Бройль Л. 187
 Брорзен Т. 320
 Бруно Джордано 18, 19, 128, 144,
 151—153, 159, 160, 164, 167, 172,
 188, 241, 297, 314, 332
 Брюстер Д. 319, 320
 Бувар А. 319
 Бугер 203
 Буллио (Буллнальд) 181
 Бунзен Р. 246, 320
 Буридан Жан 105, 125, 132, 142,
 154, 313, 332
 Бхаскара I 110
 Бэбкок Х. У. 326
 Бэвис 317
 Бэда Достопочтенный 120, 312
 Бэкон Р. 124, 164, 313, 331
 Бэр 203
 Бюрги Й. 314
 Бюффон Ж. 178, 195—198, 214, 216,
 237, 260, 317, 333
 Валлис Дж. 226, 316
 Вальтер Б. 130, 131, 149, 313
 Ван Аллен Дж. 327
 Ван Чунь 45, 311, 331
 Варахамхира 110
 Василий Великий 105, 311, 331
 Вашакидзе М. А. 325, 326
 Вейль Г. 279
 Вейцеккер К. 254, 261, 325
 Вернадский В. И. 263, 266
 Веселовский И. Н. 35
 Веспуччи Америго 130, 313
 Видманштеттен А. фон 319
 Вильгельм IV Гессен — Кассельский
 314
 Вильсон Р. 283, 285, 327
 Вильямс Дж. Л. 318
 Виноградов А. П. 328
 Виткевич В. В. 327
 Вокулер Ж. де 215, 287, 288, 326
 Волластон В. 246, 318
 Вольф М. 322
 Вольф Р. 320
 Вольф Ш. 320
 Воронцов-Вельямниов Б. А. 215, 324
 Вурстейзен Х. 146, 314
 абу ль-Вэфа 113, 312
 Гагарин Ю. А. 327
 Гадлей Дж. 317
 Газе В. Ф. 326
 Галнлей Г. 74, 82, 98, 132, 133, 145,
 146, 149, 153—163, 166, 171—173,
 180, 181, 187—191, 207, 209, 275,
 276 313—315, 332
 Галнфакс Дж. (см. Сакробоско)
 Галле Г. 238
 Галлей Э. 27, 41, 107, 117, 118, 129,
 175, 181, 182, 189—193, 198, 226,
 231, 246, 308, 312, 313, 316, 317,
 329, 332
 Гамнльтон В. 209
 Гамов Дж. (Г. А.) 269, 283, 284—
 286, 325—327, 334
 Ганский А. П. 321
 Гань Гуи (Гань Дэ) 37, 310
 Гардинг К. 319
 Гарпал 59
 Гарриот Т. 156, 157
 Гартман И. 322
 Гарун аль-Рашид 113, 312
 Гаскойнь В. 315
 Гассенди П. 181, 315
 Гаусс К. 231, 318
 Гевелий Я. 190, 192, 210, 226, 315,
 316
 Гегель 112

- Гельмгольц Г. 245, 249, 261, 320
 Гендерсон Т. 219, 220, 319
 Гензихен И. 198
 Гераклид Понтийский 35, 65, 75, 76,
 80, 85, 150, 310, 330
 Гераклит Эфесский 60—62, 68, 72,
 80, 309, 330
 Герардо из Кремоны 121, 312
 Герасимович Б. П. 270, 323—325
 Герберт (см. Сильвестр II)
 Герман Р. 284, 326
 Герон Александрийский 92, 311
 Герц Г. 274
 Герцшпрунг Э. 250, 257, 258, 322,
 323
 Гершель В. 18, 198, 199, 210—218,
 220, 221—224, 228, 230, 236—238,
 245, 247, 249, 255, 257, 259, 261,
 267—270, 287—290, 317, 318, 321,
 324, 333
 Гершель Дж. 218, 221, 223, 224, 319,
 320, 322
 Герштейн С. С. 328
 Гесиод 57, 58, 308
 Гесс В. 322
 Гильберт В. 164, 165, 314, 332
 Гинзбург В. Л. 326
 Гипатия 100, 101, 311
 Гиппарх 16, 38, 40, 41, 59, 76, 88—
 96, 111, 143, 145, 189, 267, 311,
 331
 Глушко В. П. 326
 Говард Ч. 318
 Годвин Ф. 315
 Голд Т. 281
 Гомер 19, 57, 58, 308
 Гордон И. М. 326
 Готт Дж. 329
 Готье А. 320
 Грегори Дж. 183, 315
 Григорий Нисский 105, 311, 331
 Григорий XIII 141
 Гримальди Ф. 315
 Гринстейн Дж. 291
 Гроссетет Роберт 123, 124, 164, 300,
 313, 331
 Гротгус Т. 319
 Грузои 33
 Гудрайк Дж. 318
 Гук Р. 181, 182, 210, 218, 226, 315,
 332
 Гумбольдт А. 232, 319
 Гунсунь Лун 44, 310, 331
 Гуревич Л. Э. 270
 Гурский Х. 327
 Гусейнов О. Х. 327
 Гут А. 285, 329
 Гюго В. 240
 Гюйгенс Х. 158, 166, 167, 181, 188,
 189, 191, 198, 203, 204, 245, 315, 332
 Дагерр Л. 319
 Дайсон Ф. У. 276, 323
 Дай Чжэнь 119
 Д'Аламбер Ж. 233, 317
 Дамаскин Иоани 106, 312, 331
 Данхем Т. 324
 Дарвин Дж. Х. 321
 Дарий 58
 Дати Дж. 327
 Декарт Р. 133, 172—178, 192, 210,
 221, 237, 260, 275, 315, 332
 Де ла Рю 320
 Делиль Ж.-Н. 206
 Демокрит 67, 70—72, 74, 77—79, 87,
 92, 99, 112, 123, 309, 330
 Дерхем В. (Дарем) 190—192, 198,
 317, 332
 Джаккони Р. 327
 Джакобини 329
 Джеффрис А. 197, 260, 263, 323
 Джинс Дж. Х. 197, 201, 251—256,
 260, 263, 264, 268, 289, 322—324,
 333
 Джонсон Г. 258, 326
 Джоуль Дж. 245
 Дибай Э. А. 269
 Дикке Р. 285
 Диоген Лаэртский 35, 69
 Диофант 101
 Днепровский Н. И. 324, 325
 Доллонд Дж. 317
 Домбровский В. А. 326
 Домогацкий Г. В. 328
 Донати Дж. 320
 Доплер Х. 246, 281, 319
 Дорошкевич А. Г. 266, 284, 288, 289,
 327, 328
 Древис А. 102

- Дрейер И. Л. 321
 Дрейк Ф. 327
 Дрэпер Г. 321, 323
 Евдокс Книдский 65, 75, 76, 81, 89, 97, 310, 330
 Евклид 114, 121, 310
 Евктемон 69, 76, 89, 309
 Еремеев В. И. 329
 Еропкии Д. И. 325
 Ефимов Н. Н. 328
 Ефремов Ю. Н. 259
 Жаворонков Н. М. 328
 Жансен П. 247, 248, 320, 321
 Жерихии Н. В. 329
 Заистра 324
 Зелигер Г. 242, 333
 Зельдович Я. Б. 285, 289, 290, 327—329
 Зельманов А. Л. 282, 327
 Зенон Китийский 87, 310, 331
 Зеиои Элейский 66, 67, 69, 72, 309
 Зубов В. П. 124
 Зукки 183
 Иванова Л. Н. 328
 Идлис Г. М. 327
 Имшениик В. С. 328
 Инголи Ф. 157, 315
 Иоани Скиталец 123
 Иоани Филопон 105, 154, 311
 Иоаннисиани Б. К. 329
 И Сишь 117, 119, 312
 Истои К. 224
 Йордан П. 281
 Кавеидиш Г. 318
 Калиняк А. А. 326
 Каллипп 76, 81, 86, 88—90, 135, 310
 Каит И. 18, 71, 162, 178, 179, 192, 197—203, 212, 215, 236—238, 260—262, 264, 267, 288, 317, 333
 Кантемир А. 210
 Каптейн Я. 321, 322
 Кар Лукреций 19, 87, 92, 112, 310
 Кардашев Н. С. 327
 Карл Великий 190, 312
 Карл Лысый 120
 Картер Б. 328
 Кассини Дж. Д. 315, 316
 Кастелли Б. 155
 Кауэл Ч. 329
 Кельвин (см. Томсон В.)
 Кеплер И. 18, 63, 74, 97, 123, 124, 127, 132, 133, 144, 145, 150, 155, 157, 158, 160—172, 175, 178, 180—182, 187, 188, 245, 267, 279, 313—315, 329, 332
 Кертис Г. 323
 Килер Дж. Э. 221, 223, 321
 Кинкарини Дж. 289, 328
 Кирквуд Д. 320
 Кирхгоф Г. 246, 247, 320
 Кларк Агиесса 248
 Кларк Альван 320
 Кларк А. Г. 320
 Клаузиус Р. 241, 243, 244
 Клеострат Тенедосский 58, 59, 308
 Клеро А. 233, 317
 Климент Александрийский 99
 Климишин И. А. 5
 Клыпин А. 289, 329
 Киорр Е. 320
 Ковальский М. А. 320, 321
 Козырев Н. А. 324, 325, 327
 Койпер Д. 257, 258, 326
 Колумб Х. 130, 313
 Кольхерстер В. 322
 Комендантов Н. В. 325
 Константин I 103
 Конт О. 247
 Конфуций (Кун-цзы) 37, 43, 118, 308
 Коперник Н. 15, 17, 84, 86, 94, 128, 133, 134, 137—147, 150—155, 157, 159—163, 165, 168—170, 172, 179—181, 219, 279, 297, 314—316, 322
 Копылов И. М. 258
 Королев С. П. 326, 327
 Косма Индикоплов 106, 107, 311, 331
 Котов В. А. 328
 Красильников Д. Д. 328
 Красовский В. И. 326
 Красовский Ф. Н. 325
 Кристи Дж. У. 329
 Критчфильд Ч. 254, 325
 Крукшенк Д. П. 328
 Крылов А. Н. 137

- Ксенофан Колофонский 66, 68, 79
 Ксеркс 58
 Кузанский (см. Николай Кузанский)
 Кук Дж. 209
 Кукаркин Б. В. 324—326
 Кулик Л. А. 324
 Кун Т. 12
 нбн Курра, Сабит 113, 312
 Куэй Ши 44, 310, 331
 Кэннон А. 323
 Кэррингтон Р. Х. 320
 Кюри П. 251
- Лабейри А. 328
 Лаборд А. 251
 Лавуазье 227
 Лагранж Ж.—Л. 233
 Лазарев М. П. 209
 Лакайль Н. де 317
 Лаланд Ж. 317
 Ламарк 237
 Ламберт И. Г. 18, 162, 179, 198,
 203—205, 213, 215, 224, 243, 245,
 288, 317, 333
 Ламонт И. 320
 Ландау Л. Д. 293, 324
 Лао Цзы 44, 45, 308, 330
 Лаплас П. С. 162, 178, 201, 205,
 230, 233—238, 260—262, 271, 317,
 318, 323, 333
 Лассел У. 320
 Лебедев П. Н. 252, 321, 322
 Лебединский А. И. 270
 Леверье У. 238, 239, 320
 Леви Б. 321
 Левин Б. Ю. 270, 325
 Леви-Стросс К. 56
 Левкипп 67, 69—72, 74, 77, 78, 92,
 112, 309, 330
 Лейбниц Г. 180, 185, 196, 316, 332
 Лейтен В. 324
 Леметр Ж. 242, 269, 277, 281, 283,
 298, 323, 324, 334
 Ленин В. И. 62
 Леонардо да Винчи 74, 98, 127,
 131—133, 314, 332
 Леонов А. А. 327
 Леонов Л. 19
 Лепот 317
 Ливитт Г. 322
- Лиллио Л. 141, 314
 Линдبلاد Б. 324
 Линде А. Д. 286, 329
 Линней К. 198
 Липперсгейм И. 314
 Лихтенберг Г. К. 210, 213, 225, 228,
 230, 232, 318
 Ловелл Дж. 328
 Локьер Н. 247—250, 298, 321
 Ломоносов М. В. 19, 205—207, 317
 Лоренц Х. А. 274—276
 Лукиан Самосатский 311, 331
 Лэн Г. 249
 Лю Ань 45, 310, 331
 Любимов А. А. 316
 Людовик XIV 177
 Лю Хун 41, 311
 Лю Чжо 117
 Ляйель 237
- Магеллан Ф. 314
 Майер В. 224
 Майер К. 326
 Майер Р. 245, 248, 256, 320
 Майер Т. 189, 317
 Майкельсон А. 274, 321, 323
 Мак-Каллаф Т. 326
 Мак-Келлар Э. 283, 325
 Максвелл Дж. 3, 320
 Максудов Д. Д. 325
 Мамаев А. В. 290
 аль-Мамун 312
 аль-Мансур 113, 312
 Маргои Б. 329
 Мариус С. 156, 315 (Марий)
 Маркарян Б. Е. 258, 269, 326, 327
 Мартин Д. 326
 Марциал 5
 Маскелли Н. 189, 317
 Матвеевко Л. М. 327
 Маттиаш I 130
 Мейолл Н. 325
 Мелисс 66, 309
 Мензел Д. 324
 Менелай Александрийский 92, 95
 Меррилл П. 326
 Мерсенн 175
 Мессье Ш. 213, 317
 Метон 39, 59, 76, 308,
 Мециус Я. 314

- Мигдал А. Б. 327
Мизнер Ч. 328
Минковский Р. 326
Мичел Дж. 205, 212, 213, 318
Молоденский М. С. 325
Мопертюи П. де 191, 192, 196, 198, 317
Морган У. 326
Морен Ж. Б. 315
Мори А. 321
Муди Дж. 329
Мультои Ф. Р. 178, 197, 260, 262, 263, 321
Мусселнус М. М. 325
Мэн Цзы 42
Мюллер И. (см. Региомонтаи)
- Наан Г. И. 327
Надежин Д. К. 328
Назаркин В. А. 329
Насирэддин ат Туси 115, 116, 313
Нейгебауэр О. 30, 34, 35, 309
Нейман К. 242
Николай Кузанский (Кребс) 18, 120, 127, 128, 133, 144, 151, 152, 167, 188, 241, 313, 332
Никольский С. И. 328
Никонов В. Б. 326
Новиков И. Д. 284, 327, 328
Нумеров Б. В. 325
Ньюком С. 321
Ньютон Г. А. 320
Ньютон И. 8, 18, 160, 161, 166, 174, 179—186, 188, 192, 195—198, 200, 233—235, 237, 239—243, 267, 289, 313, 315—318, 332
- Обухов А. М. 328
Озу А. 315
Олдри Э. 328
Олмстэд Д. 230, 232, 239, 319
Ольберс Г. 220, 230, 231, 241, 318, 319, 333
Оорт Я. 324—326, 334
Оппенгеймер Р. 325
Оппольцер Т. 321
Орем Николай 125—127, 173, 299, 313, 332
Ориген 99, 100, 151, 311, 331
Остерброк Д. 326
- Павел из Александрии 108
Паллас П. С. 210, 216, 229, 230, 317
Пановкин Б. Н. 327
Паолини Ф. 327
Паренаго П. П. 324—326
Парийский Н. Н. 263, 325
Парийский Ю. Н. 329
Парменид 45, 46, 67, 70, 309, 330
Парселл Э. 292, 326
Парсонс В. (граф Росс) 218, 221, 222, 320, 321, 326
Парсонс Л. 321
Парсонс С. 326
Пензиас А. 283, 285, 327
Перевощиков Д. М. 319
Перепелкин Е. Я. 324, 325
Перрен 251
Петерс Х. 319
Петр I 316
Пиаци Дж. 230, 318
Пиз Ф. 323
Пикар Ж. 53, 219, 315
Пикеринг У. Г. 321
Пикеринг Э. 321
Пиндар 60
Пифагор 29, 41, 47, 59, 63, 126, 309, 330
Планк М. 8, 321, 322
Платон 74—76, 78, 85, 96, 98, 100, 101, 105, 141, 162, 168, 169, 309, 311, 330
Платон Тиволийский 120
Плиний Старший 92, 196
Плотин 100, 105
Плутарх 92, 311, 331
Погсон Н. 320
Пози Дж. 326
Пойа Д. 161
Понтекорво Б. 244
Поп А. 179
Посидоний 91
Прингль 231
Проктор Р. 223, 224, 257, 268
Птолемей 29, 41, 42, 76, 84, 88, 90—98, 102, 106, 108, 109—111, 113, 114, 116, 120—123, 127, 129, 134, 135, 137, 139—141, 143, 145, 146, 151, 154, 156, 159, 160, 163, 168, 181, 182, 185, 189, 190, 299, 311—313, 315, 331

- Птолемей III Эвергет 310
 Пуанкаре А. 235, 237, 276
 Пурбах Г. 128—131, 319
- Райе Ж. 320
 Райл М. 325, 326
 Райт Т. 18, 179, 190, 192—195, 198,
 201, 203, 204, 267, 317, 333
 Ребер Г. 291, 325
 Региомонтан (И. Мюллер) 128—131,
 149, 313
 Резерфорд Э. 248
 Реймерс (Бэр) 150
 Рейнгольд Э. 140, 150, 314
 Рейнолдс Дж. 224, 287
 Ремер О. 219, 245, 316
 Рессел Г. Н. 249—251, 253—258, 263,
 298, 322, 323, 325
 Ретик И. 138, 151, 314
 Риттенхауз Д. 231
 Риттер А. 253, 321
 Рнчи Дж. 322
 Риччиоли Дж. 315
 Рише Ж. 316
 Роберваль 181
 Розенфельд Л. 325
 Ролан 326
 Росс (см. Парсонс В.)
 Росси Б. 327
 Рош А. 237
 Руд Г. 289, 328
 Румовский С. Я. 317
 Рускол Е. Л. 270
 Рэйли Э. 326
 Рэлей Дж. 321
- Сагрето 146, 160, 314
 Сакробоско (Джон Галифакс) 108,
 136, 313
 Сальвиати 160
 Сафронов В. С. 270
 Саха М. 323
 Сахаров А. Д. 328
 Сведенборг Э. 166, 178, 179, 203,
 221, 237, 316, 333
 Свингс П. 325
 Северный А. Б. 328
 Сейферт К. 295, 324
 Секки А. 247, 248, 320
 Селевк 91, 310
- Сенека (Младший) 92, 228, 311, 331
 Сент-Джон Ч. 324
 Сент-Экзюпери 19
 Си Т. 271, 321
 Сикст IV 131
 Сильвестр II (Герберт) 120, 312
 ибн Сина (Авиценна) 134, 310
 де Ситтер В. 224, 280, 324
 Скалигер Ж. 36, 307, 314
 Скара З. 108
 Скиапарелли Дж. 320, 321, 333
 Славинецкий Епифанн 315
 Слайфер В. М. 280, 281, 322
 Слоунекер Р. 326
 Снайдер Х. 325
 Снеллиус (Снеллий) В. 114, 174, 315
 Соболев В. В. 325
 Созиген 92, 310
 Соколов Г. А. 329
 Сократ 72, 73, 273
 Стеббинс Дж. 322
 Стратон из Лампсака 86
 Стремгрен 257, 258
 Струве В. Я. 218—221, 319, 320
 Струве О. 291, 324
 Стюарт Дж. 325, 326
 Сундман К. 322
 Сунь Цзы (Суиь-цзы) 44, 310, 331
 ас Суфи 312
 Сыровой В. В. 5
 Сэбин Э. 320
 Сэндидж Э. 258, 325, 327, 328
 Сэнфорд Р. 224
 Сюняев Р. А. 328, 329
 Сян-гун 43, 308, 330
- Таузи Р. 326
 Тацит 106
 Теон Александрийский (Младший)
 101
 Тернер Э. 329
 Тертуллиан 104, 311
 Тимей 73
 Тимохарис 37, 86, 91, 189, 310
 Тимурленг (Тамерлан) 115
 Тициус И. 162, 199, 317
 Томбо К. 321
 Томсон В. (Г). 319
 Томсон В. (лорд Кельвин) 243, 244,
 249, 261, 320, 333

- Торн К. 328
 Трембли А. 210
 Трюмплер Р. 220, 255, 324

 Уилер Дж. 328
 Уиппл Ф. 256
 Унстон В. 193, 196, 260, 316, 332
 Унтмен У. 19, 211, 260
 Улугбек Гураган 115, 116, 149, 313
 Умов Н. А. 161, 162, 253, 321
 Унзольд А. 256
 Ушервуд 320

 Фабриций Д. 314
 Фабриций И. (Фабрициус) 157, 158, 166, 314
 Фай Э. 197, 260, 261, 321
 Фалес Милетский 58—60, 64, 68, 79, 308, 309, 330
 Федон 73
 Феофил 101
 Фернель Ж. 131, 314
 Фесенков В. Г. 225, 242, 260, 262, 270, 323, 325, 326, 334
 Физо И. 246, 320, 321
 Филипп Македонский 78
 Филлипс Дж. 326
 Филолай Кротонский 63—65, 142, 309, 330
 Филон Александрийский 99
 Фитцджеральд Дж. 274
 Фламарион 36, 46, 122
 Флеминг С. 321
 Флемстид 219
 Фогель 248
 Фома Аквинский 122, 313
 Фонтеиель Б. 210, 316, 332
 Фотий 105
 Фракасторо Дж. 131, 314
 Франклин К. 326
 Фраунгофер И. 246, 319
 Фридман А. А. 8, 9, 242, 277—283, 298, 323, 327, 334
 Фридман Х. 326, 327
 Фуко Л. 320, 321
 Фуркруа 227

 Хаббл Э. П. 18, 242, 253, 278, 280, 281, 282, 287, 298, 323, 324, 334
 Хайкии С. Э. 284

 Хайям Омар 113, 116, 134, 312
 Хеггинс В. 246, 247, 268, 320, 321
 Хей Д. С. 325, 326
 Хейл Дж. 322, 323
 Хейфорд 322
 Хеопс 35, 307
 Хи 40, 307
 Хикетас 64, 76, 142, 309
 Хилтнер У. 326
 Хладни Э. 225, 228—232, 318, 333
 Хо 40, 307
 Ходиерна Дж. 315
 Хойл Ф. 256, 257, 281
 Хокинг С. 295, 328
 Холл А. 321, 326
 Холопов П. Н. 258
 ал Хорезми 121
 Хоррокс И. 315
 Хоскин М. 192
 Христиансен Г. Б. 328
 Хуанди 40
 Хьюиш Э. 328
 Хьюмсон М. 324
 Хэзард К. 326
 Хэррис Д. 326
 Хюлст ван де 292, 325, 326

 Цап Т. Т. 328
 Цах Ф. фон 318
 Цвикки Ф. 287, 288, 290, 293, 324, 325, 334
 Цезарь Юлий 92
 Цельнер И. 249, 320
 Церасский В. К. 321, 322
 Цзу Чун-чжи 117, 311
 Цзы Хань 43, 308, 330
 Цзя Ди 117
 Цзя Куй 41
 Цизат И. 189, 315
 Циннер 329
 Циолковский К. Э. 322

 Чандлер С. К. 321
 Чандрасекар С. 324, 325
 Чемберлин Т. К. 178, 197, 260, 262, 263, 321, 333
 Чжан Хэн 37—39, 41, 42, 44, 311
 Чжан Цзай 119, 312, 331
 Чжоу Цзы 119

Чнжевский А. Л. 300

Чу Конг 308

Шази 264

Шайн Г. А. 324, 326, 327

Шакура Н. И. 328

Шандарин С. Ф. 288—290, 328, 329

Шарлье К. В. Л. 18, 223—225, 242,
243, 322, 333

Шарплесс С. 326

Швабе Г. 320

Шварцман В. Ф. 328

Шварцшильд К. 243, 252, 276, 322,
323

Шварцшильд М. 254, 257, 258

Шезо Ж. 220, 241, 242, 317

Шейнер Х. 157, 314, 315

Шейхцер 31

Шепли Х. 286, 322—324, 334

Шиврис О. Н. 329

Шн Мо 44

Ши Шэнь 37, 310

Ширакаци А. 312, 331

Шкловский И. С. 285, 286, 291, 292,
326, 327

Шлезингер Э. 130, 313

Шлезингер Э. О. 322

Шмаонов Т. А. 284

Шмидт Б. 324

Шмидт М. 292, 326, 327

Шмидт О. Ю. 264, 265, 267, 270, 325,
334

Шмидт Ю. 321

Шоломницкий Г. Б. 327

Штютц А. 229, 230

Шустер А. 321

Шэнь Ко 117

Эддингтон А. С. 250—254, 269, 277,
283, 323, 324, 333

Эдлен Б. 325

Эйлер Л. 197, 206, 233, 234, 317,
321

Эймз А. 286, 324

Эйнасто Я. Э. 289, 329

Эйнштейн А. 6, 8, 162, 167, 182, 239,
251, 273, 276—278, 287, 322, 323,
333

Экфанг 64, 76, 309

Эмден Р. 322

Эмпедокл 67, 69, 74, 80

Энгельс Ф. 296

Энопид Хиосский 59, 309

Элик Э. Ю. 326

Эпикур 77, 87, 92, 100, 112, 331

Эпинус Ф. У. Т. 208—210, 217, 230,
317, 318, 333

Эрамжан Р. А. 328

Эратосфен 86, 87, 92, 310

Эри Дж. 238

Эригена (Эриугена И. С.) 120, 121

Эсхил 57, 60

Юй Си 117, 118, 311

Юнг Ч. 321

ибн Юнис 113, 312

Юэн Х. 292, 326

Ян Вэй 40, 41

Янсен З. 314

Янский К. 291, 324, 325

Яо 39

Яшнов П. И. 325

Предисловие	3
Введение	6
Глава I. Человек и Вселенная. О закономерностях познания мира *	6
Глава II. Астрономическая картина мира	9
§ 1. О науке и научной картине мира	9
§ 2. Место и роль научной картины мира в развитии знаний	12
§ 3. О различии закономерностей развития конкретной науки и научной картины мира	15
§ 4. О судьбе прежних вариантов картины мира	17

Раздел первый
У ИСТОКОВ АСТРОНОМИИ

Глава I. От космических мифов к науке	19
§ 1. Человек и небо	19
§ 2. Что такое «доисторическая астрономия?» Немного об архео- и фольклорной астрономии	20
§ 3. Роль астрономического фольклора в истории науки. Картина мира	21
§ 4. Стимулы зарождения и первые следствия астрономической деятельности. Практические цели наблюдений неба	22
Глава II. Астрономическая деятельность и общие представления о Вселенной в различных регионах Древнего мира	25
§ 1. Древнейшие очаги зарождения астрономии. Общее и особенное	25
§ 2. Астрономия Вавилона	27
§ 3. Астрономия Древнего Египта	32
§ 4. Астрономия Древнего Китая	37
§ 5. Астрономия и астрономическая картина мира Древней Индии	45
§ 6. Астрономия и представления о Вселенной в древних цивилизациях Нового Света	52

Раздел второй
ВЗЛЕТ И ПАДЕНИЕ
ПЕРВОГО ЕВРОПЕЙСКОГО ЦЕНТРА КУЛЬТУРЫ.
ДРЕВНЯЯ ГРЕЦИЯ

Глава I. Натурфилософские представления о космосе в Древней Греции античного периода (VII—IV вв.)	57
---	----

§ 1. Историческая справка	57
§ 2. Астрономическая деятельность в ранний античный период	58
§ 3. Истоки древнегреческой натурфилософии. Ионийская школа и Гераклит Эфесский	60
§ 4. Пифагорейцы и идея гармонии мира. Первые негеоцентристы	62
§ 5. Элеаты и первый парадокс на пути познания Вселенной	66
§ 6. Рождение атомизма и космология Левкиппа и Демокрита	67
§ 7. Платон и аналитический подход к исследованию Вселенной	72
§ 8. Рождение теоретической астрономии. От Евдокса до Гераклида Понтийского	75
Глава II. Система природы Аристотеля	77
§ 1. Идеи основы физики и научный метод Аристотеля	77
§ 2. Механика Аристотеля	79
§ 3. Критика прежних космологических концепций	79
§ 4. Неизбежные издержки аристотелевской критики умозрительных идей	80
§ 5. Система мира Аристотеля и ее отличие от предшествующих	81
§ 6. Физические основы космологии Аристотеля	81
§ 7. Отношение к учению Аристотеля в разные эпохи	83
Глава III. Расцвет греческой астрономии в эпоху эллинизма	84
§ 1. Идея гелиоцентризма. Аристарх Самосский	85
§ 2. Достижения наблюдательной астрономии начала эпохи эллинизма	86
§ 3. Астрономическая картина мира эпохи раннего эллинизма	87
Глава IV. Теория движения небесных тел Гиппарха—Птолемея — вершина развития древнегреческой математической астрономии	88
§ 1. Создание основ математической и точной наблюдательной астрономии. Аполлоний Пергский, Гиппарх	88
§ 2. От Гиппарха до Птолемея	91
§ 3. Создание первой универсальной математической модели мира на основе принципа геоцентризма. Птолемей	93
Глава V. Конец «древнегреческого чуда». Последний оплот эллинизма — Александрия (III—VII вв.)	99
§ 1. Эллинизм и христианство	99
§ 2. Крушение эллинизма под ударами христианства. Гипатия	100
Раздел третий	
КОНТРАСТЫ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ	
Глава I. Введение. Наука под властью религии	102
Глава II. Астрономия Византии и ее культурного ареала (IV—XV вв.)	103
§ 1. Судьба астрономии и астрономической картины мира	103
§ 2. Астрономические представления на Руси	107
Глава III. Астрономия средневекового Востока	108
§ 1. Астрономия и натурфилософия Индии	108
§ 2. Астрономия и астрономическая картина мира средневекового Ближнего и Среднего Востока (VIII—XV вв.)	112
§ 3. Астрономия и картина мира в Китае (V—XVII вв.)	116
Глава IV. Астрономия и астрономическая картина мира в средневековой Западной Европе (V — начало XVI в.)	119
§ 1. Ученики греков и арабов (VII—XII вв.)	119
§ 2. Космология на основе геометрической оптики и атомистики. Роберт Гроссетет, Роджер Бэкон	123

§ 3. Сомнения в неподвижности Земли и геоцентризме. Жаи Бурдан	125
§ 4. Возрождение идеи эволюционного нециклического развития Вселенной. Николай Орем	125
§ 5. Западноевропейская астрономия на заре эпохи Возрождения. От Николая Кузанского до Леонардо да Винчи (XV — начало XVI в.)	127
Глава V. Итоги «многорегионного» этапа развития астрономии и астрономической картины мира	134
§ 1. Особенности Средневековья — два мира в науке: Восток и Запад	134
§ 2. Появление новых экономических и социальных стимулов развития астрономии. Переход от региональной к мировой науке	136

Раздел четвертый ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ НОВОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Глава I. Возрождение гелиоцентризма и начало первой великой научной революции в естествознании. Коперник	137
§ 1. Путь к познанию	137
§ 2. Рождение новой системы мира	138
§ 3. Старые и новые иллюзии в восприятии системы Коперника	140
§ 4. Замыслы и результаты	141
§ 5. Система Коперника и ее роль в универсальной научной революции конца XVI — начала XVII в.	144
Глава II. Эпоха «бури и натиска» в развитии астрономической картины мира	148
§ 1. Последняя попытка спасти геоцентризм и фактическое создание предпосылок для торжества гелиоцентризма. Тихо Браге	148
§ 2. Первый прорыв за пределы абсолютного геоцентризма Коперника к идее множественности гелиоцентрических систем в бесконечной Вселенной. Джордано Бруно	151
§ 3. Разрушение аристотелевой системы физики как следствие революции Коперника в астрономии и первое наблюдательное обоснование гелиоцентризма. Галилей	153
Глава III. Революция в представлениях о механике неба и новая гармония мира. Кеплер	160
§ 1. Кеплер в истории науки	160
§ 2. Против «одержимости округленностью...»	162
§ 3. От небесной геометрии к небесной физике	163
§ 4. Научный метод Кеплера. Новая гармония мира	167
Глава IV. Возрождение эволюционной вихревой модели Вселенной на основе гелиоцентризма	172
§ 1. Космология и космогония Декарта	172
§ 2. Появление идеи островной иерархической вселенной на основе картезианской физической картины мира. Сведенборг	178
Глава V. Завершение первой фундаментальной научной революции. Ньютон	179
§ 1. Революция Коперника и ускорение научного прогресса	179
§ 2. Количественно-феноменологическое направление ньютоновой физики и астрономии	180
§ 3. Создание системы классической математической физики (механики) Ньютоном и открытие закона всемирного тяготения	181
§ 4. Ньютон и создание основ небесной динамики	182

§ 5. Ньютон и создание новой базы наблюдательной астрономии . . .	183
§ 6. Вселенная Ньютона	184
§ 7. Ньютон и ньютоновская картина мира	185

Раздел пятый
РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА
НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ НЬЮТОНОВОЙ ФИЗИКИ
(МЕХАНИКИ)

Глава I. Новые открытия за пределами Солнечной системы . . .	187
§ 1. Представления о мире звезд к началу XVIII в.	187
§ 2. Первые фотометрические оценки межзвездных расстояний. Гюйгенс	188
§ 3. Открытие собственных движений звезд. Галлей	189
§ 4. Первые шаги в мире туманностей. От Гевелля до Держема	190
Глава II. Модели звездной Вселенной как экстраполяция принципа Солнечной системы. Возрожденные идеи эволюции Вселенной	192
§ 1. Зарожденные концепции островных вселенных на основе идей гравитации. Райт	192
§ 2. Возрожденные идеи «естественной истории» природы в космогонии Бюффона	195
§ 3. Первая модель развивающейся иерархической звездной Вселенной и новая космогония Солнечной системы. Кант	197
§ 4. Вторая модель иерархической развивающейся звездной Вселенной. Ламберт	203
Глава III. Первый выход за пределы механической картины мира. Петербургские «астрофизики» XVIII в.	205
§ 1. Картина Вселенной по Ломоносову. Открытие атмосферы Венеры	205
§ 2. Эволюционные идеи о Луне и кометах — начало формирования космогеологического аспекта картины мира. Эппиус	208
Глава IV. Создание наблюдательно обоснованной картины структуры и эволюции Вселенной звезд и туманностей	211
§ 1. Открытие Галактики и крупномасштабной структурности мира туманностей. В. Гершель	211
§ 2. Идеи В. Гершеля об эволюции космической материи и его звездно-космогоническая гипотеза	216
§ 3. Новые идеи и открытия в мире звезд и туманностей	218
§ 4. Проблема структурности мира туманностей во второй половине XIX — начале XX в. От Р. Проктора до К. Шарлье	223
Глава V. Рождение научной метеоритики. Подсистема малых тел	225
§ 1. Космическая концепция аэролитов Хладни и ее следствия	225
§ 2. Открытие малых планет и регулярных метеорных потоков в Солнечной системе. Пиаци, Ольберс; Олмстэд, Араго	230
Глава VI. Триумф ньютоновской астрономической картины мира и первое «облачко» на ее горизонте	233
§ 1. Создание классической небесной механики возмущенного движения и ее важнейшие следствия. Лаплас	233
§ 2. Планетная космогоническая гипотеза Лапласа	235
§ 3. Открытие Нептуна и загадка Меркурия	238

Раздел шестой
РАЗВИТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА
НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
XIX — НАЧАЛА XX В.

Глава I. Новая физика и Вселенная. Космологические парадоксы и попытки их решения	240
§ 1. Возникновение и содержание космологических парадоксов	240
§ 2. Фотометрический парадокс	241
§ 3. Гравитационный парадокс	242
§ 4. Парадокс «тепловой смерти» Вселенной	243
Глава II. Формирование астрофизической картины мира (XIX—XX вв.)	
§ 1. Создание физического фундамента	245
§ 2. Первые астрофизические проблемы астрономии	247
§ 3. Проблема звездной эволюции и идея гравитационного источника энергии звезд. Гельмгольц, В. Томсон, Локьер, Рессел	249
§ 4. Подходы к решению проблемы источников звездной энергии и эволюции звезд на базе фундаментальных открытий физики конца XIX — начала XX в. Джинс, Эддингтон, Рессел	251
§ 5. Развитие представлений об эволюции звезд на основе теории термоядерных источников звездной энергии	254
Глава III. Космогонический аспект картины мира в конце XIX—XX в.	
§ 1. Два направления в планетной космогонии. Закономерность или случайность возникновения планетной системы	260
§ 2. Вихревая гипотеза Фая как возрождение идей вихревой Вселенной Анаксагора — Декарта и ее развитие В. Г. Фесенковым	260
§ 3. Планетезимальная гипотеза Чемберлина—Мультона	262
§ 4. Приливная гипотеза Джинса—Джеффриса	263
§ 5. Кризис механической и формирование новой планетной космогонии на базе астрофизики, космохимии, метеоритики, геологии	264
§ 6. Звездная космогония на основе идеи гравитационного скапливания диффузией материи. От В. Гершеля до наших дней	266
§ 7. Дезинтеграционная звездная космогония Амбарцумяна	268
§ 8. Современный этап общей звездно-планетной космогонии как синтез классических и новых идей	270

Раздел седьмой
ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ К РЕЛЯТИВИСТСКОЙ
КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТИНЕ МИРА

Глава I. Вторая фундаментальная революция в естествознании. Эйнштейн	273
§ 1. Кризис классической космофизической картины мира на рубеже XIX—XX вв.	273
§ 2. Научная революция в физике и космологии. Эйнштейн	275
Глава II. Концепция нестационарной Вселенной Фридмана—Леметра как углубление эйнштейновской революции в космологии	276
§ 1. Нестационарные модели и философия Вселенной. Фридман	276
§ 2. Наблюдательное подтверждение концепции расширяющейся Вселенной. В. Слайфер, В. де Ситтер, Э. Хаббл	279
§ 3. Проблема начала и возраста наблюдаемой Вселенной	279
Глава III. Идеи релятивистской космологии	282
§ 1. Концепция «Большого Взрыва». От Леметра до Гамова	282

§ 2. Подтверждение теории Большого Взрыва	283
§ 3. Концепция крупномасштабной ячеистой структуры Вселенной в XX в. От Ф. Цвикки до наших дней	286
Глава IV. Изменение картины Вселенной во второй половине XX в.	
§ 1. Открытие радиовселенной	291
§ 2. Новые проблемы и перспективы развития астрономической картины мира на основе всеволновой и корпускулярной астрономии	293
Заключение	
§ 1. О перспективах развития астрономической картины мира	296
§ 2. Об отношении к истории науки	297
§ 3. Смена проблем и сквозные проблемы и идеи в истории астрономии	298
Литература	
Хронология астрономии	
Авторы и пропагандисты фундаментальных идей, формировавших астрономическую картину мира на разных этапах ее развития	
Именной указатель	335

Учебное издание

**Еремеева Алина Иосифовна,
Цнцин Феликс Александрович**

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИИ

**Зав. редакцией
Н. М. Глазкова**

**Редактор
Г. Е. Горелик**

**Художественный редактор
А. Л. Прокошин**

**Переплет художника
Ю. С. Лылова**

**Технический редактор
В. В. Макарова**

**Корректоры
М. И. Эльмус,
Н. В. Иванова**

ИБ № 2629

Сдано в набор 10.03.89.
Подписано в печать 19.10.89.
Л-15546. Формат 60×90/16. Бумага офс. № 1.
Гарнитура литературная. Высокая печать.
Усл. печ. л. 22,0. Уч.-изд. л. 26,09.
Тираж 5000 экз. Заказ 52. Изд. № 4228.
Цена 1 р. 20 к.

Ордена «Знак Почета»
издательство
Московского университета.
103009, Москва,
ул. Герцена, 5/7.
Типография
ордена «Знак Почета»
изд-ва МГУ.
119899, Москва,
Ленинские горы