

И. Д. РОЖАНСКИЙ

АНТИЧНАЯ НАУКА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «История науки и техники»

И. Д. РОЖАНСКИЙ

**АНТИЧНАЯ
НАУКА**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1980

И. Д. Рожанский

Античная наука

Серия: История науки и техники

Издательство: Наука, 1980 г.

Мягкая обложка, 198 стр.

Тираж: 50000 экз.

Формат: 84x108/32 (~130x205 мм)

В книге дается популярный очерк более чем тысячелетней истории древнегреческой и римской науки. Характеризуются особенности ранней греческой науки "о природе" и прослеживается постепенное выделение из нее отдельных ветвей - математики, астрономии, биологии. Излагаются важнейшие достижения античной науки в эллинистическую эпоху (III-I вв. до н. э.), анализируются причины и основные этапы ее постепенного упадка во время римского владычества.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся проблемами истории науки и культуры.

Всякий, кто приступает к изучению истории античной науки, должен прежде всего уяснить смысл словосочетания «античная наука», что, оказывается, не так уж просто. Перед нами возникает ряд принципиальных вопросов, на которые нужно сразу же ответить, хотя бы в общей, предварительной форме.

Что такое наука вообще? Каковы основные признаки науки, отличающие ее от других видов материальной и духовной деятельности человека — ремесел, искусства, религии? Удовлетворяет ли этим признакам тот культурно-исторический феномен, который мы называем античной наукой? Если да, то была ли античная, в частности ранняя греческая наука, исторически первой формой науки или у нее были предшественники в странах с более древними культурными традициями — таких, как Египет, Месопотамия и т. д.? Если верно первое предположение, то каковы были «преднаучные» истоки греческой науки? Если же верно второе, то в каких отношениях находилась греческая наука с наукой своих старших восточных соседей? Имеется ли, наконец, принципиальное различие между античной наукой и наукой Нового времени?

В какой-то мере мы попытаемся ответить на перечисленные вопросы уже во введении, частично же ответы выявятся в ходе дальнейшего изложения.

По поводу самого понятия науки среди ученых-научников наблюдаются весьма большие расхождения. Мы укажем на две крайние точки зрения, находящиеся в радикальном противоречии друг с другом.

Согласно одной из них, наука в собственном смысле слова родилась в Европе лишь в XVI—XVII вв., в период, обычно именуемый «великой научной революцией». Ее возникновение связано с деятельностью таких ученых, как Галилей, Кеплер, Декарт, Ньютон. Именно к этому времени следует отнести рождение собственно научного

метода, для которого характерно специфическое соотношение между теорией и экспериментом. Тогда же была осознана роль математизации естественных наук — процесса, продолжающегося до нашего времени и теперь уже захватившего ряд областей знания, которые относятся к человеку и человеческому обществу. Античные мыслители, строго говоря, еще не знали эксперимента и, следовательно, не обладали подлинно научным методом: их умозаключения были в значительной степени продуктом беспочвенных спекуляций, которые не могли быть подвергнуты настоящей проверке. Исключение может быть сделано, пожалуй, лишь для одной математики, которая в силу своей специфики имеет чисто умозрительный характер и потому не нуждается в эксперименте. Что же касается научного естествознания, то его в древности фактически еще не было; существовали лишь слабые зачатки позднейших научных дисциплин, представлявшие собой незрелые обобщения случайных наблюдений и данных практики. Глобальные же концепции древних о происхождении и устройстве мира никак не могут быть признаны наукой: в лучшем случае их следует отнести к тому, что позднее получило наименование натурфилософии (термин, имеющий явно одиозный оттенок в глазах представителей точного естествознания).

Другая точка зрения, прямо противоположная только что изложенной, не накладывает на понятие науки сколько-нибудь жестких ограничений. По мнению ее адептов, наукой в широком смысле слова можно считать любую совокупность знаний, относящуюся к окружающему человека реальному миру. С этой точки зрения зарождение математической науки следует отнести к тому времени, когда человек начал производить первые, пусть даже самые элементарные операции с числами; астрономия появилась одновременно с первыми наблюдениями за движением небесных светил; наличие некоторого количества сведений о животном и растительном мире, характерном для данного географического ареала, уже может служить свидетельством первых шагов зоологии и ботаники. Если это так, то ни греческая и ни любая другая из известных нам исторических цивилизаций не может претендовать на то, чтобы считаться родиной науки, ибо возникновение последней отодвигается куда-то очень далеко, в туманную глубь веков.

Строго говоря, вторая точка зрения превращает науку в некий внеисторический феномен. Ведь всякое ремесло — металлургия, гончарное дело, наконец сельское хозяйство, уже существовавшее за несколько тысячелетий до нашей эры, характеризуется не только чисто практическими приемами и навыками, но одновременно требует наличия значительного количества знаний о тех или иных аспектах окружающей человека природной среды. Это относится и к наиболее древним видам человеческой деятельности — таким, как охота и рыболовство. Ведь для того чтобы, скажем, успешно охотиться на таких-то животных, надо знать их места обитания, их повадки, средства защиты, которыми они обладают, и многое другое. Несомненно, что у первобытных охотников знания такого рода не только имелись в наличии, но по объему, точности и детальности превосходили все, что в этой области можно найти у рядового «цивилизованного» человека. Это отнюдь не голословное утверждение, ибо оно подкрепляется данными современной антропологии. Французский ученый К. Леви-Стросс указывает в качестве примера на одно обитающее на Филиппинских островах племя, находящееся, с точки зрения стандартов европейского человека, на весьма низком уровне развития. В языке этого племени имеются слова, служащие для обозначения 461 вида животных, в число которых входят 60 разновидностей рыб, 85 моллюсков и т. д. Знания, которыми обладают представители этого племени, относятся в данном случае к сфере зоологии, но значит ли это, что у них существует зоологическая наука?

Обе изложенные точки зрения являются, очевидно, крайностями и истина должна лежать где-то в промежутке между ними. Не вдаваясь в дальнейшие рассуждения по этому поводу, перечислим основные признаки, которые, по нашему мнению, должны быть присущи любой науке, заслуживающей такого наименования.

1. Всякая наука, бесспорно, представляет собой определенную совокупность знаний, но это отнюдь не главный и не определяющий ее признак. Гораздо важнее то, что наука есть особого рода деятельность, а именно деятельность по получению новых знаний. Эта деятельность предполагает, прежде всего, существование определенной категории людей, которые ею занимаются. Еще не так давно в эту категорию входили лишь ученые в собственном смысле слова, которые были одновременно и храни-

телями уже накопленных знаний и творцами новых знаний. В настоящее время деятельность по получению новых знаний охватывает целый спектр профессий: сюда относятся и руководители научных коллективов, институтов, лабораторий, и научные сотрудники различных рангов, далее инженеры, техники, лаборанты, программисты и т. д. Во-вторых, эта деятельность предполагает наличие средств для ее проведения: к ним мы относим не только материальные средства в виде инструментов, приборов и экспериментальных установок любого рода, но и всю совокупность методов как теоретических, так и эмпирических, разработанных и используемых для получения новых знаний. Наконец, необходимым условием такой деятельности является возможность фиксации как имеющейся, так и вновь получаемой информации, а это означает, прежде всего, существование развитой письменности. Общество, лишенное письменности, не может иметь науки. До последнего времени информация, получаемая в результате научной деятельности, фиксировалась в основном в форме письменных документов — книг, статей, писем, научных отчетов. В настоящее время к этим, давно уже существовавшим формам фиксации добавляются новые — фотографии, магнитофонные записи, электронно-вычислительные машины и т. д.

Отсюда следует, что традиционные, по преимуществу, цивилизации, обладавшие налаженным механизмом для хранения и передачи существующей информации, но где отсутствовала отчетливо выраженная деятельность по получению новых знаний, не имели науки в собственном смысле слова. Такой была, например, древнеегипетская цивилизация. Основной социальной прослойкой, ответственной за хранение знаний, были в Египте жрецы: в их среде знания передавались от поколения к поколению, не подвергаясь существенным изменениям. Развитие и обогащение наличных знаний не входило, по-видимому, в число важнейших функций жрецов. С этим согласуются и те сведения, которые у нас имеются о характере обучения в Древнем Египте. Процесс обучения сводился там к пассивному усвоению уже разработанных рецептов и правил; при этом совершенно не ставился вопрос, каким образом были получены эти рецепты и правила и можно ли заменить их другими, более совершенными. Подобный характер обучения не мог стимулировать творческой деятельности по получению новых знаний. Если все же

на протяжении многих веков и происходило медленное изменение объема и состава знаний, накопленных египтянами, то это совершалось, скорее всего, стихийным образом и не носило характера сознательно направлявшейся деятельности.

Более динамичной в этом отношении была вавилонская цивилизация. Так, на протяжении первого тысячелетия до нашей эры вавилоняне добились значительных успехов в наблюдениях за движением небесных светил. Собранные ими за много столетий данные, которые тщательно фиксировались на глиняных табличках, позволяли вавилонским астрологам точно предсказывать наступление тех или иных небесных явлений (например, лунных затмений). Наличие такого прогресса настойчиво подчеркивал известный исследователь вавилонской науки О. Нейгебауэр, расшифровавший и изложивший с использованием современной математической символики довольно сложные вычислительные методы, которыми пользовались вавилонские ученые.

Но успехи, достигнутые вавилонянами в области астрономических наблюдений и вычислений, меркнут по сравнению с необычайно бурной деятельностью по получению новых знаний, которая была развита греками начиная с VI в. до н. э. Для того чтобы представить себе масштабы этой деятельности, да и то лишь на первом ее этапе, достаточно указать, что путь, пройденный греческой астрономией от Фалеса до Евдокса, греческой математикой — от Пифагора до Евклида и греческим естествознанием — от, скажем, Анаксимандра до Аристотеля и Феофраста, занял, по времени, меньше трех столетий. Столь быстрые темпы развития представляются тем более поразительными, если учесть скудость средств, которыми располагали греческие ученые: все, что было в их распоряжении, сводилось к данным непосредственных наблюдений, которые подвергались ими чисто умозрительной обработке. То, что при этом они приходили к спекулятивным заключениям, которые никак не могли быть ни подтверждены, ни доказаны, нисколько не умаляет достижений греческих мыслителей.

2. Второй признак науки в собственном смысле слова, или, как говорили раньше, «чистой» науки, состоит в ее самооценности. Целью такой науки должно быть познание ради самого познания, иначе говоря, постижение истины. Научная деятельность по получению новых знаний не

может быть направлена лишь на решение практических задач; в последнем случае она перестает быть собственно наукой и попадает в сферу прикладных дисциплин. Этому нисколько не противоречит то обстоятельство, что большинство крупных научных открытий находит в дальнейшем практическое применение. Последнее в особенности справедливо для наук нашего времени: физика, химия, биология, геология и т. д. приобрели столь большое значение в жизни современного человека, что их становится трудно относить к разряду «чистых» наук. Теперь предпочитают проводить грань уже внутри самой науки, различая «фундаментальные» и «прикладные» исследования. И все же для перечисленных наук и вообще для наук в собственном смысле слова фундаментальные исследования играют ведущую роль. С другой стороны, при проведении прикладных исследований могут получаться результаты, имеющие фундаментальное значение. В ряде случаев фундаментальные и прикладные дисциплины связаны общей областью исследований, отличаясь лишь своими задачами; таковы, например, термодинамика и теплотехника, учение об электромагнетизме и электротехника, физика атомного ядра и атомная энергетика.

Обращаясь к начальному периоду развития науки, мы увидим, что там имели место различные ситуации. Так, вавилонскую астрономию следовало бы отнести к разряду прикладных дисциплин, поскольку она ставила перед собой чисто практические цели. Проводя свои наблюдения, вавилонские звездочеты меньше всего интересовались устройством вселенной, истинным (а не только видимым) движением планет, причинами таких явлений, как солнечные и лунные затмения. Эти вопросы, по-видимому, вообще не вставали перед ними. Их задача состояла в том, чтобы предвычислять наступление таких явлений, которые, согласно взглядам того времени, оказывали благоприятное или, наоборот, пагубное воздействие на судьбы людей и даже целых царств. Поэтому несмотря на наличие огромного количества наблюдений и на весьма сложные математические методы, с помощью которых эти материалы обрабатывались, вавилонскую астрономию нельзя считать наукой в собственном смысле слова.

Прямо противоположную картину мы обнаруживаем в Греции. Греческие ученые, сильно отстававшие от вавилонян в отношении знания того, что происходит на небе, с самого начала поставили вопрос об устройстве

мира в целом. Этот вопрос интересовал греков не ради каких-либо практических целей, а сам по себе; его постановка определялась чистой любознательностью, которая в столь высокой степени была присуща жителям тогдашней Эллады. Попытки решения этого вопроса сводились к созданию моделей космоса, на первых порах имевших спекулятивный характер. Как бы ни были фантастичны эти модели с нашей теперешней точки зрения, их значение состояло в том, что они предвосхитили важнейшую черту всего позднейшего естествознания — моделирование механизма природных явлений.

Нечто аналогичное имело место и в математике. Ни вавилоняне, ни египтяне не проводили различия между точными и приближенными решениями математических задач. Любое решение, дававшее практически приемлемые результаты, считалось хорошим. Наоборот, для греков, подходивших к математике чисто теоретически, имело значение прежде всего строгое решение, полученное путем логических рассуждений. Это привело к разработке математической дедукции, определившей характер всей последующей математики. Восточная математика даже в своих высших достижениях, которые долгое время оставались для греков недоступными, так и не подошла к методу дедукции.

Итак, отличительной чертой греческой науки с момента ее зарождения была ее теоретичность, стремление к знанию ради самого знания, а не ради тех практических применений, которые могли из него проистечь. На первых этапах существования науки эта черта сыграла, бесспорно, прогрессивную роль и оказала большое стимулирующее воздействие на развитие научного мышления.

3. Третьим признаком настоящей науки следует считать ее рациональный характер. В настоящее время это требование применительно к науке кажется само собой разумеющимся. Но так было не всегда. Не нужно забывать, что науке предшествовали мифология, магия, вера в существование сверхъестественных сил. Вспомним «Илиаду» Гомера, где почти все поступки, решения и даже внутренние побуждения героев объясняются божественным вмешательством. Переход к рациональному объяснению любых явлений, или, как говорят, переход «от мифа к логосу», был огромной важности шагом в развитии человеческого мышления и человеческой цивилизации вообще.

Этот переход был осуществлен не сразу и не везде одинаковым образом. Так, например, вавилонская астрономия, бывшая вполне рационалистичной по своим методам, основывалась на вере в таинственную, иррациональную связь, якобы существовавшую между расположением светил на небесном своде и человеческими судьбами. Эта вера, по-видимому, имеет какие-то очень глубокие корни, о чем свидетельствует живучесть астрологии, сохраняющей власть над умами многих людей вплоть до нашего времени. В наш век расщепления атома вряд ли можно найти людей, серьезно занимающихся алхимией, но еще продолжает жить вера в особые свойства различных минералов, в частности драгоценных и полудрагоценных камней, из которых одни будто бы способны оказывать благотворное, а другие пагубное действие на людей, с которыми те соприкасаются. Этот предрассудок тоже имеет очень древнее происхождение, и он сопутствовал первым шагам науки минералогии.

Ниже мы увидим, что истоки ранней греческой науки следует искать в мифологии, в частности в космогонических мифах — как отечественных, так и заимствованных у близлежащих народов Востока. Создавая свои космогонические концепции, ранние греческие мыслители перерабатывали эти мифы, очищая их от прежних мотивировок и образов, но сохраняя в основном их внутреннюю структуру. Так возникли теории происхождения мира, которые мы находим в учениях многих досократиков — от Анаксимандра до Демокрита. Эти теории имели вполне рациональный характер. Но наряду с ними возникали и другие концепции, основанные на широком использовании мифологических образов — как традиционных, так и творимых заново. К ним надо отнести причудливые космогонии Ферекида Сиросского, орфиков и другие, о которых нам известно меньше. Заслугой греческой науки было то, что она сразу же отмежевывалась от подобных мифотворческих построений. Аристотель проводит резкую границу между «теологами», с одной стороны, и «физиологами» (или «физиками») — с другой, причем его интересуют только последние.

Рационализм ранней греческой науки проявлялся в самых различных формах — и притом не только в области космогонических концепций. Геродот в своих исторических сочинениях и Гиппократ в трактате «О воздухах, водах и местностях» объясняют национальные особенно-

сти различных народов свойствами природной среды, в которой они живут. Ярким примером рационализма греческой медицины может служить трактат «О священной болезни», автор которого решительно выступает против объяснения любых болезней действием супернатуральных причин. Укажем еще на сугубо рационалистическую этику Сократа, который считал, что человек поступает дурно лишь по причине своего незнания хорошего и дурного.

Характерно, что упадок античной науки в эпоху Римской империи был связан с резким усилением антирационалистских тенденций. В философских учениях поздней античности — у неопифагорейцев, неоплатоников — все большую роль начинает играть мистика чисел, возрождается мифотворчество. Откровение признается одним из источников знания. С Востока приходят оккультные дисциплины — алхимия, магия. Наука постепенно переставала быть рациональной, а это означало, что она в конечном счете лишалась права называться наукой в собственном смысле слова.

14. К признакам настоящей науки относится, наконец, ее систематичность. Совокупность не связанных внутренним единством разрозненных знаний, даже если они относятся к одной области реальной действительности, еще не образует науки. С этой точки зрения критерию подлинной научности не может удовлетворить вавилонская или египетская математика, сводившаяся к набору алгоритмов или правил для решения отдельных задач. При этом не имеет существенного значения то, что некоторые из этих задач были достаточно сложными (так, например, у вавилонян были разработаны численные методы решения квадратных и кубических алгебраических уравнений) и на определенном этапе превосходили все, что было известно в этой области другим народам, в том числе и грекам. В курсах по истории математики задачи, найденные в вавилонских математических текстах, обычно приводятся с использованием алгебраической символики нашего времени. При этом они становятся на вид более современными и приобретают общность, которая им, вообще говоря, не присуща. Для того чтобы уяснить специфику вавилонской математики, рекомендуется попытаться решить какую-либо из задач, записанных на вавилонских клинописных табличках, рассматривая ее в ее оригинальной формулировке.

Греческая математика с момента ее возникновения пошла иным путем — путем строгого доказательства математических теорем, формулируемых в максимально общей форме. Уже к концу V в. до н. э. математик Гиппократ Хиосский написал книгу, содержащую дедуктивное изложение основных положений планиметрии (геометрии на плоскости). Высшей точкой применения дедуктивного метода к математике явились «Начала» Евклида, остававшиеся идеалом научной строгости на протяжении последующих двух тысячелетий. В этом сочинении основы известной к тому времени грекам математики приобрели вид стройной системы логически взаимосвязанных аксиом, постулатов и теорем. Напомним, что, когда Ньютон писал свои «Математические начала натуральной философии», он имел перед собой в качестве образца «Начала» Евклида. А в школьных учебниках геометрия до самого недавнего времени излагалась «по Евклиду», частично же излагается так и теперь.

Нечто аналогичное имело место и в астрономии. Вавилонские звездочеты наблюдали за движениями небесных светил, изучали их повторяемость и выводили из них чисто эмпирические закономерности, позволявшие предсказывать наступление тех или иных астрономических событий. В известном смысле вавилонская астрономия соответствовала идеалу науки, выдвинутому позитивистской философией XIX в. Но позитивисты упускали из виду один из важнейших признаков настоящей науки — ее систематичность. И в этом отношении греческая астрономия очень быстро превзошла вавилонскую.

Действительно, идея космоса как единого замкнутого в себе целого уже сама по себе содержала условия для систематизации разнообразнейших эмпирических сведений. В начальный период существования греческой науки эти данные были еще очень скудными и неточными. Но когда греческие астрономы научились следить за движениями не только Луны и Солнца, но также и пяти планет, идея космоса пригодилась им для построения уже чисто научных моделей вселенной, первая из которых была создана Евдоксом. С помощью этих моделей оказалось возможным объединить различные астрономические данные в единую взаимосвязанную систему представлений.

И еще — о биологических науках. На Востоке живой природой интересовались исключительно лишь ради

практических целей (например, для гадания или для изготовления медицинских снадобий). Основоположником биологических наук, в частности научной зоологии, считается по праву Аристотель. И не только потому, что в своих трактатах (и прежде всего в «Истории животных») он изложил колоссальный собранный им материал о нескольких сотнях видов различных животных. Но еще и потому, что своей классификацией животного мира, установлением так называемой «лестницы природы» он придал этому материалу научную систематичность, которая, заметим мимоходом, была в значительной степени утрачена естествоиспытателями поздней античности.

Из всего этого явствует, что греческая наука была первой, обладавшей всеми перечисленными выше признаками подлинной науки. То, что обычно именуется египетской или вавилонской наукой, строго говоря, еще не заслуживает такого наименования. Правда, здесь мы ничего не сказали о научных представлениях более удаленных стран Востока — Индии и Китая, но читатель может поверить на слово, что и для них будет справедливо аналогичное заключение — по крайней мере, поскольку речь идет об эпохе, соответствующей времени зарождения и развития ранней греческой науки.

Сказанное выше отнюдь не означает какого-либо припущения или недооценки научных достижений народов Ближнего и Дальнего Востока. Эти достижения бесспорны и без их учета никакая история мировой науки не может быть полной. Речь идет о том, что по отношению к научным знаниям древних египтян, вавилонян, индийцев и китайцев греческая наука — по крайней мере в ее высших проявлениях — представляла собой качественно новый этап, к которому впервые стало допустимым применять термин «наука» в том смысле, в каком этот термин понимается до нашего времени.

Посмотрим теперь, существуют ли — и какие именно — принципиальные различия между античной наукой и наукой нового времени. На этот вопрос нельзя ответить вполне однозначным образом. Дело в том, что античная наука претерпела на протяжении своей тысячелетней истории очень большие изменения. И прежде всего в этой истории надо выделить первый период — период ранней греческой науки, получившей у древних авторов наименование науки «о природе». Не вдаваясь в смысл греческого термина «природа» (об этом речь пойдет ниже), ска-

жем только, что в отличие от наук позднейшего времени наука «о природе» была нерасчлененной, спекулятивной дисциплиной, основной проблемой которой была проблема происхождения и устройства мира, рассматривавшегося как единое целое. Как по содержанию, так и по своим методам эта дисциплина имела мало общего с естествознанием в нынешнем значении этого слова. Вплоть до конца V в. до н. э. она была неотделима также и от философии, в силу чего ее иногда называют натурфилософией, хотя применение этого термина к ранней греческой науке представляется, по нашему мнению, неправомерным. У Энгельса мы находим очень точную характеристику ранней греческой науки:

«У греков — именно потому, что они еще не дошли до расчленения, до анализа природы, — природа еще рассматривается в общем, как одно целое. Всеобщая связь явлений природы не доказывается в подробностях: она является для греков результатом непосредственного созерцания».

Высшей точкой развития и в то же время завершающей стадией науки «о природе» была всеобъемлющая научно-философская система Аристотеля. В это время уже обнаруживается распад этой единой науки на отдельные дисциплины, каждая из которых обладает своим предметом и своими специфическими методами исследования. Еще в V в. до н. э., одновременно с разработкой метода дедукции, происходит обособление математики, которая у ранних пифагорейцев была неотделима от их общего учения о мире. Результатом деятельности Евдокса, жившего в середине IV в. н. э., явилось возникновение научной астрономии. В трудах Аристотеля и его учеников уже можно усмотреть появление логики, зоологии, эмбриологии, психологии, ботаники, минералогии, географии, музыкальной акустики, не считая гуманитарных дисциплин, таких, как этика, поэтика и т. д., которые никогда не были частью науки «о природе».

Дифференциация наук продолжалась и в эллинистическую эпоху. В III—II вв. до н. э. приобретают самостоятельное значение новые дисциплины — геометрическая оптика (в частности, катоптрика, т. е. наука о зеркалах), механика (статика и ее приложения), гидростатика. В это время происходит резкое размежевание философии и специальных дисциплин, означавшее конец ранней синкретичной науки «о природе». Расцвет элли-

нистической культуры ознаменован творческими достижениями таких великих ученых, как Евклид, Архимед, Эратосфен, Аполлоний Пергский, Гиппарх и др. Именно тогда, в III—II вв. до н. э., античная наука по своему духу и своим устремлениям ближе всего подошла к науке Нового времени. В дальнейшем начинается медленный спад. И хотя наука поздней античности может гордиться такими именами, как Птолемей, Диофант или Гален, в первые века нашей эры в ней наблюдается постепенное усиление регрессивных тенденций. Эти тенденции связаны с ростом иррационализма, появлением оккультных дисциплин, возрождением попыток синкретичного объединения науки и философии. Обо всем этом будет сказано в последующих главах нашей книги.

И вот, обратившись к античной науке в период ее высших достижений, можем ли мы найти в ней черту, принципиально отличающую ее от науки Нового времени? Да, можем. Несмотря на блестящие успехи античной науки эпохи Евклида и Архимеда, в ней отсутствовал важнейший ингредиент, без которого мы теперь не можем представить себе таких наук, как физика, химия, отчасти биология. Этот ингредиент — экспериментальный метод в том его виде, в каком он был создан творцами науки Нового времени — Галилеем, Бойлем, Ньютоном, Гюйгенсом. Античная наука понимала значение опытного познания, о чем свидетельствует Аристотель, а до него еще Демокрит. Античные ученые умели хорошо наблюдать окружающую природу. Они достигли высокого уровня в технике измерений длин и углов, о чем мы можем судить на основании процедур, разрабатывавшихся ими, например, для выяснения размеров земного шара (Эратосфен), для измерения видимого диска Солнца (Архимед) или для определения расстояния от Земли до Луны (Гиппарх, Посидоний, Птолемей). Но эксперимента как искусственного воспроизведения природных явлений, при котором устраняются побочные и несущественные эффекты и которое имеет своей целью подтвердить или опровергнуть то или иное теоретическое предположение, — такого эксперимента античность еще не знала. Между тем именно такой эксперимент лежит в основе физики и химии — наук, приобретших ведущую роль в естествознании Нового времени. Этим объясняется, почему широкая область физико-химических явлений осталась в античности во власти чисто качественных спекуляций, так и не

дождавшись появления адекватного научного метода.

Но почему так случилось? Почему античная наука не дошла до открытия экспериментального метода в указанном выше смысле? Ответить на эти вопросы мы не сможем, не выйдя за пределы науки как таковой и не рассматривая тех социальных условий, в которых античная наука возникла и развивалась.

Выше было указано, что одним из признаков настоящей науки является ее самоценность, стремление к знанию ради самого знания. Этот признак, однако, отнюдь не исключает возможности практического использования научных открытий. Великая научная революция XVI—XVII вв. заложила теоретические основы для последующего развития промышленного производства, направленного на использование сил природы в интересах человека. С другой стороны, потребности техники явились в Новое время мощным стимулом научного прогресса. Подобное взаимодействие науки и практики становится с течением времени все более тесным и эффективным. В наше время наука превратилась в важнейшую производительную силу общества.

В античную эпоху подобного взаимодействия науки и практики не было. Античная экономика, основанная на использовании ручного труда рабов, не нуждалась в развитии техники. По этой причине греко-римская наука, за немногими исключениями (к которым относится, в частности, инженерная деятельность Архимеда), не имела выходов в практику. С другой стороны, технические достижения античного мира — в области архитектуры, судостроения, военной техники — не находились ни в какой связи с развитием науки. Отсутствие такого взаимодействия оказалось в конечном счете пагубным для античной науки.

Этими общими замечаниями в отношении особенностей античной науки мы пока и ограничимся. В ходе дальнейшего изложения эти вопросы получают более детальное освещение на конкретном историко-научном материале.

ИСТОКИ РАННЕЙ ГРЕЧЕСКОЙ НАУКИ

Как уже сказано во «Введении», основной проблемой ранней греческой науки «о природе» (peri physeōs) была проблема происхождения и устройства мира, рассматриваемого как единое целое. Различные решения этой проблемы, предлагавшиеся ранними греческими мыслителями, имели чисто спекулятивный характер и иными в то время быть не могли. Первичным источником этих спекуляций была мифология — в первую очередь космогонические мифы, создававшиеся на определенной стадии культурного развития всеми народами мира, в том числе и греками. Разумеется, в своих умозрительных построениях первые греческие ученые учитывали как данные непосредственных наблюдений, так и опыт многовековой человеческой практики. Для обработки всей этой информации они пользовались методами, которые с нашей современной точки зрения еще не могут быть названы научными. С одной стороны, это было упорядочение традиционного и эмпирического материала с помощью набора оппозиций — таких, как верх — низ, левое — правое, теплое — холодное и многих других, укоренившихся в человеческом мышлении с незапамятных, первобытных времен. С другой же стороны, это был метод аналогий, который на ранней стадии развития науки служил важнейшим средством для образования умозаключений.

Не только литературные памятники древних народов, но и данные современной этнографии содержат необычайно богатый материал, относящийся к мифотворческой деятельности многих народов мира. При этом оказывается, что космогонические мифы могут быть разбиты на несколько групп, соответствующих различным этапам развития человеческого общества. У самых отсталых народностей (например, у австралийских аборигенов) мы находим лишь зачатки космогонического мышления, выражающиеся в мифических образах так называемых

«культурных героев», которые еще не создают мир, но только устраивают его, вводя в употребление те или иные обычаи, обучая людей и т. д. В легендах сравнительно более развитых народностей Азии, Африки или Америки эти «культурные герои» трансформируются в настоящих творцов (демиургов) вселенной. Такой демиург мыслится примитивным сознанием в форме какого-то совершенно конкретного существа. В одних случаях это просто живший когда-то большой и сильный человек, в других — легендарные братья-близнецы. Весьма часто творцом мира оказывается то или иное животное: подобные «зооморфные» мифы очень распространены у индейцев Северной Америки. Создание мира осуществлялось демиургом, как правило, в результате единого творческого акта, подобного изготовлению орудия или строительству хижины. В научной литературе подобные мифы получили наименование «креативных».

В греческой мифологии черты архаичного «культурного героя» сохранились в образе Прометея, осложненном, правда, мотивом богоборчества.

Разложение первобытного родового строя и возникновение классов и классовых общественных отношений сопровождалось переходом от примитивных религиозных верований к развитым формам политеизма. При изучении этих форм мы уже можем обратиться к письменным памятникам народов Древнего Востока и античного мира, содержащим классические примеры нового этапа развития мифотворческого сознания. Боги, которым поклонялись египтяне, вавилоняне, греки, первоначально были не связанными между собой племенными богами, но объединение локальных культов приводило в каждом случае к образованию пантеона, в котором наряду с верховным божеством (Амон-Ра, Мардук, Зевс) фигурировало много других богов, между которыми устанавливались генеалогические отношения. В мифах, повествующих о происхождении богов, об их борьбе между собой, о чередовании различных поколений богов, отражались представления людей о возникновении и эволюции мира. В эпоху развития политеистических религий космогония, как правило, выступает в форме теогонии. Именно такого рода теогония с добавлениями ряда спекулятивных построений самого автора была изложена в одноименной поэме Гесиода.

Под воздействием гесиодовской «Теогонии» в VI—V вв. до н. э. возникли новые теогонии, уже целиком бывшие продуктом индивидуального мифотворчества Таковы теогонии орфиков, Ферекида Сиросского, Эпименида Критского, Акусилая. Наряду с традиционными образами греческой мифологии авторы этих теогоний много материала заимствовали из религиозно-мифологических представлений народов Ближнего Востока. Аристотель называет их «теологами», противопоставляя их «физикам» — творцам ранней греческой науки «о природе». Вклад «теологов» в развитие науки был минимальным, поэтому в дальнейшем мы о них больше говорить не будем.

«Физики» также испытали большое влияние как греческих, так и восточных мифов о происхождении мира, но в отличие от «теологов» для них был характерен решительный отказ от мифологических образов и переход к чисто рациональным мотивировкам. Однако, преодолев внешний антропоморфизм и зооморфизм космогонических мифов, первые греческие ученые использовали ряд мотивов, встречавшихся в этих мифах. Эти мотивы то здесь, то там проявляются в космогонических (и космологических) концепциях мыслителей-досократиков от Фалеса до Демокрита.

Коротко перечислим эти мотивы, ибо без их учета невозможно понять происхождение ряда идей, характерных для ранней греческой науки.

✓1 Почти во всех космогонических мифах наличествует представление о первичном, бесформенном состоянии вселенной, чаще всего (но не всегда) мыслившемся в форме беспредельной водной бездны. Идею водной бездны мы находим в шумеро-вавилонских, египетских и индийских космогонических мифах, а также в библейской космогонии. Для греческой мифологии эта идея была не столь типичной (у Гесиода первичное состояние мира олицетворяется в образе Хаоса), хотя явный намек на нее мы обнаруживаем в одном месте «Илиады». Влияние восточных «водных» космогоний сказалось на учении Фалеса, о котором мы будем говорить ниже, однако более общие представления о начальной бесформенности и неорганизованности мира нашли отражение в космогонических концепциях Анаксимандра, Анаксагора, атомистов и даже Платона (в «Тимее»).

2. Важнейшим моментом мироздания в ряде космогонических мифов является отделение (как правило — насильственное) Неба от Земли, которые олицетворяют мужское и женское начала мироздания. Этот мотив представлен в полинезийском мифе о Рангу и Папа, в дуализме двух начал — Инь и Ян — у китайцев, в египетском мифе о Шу и Тефнут, у греков же в мифе о Гее и Уране. [В трансформированном и рационализированном виде мотив отделения Неба от Земли появляется в учениях Анаксимандра, Анаксагора, Эмпедокла и атомистов]

3. Почти для всех космогонических мифов характерна идея эволюции в сторону большей упорядоченности и лучшего устройства мира. Как правило, эта идея реализуется в форме борьбы последовательно сменяющих друг друга поколений богов, завершающейся воцарением светлого бога, разумного и справедливого; в индоевропейской мифологии это обычно бог ветра, бури и грозы — Индра, Перун, Вотан, Зевс. Этот мотив, тесно связанный с предыдущим, наличествует во всех космогонических учениях досократиков, где представлена идея начального, неупорядоченного состояния мира.

4. В мифологических представлениях некоторых народов предыдущий мотив дополняется мотивом периодической гибели и нового рождения вселенной (миф о «гибели богов» в германо-скандинавских легендах, идея «большого года», встречающаяся в древнеиранских религиозных текстах). [В греческой мифологии этот мотив в явном виде не фигурирует, но подспудно ощущается в намеках на непрочность царства Зевса и на возможность его низвержения новым властелином мира]. У досократиков этот мотив был использован Анаксимандром и, возможно, Анаксименом, далее Гераклитом и — в особенно отчетливой форме — Эмпедоклом.

Из сказанного вытекает, что космогонические концепции досократиков чрезвычайно многим обязаны космогоническим мифам предшествующей эпохи — как греческим, так и восточным. Греческим источником, откуда ранние мыслители черпали свои космогонические мотивы, была прежде всего «Теогония» Гесиода, что же касается восточных заимствований, то они иногда могли быть прямыми и непосредственными (как это, по-видимому, имело место у Фалеса), иногда же носили опосредованный характер, поскольку в самой греческой мифологии существовали сюжеты, имевшие восточное происхож-

дение. Это относится, в частности, к мифу о титане Кроносе, оскопившем своего отца Урана. Сравнительно недавно в числе прочих археологических находок была обнаружена клинописная запись значительно более древней хетто-хурритской версии этого мифа, в которой в качестве точного аналога Кроноса выступает бог Кумарби. Перенесение этого сказания на греческую почву произошло, по-видимому, задолго до Гесиода — может быть, еще в крито-микенскую эпоху.

«Теогония» была произведением эпической поэзии. Но если не ограничиваться космогонической проблематикой, а посмотреть на значение этой поэзии в более широком плане, то надо признать, что не только «Теогония», но греческий эпос в целом сыграл огромную роль в становлении рационального, а следовательно, и научного мышления древних греков. Дело не только в том, что эпическая поэзия — нам она известна лишь по произведениям, дошедшим до нас под именами Гомера и Гесиода, — снабжала греческую науку теми или иными мотивами или сведениями, а прежде всего в том, что она способствовала разрушению религиозно-мифологического мировосприятия, с одной стороны, подвергая традиционные мифы рационалистической обработке, а с другой — эстетизируя их. И в том и в другом случае исчезало непосредственное отношение к мифу, как к живой реальности.

Момент рационализации особенно отчетливо ощущается у Гесиода. Уже в образе Хаоса (который, по-видимому, не принадлежал к числу фигур традиционной мифологии, а был созданием творческой фантазии самого Гесиода) религиозно-мифологический элемент оказывается доведенным до минимума. Хаос — зияющая бездна, примитивный прообраз будущей идеи пространства — фактически лишен следов какой-либо персонификации. После Хаоса, но не из него, возникают три божества, вернее — три космических сущности. Во-первых, «широкогрудая Гея», Земля, вечно незыблемое основание всего сущего. Во-вторых, Эрос, Любовь, сладостная причина всех зачатий и рождений. В-третьих, мрачный Тартар, в общей структуре мироздания представляющий собой естественную антитезу звездному Небу (Урану), порождаемому Землей (Геей) без участия какого-либо мужского партнера. Подобным же бесполом способом Земля порождает горы и пустынное, шумящее волнами море — Понт. Естественный процесс космообразования завуалирован

лишь очень слабой персонификацией космических понятий. В этой части поэмы нет пересказа традиционных мифов, здесь работает собственная мысль Гесиода, в силу чего он оказывается прямым предшественником ранних греческих «физиков».

В другой поэме Гесиода, в «Трудах и днях», рационализация мифологического материала выражается в сведении его до уровня притчи, имеющей морально-дидактическую окраску. В греческой мифологии известен образ Эриды — богини раздора (напомним читателю, что Эрида, которая не была приглашена на пир богов, явилась туда сама и бросила яблоко, послужившее причиной спора между тремя богинями, приведшего в конечном счете к Троянской войне). Гесиод в целях морального наставления говорит о двух Эридах — хорошей и дурной. Затем излагаются два мифа, имеющие явно правоучительную окраску: миф о Прометее, Эпиметее и Пандоре и миф о пяти поколениях, известный не только в Греции, но и на Востоке. А затем следует уже не миф, а типичная басня о ястребе и соловье. Процесс эволюции от мифа к правоучительной басне представлен в этой поэме Гесиода очень отчетливо.

Иную картину мы находим у Гомера. Будучи в отличие от Гесиода прежде всего великим художником, Гомер эстетизирует мифологические сюжеты, подвергая их безупречной художественной обработке, в силу которой его поэмы сохранили до нашего времени значение «недостигаемых образцов». Боги у Гомера обрисованы так же ярко и индивидуально, как и смертные герои. Они, правда, могучи, прекрасны и бессмертны, могут становиться невидимыми или принимать по своему желанию любой облик, но в остальном обнаруживают чисто человеческие качества. Как и людям, им присущи чувства радости, злобы, зависти, плотского вожделения, они способны буйно веселиться и испытывать физические страдания. Сам поэт относится к описываемым им богам с явной иронией. Нет ничего удивительного, что позднейшие критики Гомера — от Ксенофана до Платона — ставили ему в вину профанацию божественных сюжетов и подрыв религиозных чувств. Если в «Трудах и днях» Гесиода миф становится правоучительной притчей, то в поэмах Гомера он превращается в занимательный литературный сюжет.

Наряду со всем этим греческий эпос содержал и позитивную картину мира, которую можно рассматривать

как прообраз последующих моделей космоса. В схематичном изложении эта картина сводится к следующему.

Поверхность Земли подобна плоскому диску, омываемому водами громадной, кругообразной реки — Океана. Сверху мир ограничен твердой небесной полусферой, пространство под которой делится на две области: верхняя — местопребывание богов — заполнена светлым, сияющим эфиром, в нижней возникают облака, ветры и другие атмосферные явления. Воздуха в позднейшем понимании греческий эпос еще не знал: словом аёр в то время обозначался не атмосферный воздух, но туман, мгла, дымка. Подземный мир также делился на два этажа: верхний — Аид, царство мертвых — находится недалеко под поверхностью Земли; нижний — Тартар — отстоит от этой поверхности на таком же расстоянии, на какое — в другую сторону — от нее удалено небо. В «Теогонии» Гесиода содержится подробное описание Тартара: это пустая, темная бездна, в которой носятся вихри; вход в него подобен узкому горлышку («шее»), над которым расходятся «корни» или «истоки» земли, неба и моря.

Подобная «вертикальная» структура вселенной характерна для мифологических представлений практически всех народов мира и самым непосредственным образом связана с универсальной мифологемой «мирового дерева».

Грек эпохи Гомера и Гесиода (эта эпоха соответствовала, грубо говоря, IX—VII вв. до н. э.) обладал некоторым запасом сведений астрономического и метеорологического характера. Эти сведения не были результатом специальных научных изысканий, а входили в сокровищницу многовекового народного опыта.)

Так, можно предполагать, что уже тогда существовали наименования для целого ряда созвездий и наиболее ярких звезд; из них в поэмах Гомера и Гесиода упоминаются Медведица, Орион, Волопас, Сириус и некоторые другие. По времени восхода и захода Плеяд греки (как, впрочем, и другие народы мира) определяли сроки проведения сельскохозяйственных работ. Из планет различались только Утренняя звезда (Эосфор, т. е. «несущая зарю») и Вечерняя звезда (Геспер), причем тогда еще не было известно, что они являются различными положениями одной и той же планеты (Венеры). Согласно Гомеру, все небесные светила, за исключением Медведицы, «купаются» в Океане, т. е. заходят за горизонт; речь идет,

очевидно, лишь о светилах, имеющих наименования. Каким образом при восходе они оказываются с другой стороны земного диска, остается неясным. О том, что они проходят под Землей, тогда еще не было и речи: ведь в подземном мире царит вечный мрак и никакие светила там оказаться не могут.

Восточное и западное направления определяются в «Одиссее» по восходу и заходу Солнца; нет никаких указаний на то, каким образом определялись (и определялись ли вообще) север и юг. Впрочем, в той же поэме упоминаются четыре ветра — Эвр, Нот, Зефир и Борей, которые, очевидно, соответствовали четырем сторонам света.

Географические сведения, сообщаемые в «Илиаде», ограничиваются Балканским полуостровом, Эгейским морем (включая малоазийское побережье) и островом Крит. В «Одиссее» упоминается Египет, который в нескольких местах поэмы отождествляется с Нилом. Что касается большинства мест, где побывал Одиссей во время своих странствий, то их идентификация с реальными географическими объектами представляет большие трудности. Географические познания Гесиода были, очевидно, более обширными: так, он знает огнедышащую гору Этну, которая у Гомера нигде не упоминается, а его список рек содержит названия ни разу не встречающиеся в поэмах Гомера (Эридан, Фасис).

Таким был мир в представлении рядового грека преднаучной эпохи. Возможно, впрочем, что отдельные категории лиц (моряки, торговцы) имели более богатые и точные сведения о тогдашнем Средиземноморье, однако никаких письменных памятников, в которых эти сведения были бы зафиксированы, мы не имеем.

Сложным и дискуссионным вопросом является вопрос о восточных влияниях на раннюю греческую науку в целом (а не только на космогонические идеи философов-досократиков). Первые робкие шаги этой науки относятся, как мы знаем, лишь к VI в. до н. э. Представляется удивительным, если бы эти шаги были сделаны вполне самостоятельно, без каких-либо заимствований у египтян, вавилонян, персов и других народов, населявших Малую Азию и восточное Средиземноморье. Именно в это время, в VII—VI вв. до н. э., торговые отношения между многими греческими городами и странами Ближнего Востока становятся особенно оживленными. На сирийском и еги-

петском побережье основываются греческие поселения, служившие промежуточными звеньями, связывавшими греческий мир с древними восточными цивилизациями. В Малой Азии роль таких промежуточных звеньев играли расположенные там негреческие государства — Лидия, Киликия, Фригия и другие, возникшие на развалинах древнего хеттского царства. Многие молодые греки отправлялись служить в мидийских, персидских и даже вавилонских войсках: в то время это не считалось чем-то зазорным или антипатриотичным. Все эти контакты не могли не привести к заимствованию греками каких-то элементов культуры тех стран, в которых им довелось находиться. Весь вопрос заключается в характере и масштабах такого рода заимствований.

Прежде всего это были общекультурные заимствования, не имевшие прямого отношения к научной деятельности, но тем не менее оказавшие косвенное влияние на развитие греческой науки. Так, например, громадное значение для судеб греческой культуры в целом имело алфавитное письмо, впервые появившееся в Сирии и в несколько видоизмененном виде заимствованное греками, по-видимому, у финикийцев. Это заимствование следует отнести примерно к X—IX вв. до н. э., поскольку наиболее ранние археологические находки, содержащие греческие надписи, датируются началом VIII в. до н. э. От хеттов или других, граничивших с хеттами, малоазийских народов греки научились изготовлению железа, упоминаемого уже в «Илиаде» Гомера. Первоначально железо считалось редким и дорогим металлом, но постепенно оно вошло в быт и из него стали изготавливать не только оружие, но также орудия ремесленного производства — такие, как ножницы, пилы, клещи, молотки.

В Египте греки могли воспринять некоторые достижения египетской математики, имевшей, как указывалось выше, чисто прикладной характер. Сюда принадлежат: простейшие геометрические соотношения, приближенное определение площадей, объемов, расстояний до удаленных предметов, методы счета, включая операции с простейшими дробями. Следует отметить, что все связанное с искусством счета у греков именовалось «логистикой»: это была своеобразная разновидность ремесла, считавшаяся делом купцов, сборщиков налогов, менял и т. д. и не имевшая прямой связи с теоретической математикой, которая стала развиваться самостоятельно и независимо от

практических потребностей. О методах греческой логики у нас фактически нет никакой информации, поскольку мы не располагаем текстами, подобными текстам египетских папирусов или клинописных табличек, где излагаются соответствующие приемы. Представляется, однако, весьма вероятным, что источником греческой логики были египетские методы счета, с которыми греки были несомненно хорошо знакомы.

Для греков классической эпохи был характерен большой пиетет по отношению к египетской культуре. Греческие авторы имели обыкновение подчеркивать многовековую мудрость египетских жрецов, по сравнению с которой научные достижения греков казались незрелыми попытками новичков (соответствующие высказывания можно найти, например, в диалогах Платона). На самом деле, как мы можем теперь судить, никакой особой «мудростью», во всяком случае в сфере научных познаний, египетские жрецы не обладали; не исключено, что слухи о наличии у них скрытой от непосвященных, эзотерической, науки распространялись ими самими. Не имея возможности из-за языкового барьера и трудностей овладения иероглифической письменностью убедиться в истинности или ложности этих слухов, греки охотно им верили, причем эта вера продолжала жить на протяжении многих последующих веков. Так, например, историк I в. до н. э. Диодор утверждал, что как древнейшие поэты и законодатели — Орфей, Мусей, Гомер, Ликург, Солон, так и ученые — Платон, Пифагор, Евдокс, Демокрит, Энопид Хиосский — бывали в Египте и беседовали с жрецами. Именно от египтян эти люди заимствовали учения, государственные установления и искусства, которые были затем перенесены ими в Грецию; это относится, в частности, к геометрии, к пифагорейским учениям о числах и о переселении душ, к астрономическим познаниям Демокрита, к законодательным проектам Платона и т. д. Подобные утверждения следует причислить к области исторических легенд, имеющих лишь малое отношение к действительности.

Переходим к греко-вавилонским связям. Как раз у вавилонян греческие ученые могли научиться многому, чего они совсем не знали. Наиболее тесные контакты греков с вавилонянами относятся к периоду так называемого «нововавилонского царства», существовавшего в течение семидесяти с лишним лет — в промежутке между падением

ассирийского владычества (612 г. до н. э.) и завоеванием Вавилона персидским царем Дарием (538 г. до н. э.). Это и была как раз эпоха зарождения греческой науки. Под началом вавилонских царей в то время сражалось немало греков, среди которых был, например, брат знаменитого поэта Алкея; одновременно между городами малоазийской Ионии и Вавилоном шла оживленная торговля. Характерно, однако, что высшие достижения вавилонян в области алгебры и наблюдательной астрономии оставались грекам неизвестными вплоть до эпохи эллинизма, начало которой датируется походами Александра Македонского. Видимо, те греки, которые в VII—VI вв. до н. э. торговали с вавилонянами или были у них на службе, не имели контактов с вавилонскими математиками и астрологами, располагавшими соответствующей информацией. Зато многие конкретные вещи, имевшие практическое значение, могли быть и действительно были взяты греками у вавилонян. В их числе *Геродот* называет два типа солнечных часов — гномон и полос — а также деление дня на 12 часов. Последнее было, очевидно, связано с числом зодиакальных созвездий, имена которых также пришли из Вавилона и стали известны в Греции в середине VI в. до н. э.

Исторически первые географические карты были обнаружены также у вавилонян; позднее подобные карты начали составлять греческие ученые.

Третьей великой державой, с которой греки в рассматриваемую нами эпоху находились в непосредственном контакте, была Персия. В отличие от вавилонских «халдеев» иранские «маги» в меньшей степени интересовались математикой и астрономией; во всяком случае мы не знаем о наличии у них каких-либо достижений в этой области. Зато у них существовала интереснейшая религиозно-философская традиция, древнейшим памятником которой являются гимны Авесты — священной книги древних иранцев. В результате реформистско-проповеднической деятельности Зороастра (Заратустры) иранская религия (маздаизм) была очищена от архаических элементов, приняв необычный для того времени отвлеченный и возвышенный характер. Верховным божеством в ней был бог добра и света Ахурамазда (Ормазд), которому противостоял дух зла Анхра-Майнью (Ариман); борьба доброго и злого начал составляла, по мнению маздаистов, сущность мирового процесса. Отсутствие в этой религии

явного антропоморфизма и зооморфизма резко контрастировало с религиозными представлениями большинства других народов того времени и не могло не привлечь к себе внимания греков. Вот что по этому поводу пишет, например, Геродот:

«Что до обычаев персов, то я могу сообщить о них вот что. Воздвигать статуи, храмы и алтари [богам] у персов не принято. Тех же, кто это делает, они считают глупцами, потому, мне думается, что вовсе не считают богов человекоподобными существами, как это делают эллины. Так, Зевсу они приносят жертвы на вершинах гор и весь небесный свод называют Зевсом. Совершают они жертвоприношения также Солнцу, Луне, Земле, воде и ветрам».

По своему обыкновению, Геродот называет Ахурамазду греческим именем. Интересно то, что в этом противопоставлении персидских верований греческим он явно симпатизирует первым. Антропоморфизм традиционной греческой религии перестал удовлетворять мыслящих греков того времени. Еще задолго до Геродота многие элементы иранских религиозных (и космологических) представлений были восприняты в Греции орфиками, Ферекидом Сиротским и такими мыслителями VI в. до н. э., как Анаксимандр, Гераклит и, может быть, Ксенофан.

Все перечисленные выше идеи и заимствования оказали влияние на формирование ранней греческой науки. Читателя может удивить их разнородность: действительно, что общего между древними космогоническими мифами и такими вещами, как солнечные часы или измерение площадей? Между тем дело обстояло именно так: синкретизму этой ранней науки соответствовало разнообразие входивших в ее состав элементов.

В заключение нам надо остановиться еще на одном факторе, оказавшем если не прямое, то огромное косвенное воздействие на становление греческого научного мышления.

Во «Введении» мы указали, что между сферой материального производства и достижениями античной науки не существовало того взаимодействия, которое мы наблюдаем в наши дни и которое стало характерной особенностью научно-технического прогресса последних столетий. Это безусловно справедливо. Тем не менее греческая наука вряд ли могла бы стать наукой, если бы ремесленное производство и инженерная деятельность греков не до-

стигли того уровня, на котором мы их находим в начале VI в. до н. э.

В четвертом и третьем тысячелетиях до нашей эры в нескольких регионах земного шара — прежде всего в долинах Нила и Инда, в Месопотамии, Малой Азии и Китае — произошел ряд изменений в сфере материального производства, которые в своей совокупности могут быть по праву названы первой в истории человечества технической революцией. Эти изменения последовали вслед за переходом племен, населявших эти регионы, от кочевого образа жизни к оседлому, с чем было связано утверждение земледелия как основной формы производственной деятельности, сопровождавшееся развитием методов обработки земли, ирригации, освоением новых сельскохозяйственных культур и т. д., и, как следствие этого, появление постоянных поселений. К числу великих изобретений, характеризовавших указанную революцию, следует отнести открытие принципа колеса, приведшее, с одной стороны, к изобретению гончарного круга, а с другой — к появлению новых средств передвижения, далее — изобретение ткацкого станка, принцип которого остался неизменным вплоть до наших дней, и, наконец, появление металлургического производства, включавшего методы получения и обработки металлов — сначала бронзы, а потом и железа.

Племена, населявшие в третьем и втором тысячелетиях регион Эгейского моря и Балканского полуострова, заимствовали указанные достижения у своих ближневосточных соседей и, как показывают археологические раскопки, довели их до высокой степени совершенства. Это была эпоха крито-микенской цивилизации, которую, впрочем, теперь чаще называют эгейской и которая нашла ретроспективное и потому в каких-то отношениях искаженное отражение в эпических поэмах Гомера. Несмотря на неоднократные вторжения с севера более диких воинственных племен, из которых наиболее значительным и принесшим наибольшие опустошения было нашествие дорийцев в конце XI в. до н. э., какие-то глубинные основы эгейской цивилизации остались нетронутыми. Вслед за так называемым «темным» временем, к которому историки относят X—IX вв. до н. э., в ряде городов Балканского полуострова и особенно на западном побережье Малой Азии происходит постепенное возрождение городской культуры, принимающей, правда, существенно иные фор-

мы по сравнению с формами, которые были характерны для крито-микенской эпохи. Наиболее значительные изменения произошли в социально-политической области. Вместо абсолютных монархий Эгейского мира, во многом напоминавших аналогичные государственные образования в странах Ближнего Востока, возникает и получает быстрое развитие форма города-государства (полиса), в дальнейшем становящаяся отличительной особенностью греческого мира.

После крушения государственных форм крито-микенской эпохи и в течение всего «темного» времени сельское хозяйство оставалось в Греции основной формой материального производства. О специфике сельскохозяйственной деятельности той эпохи, о проблемах и трудностях, встававших перед греческим крестьянином, и о классовых взаимоотношениях, характерных, правда, уже для конца этого периода, много ценной информации сообщает Гесиод в своей поэме «Труды и дни». С течением времени, однако, во многих греческих государствах местные сельскохозяйственные ресурсы становятся недостаточными для того, чтобы прокормить быстро растущее городское население. В связи с этим наблюдаются два явления, во многом определившие последующий ход греческой истории.

Первое — это колонизация. Большое число греков покидает свои родные места и отправляется в поисках лучшей жизни в другие страны — прежде всего в Южную Италию и на берега Черного моря, где имелись большие площади неосвоенных плодородных земель. Новые поселения, которые там основываются, становятся самостоятельными городами-государствами, сохраняющими, однако, тесные экономические и культурные связи с «материнскими» полисами. Наибольшее число таких колоний (понимая это слово не в нынешнем, а в специфическом для того времени смысле) основал Милет, в VIII—VI вв. до н. э. бывший крупнейшим и наиболее процветающим городом Малоазиатской Ионии. Из колоний в старые греческие полисы вывозились сельскохозяйственные товары, прежде всего пшеница; взамен жители новых поселений получали из Греции продукты ремесленного производства, использовавшиеся ими как для собственных нужд, так и для торговли с местными аборигенами.

Второе явление, теснейшим образом связанное с первым, состояло в быстром развитии производства товаров,

предназначавшихся для экспорта. Продукты гончарного производства (знаменитые «греческие вазы»), текстильные товары (которыми особенно славился Милет), всевозможные металлические изделия, украшения из золота и серебра и т. д. направлялись в колонии, а также в другие страны, находившиеся с греческими городами в торговых взаимоотношениях. И хотя ремесло никогда не принадлежало в Греции к числу наиболее уважаемых профессий, тем не менее прослойка ремесленников становилась все более многочисленной и приобретала в наиболее развитых полисах (например, в Афинах), по мере их демократизации, значительное влияние на политическую и общественную жизнь.

Высокий уровень ремесла способствовал развитию эстетических вкусов, но он также требовал определенных интеллектуальных качеств: наблюдательности, сообразительности, мастерства, приобретаемого обучением и опытом. Все эти качества объединялись греческим термином *technē*, который служил обозначением как ремесла, так и искусства. И, действительно, в классической Греции грань между тем и другим была очень неопределенной. Греческие вазы производят на нас зачастую впечатление творений высокого искусства; не случайно создававшие их мастера имели обыкновение ставить на них свои имена, подобно тому, как в наше время художники подписывают свои картины. Эти подписи были не только указанием на авторство, но и своего рода «знаком качества». Имена Фидия, Поликлета, Праксителя известны в наше время любому образованному человеку как имена величайших скульпторов, создавших недосягаемые по своему совершенству произведения искусства; между тем в Древней Греции их общественный статус немногим отличался от статуса гончара или ювелира.

Профессией, сочетавшей в себе черты ремесла и искусства, была также архитектура. Разумеется, создатели греческих храмов сами не обтесывали и не клали камни: они, очевидно, составляли детальный проект здания и руководили работами по его строительству. Эта профессия требовала не только чисто инженерного мастерства и высоко развитого чувства прекрасного, но также немалой математической подготовки. Величайшим в мире созданием строительного искусства Геродот считал храм Геры на острове Самос, воздвигнутый в период правления тирана Поликрата (вторая половина VI в. до н. э.) и разрушен-

ный после падения последнего. Археологические раскопки показали, что этот храм был построен на основе строгих математических пропорций. Отсюда следует, что уже в то время, совпадавшее со временем первых шагов ранней греческой науки, греческие архитекторы обладали соответствующими математическими знаниями и применяли их в строительной практике.

Другим интереснейшим инженерным сооружением на острове Самос, о котором пишет Геродот, был водопровод, созданный по проекту Эвпалина и проходивший по туннелю, который был прорыт сквозь гору и имел длину около одного километра. Долгое время историки относились к этому сообщению Геродота с недоверием, но в конце XIX в. немецкая археологическая экспедиция действительно обнаружила этот туннель. Самое интересное было то, что в целях ускорения работы туннель рыли одновременно с обеих сторон горы. Впоследствии механик Герон, живший в начале нашей эры, привел в сочинении «Диоптра» геометрическое построение, которое должно было быть осуществлено для того, чтобы рабочие, прорывавшие туннель, встретились в середине горы. Это была совсем не простая задача, требовавшая не только определенных знаний в области геометрии, но и большой точности в проведении геодезических измерений.

В качестве третьего замечательного сооружения самосцев Геродот называет дамбу, окружавшую гавань и имевшую длину около 400 м.

Мастерство инженеров с острова Самос было, по-видимому, широко известно. Во время похода персидского царя Дария на скифов (в 514 г. до н. э.) самосец Мандрокл построил понтонный мост через Босфор, по которому персидское войско перешло из Азии в Европу. Геродот пишет, что Дарий был очень доволен постройкой моста и щедро одарил Мандрокла. Часть полученной награды Мандрокл пожертвовал на создание фрески в упомянутом выше храме Геры, на которой был изображен царь Дарий, сидящий на берегу пролива на троне и наблюдающий, как его войско переходит по мосту. Через двадцать с лишним лет аналогичная задача стояла перед сыном Дария Ксерксом, направлявшимся со своим огромным войском в Грецию. Сообщают, что два первоначальных моста — из которых один был построен финикиянами, а другой египтянами — были снесены течением Геллеспонта, после чего царь приказал высечь море ударами бичей. Новые, более

прочные мосты были сооружены под руководством греческих инженеров (Гарпала?), оказавших тем самым плохую услугу своим соотечественникам.

Быстрый рост греческой торговли, которая шла в основном морскими путями, сопровождался развитием судостроения, требовавшего высокого технического мастерства. С другой стороны, осуществление далеких морских поездок по Черному и Средиземному морям предъявляло повышенные требования к искусству кораблевождения, которое было невозможно без определенного минимума астрономических знаний. Не случайно легенда приписывает первому греческому ученому Фалесу составление руководства по кораблевождению.

Таким образом, быстрое развитие ремесел и техники было одной из черт, характеризовавших греческий мир VII—VI вв. до н. э. Хотя это развитие и не оказывало непосредственного воздействия на основную проблематику, интересовавшую в то время греческих ученых, тем не менее косвенным образом оно бесспорно послужило стимулом для научного прогресса — особенно в тех областях, которые первоначально занимали периферийное положение в науке (к ним, в частности, относилась математика, тогда еще не получившая статуса самостоятельной теоретической дисциплины). В связи с этим заметим, что в технически отсталой стране не может существовать благоприятных условий для развития науки: в наше время это утверждение представляется бесспорным, но оно справедливо также и по отношению к той отдаленной эпохе, о которой в данном случае идет речь.

Возникновение ранней греческой науки было связано с общим духовным скачком, который переживала Греция в VI в. до н. э. и который подчас именуется «греческим чудом». В течение очень короткого срока греки стали культурным лидером среди народов средиземноморского бассейна, опередив более древние и могущественные цивилизации Египта и Вавилона.

Общественной основой этого духовного скачка было утверждение демократической формы правления в большинстве греческих полисов. Равноправие свободных граждан перед законом и участие каждого в выполнении общественных функций способствовали развитию чувства гражданской ответственности и критичности мышления. Необходимость выступать в народных собраниях и убедительно (т. е. логически обоснованно) защищать свою

точку зрения привела к усовершенствованию искусства устной аргументации и, в конечном итоге, к разработке приемов логического доказательства. Относительно малые размеры полисов, исключавшие потребность в громоздкой административной структуре, в сочетании с выборностью государственных и жреческих должностей обусловили отсутствие в греческих полисах сословий чиновников и жрецов, которые играли столь большую роль в централизованных бюрократических монархиях Востока.

Все эти черты были в наибольшей степени характерны для ионийских полисов, расположенных вдоль западного побережья Малой Азии. Но к ним надо добавить еще некоторые специфические особенности, отличавшие приморские торговые города от ряда других областей Греции того времени. Это — в большей или меньшей степени смешанный этнический состав, развитие мореплавания, торговые и культурные связи со странами Востока и относительная слабость родовой аристократии. Все эти факторы в сочетании с живостью ума и любознательностью — чертами, всегда отличавшими греков, стимулировали духовную атмосферу свободомыслия и терпимости. Занятия наукой не регламентировались в Ионии государственными или религиозными институтами; они были частным делом свободных граждан и потому не имели сугубо практической направленности, которая была присуща египетской или вавилонской наукам.

Общественно-политическая структура и историко-географическое положение ионийских полисов дают возможность объяснить некоторые характерные черты ранней греческой науки. Как указывалось выше, одной из таких черт был отказ от религиозно-мифологических мотивировок и образов, обусловленный тем, что греческие ученые наталкивались на разнообразие религиозных представлений и верований, согласовать которые казалось невозможным. Было очевидно, что греческая вера и мифология не имеют общезначимого характера. Антропоморфизация богов, нашедшая столь художественное выражение в поэмах Гомера, стала восприниматься как недостаток общепринятой религии; с наибольшей яркостью такая установка проявилась в поэтических выступлениях Ксенофана из Колофона, направленных против антропоморфизма и политеизма традиционных греческих верований. Ионийские мыслители стремились придать своим концепциям общезначимость, сделать их приемлемыми для всех людей,

независимо от того, каким богам эти люди поклоняются. Достичь этого можно было лишь путем полного устранения мифологических мотивировок и замены антропоморфных образов безличными и общезначимыми силами природы. Следующая задача состояла в том, чтобы выделить из этих сил такую, которая могла бы претендовать на положение высшего начала как в генетическом, так и в иерархическом отношении. И в первую очередь, разумеется, речь могла идти о таких стихиях, как огонь, воздух, вода и земля. Вода, как мы указывали выше, отождествлялась с изначальным состоянием мира у многих народов, поэтому выбор воды в качестве первичной космогонической сущности не мог казаться чем-то удивительным; воздух (или ветер) занимал важное место в индо-иранских представлениях, а в сфере микрокосмоса соответствовал душе человека; наконец, огню придавалось особое значение в религии зороастризма.

Указанными соображениями объясняются существенные особенности научно-философских систем, развивавшихся по крайней мере некоторыми из ионийских мыслителей раннего периода.

РАННЯЯ ГРЕЧЕСКАЯ НАУКА «О ПРИРОДЕ»

Смысл и значение понятия «природа»

Античная традиция послеаристотелевского времени приписывает большинству сочинений греческих мыслителей VI—V вв. до н. э. одно и то же стандартное наименование — «О природе» (*Peri physeōs*). Не следует принимать это наименование за авторское заглавие — ученые той ранней эпохи еще не имели обыкновения как-либо озаглавливать свои сочинения; его следует скорее рассматривать как указание на их основную проблематику. В связи с этим представляется целесообразным по возможности точнее уяснить смысл греческого понятия «природа», тем более, что этот смысл существенно отличается от того основного значения, которое слово «природа» приобрело в языках нового времени.

В нашу эпоху под природой подразумевается прежде всего окружающая человека естественная среда, в которой он живет, но которая не является делом его рук. Причем в более узком смысле природа отождествляется с совокупностью особенностей почвы, климата, растительного и животного мира и т. д., присущих данному географическому району (стране, климатической зоне, материке), а в более широком — под природой может пониматься весь мир, вселенная в целом, воспринимаемая как органически связанное и в каком-то отношении даже одухотворенное единство. В другом значении, говоря не о природе вообще, а о природе какой-либо конкретной вещи, мы имеем в виду главную характеристику этой вещи, ее основное, чаще всего внутреннее, неявное свойство, или сущность.

В древнегреческом языке первое из этих значений (которое мы теперь считаем основным) появляется сравнительно поздно и для VI—V вв. до н. э., когда писались сочинения «о природе», было еще совершенно нехарактерно. Само греческое слово «природа» — «фюсис» (*physis*) — произошло от глагола *phuō*, что значит

«рождаю», «произвожу», «создаю» (а в формах среднего залога — «возникаю», «происхожу»). Первоначально оно было эквивалентно русским существительным «рождение», «происхождение», «возникновение». Потом из него вычленились две группы значений: с одной стороны, внешний вид, рост, осанка, с другой же — внутренняя структура, состав (в более отвлеченном смысле — сущность) данной вещи или рода, к которому она относится. Первичный смысл «фюсис» при этом полностью не исчезает, а сохраняется «в снятом виде»: как внешний вид, так и внутренняя структура понимаются в качестве конечного итога (результата) процесса возникновения или развития, аналогичного процессу возникновения или развития живого существа. И, наконец, последнее, самое интересное для нас значение — «фюсис» как внутренне присущая данному предмету (или роду предметов) сила или закономерность, которая обуславливает характер его развития, определяя тем самым его внешний облик, структуру, а также его внутренние возможности и поведение (действия). Последнее значение особенно характерно для форм «по природе», «согласно с природой». В этом значении природа начинает противопоставляться в качестве естественной закономерности человеческому (или божескому) установлению (антитеза «фюсис» — «номос», получающая широкое распространение в литературе конца V в. до н. э.).

В заключение приведем сжатое и лаконичное определение понятия природы, которое было дано позднее Аристотелем: «Природою в первом и основном смысле является сущность — именно сущность вещей, имеющих начало движения в самих себе, как таковых».

Появление такого сложного и многоаспектного понятия, некоторым образом отвечавшего синкретичному характеру ранней греческой науки, было весьма симптоматичным фактом. Оно означало замену любых сверхъестественных, божественных и вообще внеположных по отношению к данной вещи факторов естественными причинами, которые надо искать в самой вещи. Правда, эти причины еще не дифференцируются и не анализируются, все они сводятся к одному общему нерасчлененному понятию «природа». Но даже в таком виде новая постановка вопроса о причинах всего происходящего явилась важным шагом в становлении рационального теоретического мышления.

Теперь мы можем дать более точное определение науки «о природе». Это была наука о естественных причинах возникновения, развития и строения мира в целом и входящих в его состав отдельных вещей. Позднее Аристотель назовет эту науку (от слова «фюсис») физикой, а мыслителей, которые ею занимались, физиками или физиологами. Вначале же она вообще не имела никакого наименования.

После этого вступления перейдем к рассмотрению воззрений наиболее выдающихся представителей науки «о природе».

Милетская школа

Фалес. Первым корифеем греческой науки, согласно античной традиции, считается милетец Фалес. Он занимался торговлей, много путешествовал и был в своем городе одним из наиболее влиятельных и уважаемых граждан. Время жизни Фалеса устанавливается по сообщениям о том, что он предсказал полное солнечное затмение, случившееся в 585 г. до н. э. (об этом, в частности, писали Ксенофан и Геродот), хотя реальная возможность такого предсказания — даже при допущении знакомства Фалеса с вычислениями вавилонских астрологов — в настоящее время подвергается сомнению. Научных сочинений Фалес, по-видимому, после себя не оставил, и о содержании его учения уже в эпоху Аристотеля имелись лишь самые общие представления.

Основные положения космологической концепции Фалеса сводятся к двум пунктам: 1. Все произошло из воды; 2. Земля плавает на воде, подобно куску дерева. Вполне вероятно, что к этим положениям Фалес пришел под влиянием восточных космогонических мифов, с которыми он мог познакомиться во время своих поездок в Египет или Месопотамию. Сообщалось также, что Фалес развивал доктрину всеобщей одушевленности вещей (приписывая, в частности, душу магниту, притягивающему железо) и утверждал, что «все полно богов».

В древности Фалесу приписывалось много открытий в области математики и астрономии, однако достоверность этих сведений неясна. Неоплатоник Прокл сообщает, со ссылкой на ученика Аристотеля Евдема, о якобы впервые доказанных Фалесом геометрических теоремах (о равенстве углов при основании равнобедренного треугольника,

о том, что диаметр делит круг на две равные части и т. д.). Историки науки по-разному интерпретируют эти сообщения. Так, Ван-дер-Варден считает, что к свидетельствам Евдема надо отнестись вполне серьезно и что именно Фалес, опираясь на достижения египтян и вавилонян, ввел в геометрию доказательства, придав этой науке логическое построение. Другие ученые полагают, что доказательства Фалеса еще не могли иметь строго логического характера и, скорее всего, были основаны на приемах наложения и вращения чертежей. Скептическую позицию занимает О. Нейгебауэр, считающий, что «традиционные рассказы об открытиях, сделанных Фалесом, следует отбросить как совершенно неисторические».

Все же славу Фалеса как математика не удастся полностью отнести на счет легенд позднейшего времени, ибо о ней свидетельствуют достаточно ранние источники (укажем на упоминание о Фалесе-математике в «Птицах» Аристофана). Возможно, что, познакомившись в странах Востока с некоторыми геометрическими положениями, применявшимися там для решения практических задач, Фалес впервые проявил к ним теоретический интерес и попытался как-то обосновать их.

Анаксимандр, которого древние считали учеником и преемником Фалеса, жил до 40-х годов VI в. до н. э. Свое учение он изложил в книге, написанной прозой, которую можно рассматривать как первое в истории европейской мысли научное сочинение; к сожалению, до нас от него дошла всего лишь одна фраза, показывающая, что оно было написано образным, возвышенным стилем. Однако косвенные свидетельства об учении Анаксимандра позволяют сравнительно точно реконструировать основные его положения.

В основе этого учения лежала детально разработанная космогоническая концепция. Источником всего сущего у Анаксимандра была уже не вода, а некое вечное и беспредельное начало, которое, согласно позднейшим источникам, он называл «божественным», утверждая, что оно «всем управляет». По традиции, восходящей к Аристотелю, это начало обычно трактовалось как бескачественное и неопределенное первовещество, однако в ряде новейших работ эта традиционная точка зрения подвергается сомнению.

Возникновение мира Анаксимандр рисовал как борьбу и обособление противоположностей — в первую очередь

тепла и холода (причем он, по-видимому, еще не проводил разграничения между понятиями силы, качества и вещества). 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 (или «колес»). В результате этих процессов в центре мира происходит образование плотной Земли, имеющей форму цилиндра, высота которого равна $\frac{1}{3}$ диаметра основания. Этот цилиндр не имеет опоры и пребывает неподвижно в центре, так как у него нет оснований двигаться в какую-либо сторону. Звезды, Луна и Солнце находятся от центра мира на расстояниях, равных соответственно 9,18 и 27 диаметрам земного диска; эти светила представляют собой отверстия в темных воздушных трубках, окружающих вращающиеся вокруг Земли огненные кольца, некогда составлявшие часть внешней огненной сферы. С помощью такой картины Анаксимандр объясняет ряд астрономических и метеорологических явлений.

Живые существа, по мнению Анаксимандра, зародились во влажном иле, первоначально покрывавшем всю Землю. Когда Земля начала высыхать, влага скопилась в углублениях, образовавших моря, а некоторые животные вышли из воды на сушу. Среди них были рыбообразные существа, в которых зародились люди; когда люди выросли, покрывавшая их чешуйчатая оболочка начала лопаться и отваливаться. Некоторые исследователи усматривали в этой концепции исторически первый намек на идею эволюции животного мира.

Возникновение и развитие мира Анаксимандр считал периодически повторяющимся процессом; через определенные промежутки времени мир снова поглощается беспредельным началом. По поводу того, признавал ли Анаксимандр одновременное сосуществование многих миров, мнения ученых расходятся; в некоторых изложениях его учения встречается термин «космосы» (*kosmoi*), но он означал у него не миры, а нечто иное; может быть, это были слои (или сферы) нашего мира, упорядоченные числовыми соотношениями, о которых было сказано выше.

Не исключено, что за изложением космогонии и общей космологии в сочинении Анаксимандра следовала геогра-

фическая часть, содержащая описание известной тогда грекам ойкумены (обитаемой территории). Во всяком случае, источники сообщают, что Анаксимандр был первым, начертившим географическую карту Земли, на которой вся ойкумена распадалась на две большие и примерно равные части — Европу и Азию. Ему приписывалось также введение в употребление гномона (солнечных часов).

Заслуга Анаксимандра в истории науки состоит прежде всего в деантропоморфизации и демифологизации картины мироздания. Сама эта картина, набросанная смелыми и яркими мазками, явилась в целом оригинальным созданием Анаксимандра, хотя отдельные ее элементы, возможно, были им взяты из космологических представлений народов Востока (к числу таких заимствований М. Л. Уэст относит образ огненных колец, числовые соотношения, определяющие удаленность от центра мира небесных светил, циклический характер процесса мироздания и даже само понятие вечного и беспредельного начала. Было бы неверно думать, что Анаксимандр полностью игнорировал повседневный человеческий опыт, но данные этого последнего учитывались им лишь при разработке деталей системы мира, а не при составлении ее основной схемы, имевшей чисто спекулятивный характер. Хотя Анаксимандр и не сделал научных открытий, которые могли бы претендовать на общезначимость, тем не менее в его учении были заложены предпосылки для дальнейшего развития греческой науки.

Анаксимен, третий великий представитель милетской школы, жил несколько позже Анаксимандра, однако точных хронологических дат, которые были бы связаны с его жизнью, у нас нет. Как и Анаксимандр, он написал одно единственное сочинение, содержание которого нам известно лишь по косвенным свидетельствам. Как сообщают античные источники, оно было написано простой и ясной прозой.

В качестве первоосновы всего сущего Анаксимен принял беспредельный воздух. Вещи образуются из воздуха путем разрежения или сгущения, при этом разрежение сопровождается нагреванием, а сгущение — охлаждением. Воздух находится в непрерывном движении: если бы он был неподвижен, то он, по мнению Анаксимена, не мог бы видоизменяться и порождать многообразные вещи. Имеется свидетельство, принимаемое некоторыми иссле-

дователями за искаженную цитату из книги Анаксимена, что отношение воздуха к миру Анаксимен сравнивал с отношением души к телу.

Детали космогонической концепции Анаксимена известны плохо. Сообщается, что в результате сгущения воздуха (наглядно сопоставляемого с валянием шерсти) первой возникла плоская («столообразная») Земля, которая висит в воздухе, как бы «оседлав» его. Затем образуются моря, облака и прочие вещи. Небесные светила возникают из земных испарений, которые, поднимаясь вверх и разрежаясь, приобретают огненную природу. Неподвижные звезды вбиты в твердый небосвод подобно гвоздям, другие (планеты?), а также Солнце и Луна плавают в воздухе, подобно огненным листьям. Таким образом, в противоположность Анаксимандру Анаксимен приблизил Солнце и Луну к Земле по сравнению с неподвижными звездами. Скрывшись за горизонтом, небесные светила не опускаются под Землю, а проходят за ее северной приподнятой частью; в связи с этим вращение небесного свода сравнивается Анаксименом с вращением шапочки вокруг головы.

Из сказанного следует, что в умозаключениях Анаксимена большую роль играл метод аналогий. По сравнению с величественной и основанной на строгих математических отношениях картиной мироздания Анаксимандра взгляды Анаксимена могут показаться идейно более бедными и приземленными. Тем не менее в определенных отношениях они являлись существенным шагом вперед. Новым у Анаксимена была трактовка первовещества не только в качестве источника, но и в качестве субстрата вещей окружающего нас мира, поэтому его воздух был, по сути дела, ближе к первоматерии Аристотеля, чем к физически неопределенному и божественному началу Анаксимандра. Очень важно было также то, что Анаксимен придумал конкретный физический механизм, посредством которого из воздуха образуются всевозможные вещи. Здесь была впервые поставлена проблема: каким образом возможны качественные изменения? Поиски решения этой проблемы послужили одним из стимулов к разработке атомистики. Кроме того, учение Анаксимена в меньшей степени, чем космология Анаксимандра, обнаруживает влияние восточных религиозно-мифологических представлений и скорее лежит в русле греческой «метеорологической» традиции.

Когда мы говорим о «милетской школе», то это название имеет условный смысл, сводящийся к тому, что все три представителя этой «школы» были гражданами города Милета. По своим же взглядам они были настолько непохожи один на другого, что в данном случае трудно обнаружить ту преемственность идей, которую обычно предполагает существование научной школы. И хотя Анаксимандр, будучи младшим современником Фалеса, несомненно хорошо его знал, а Анаксимен был бесспорно знаком с сочинением Анаксимандра, тем не менее школы в позднейшем смысле здесь, по-видимому, еще не было.

Во второй половине VI в. до н. э. на противоположном конце тогдашнего греческого мира возникла другая научно-философская школа, в большей степени заслужившая такого наименования, хотя и обладавшая весьма специфическими чертами. Это была пифагорейская школа или, точнее, пифагорейский союз, названный так по имени его основателя *Пифагора*. Генезис этой школы восходит в конечном счете к ионийскому культурно-географическому ареалу, ибо сам Пифагор был уроженцем ионийского острова Самос, откуда он уехал, будучи уже зрелым человеком (как сообщают источники, — по причине своего несогласия с деятельностью знаменитого тирана Поликрата). Он много путешествовал и, по-видимому, довольно долго жил в Египте; обосновавшись затем в южно-итальянском городе Кротоне, он учредил там нечто вроде религиозно-этического братства или монашеского ордена, члены которого обязывались вести так называемый «пифагорейский образ жизни», включавший в себя наряду с целой системой аскетических предписаний и табу также определенного рода научные занятия.

В ранний период существования пифагорейской школы религиозно-философское учение Пифагора, в основе которого лежала вера в бессмертие души и в метемпсихоз, а равным образом и результаты научных изысканий, проводившихся в школе, имели строго эзотерический характер и не излагались в письменной форме. По этой причине, а также в силу того, что у пифагорейцев существовала традиция возводить все достижения школы к ее основоположнику, представляется практически невозможным отделить вклад, внесенный в науку самим Пифагором и его непосредственными учениками, от результатов,

полученных представителями пифагорейской школы в более позднюю эпоху. Мнения исследователей по этому вопросу расходятся самым кардинальным образом. К настоящему времени литература, посвященная «пифагорейскому вопросу», стала поистине необозримой. Можно указать лишь некоторые основные тенденции, определявшие развитие историко-научных исследований в этой области.

Историческая и филологическая наука раннего периода была склонна принимать на веру сочинения Порфирия, Ямвлиха и других авторов поздней античности, в которых наряду со многими чудесными и сверхъестественными деяниями Пифагору приписывался целый ряд важнейших открытий в области математики, астрономии и других наук. В дальнейшем под влиянием критического духа новой эпохи к этим свидетельствам стали относиться как к своего рода мифотворчеству, культивировавшемуся в недрах неопифагорейской и неоплатонической школ. Крупнейший исследователь пифагореизма Август Бек еще пытался, в начале XIX в., опереться на фрагменты Филолая, первого пифагорейца, изложившего свои взгляды в письменной форме, как на единственный надежный источник, дошедший до нас от пифагорейства V в. до н. э.; в дальнейшем, однако, и эти фрагменты были поставлены под сомнение. Высшей точки критическое направление в изучении «пифагорейского вопроса» достигло уже в нашем столетии в работе Э. Франка «Платон и так называемые пифагорейцы» (1923), где была произведена радикальная передатировка научных достижений пифагорейской школы. Пифагорейские открытия в области математики и астрономии были, по мнению Франка, сделаны уже после 400 г. до н. э., т. е. в эпоху Платона, Архитом и его школой, и притом не без существенного влияния атомистики Демокрита; говорить же о существовании какой-то пифагорейской науки до этого времени мы не имеем никаких оснований. К этому же направлению принадлежит недавняя капитальная работа В. Буркерта о пифагорейцах, автор которой на основании детальнейшего анализа всех имеющихся в нашем распоряжении источников, приходит к выводу, что вклад в науку раннего пифагореизма был практически равен нулю, ибо он не считает наукой мистику чисел и спекуляции с парами противоположностей типа «чет—нечет» и «предел — беспределное», чем в основном занимались пифагорейцы.

Что же касается открытия несоизмеримости и других подлинно научных достижений, которые древняя традиция была склонна возводить к Пифагору и его ученикам, то они, по мнению Буркерта, к пифагорейской школе никакого отношения не имеют.

Наряду с этим критическим направлением в последнее время стала все более укрепляться противоположная тенденция, склонная усматривать в свидетельствах Ямвлиха и других неоплатоников, писавших о Пифагоре, наличие сведений, восходящих к IV и даже V вв. до н. э., т. е. к тому времени, когда еще была жива школа, основанная самим Пифагором. В этих сведениях могла содержаться информация, имевшая реальную историческую подоплеку. В ряде новейших работ были проанализированы данные (вплоть до данных нумизматики), до этого полностью игнорировавшиеся филологами. Оказалось, многое, что ранее считалось относящимся к области легенд, подтверждается этими данными. Это привело к изменению отношения к прежней гиперкритической тенденции и к тому, что ряд крупных специалистов в области истории греческой науки и философии занял теперь более умеренную позицию. В качестве представителя этой компромиссной тенденции можно назвать К. фон Фритца, опубликовавшего несколько фундаментальных работ о ранней пифагорейской науке.

Действительно, с большой степенью вероятности можно утверждать, что интерес к математике наличествовал в пифагорейской школе с самого ее основания и что положение «все есть число» принадлежит самому Пифагору. Как и в других теориях ранних греческих мыслителей, это положение явилось обобщением очень небольшого числа наблюдений. Не только древние свидетельства, но и ранняя математическая терминология указывают на связь этих наблюдений с музыкой. Решающую роль при этом сыграло открытие, что интервалы музыкальной гаммы могут быть выражены отношениями целых чисел: $1:2$, $2:3$ и $3:4$. Это открытие послужило стимулом к поискам аналогичных соотношений и в других областях, например в геометрии и космологии.

Итак, смысл положения «все есть число» состоял в убеждении, что в каждой вещи каким-то образом скрыты определенные числа или отношения чисел. Задача познания состоит в обнаружении этих отношений (подобно тому, как они были обнаружены в музыке). При этом

речь шла в основном о числах, находившихся в пределах первой десятки. Некоторым из этих чисел приписывалась особо важная роль: это были тройка (триада), четверка (тетрактида), семерка (гебдомада) и десятка (декада). Единица вообще не считалась числом: она была источником и первоосновой всех чисел и, следовательно, всех вещей. Фундаментальное значение пифагорейцы придавали различию между четными и нечетными числами.

Поиски числовых отношений могли развиваться (и действительно развивались) в двух направлениях: во-первых, в направлении мистики чисел; во-вторых, в направлении нахождения реальных числовых закономерностей. Оба эти направления легко совмещались в пределах одной и той же школы. О первом из них мы вообще говорить не будем, так как его рассмотрение выходит за пределы истории науки. Что же касается математических открытий, которые были сделаны пифагорейцами, то о них речь пойдет ниже, в параграфе, посвященном зарождению математической науки. Здесь же мы приведем лишь один пример, показывающий, что в отдельных случаях поиски числовых отношений могли приводить к чисто научным результатам.

Надо думать, что пифагорейцы очень быстро обратили внимание на то, что из отрезков, находящихся друг к другу в отношениях 3:4:5, образуется прямоугольный треугольник. Это обстоятельство было давно известно в странах Востока; с другой стороны, оно вполне соответствовало духу пифагорейских поисков, поскольку свойства геометрической фигуры определялись здесь отношениями целых чисел. Дальнейшее изучение вопроса позволило обобщить это соотношение и привело к доказательству теоремы, носящей имя Пифагора. Был ли Пифагор на самом деле автором этой теоремы или она найдена кем-то из пифагорейцев позднее, этого мы уже никогда не узнаем.

Характерной чертой пифагорейского учения было большое значение, которое придавалось в нем роли фундаментальных противоположностей, или оппозиций, — таких, как предел и беспредельное, нечет и чет, единое и многое, правое и левое, мужское и женское и некоторые другие. Аристотель перечисляет десять таких пар, но мы не можем быть уверены, что канонизация этих десяти пар произошла уже в эпоху раннего пифагорейства. Как мы указывали в начале первой главы, использо-

вание аналогичных оппозиций в качестве средства классификации и упорядочения окружающей действительности является отличительной чертой первобытного, донаучного мышления. Правда, пифагорейские противоположности не вполне совпадают со стандартным набором оппозиций, которыми обычно оперирует мифотворческое мышление примитивных народов и где мы не найдем такой пары, как «предел — беспредельное» (а у пифагорейцев она была важнейшей), не говоря уже о паре «квадратное — прямоугольное», отразившей интерес пифагорейцев к геометрии. Но в целом использование такого рода оппозиций пифагорейцами представляет собой архаичный момент в их учении, тем более что во всех десяти оппозициях, приводимых Аристотелем, каждая пара состоит из двух членов, один из которых воспринимается как нечто положительное, доброе, благоприятное, а другой имеет противоположную окраску (табл. 1). Отметим, что и в учениях таких мыслителей, как Анаксагор, Эмпедокл, а позднее Аристотель, большую роль играют противоположности типа теплое — холодное, сухое — влажное, светлое — темное, но у них оба члена каждой пары аксиологически нейтральны.

Таблица 1

Десять пифагорейских противоположностей

1 предел — беспредельное	6 покой — движение
2 нечет — чет	7 прямое — кривое
3 единое — многое	8 свет — тьма
4 правое — левое	9 доброе — злое
5 мужское — женское	10 квадрат — прямоугольник

Из свидетельств Аристотеля и других древних авторов можно заключить, что у пифагорейцев существовала своя космогоническая концепция, своеобразным образом связанная с основными положениями их учения о числах. О ней известно очень мало, но ее основные идеи сводятся, по-видимому, к следующему.

Исходным состоянием мира, согласно пифагорейцам, было некое беспредельное начало, которое отождествлялось ими то ли с безграничной пустотой, то ли с воздухом. Следует отметить, что четко осознанного понятия пустого пространства в то время еще не было: пифагорейская пустота — это скорее неоформленная, не имеющая ни границ, ни внутренних членений воздушная бездна.

В этой бездне зародилась огненная Единица, сыгравшая роль семени или зародыша, из которого развился космос. Эта Единица росла подобно тому, как растет зародышевая клетка в питательной среде: втягивая (вдыхая!) прилежавшее к ней беспредельное, она ограничивала его и оформляла. Вытягиваясь в длину, а затем в ширину и высоту, она породила двойку, тройку и четверку, которые в геометрической интерпретации эквивалентны линии, плоскости и объемному телу. Все дальнейшее есть не что иное, как процесс последовательного оформления космообразования числами.

Архаичность изложенной концепции не вызывает сомнений: об этом свидетельствует, в частности, ее своеобразный зооморфизм. В то же время на ее примере мы видим, как «работают» основные противоположности пифагорейцев — предел и беспредельное, единое и многое, мужское (Единица) и женское (неоформленная пустота), свет (огненная Единица) и тьма (темный воздух).

Гераклит и элеаты

О жизни *Гераклита Эфесского* (примерно 540—480 гг. до н. э.) позднейшие античные источники сообщают много колоритных подробностей, достоверность которых ничем не может быть доказана. Представляется, однако, правдоподобным, что в течение какого-то периода своей жизни Гераклит находился в Персии, поскольку некоторые аспекты его учения обнаруживают явное влияние зороастрийских верований. Свои воззрения Гераклит изложил в книге, по своей форме очень непохожей на научное сочинение в привычном для нас смысле; до нас она дошла в виде набора изречений, очень ярких по своей образности и подчас темных по смыслу (в силу чего Гераклиту было присвоено в дальнейшем прозвище «Темный»).

С мыслителями милетской школы Гераклита объединяла концепция единой первоосновы, порождениями (или модификациями) которой оказываются все вещи окружающего нас мира. В качестве такой первоосновы Гераклит выбрал огонь: «Этот мировой порядок (kosmos) 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». При выборе огня Гераклит, по-видимому, меньше всего руководствовался физическими соображениями: огонь

был для него образом вечного движения и изменения. Никогда не прекращающийся мировой процесс складывается у него из двух путей: пути вниз, когда огонь превращается в воду («море»), а та, по крайней мере частично, переходит в землю, и пути вверх, когда из земли и из воды исходят испарения, к числу которых Гераклит причислял и души живых существ. Испарения имеют различный характер: светлые и чистые — превращаются в огонь и, поднимаясь вверх и скапливаясь в круглых вместилищах, или плосках, воспринимаются нами как Солнце, Луна и звезды; темные и влажные испарения являются причиной дождя и сходных метеорологических явлений. Попеременным преобладанием того или иного рода испарений объясняется смена дня и ночи, лета и зимы. Затмения Луны и Солнца, а также фазы Луны, по Гераклиту, происходят потому, что небесные «плошки» частично или целиком поворачиваются к нам своей выпуклой, темной стороной. О форме и положении Земли Гераклит, по-видимому, никак не высказывался.

Все указанные выше изменения происходят согласно «логосу», который в учении Гераклита был многозначным термином, явившимся объектом многочисленных интерпретаций. Представляется, однако, бесспорным, что одно из значений этого термина было связано с количественными закономерностями или отношениями, определяющими взаимопревращения огня.

Позднейшие источники сообщают, что Гераклит придерживался концепции периодического космообразования, согласно которой мир то целиком воспламеняется, то вновь возникает из огня. Впрочем, многие исследователи полагают, что идея воспламенения (*ekpyrōsis*) космоса была лишь позднейшей, стоической интерпретацией некоторых высказываний Гераклита, которые, вообще говоря, допускают и другую трактовку.

Важнейшей идеей философии Гераклита была идея вечного движения, всеобщей изменчивости вещей. Для наглядного выражения этой идеи Гераклит воспользовался образом реки, в которую нельзя войти дважды, ибо «на входящего...набегают все новые и новые воды. В основе изменчивости сущего, по мнению Гераклита, лежит непрекращающаяся борьба и смена противоположностей, которые, однако, не исключают друг друга, а образуют некое высшее единство — гармонию мира. Эти мысли были высоко оценены Гегелем, усмотревшим в них исто-

рически первое выражение диалектического миропонимания. А Энгельс писал, что «первоначальный, наивный, но по сути дела правильный взгляд на мир был присущ древнегреческой философии и впервые ясно выражен Гераклитом: все существует и в то же время не существует, так как все течет, все постоянно изменяется, все находится в постоянном процессе возникновения и исчезновения».

Оценивая учение Гераклита в целом, следует признать, что оно сыграло огромную роль в становлении не столько научного, сколько философского мышления. Его естественнонаучные воззрения были довольно примитивными; математикой он, видимо, вообще не интересовался. Его выпады против «многознания» Пифагора характеризуют его отношение к конкретным научным исследованиям. Космологические пассажи книги Гераклита служили, по-видимому, лишь прелюдией к ее основной части, в большей степени состоявшей из высказываний общепhilosophического, этического и политического характера. Усилия Гераклита были направлены на отыскание единого закона, управляющего миром; эта основная задача была сформулирована им самим в следующих словах: «Ведь существует единственная мудрость — познать замысел, управляющий всем посредством всего».

Ксенофан. Странствующий поэт Ксенофан, уроженец малоазийского города Колофона, был старше Гераклита, однако, прожив очень долгую жизнь, умер, как считается, позже него. Античная традиция называет его основоположником элейской школы, хотя теперь эта точка зрения подвергается сомнению. Представляется, впрочем, очень вероятным, что некоторые сформулированные Ксенофаном положения повлияли на Парменида при разработке им его философской системы. В своих поэтических произведениях Ксенофан выступил в качестве резкого критика политеизма и антропоморфизма греческой религии. Традиционным представлениям о богах он противопоставил идею единого, неподвижного, шаровидного бога, который «весь видит, весь мыслит, весь слышит». Не исключено, что этот единый бог отождествлялся им с небесной сферой. С другой стороны, имеются указания на то, что Ксенофан представлял себе Землю неограниченно простирающейся вглубь и вширь. Мир вечен, но подвержен периодическим изменениям, когда море то наступает на сушу, то отступает от нее (в подтверждение этой мысли Ксенофан ука-

ывал на морские раковины и отпечатки рыб и водорослей, находимые в горах и других удаленных от моря местах). Все, что растет и рождается, состоит из земли и воды. Из этого утверждения следует, что Ксенофан не придерживался идеи милетцев и Гераклита о единой первооснове всего сущего.

Элеаты. Парменид. Школа элеатов получила свое наименование от южноиталийского города Элея, уроженцем и гражданином которой был основатель и величайший представитель школы Парменид. Деятельность Парменида протекала в основном в первой половине V в. до н. э., хотя точные даты его жизни остаются неясными (одни источники относят время его рождения примерно к 540 г., другие — к 515 г. до н. э.). В молодости Парменид был, по-видимому, связан с пифагорейцами. Его взгляды были изложены в единственном сочинении, написанном в стихотворной форме и состоявшем из аллегорического пролога и двух частей. В первой части, от которой до нас дошли значительные отрывки, Парменид изложил свое учение о бытии. Бытие — это то, что *есть* в отличие от того, что только кажется и составляет область мнения, а не точного знания. Подвергая анализу понятие бытия, Парменид пришел к выводу, что бытие должно быть единым и, следовательно, не имеющим частей и неделимым, а также неподвижным и неизменным. Кроме того, будучи пространственно протяженным (а Парменид еще не мог его мыслить иначе), бытие необходимо ограничено, ибо совершенно и может быть представлено лишь в образе однородного шара, или сферы, «всюду равноотстоящей от центра».

Во второй части поэмы, известной нам значительно хуже, Парменид изложил физическое учение, не претендующее на истину и представляющее собой лишь наиболее вероятное из мнений смертных людей. Здесь в качестве высших начал он принимает две противоположных «формы» (*morphai*) — свет или эфир (огонь) и тьму или ночь (землю), из которых состоят все чувственно воспринимаемые вещи. Вселенная, согласно этому учению, состоит из ряда концентрических колец, или «венцов», вращающихся вокруг центра; некоторые из них состоят из чистого огня, в других к огню примешивается земля. Имеются указания на то, что Парменид впервые высказал гипотезу о шарообразности Земли. Далее, в этой части поэмы, он рассматривал небесные и атмосферные явле-

ния, высказывал соображения о природе чувственных восприятий, о происхождении живых существ, о различии полов и т. д. Точная реконструкция физических взглядов Парменида практически невозможна, и в историю человеческой мысли Парменид вошел прежде всего как автор учения о бытии и тем самым как основоположник философской онтологии. Но и с точки зрения естественнонаучной проблематики парменидовское учение о бытии сыграло положительную роль, что станет ясно ниже, при рассмотрении философско-физических систем мыслителей V в. до н. э.

Зенон. Ученик Парменида Зенон не создал самостоятельного учения; написанное им сочинение имело, по сути дела, полемический характер: в нем Зенон с помощью чисто логических аргументов доказывал, что допущение множественности вещей и возможности движения приводит к выводам, которые исключают друг друга. Научное значение так называемых «апорий» Зенона состояло в том, что в них Зенон натолкнулся на проблему континуума, обнаружив, что непрерывная величина не может трактоваться как совокупность дискретных точек (и, соответственно, движение не состоит из множества положений покоя). В этой связи представляется несущественным, была ли полемика Зенона направлена против числового атомизма пифагорейцев (как полагал, например, английский историк античной философии Дж. Бернет) или же ее смысл состоял исключительно лишь в том, чтобы поддержать учение Парменида (как об этом писал Платон в «Пармениде»). Проблематика аргументов Зенона далеко выходит за пределы конкретной исторической ситуации, обусловившей их появление. Анализ «апорий» Зенона посвящена колоссальная литература: особенно большое внимание им уделялось в последние сто лет, когда математики стали усматривать в них предвосхищение парадоксов современной теории множеств.

Наряду с этим сочинение Зенона служит яркой демонстрацией нового этапа, достигнутого греческим научным мышлением. В нем нет и следа заключений по аналогии, столь типичных для мыслителей милетской школы. Рассуждения Зенона являются исторически первым примером чисто логических доказательств. По этой причине имя Зенона можно обнаружить на первых страницах любого учебника по истории логики.

Мелисс. Третий известный представитель элейской школы — Мелисс Самосский, живший в середине V в. до н. э., не был связан с Италией; тот факт, что он воспринял учение Парменида о бытии, объяснялся резонансом, которое это учение нашло в самых различных концах эллинского мира. Мелисс написал сочинение, имевшее, согласно позднейшим источникам, заглавие «О природе и о бытии»; в нем ионийской прозой были повторены и развиты аргументы Парменида об едином, неделимом, неизменном и неподвижном бытии. Мелисс разошелся с Парменидом лишь в том, что он признал бытие неограниченно протяженным (если бы бытие было ограниченным, рассуждал он, то оно граничило бы с небытием. Но небытия нет; следовательно, бытие не может быть ограниченным). Фактически у Мелисса бытие отождествляется с бесконечным пространством, в котором ничего не происходит. Следует подчеркнуть, что до этого греческая наука не знала идеи бесконечного пространства; в учениях ранних мыслителей ее еще не было (об этом мы еще будем говорить ниже, в связи с атомистикой Левкиппа—Демокрита).

Физических взглядов, подобных парменидовскому учению «о мнении», Мелисс, по-видимому, не развивал.

Проблемы после-парменидовской науки.

Эмпедокл и Анаксагор

Греческие мыслители V в. до н. э., занимавшиеся конкретными вопросами науки «о природе», находились под большим воздействием учения Парменида о бытии. Однако они не могли просто принять это учение, так как это привело бы их к признанию иллюзорности того мира, который был основным объектом их изучения. С другой стороны, аргументы Парменида о свойствах истинного бытия казались им в большей своей части неопровержимыми. Поэтому «физики», принадлежавшие к следовавшему за Парменидом поколению, согласились в основном с этими аргументами, отойдя от учения элеатов лишь в одном, правда очень важном, пункте: они отказались от принципа единства бытия, признав наличие ряда первооснов, из которых каждая обладает свойствами, присущими истинному бытию Парменида. Эти первоосновы вступают друг с другом в различные, меняющиеся со временем пространственные отношения; бесконечное разнообразие

этих отношений обуславливает многообразие вещей окружающего нас мира. Тем самым решаются проблема множественности вещей, а также проблемы их рождения (гибели), изменения и движения. Сделанный этими мыслителями шаг был чреват последствиями капитальной важности: с одной стороны, он привел к идее материальных элементов, из которых построены все вещи, а с другой — стимулировал формулировку принципа, позднее получившего наименование принципа сохранения материи.

Выдающимися представителями этого направления в греческой науке были Эмпедокл, Анаксагор и основатель атомистики Левкипп. Сначала мы рассмотрим по отдельности учения Эмпедокла и Анаксагора, что же касается Левкиппа, то его взгляды будут изложены в следующем разделе вместе со взглядами его великого ученика Демокрита, так как их размежевание представляется практически неосуществимым.

Эмпедокл из Агригента (Сицилия) жил предположительно в 490—430 гг. до н. э. Он был яркой и многосторонней личностью, сочетавшей в себе аспекты философа, поэта, ученого-естествоиспытателя, врача, политического деятеля и религиозного проповедника. Его учение носит на себе следы влияния, с одной стороны, пифагореизма, а с другой — Парменида, в подражание которому он изложил свои взгляды в стихотворной форме (в поэмах «О природе» и «Очищения»).

В основе физического учения Эмпедокла лежит концепция четырех элементов — огня, воздуха (который у него именуется эфиром), воды и земли; он называет их «корнями всех вещей». Эти «корни» у Эмпедокла вечны, неизменны и не могут ни возникать из чего-либо другого, ни переходить друг в друга. Все прочие вещи получаются в результате соединения этих элементов в определенных количественных пропорциях; в некоторых случаях Эмпедокл указывает эти пропорции, найденные им, по-видимому, на основе умозрительных спекуляций, с учетом, однако, чувственно воспринимаемых свойств соответствующих вещей. Кроме четырех элементов, Эмпедокл постулировал существование двух сил — Любви (*Philia*) и Вражды (*Neikos*), которые он мыслил пространственно протяженными; из них первая соединяет (перемешивает) разнородные элементы, вторая же разделяет их; попеременным преобладанием этих сил обусловлен циклический ход мирового процесса. В период господства Любви все четыре

элемента смешаны самым совершенным образом, образуя огромный однородный шар — пребывающий в покое Сфэрос (Sphairos). При этом Вражда оказывается вытесненной за пределы Сфэроса и занимает периферийные области мира. В дальнейшем Вражда проникает в Сфэрос, разделяя элементы и оттесняя Любовь к центру мира. В силу того, что огонь скапливается по преимуществу в одной половине мира, а воздух (эфир) — в другой, происходит нарушение равновесия, приводящее к вращению мира — сначала медленному, но постепенно ускоряющемуся; этим вращением объясняется, в частности, смена дня и ночи. В период господства Вражды и полного разъединения элементов, располагающихся концентрическими слоями друг над другом, вращение приобретает максимальную скорость; оно начинает замедляться по мере того, как зажатая в центре мира Любовь начинает брать верх и снова смешивает разъединенные элементы.

Детали причудливой космогонии Эмпедокла остаются во многом неясными, и изложенную нами схему следует рассматривать лишь как наиболее вероятную ее реконструкцию. Существуют, однако, и другие реконструкции — среди них мы упомянем предложенную французским исследователем Боллаком, в которой вообще отрицается наличие у Эмпедокла цикличности мирового процесса в описанной нами форме.

Идея бесконечного пространства у Эмпедокла еще отсутствует. Источники сообщают, что Эмпедокл приписывал миру (космосу) не строго шарообразную, но яйцевидную форму. Оболочка космоса состоит из отвердевшего эфира. Звезды имеют огненную природу: неподвижные звезды прикреплены к небесному своду, планеты же свободно парят в пространстве. Солнце, подобно огромному зеркалу, отражает свет, испускаемый огненной полусферой космоса. Луна находится на одной трети расстояния от Земли до небесного свода; она образовалась от сгущения облачной земной атмосферы и имеет плоскую форму, получая свой свет от Солнца. Солнечные затмения происходят, когда Луна загораживает от нас, полностью или частично, солнечный диск. Неясно, какой представлял себе Эмпедокл форму Земли. Воды морей, по его мнению, первоначально находились в глубинах Земли; в результате космического круговращения они были выжаты из нее, как из губки. В одном месте Эмпедокл называет море «ртом Земли».

Большой интерес представляет развитая Эмпедоклом теория происхождения растений и животных, в которой многие находят предвосхищение дарвиновской идеи естественного отбора. А именно, живые существа могут возникать лишь в промежуточные стадии перехода от господства Любви к господству Вражды, или наоборот. В первом случае сначала образуются синтетические «цельноприродные» формы, которые затем распадаются на противоположные по полу существа. Во втором случае имеет место обратный процесс: во влажном, теплом иле возникают отдельные члены и органы, которые беспорядочно носятся в пространстве и, случайным образом соединившись друг с другом, образуют самые разнообразные, большей частью уродливые существа; лишь немногие из них оказываются жизнеспособными и выживают.

Будучи врачом и, по преданию, основателем сицилийской школы медиков, Эмпедокл большое внимание уделял вопросам анатомии и физиологии. В основу своих представлений о строении организма он кладет учение о четырех элементах, объясняя различия свойств органических тканей пропорциями, в которых элементы входят в состав этих тканей. Любопытные соображения Эмпедокл высказывает по поводу наследственности, различия полов и развития зародыша. Унаследованные свойства детеныша определяются соотношением отцовского и материнского семени, из которого образовался зародыш. Пол зародыша зависит от тепла матки, в которой он развивается: более теплая матка приводит к образованию особей мужского пола, более холодная — женского. Мужской зародыш формируется быстрее, чем женский, а правая сторона быстрее, чем левая. Механизм дыхания объясняется Эмпедоклом приливом и отливом крови по отношению к поверхности тела; этот механизм иллюстрировался им опытами с клепсидрой (водяными часами). Причина сна — охлаждение крови; смерть наступает, когда тепло полностью уходит из организма.

Детально разработанная теория ощущений основывалась у Эмпедокла на принципе «подобное познается подобным». Так, например, он считал, что внутренность глаза состоит из всех четырех элементов, причем каждый из них заполняет особое, для него предназначенные поры; при встрече данного элемента с соответствующему ему истечениями от внешнего объекта возникает зрительное ощущение. Объясняя слуховые ощущения, Эмпедокл

опирался на полученные им данные о строении уха (в частности, ему приписывалось открытие ушного лабиринта). Приятные ощущения Эмпедокл объяснял действием подобного на подобное, неприятные — встречей противоположных агентов.

В видимом противоречии с естественнонаучными воззрениями Эмпедокла находится его поэма «Очищения» («Katharmoi»), в которой он развивает религиозно-этическое учение, носящее на себе явные следы пифагорейской доктрины; это учение основано на идеях бессмертия души, метемпсихоза и нравственного очищения. Ученые пытались по-разному объяснить это противоречие, в частности путем отнесения обеих поэм к различным периодам творческой эволюции Эмпедокла. Возможно, однако, что сам он не усматривал между ними никакого противоречия, полагая, что они рассматривают принципиально различные области, никак не перекрещивающиеся друг с другом.

Эмпедокл сумел предугадать ряд важнейших идей позднейшего естествознания. Т. Гомперц подчеркивал три таких идеи — те, которые впоследствии легли в основу химической науки: «гипотеза множественности и притом ограниченной множественности основных элементов; идея соединений, в которую вступают между собой эти элементы; наконец, признание многочисленных количественных различий или изменчивости пропорций в этих соединениях».

Анаксагор из Клазомен (500—428 гг. до н. э.) был прямым продолжателем мыслителей милетской школы, влияние которой (особенно Анаксимена) явно ощущается в его космологических концепциях. В то же время он испытал воздействие Парменида и, возможно, ранней атомистики. Уже в зрелом возрасте Анаксагор переехал в Афины, где прожил около 30 лет. Достижения ионийской науки он перенес на аттическую почву, явившись, таким образом, основоположником афинской философской школы. В конце жизни Анаксагор подвергся судебному преследованию за распространение взглядов, противоречивших общепринятой религии, и вынужден был бежать из Афин. Умер он в Лампсаке (на берегу Геллеспонта).

В основе физического учения Анаксагора лежит представление о «существующих вещах» (eonta chrēmata), которые не могут ни возникать, ни уничтожаться и из со-

единения которых образуются все чувственно воспринимаемые объекты окружающего нас мира. В число таких «вещей» он включал бесчисленное множество качественно определенных веществ (к каковым относились ткани животных и растительных организмов, металлы, однородные минералы), позднее обозначенных Аристотелем термином «гомеомерии» (т. е. «подобочастные»), а также несколько пар «противоположностей» (тоже позднейший термин) — теплого и холодного, светлого и темного, сухого и влажного, разреженного и глотного.

Оригинальной чертой анаксагоровской теории материи был принцип «все во всем» или «во всем есть часть всего», означавший, что в любой вещи — как бы мала она ни была — содержатся все гомеомерии и все противоположности; воспринимаемые же нами свойства данной вещи определяются теми ее компонентами, которые в ней преобладают. Прямым следствием этого принципа было признание беспредельной делимости вещества. Роль противоположностей в системе Анаксагора и их соотношение с гомеомериями принадлежит к числу наиболее запутанных проблем ранней греческой науки. Наиболее вероятным представляется предположение, что в результате преобладания тех или иных противоположностей образуются эфир, воздух и прочие «стихии», которые у Анаксагора отнюдь не имели элементарного характера.

Отказавшись от идеи цикличности мирового процесса, которая была характерна для учений Анаксимандра (а может быть, и Анаксимена), Гераклита и Эмпедокла, Анаксагор развил эволюционную космогонию, согласно которой космос рождается однажды из некоего первичного состояния, а затем необратимо развивается в одном направлении. Первичное состояние (*panta homōū* — «все вместе») характеризуется смешением всех «вещей», когда мир представлял собой качественно неопределенную неподвижную массу. Под действием активного агента, который у Анаксагора именуется «нусом», т. е. Разумом (*noûs* — ум, разум), в каком-то участке первичной смеси внезапно возникает мощное круговращательное движение (*perichōrēsis*), которое затем распространяется вширь и захватывает все новые массы первичной смеси. Быстрое вращение обуславливает разделение этих масс на составляющие их компоненты, в первую очередь — на эфир (огонь) и воздух, которые занимают соответственно периферийную и внутреннюю области космического вихря.

В каждой из этих стихий содержатся всевозможные «семена», т. е. ничтожно малые частицы разнообразных веществ, отличающиеся друг от друга формами, цветами, вкусами и запахами. В дальнейшем из воздуха выделяются более плотные и темные компоненты — облака, вода, земля, камни. Согласно принципу «подобное стремится к подобному», происходит соединение сходных семян, образующих массы, воспринимаемые нашими органами чувств как однородные вещества. Этот принцип, вместе с разделяющим действием космического круговращения, оказывается достаточным для образования космоса. При этом не нужно упускать из виду, что весь ход космообразования и, следовательно, организация космоса в целом были как бы «запрограммированы» первичным толчком, осуществляемым Разумом. Если бы подобный толчок произошел где-то в другом месте первичной смеси, то и там возник бы мир, во всех отношениях подобный нашему. Вопрос о том, действительно ли возникают многие миры или же процесс космообразования осуществляется один-единственный раз, остается, строго говоря, открытым. Правда, античные источники причисляли Анаксагора к сторонникам второй альтернативы.

Космическое круговращение, по мысли Анаксагора, никогда не остановится, но оно будет все больше замедляться по мере вовлечения в него все новых и новых масс окружающей смеси и по мере происходящего при этом расширения космоса. В настоящее время это круговращение воспринимается нами в форме суточного вращения небесного свода. Земля, образовавшаяся из наиболее плотных и тяжелых веществ, замедлялась быстрее и в настоящее время пребывает неподвижной (или почти неподвижной?) в центре космоса. Она имеет плоскую форму и не падает вниз, будучи поддерживаемая находящимся под ней воздухом. Небесные светила были оторваны от земного диска силой вращающегося эфира и затем раскалились под его действием. Солнце — огромная пылающая глыба величиной с Пелопоннес. Звезды — раскаленные камни, которые иногда низвергаются вниз; именно таким образом Анаксагор объяснил поразившее греков падение большого метеорита в устье реки Эгоспотамы (468/67 г. до н. э.). Луна имеет более холодную природу; на ней имеются возвышенности и впадины и, возможно, она обитаема. Анаксагору принадлежит заслуга правильного объяснения не только солнечных, но и лунных

затмений. Он сформулировал также ряд гипотез для объяснения многих других астрономических и метеорологических явлений, к каковым относятся кометы и Млечный Путь, «повороты» Солнца и Луны, наклон небесной оси, молния, гром, дождь, снег, град, радуга и т. д. Несмотря на наивность большинства этих гипотез, они отражают характерное для Анаксагора (и, добавим, весьма прогрессивное для того времени) стремление объяснить все явления с помощью причин одного и того же рода. Никаких граней между Небом и Землей, между космологией и метеорологией Анаксагор не проводил. Его космос имел единую природу; это был земной космос, в нем не было ничего божественного и сверхъестественного. Именно в этом смысле надо понимать слова Маркса, что «Анаксагор... первый физически объяснил небо и таким образом — в другом смысле, чем Сократ — приблизил его к земле...».

К числу прочих особенностей физики Анаксагора надо еще отнести: релятивизм большого и малого, отрицание пустоты (о чем пишет Аристотель в «Физике»), идея бесконечно малых величин (по сути дела близкая к идее бесконечно малых величин в математике Нового времени — с той лишь разницей, что у Анаксагора речь идет не о математических, а о физических величинах) и, наконец, попытки качественно сформулировать некоторые закономерности механики («скорость порождает силу»). Все эти особенности придают учению Анаксагора своеобразие, выделяющее его среди других учений досократиков.

Биологии Анаксагор уделял меньше внимания, чем Эмпедокл, однако отдельные его идеи представляют интерес. Так, он учил, что живые существа развились из зародышей, образовавшихся во влажной среде в результате соединения семян, увлеченных каплями дождя, с семенами, находившимися в земле. Растения принципиально не отличаются от животных: они способны ощущать, печалиться и радоваться. Человек — самое разумное из всех животных потому, что он имеет руки. Ощущения возникают вследствие действия подобного на неподобное: контрастностью этого действия определяется интенсивность ощущения; в силу этого ощущения всегда относительны и не могут сами по себе быть источником истинного знания. Но и без них знание невозможно, «ибо явления суть зрение невидимого». Эти высказывания

Анаксагора подготавливали почву для теории познания Демокрита.

Имеются сведения, что Анаксагор занимался и математикой, в частности проблемой квадратуры круга и теорией перспективы. Однако детальной информации о его достижениях в этой области у нас нет.

Основное сочинение Анаксагора было написано прозой. В первой его части формулировались общие принципы и излагалась космогоническая концепция; в последующих частях рассматривались конкретные естественнонаучные вопросы. В конце V — начале IV вв. до н. э. знакомство с этим сочинением считалось обязательным для всякого образованного афинянина. До нас дошло около двадцати фрагментов, относящихся в подавляющем большинстве к первой части сочинения.

Атомистика Левкиппа — Демокрита

Создание и разработка атомистического учения в Древней Греции были заслугой Левкиппа и его ученика Демокрита.

О личности *Левкиппа* источники не сообщают практически ничего: мы не знаем ни места его рождения, ни имени его отца, и у нас отсутствуют какие бы то ни было сведения о его жизни и научной деятельности. По этой причине как в древности, так и в недавнее время высказывалось мнение, что никакого философа Левкиппа вообще не было и что это имя служило для обозначения некоего вымышленного персонажа или же было литературным псевдонимом Демокрита. Такой точки зрения придерживаются теперь лишь немногие ученые; самым существенным возражением против нее служит то, что наиболее древние и авторитетные источники, включая Аристотеля, не сомневались в существовании Левкиппа и, по-видимому, были знакомы с его сочинениями, которые они отличали от сочинений Демокрита.

О *Демокрите* мы имеем больше сведений. Он родился в городе Абдеры (на северном побережье Эгейского моря) приблизительно в 470—460 гг. до н. э.; как и Анаксагор, целиком посвятил себя науке, но в отличие от того много путешествовал. Сообщается о его пребывании в Египте, Персии и Вавилоне, где он познакомился с научными достижениями египетских жрецов, магов и халдеев. В качестве единственного учителя Демокрита предание назы-

вает Левкиппа. Умер Демокрит в первой половине IV в. до н. э.

Очень трудно отделить вклад, внесенный в науку Левкиппом, от более поздних достижений Демокрита. По вопросам общего характера, включая учение об атомах, между Левкиппом и Демокритом расхождений, видимо, не было. С большой долей вероятности можно предположить, что система Левкиппа включала основные положения атомистики и общую теорию мира (космогонию и космологию). Демокрит развил учение Левкиппа, превратив его во всеобъемлющую научную систему, заключавшую в себе наряду с учением о бытии и космосе также теорию познания, логику, этику, педагогику, математику, биологию, психологию и т. д. Энциклопедизм Демокрита и его литературная плодовитость, позволявшая по объему научной продукции сравнивать его с Платоном и Аристотелем, несомненно содействовали его славе в древности и были причиной того, что он затмил собой фигуру своего учителя Левкиппа. К сожалению, от сочинений Демокрита до нас дошло лишь некоторое количество коротких и в большинстве своем незначительных фрагментов; по этой причине его учение приходится восстанавливать главным образом на основе косвенных и не всегда надежных свидетельств.

По свидетельству Аристотеля, Левкипп пришел к атомистической концепции, пытаясь согласовать данные чувственных восприятий с аргументами Парменида о том, что истинное бытие не может ни возникать, ни уничтожаться, ни изменяться. В противовес элеатам он постулировал, что небытие существует несколько не менее, чем бытие, и это небытие есть пустота; сущее же в собственном смысле есть «полное» бытие, причем оно не едино; таких сущих бесконечное множество, и они невидимы вследствие малости своих объемов. Они отличаются друг от друга лишь величиной, формой и положением; они носят в пустоте и, соединяясь друг с другом, порождают всевозможные вещи. Эти единицы бытия неизменны, неделимы и абсолютно полны — во всем этом они подобны истинному бытию Парменида. Свойство неделимости побудило назвать их «атомами» (*atomoi*, что в буквальном переводе означает «нерассекаемые»).

Итак, согласно Левкиппу и Демокриту, в мире существуют лишь два начала — пустота и атомы. Пустота безгранична (Левкипп называл ее «великой пустотой»);

в ней нет ни верха, ни низа, ни центра, ни периферии. По-видимому, именно осознание идеи пустоты привело атомистов к идее бесконечного пространства, в столь четкой форме не осознававшейся ни более ранними мыслителями, ни Эмпедоклом, ни Анаксагором. В этом пространстве во всех направлениях беспорядочно носятся атомы; наглядным образом, позволяющим представить себе движение атомов в пустоте, были для Демокрита пылинки, пляшущие в солнечном луче. Атомы обладают выпуклостями, углублениями и крючкообразными зацепками, благодаря которым они могут при столкновениях сцепляться, образуя более или менее устойчивые соединения. Сцепление большого числа атомов вызывает возникновение огромных вихрей, которые в конечном счете приводят к образованию миров. При возникновении космического вихря прежде всего образуется внешняя оболочка, подобная пленке или скорлупе, отгораживающей мир от внешнего пустого пространства. Эта пленка препятствует атомам, находящимся внутри вихря, вылетать наружу и, таким образом, обеспечивает стабильность образующегося космоса. Внутри же этой оболочки происходит обособление различных видов атомов: подобные из них соединяются с подобными, причем более крупные атомы оказываются в центре космоса, образуя Землю, а более мелкие устремляются к периферии. Тяжесть не является первичным свойством атомов, а возникает как вторичный эффект в процессе космообразования. Земля имеет форму барабана (тимпана) с вогнутыми основаниями; в начале она была невелика и вращалась вокруг своей оси, но потом, став плотнее и тяжелее, перешла в неподвижное/состояние.

Не совсем ясно, как представляли себе атомисты происхождение небесных светил. По-видимому, они полагали, что Солнце, Луна и звезды первоначально находились вне нашего мира и лишь впоследствии были захвачены вихревым движением, войдя в состав космоса. Здесь обнаруживается конкретное расхождение между взглядами Левкиппа и Демокрита. А именно, Левкипп полагал, что ближе всего к Земле находится Луна, дальше всего — Солнце, а в промежутке расположены прочие небесные тела (ср. последовательность космических кругов, или «колес», у Анаксимандра). У Демокрита этот порядок исправлен и неподвижные звезды отодвинуты к периферии космоса, причем между Луной и Солнцем он поме-

стил еще планету Венеру (нет ли здесь влияния вавилонян, уделявших, как мы знаем, очень большое внимание Венере?). Прочие планеты у него не специфицируются.

При описании конкретных астрономических и метеорологических явлений Демокрит во многом следовал Анаксагору. В то же время от Анаксагора (и Эмпедокла) его отличает концепция множественности миров, которые могут сильно отличаться от нашего. Некоторые миры оказываются лишенными Солнца и Луны, в других Солнце и Луна больше наших или же имеются в большем числе; могут возникать и такие миры, которые не имеют животных и растений и вовсе лишены влаги. Миры образуются на разных расстояниях друг от друга и в разное время; одни только еще зародились, другие (как, например, наш мир) находятся в расцвете, а третьи разрушаются. Причиной гибели миров могут быть их столкновения друг с другом.

В основе этой величественной и не имевшей себе прецедентов в истории греческой мысли картины мироздания лежали определенные методологические предпосылки. Одной из них была идея необходимости, определявшей все происходящее в мире. В единственном дошедшем до нас отрывке, приписываемом Левкиппу, мы читаем: «Ни одна из вещей не возникает попусту, но все совершается по закону и в силу необходимости. Эту необходимость, однако, не следует понимать в духе механистического детерминизма Нового времени. Совершающимся по необходимости греки называли то, что происходит как под влиянием внешних воздействий, так и в силу внутренних причин, присущих самому процессу (т. е. «по природе»), но только не в результате чьего-либо ведения или решения, все равно — божеского или человеческого. Большую роль в сочинениях Демокрита играла также идея причинности, об интересе Демокрита к исследованию причин свидетельствует ряд заглавий его сочинений («Причины небесных явлений», «Причины, относящиеся к животным», «Причины смешанного рода» и т. д.). Для историка физики представляет интерес, что Демокрит пытался обосновать атомистику с помощью аргументов, основанных на наблюдениях над реальными процессами (например, над сжимаемостью тел).

Интересна демокритовская концепция происхождения живых существ. Первоначально Земля была влажной, плоподобной; в этом иле под влиянием теплоты возникло

брожение или гниение, порождавшее пузыри, в которых зародились первые живые существа. Как и Эмпедокл, Демокрит полагал, что первоначально наряду с существующими теперь видами образовались уроды и чудовища, но они оказались неприспособленными к жизни и к размножению и потому вымерли. Те же, которые выжили, стали в дальнейшем размножаться путем совокупления. В зависимости от различия атомов, образующих тела этих существ, одни из них стали летать, другие плавать в воде, третьи жить на суше. На долю человека пришлось больше тепла и мелких, круглых атомов, чем на долю других организмов, поэтому человек ходит прямо и касается земли только двумя ступнями.

Душа, по Демокриту, состоит из мелких шарообразных совершенно гладких и очень подвижных атомов, тождественных атомам огня. Душа имеется не только у человека и животных, но также у растений. Она не сосредоточена в какой-то одной части организма, но распределена по всему телу, причем между каждыми двумя атомами души находятся атомы других веществ. Благодаря душе организм способен двигаться, ощущать, испытывать эмоции и мыслить. Мыслительная функция осуществляется частью души, находящейся в головном мозге, прочие функции — атомами души, разлитыми по другим органам. Душа сохраняется в теле и увеличивается благодаря дыханию, но она умирает вместе со смертью тела, рассеиваясь в пространстве. Атомы души носятся в воздухе повсюду; соединяясь вместе, они образуют пламя, попадая же в тело, они включаются в состав души данного живого существа.

В основе демокритовской теории ощущений лежит представление об «образах» (*eidōla*). Развивая взгляды Эмпедокла, Демокрит полагал, что от каждого тела во все стороны исходят истечения, представляющие собой тончайшие слои атомов, отделяющихся от поверхности тела и несущихся в пустоте с величайшей скоростью. Эти-то истечения Демокрит и называл «образами»; они попадают в глаза и другие органы чувств и оказывают действие на подобные им атомы, находящиеся в нашем теле (по принципу «подобное действует на подобное»); это действие передается затем атомам души. Все ощущения и восприятия являются результатом взаимодействия атомов, из которых составлены образы, с атомами соответствующих органов чувств. Так, ощущение белого цве-

та вызывают в нашем глазу гладкие атомы, черного — шероховатые. Но если те же гладкие атомы, которые в глазу вызывали ощущение белого цвета, попадут на язык, они вызовут ощущение сладости, а попав в нос — ощущение благовония. ✓

Будучи сыном своего времени, Демокрит не отрицал существования богов. Боги, как и все прочие вещи, состоят из атомов и потому не бессмертны, но это — очень устойчивые соединения атомов, недоступные нашим органам чувств. Однако при желании боги дают о себе знать образами, которые чаще всего воспринимаются нами во сне. Эти образы могут приносить нам вред или пользу, иногда они разговаривают с нами и предсказывают будущее. Таким образом, даже мантику и другие подобные предрассудки Демокрит обосновывал с помощью атомистического учения.

В своей теории познания Демокрит также исходил из атомистики. Поскольку мир и все находящиеся в нем вещи состоят в конечном счете из атомов и пустоты, то чувственно воспринимаемые качества — сладкое и горькое, теплое и холодное, белое и черное и т. д. — существуют только во мнении людей, но не в реальной действительности; в этом смысле ощущения ложны и не дают истинного представления об окружающем нас мире; истина же может быть получена лишь с помощью размышления. С другой стороны, единственным материалом для размышления оказываются все те же ощущения, т. е. данная в опыте видимость вещей. Поэтому ощущения не бесполезны, а служат исходным этапом на пути к истинному познанию: этот исходный этап Демокрит называл «темным» познанием, противопоставляя его «истинному» познанию, к которому может привести только разум.

Демокриту приписывается ряд сочинений по математике («О числах», «О касании круга и шара», «О геометрии», «Об иррациональных отрезках» и т. д.). Древние считали, что он открыл, — правда, не дав доказательств, — формулы для объема конуса и пирамиды (возможно, впрочем, что эти формулы принадлежали к числу сведений, приобретенных им в странах Востока). Геометрия строилась Демокритом, по-видимому, на основе идеи об атомистической структуре пространства: линии, поверхности, объемы считались им состоящими из большого числа конечных, но далее неделимых элементов. Идя этим путем, Демокрит пытался обойти парадоксы Зенона

и построить непротиворечивую систему математики. Большой вклад в реконструкцию атомистической математики Демокрита был внесен профессором С. Я. Лурье; соображения, высказываемые им по этому вопросу, крайне интересны и остроумны, хотя и не всегда могут считаться бесспорными.

Дальнейшее развитие греческой математики пошло не по пути Демокрита, а по пути исследования непрерывных, т. е. безгранично делимых величин. Атомистика, будучи чрезвычайно плодотворной в качестве физической гипотезы, не могла послужить основой для построения рациональной математики. Атомистическую математику можно было считать продуктивной лишь в качестве зародыша, из которого впоследствии развились методы интегрального исчисления.

Мы оставляем в стороне этические, политические и педагогические воззрения Демокрита, не имеющие прямого отношения к науке в собственном смысле слова. Но и изложенного достаточно, чтобы оценить грандиозность подвига Демокрита, сумевшего создать всеобъемлющую систему на основе единого естественнонаучного принципа.

Отдельные научные дисциплины в VI—V вв. до н. э.

Наряду с универсальными построениями, характерными для ранней греческой науки «о природе», в VI—V вв. до н. э. возникли и некоторые более частные дисциплины, либо с самого начала развивавшиеся самостоятельно, либо постепенно отделившиеся от основного физико-космологического направления.

Историко-географические описания. Особой ветвью ионийской науки, возникшей почти одновременно с наукой «о природе», были историко-географические описания, материалом для которых служили мифы, народные предания, собственные наблюдения, рассказы и записи путешественников. Авторы этих описаний получили позднее общее наименование логографов. В числе наиболее ранних логографов традиция называет двух милетцев — *Кадма* и *Гекатея*. О первом мы не знаем ничего, кроме имени, что же касается Гекатея, жившего во второй половине VI в. до н. э., то он написал два больших сочинения: «Генеалогия» и «Обозрение Земли», от которых до нас дошел ряд отрывков. Уже сами их заглавия пока-

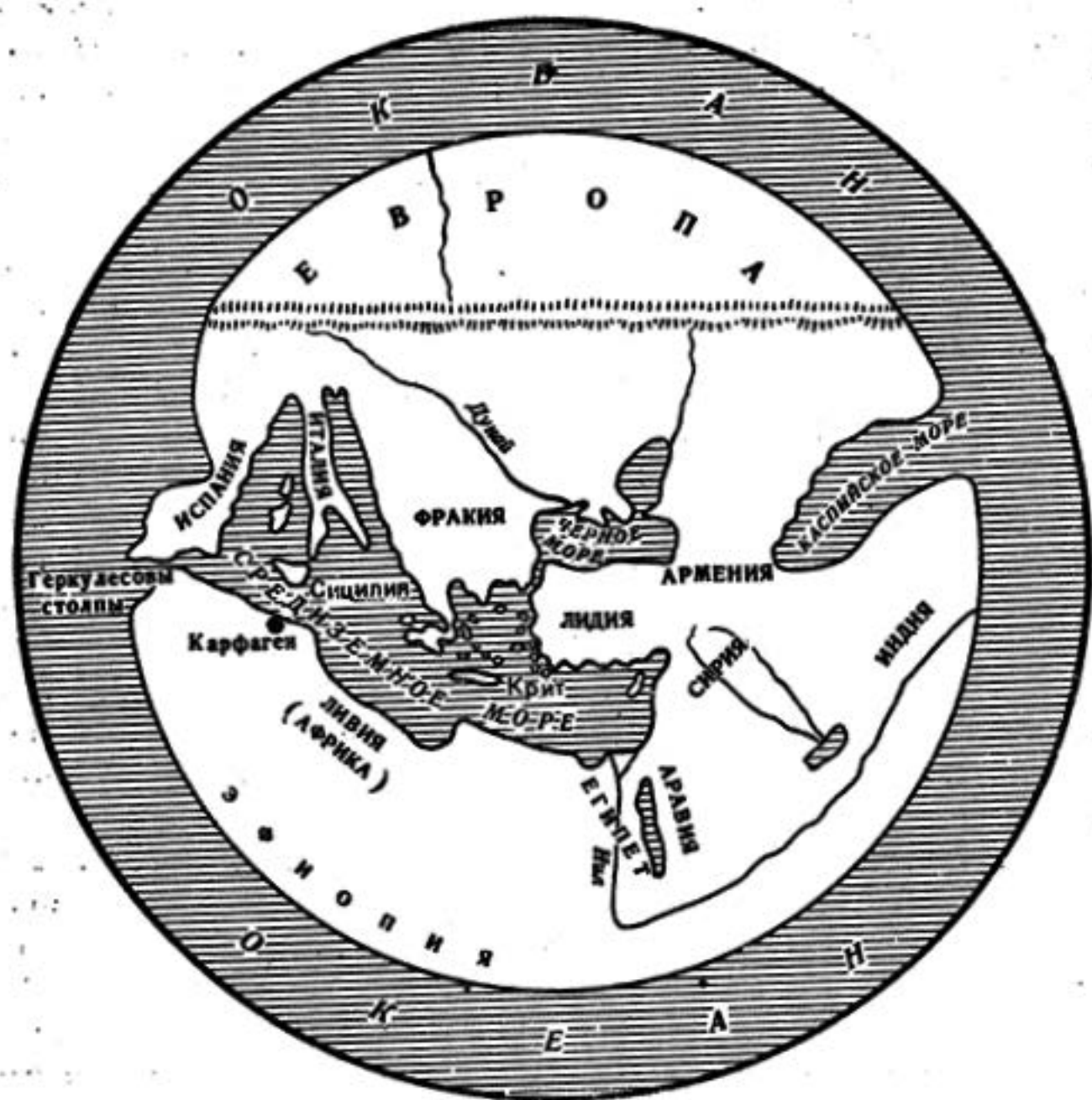


Рис. 1. Карта мира по Гекатею

зывают, что одно из них имело по преимуществу исторический характер, а второе, интересующее нас в первую очередь, содержало описание известной к тому времени ойкумены (обитаемой области Земли). Оно состояло из двух частей, посвященных соответственно Европе и Азии. Следуя почину Анаксимандра, Гекатей приложил к нему географическую карту, на которой поверхность Земли была представлена в виде диска, омываемого со всех сторон Океаном. Центр диска оказывался где-то в районе Эгейского моря. Все большие реки — Дунай, Нил, Фасис (Рион) — Гекатей считал вытекающими из Океана (рис. 1). Геометрический схематизм Гекатея был подвергнут критике позднейшими географами, но для целей первой ориентировки он представлял известные удобства.

В V в. до н. э. во многих областях Эллады имелись логографы, описывавшие предания, обычаи и события соответствующего народа или государства. Из них наиболее известны имена *Акусилая* из Аргоса и *Гелланика* с острова Лесбос. Общую характеристику литературы этого рода дает Дионисий Галикарнасский (конец I в. до н. э.— начало I в. н. э.). Он сообщает, в частности, что в его время сочинения логографов еще не были утеряны и охотно читались. Причина их популярности заключалась, очевидно, в присущей им занимательности; многие из этих сочинений были, по-видимому, чем-то вроде сборников новелл, сравнительно слабо связанных друг с другом. Критикуя своих предшественников, историк Пелопоннесской войны Фукидид (конец V в. до н. э.) указывает, что они в своих сочинениях стремились скорее к тому, чтобы вызвать интерес у слушателей, чем к истине. Из этих слов, в частности, следует, что логографы имели обыкновение читать свои произведения перед более или менее многолюдной аудиторией, подобно тому как рапсоды читали эпические поэмы.

Высшей точкой развития жанра историко-географической литературы явились знаменитые девять книг Геродота из Галикарнасса (ок. 480—425 гг. до н. э.). Геродот часто именуется «отцом истории», и, действительно, его монументальный труд стал первым классическим памятником исторической науки. Однако наряду с чисто историческим материалом в его книгах содержатся описания многих стран, которые в большей или меньшей степени были известны грекам того времени. В этих описаниях мы находим массу ценной информации о природе этих стран, о населявших их народах, включая их образ жизни, обычаи, религиозные верования и т. д. В целом по книгам Геродота можно составить достаточно полное представление о географическом кругозоре греков середины V в. до н. э.

Геродот хорошо знал страны, непосредственно прилегавшие к Средиземному и Черному морям, но обо всем, что лежало за пределами этой области, он имел лишь весьма смутное представление. Например, ему было известно о существовании на востоке Индии, которая, согласно его описаниям, была полна диковин и изобиловала золотом; за Индией же, по его словам, простираются пески и пустыня. Если о скифах Геродот сообщает достаточно полную и точную информацию, то сведения о странах

и народах, находившихся к северу от Скифии (под которой подразумевалось северное Причерноморье между Дунаем и Доном), у него путанны и неправдоподобны. Почти все, что Геродот сообщает об Аравии, относится к области сказочных небылиц. С другой стороны, его описания Персии и Египта основаны на собственных наблюдениях и на информации, полученной им непосредственно на местах, поэтому долгое время они были важнейшим источником сведений об этих странах. Африканскую территорию к западу от Египта (Ливию) Геродот делил на две зоны: страну, населенную дикими зверями, а затем — бесплодную пустыню, о размерах которой у него не было определенного мнения.

После Геродота происходит обособление исторической науки и географии. Фукидид, Эфор и Феопомп (конец V—IV вв. до н. э.) выступают в качестве чистых историков. Что же касается дальнейшего развития географии, то о ней речь пойдет ниже.

Медицина. Медицину, в силу ее сугубо прикладной направленности, мы не можем считать наукой в собственном смысле слова. В древности она относилась скорее к разряду ремесел и была одной из самых старых профессий, первоначально сливавшейся с магией и колдовством. В рассматриваемую нами эпоху греческая медицина приняла уже вполне рациональный характер и, будучи тесно связана с опытом и наблюдением, оказала громадное влияние на развитие научных методов исследования.

Наиболее ранние сведения из области греческой медицины мы находим в поэмах Гомера. В «Илиаде» речь идет преимущественно о военной медицине, отличавшейся сравнительно высоким уровнем анатомических знаний и требовавшей, с одной стороны, хирургического искусства, а с другой — умения изготавливать и применять лекарственные снадобья (главным образом растительного происхождения), служившие как для облегчения болей, так и для заживления ран. Наряду с этим у Гомера (главным образом в «Одиссее») имеются места, свидетельствующие о наличии в ранней греческой медицине элементов первобытной магии, а также о ее связях с египетской медициной. Отметим, что термин «фюсис», рассмотренный в начале этой главы, впервые встречается также у Гомера («Одиссея», X, 103), причем, по всей видимости, он уже в то время имел отношение к медицинской терминологии.

В VI—V вв. до н. э. в Греции существовало несколько медицинских школ, пользовавшихся известностью. Представителем кротонской (италийской) школы был придворный врач персидского царя Демокед, упоминаемый Геродотом; к ней же принадлежал и Алкмеон, о котором будет сказано ниже. Основателем сицилийской школы считался философ Эмпедокл; для нее была характерна тесная связь с религиозно-этической доктриной пифагорейцев. Знаменитая книдская школа продолжала эмпирические традиции египетских и вавилонских врачей, детально описывая отдельные комплексы болезненных симптомов и для каждой болезни разрабатывая свою терапию, включавшую сложные рецепты, диетические предписания и широкое применение местных средств, например прижиганий. Сочинения врачей книдской школы до нас не дошли, но их отдельные фрагменты, по-видимому, вошли в состав некоторых трактатов свода Гиппократов. В источниках упоминаются также родосская и киренская школы, но о них мы практически ничего не знаем.

Особое место в истории ранней греческой науки занимает кротонский врач и философ Алкмеон (конец VI — начало V вв. до н. э.). Он был близок к пифагорейцам и развивал взгляды, лежавшие в русле физико-космологической традиции науки «о природе». Однако его значение состоит в другом, а именно в том, что он может в какой-то степени считаться предшественником экспериментальной физиологии и анатомии. По имеющимся сведениям, именно он был первым, кто начал практиковать вскрытие трупов животных в целях изучения строения и функций отдельных органов. Признав мозг важнейшим органом и местопребыванием души, Алкмеон дал исторически наиболее раннее учение об ощущениях, дошедшее до нас в изложении Теофраста. Ему приписывается также открытие нервов, ведущих от органов чувств к головному мозгу.

Большое влияние на медицинские концепции последующего времени оказало учение Алкмеона о здоровье, в основе которого лежала идея равновесия противоположных «сил» — теплого и холодного, сухого и влажного, сладкого и горького и т. д. Заболевание организма, по мнению Алкмеона, вызывается нарушением этого равновесия.

Наибольшую славу уже в древности приобрела кос-

ская медицинская школа, неразрывно связанная с именем Гиппократа, уроженца острова Кос, жившего во второй половине V в. до н. э. Гиппократу приписывалось свыше 70 медицинских книг, в своей совокупности составивших так называемый «Свод Гиппократ» («*Corpus Hippocraticum*»). Книги эти крайне разнородны, и ныне считают, что сам Гиппократ мог быть автором лишь некоторых из них, остальные же написаны в разное время его учениками и последователями. В целом Свод дает весьма полную картину медицинской теории и практики рассматриваемой эпохи.

Основная черта гиппократовой медицины — строгий рационализм, выступающий здесь в качестве сознательно проводимой тенденции. В этой связи очень характерно сочинение «О священной болезни», в котором опровергается традиционное мнение об эпилепсии как особой болезни, имеющей божественное происхождение. По мнению автора этого трактата, все болезни — и эпилепсия в этом отношении не представляет исключения — вызываются естественными причинами, которые необходимо выяснить и исследовать, чтобы выработать правильные и эффективные методы лечения. В трактате содержится резкая полемика с теми, кто пользуется для излечения болезней заклинаниями и методами религиозно-мистического очищения. По мнению большинства исследователей, эта полемика направлена в первую очередь против врачей сицилийской школы, о которой было упомянуто выше.

Вторая особенность гиппократовой медицины состоит в требовании индивидуального подхода в каждом конкретном случае, определяемого особенностями как самого пациента, так и той естественной среды, в которой он находится. При этом гиппократики широко пользовались понятием «природы» (фюсис), которое у них приобретает поистине универсальное значение. Прежде всего в применении к пациенту «природа» означает совокупность особенностей его телесной и духовной конституции, обусловленных происхождением, наследственностью и действием окружающей среды. Чтобы вылечить больного, врач должен уяснить его «природу» и применить такие методы лечения и такие лекарства, которые не противоречат этой «природе», а согласуются с нею. При этом нужно учитывать «природу» не только организма в целом, но и отдельных его органов. Далее, у каждой болезни также есть своя «природа», которую врач должен знать, чтобы

умело направить течение недуга в благоприятную для пациента сторону. Наконец, необходимо использовать «природу» естественной среды, в которой находится больной: особенности климата, характер ветров, свойства воды и т. д. В трактате «О воздухах, водах и местностях», считающемся одной из самых ранних книг Гиппократова свода, излагается влияние этих естественных факторов на «природу» местных жителей и на характер болезней, которым те подвержены. Основной совет, который дается в этой книге странствующему врачу (а таким был, по-видимому, и сам Гиппократ), — по прибытии на новое место первым делом изучить именно эти естественные факторы, чтобы знать их вредное влияние и уметь использовать их целительную силу.

Понятно, что в эпоху Гиппократа медицина еще не имела под собой твердой основы — научной физиологии. Представления гиппократиков о функционировании человеческого организма были весьма наивными и путанными. В то же время в отдельных книгах Свода обнаруживается тенденция нащупать более надежный фундамент, на который могла бы опереться врачебная практика. Так, автор трактата «О древней медицине» возражает против вторжения в медицину современных ему философских концепций (например, учения о четырех элементах Эмпедокла), противопоставляя им гуморальную патологию, которой будто бы придерживались древние врачи и которая объясняет заболевания нарушением равновесного состояния между «соками» (chymoi), определяющими жизнедеятельность организма. Однако по поводу числа и характера этих соков у гиппократиков не было единого мнения: в одних книгах такими соками признаются слизь и желчь, в других — кровь, слизь, вода и желчь, в третьих — кровь, слизь, желтая и черная желчь (точка зрения, которая в дальнейшем стала господствующей и легла в основу учения о четырех темпераментах). Наконец, в трактате «О ветрах» в качестве основного агента, определяющего состояние организма, называется пневма (т. е. воздух). В целом же для гиппократовой медицины характерно отрицание беспочвенного теоретизирования и выдвижение на первый план эмпирических методов исследования, основанных на наблюдении и опыте. И это — третья важнейшая особенность гиппократовой медицины, оказавшаяся особенно плодотворной для развития методов научного естествознания.

Описание конкретных клинических случаев, приводимое в некоторых трактатах Свода, поражает своей точностью и объективностью. В качестве примера приведем два описания, содержащиеся в III книге «Эпидемий» (каждое из них заканчивается лаконичным диагнозом):

«Женщина, жившая у Аристиона, была поражена ангиной. У нее она началась с языка; голос нечистый; язык красный, высыхал. 1-й день — мелкая дрожь, сопровождаемая жаром; на 3-й день — озноб, острая лихорадка; опухоль твердая и красного цвета распространилась на шею и на грудь с двух сторон; конечности холодные, сине-багровые; дыхание поверхностное; питье выливалось через ноздри; больная не могла глотать; стул и моча прекратились. На 4-й день все обострилось; на 5-й день она умерла. Ангина».

«Молодой человек, который жил на площади Лжецов, был охвачен сильной лихорадкой после усталости, тяжелого труда и непривычного бега. 1-й день: расстроенный желудок; выделения желчные, тонкие, обильные; моча тонкая, черноватая; не спал; жажда. На 2-й день все обострилось: стул более обильный, несвоевременный; совсем не спал; расстройство сознания; небольшой пот. На 3-й день тягостное состояние; жажда, тошнота; сильное беспокойство, тоска; галлюцинировал; конечности синие и холодные; напряжение подреберий с двух сторон, без большого вздутия. На 4-й день совсем нет сна; состояние больного ухудшилось. На 7-й день умер; ему было около двадцати лет. Острое заболевание».

Ничего подобного этим описаниям мы не находим в европейской медицинской литературе вплоть до XVI в. Каждое описание — сухой, бесстрастный перечень симптомов; лишь в редких случаях сообщается предписанное лечение. Характерно, что из 42 случаев, описанных в двух книгах «Эпидемий», 25 (т. е. около 60%) окончились смертью; таким образом, автор отнюдь не ставит целью рекламировать свое искусство.

В других книгах Свода сообщаются детальные лечебные предписания. В этом отношении интересен трактат «О внутренних страданиях» (написанный, как считают, под большим влиянием книдской медицинской школы). Каждая глава трактата содержит краткое описание причин и симптомов данной болезни, после чего следуют указания по ее лечению. Подробно описываются рекомендуемые лекарства, включая способы их приготовления и до-

зировки; даются предписания по поводу диеты и режима больного; в конце указывается прогноз.

Но особой славой как в древности, так и в Новое время пользовался трактат «О переломах», приписываемый большинством исследователей самому Гиппократу. Как и в других трактатах Свода, автор полемизирует против невежества и шарлатанства многих современных ему лекарей, а затем рассматривает различные виды костных переломов и вывихов, в каждом случае приводя детальное описание приемов лечения. В изложении чувствуется громадный личный опыт автора. Теоретические спекуляции в этом трактате полностью отсутствуют.

Изучение отдельных сочинений Свода Гиппократа показывает, что анатомические знания в Греции поднялись к этому времени на более высокий уровень по сравнению со странами Древнего Востока или с эпохой Гомера. Особенно хорошо был изучен скелет. Основные внутренние органы также были известны, хотя о детальном их строении знали мало, что объясняется существовавшим в Древней Греции запрещением вскрывать трупы умерших. В отношении функций мозга в различных книгах Свода высказываются противоречивые мнения. В одних случаях мозг рассматривается как железа, освобождающая организм от излишней жидкости, в других как орган, вырабатывающий семя, и только в одном из трактатов («О священной болезни») содержится догадка о связи с мозгом не только мышления, ощущений, эмоций, сновидений (эта мысль высказывалась еще Алкмеоном Кротонским), но и психических заболеваний.

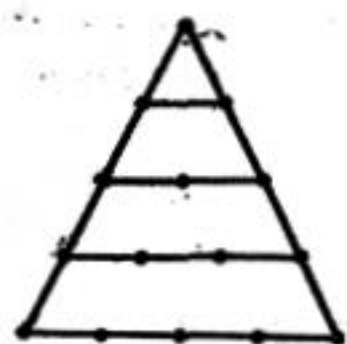
Об эмбриологических представлениях гиппократиков мы знаем по книге «О семени и природе ребенка». Принципиальные положения, выдвигаемые автором, не поднимаются выше того, что писали по этому поводу досократики, в частности Демокрит: семя происходит из всех частей как отцовского, так и материнского тела; от «силы» и количественного преобладания мужского или женского семени зависит, будет ли ребенок мальчиком или девочкой, а также, на кого из родителей он будет больше похож. Наряду с этим в трактате содержатся интересные наблюдения над развитием раннего человеческого зародыша и проводятся аналогии между развитием человека, с одной стороны, растений и животных (цыпленка) — с другой.

В заключение укажем, что Гиппократу приписывается формулировка основных положений врачебной этики. Так называемая «Клятва Гиппократа» в большей своей части сохраняет значение и в наше время.

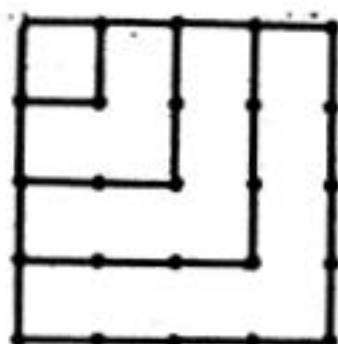
Математика в V — начале IV вв. до н. э. К моменту зарождения науки «о природе» греки, несомненно, уже обладали определенным запасом математических знаний, в значительной мере заимствованных у египтян и вавилонян. Но эти знания имели чисто прикладной характер, были случайны, разрозненны и потому не составляли науки. Они имели скорее ремесленный характер, ибо сводились к искусству счета, к умению более или менее точно определять площади, находить объемы и, может быть, решать еще какие-то задачи, с которыми грекам доводилось встречаться в их практической деятельности.

Согласно преданию, дошедшему до ученика Аристотеля Евдема, Фалес был первым, проявившим теоретический интерес к некоторым простейшим геометрическим соотношениям. Но даже если это было и так, Фалес, по-видимому, не имел в этом деле прямых продолжателей: ни о ком из последующих мыслителей-ионийцев не сообщается, что они сколько-нибудь серьезно занимались математикой. Следует поэтому согласиться с мнением древних авторов, утверждавших, что заслуга создания математики как теоретической дедуктивной дисциплины принадлежит в основном пифагорейской школе.

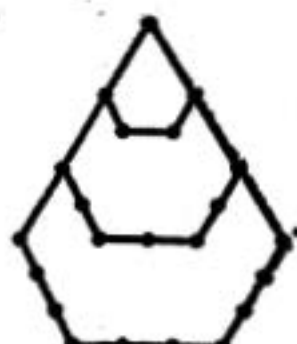
Разумеется, это произошло не сразу и не было делом одного лишь Пифагора, как бы он ни был гениален. На ранних этапах существования пифагорейской школы интерес к числу носил религиозно-мистическую окраску. Числам — особенно числам, находившимся в пределах первой десятки, — приписывались особые, сверхъестественные свойства. Эти числа были не просто числа: они составляли сущность окружающего мира, ибо все многообразие вещей и явлений сводилось в конечном счете к числовым соотношениям. Такое отношение к числу было чревато последствиями колоссальной важности. Числа, ранее принадлежавшие к сфере ремесла и практической деятельности, приобрели у пифагорейцев высший онтологический статус. Пифагорейцы начали изучать числа не потому, что это было им нужно для чего-то другого, а потому, что ничего более достойного изучения они не знали.



1, 3, 6, 10, 15...



1, 4, 9, 16, 25...



1, 5, 12, 22...

Рис. 2. Схемы получения рядов треугольных, квадратных и пятиугольных чисел

Отсутствие письменных документов не позволяет сколько-нибудь надежно восстановить последовательность открытий, которые делались в пифагорейской школе. Прежде всего они ввели противопоставления: единица — множество и чет — нечет. Разделению чисел на четные и нечетные придавалось у них особое значение. В связи с этим была тщательно изучена проблема делимости на два (соответствующая теория была воспроизведена *Евклидом* в IX книге «Начал»). Затем было обращено внимание на то, что некоторые числа (простые) делятся только на самих себя, другие же могут быть представлены в виде произведения двух или большего числа сомножителей. Простые числа пифагорейцы называли «линейными», числа, являвшиеся произведениями двух или трех простых сомножителей, соответственно — «плоскими» или «телесными».

Далее, из натурального ряда были выделены ряды «треугольных», «квадратных», «пятиугольных» и т. д. чисел. Смысл этих обозначений становится ясным из рис. 2, на котором приведены геометрические построения, дающие возможность получать соответствующие ряды.

Путем аналогичных пространственных построений пифагорейцы получали также «кубические», «пирамидальные» и т. п. числа.

Дальнейшая разработка делимости целых чисел привела пифагорейцев к идее рациональной дроби. В V в. до н. э. греки научились оперировать с дробями типа m/n , производя с ними все четыре действия, — с тем ограничением, что вычитать можно было лишь из большего меньшее число (заметим, что египтяне умели производить действия с дробями, но только выражая их в виде дробей типа $1/n$). Историки математики предполагают, что к концу V в. до н. э. в Греции уже была по-

строена общая теория делимости, содержащая в качестве частного случая теорию делимости на 2. Позднее эта теория вошла в состав VII книги Евклида.

Параллельно с арифметикой развивалась также геометрия. Но здесь информация, ~~которой мы располагаем~~, носит еще более скудный характер. Пифагорейцев прежде всего привлекали свойства фигур (треугольников, квадратов и т. д.), которые могут быть выражены числовыми отношениями. Нетрудно понять, что особый интерес у них вызвало соотношение между сторонами прямоуг-гольного треугольника, получившее наименование теоремы Пифагора. Правда, мы не знаем, каким образом и когда было получено доказательство этой теоремы; то доказательство, которое приводится в «Началах» Евклида несомненно имеет более позднее происхождение.

Примерно около середины V в. до н. э. было обнаружено существование несоизмеримых отрезков, т. е. таких, отношение которых друг к другу не может быть выражено не только целым числом, но и любым отношением целых чисел. К их числу принадлежат, например, сторона квадрата и его диагональ. Имеются основания предполагать, что автором открытия был пифагореец Гиппас из Метапонта; с его именем связаны легенды, на которых мы не будем останавливаться. Мы не знаем, каким путем Гиппас пришел к своему открытию; по этому поводу исследователями античной математики выдвигались различные гипотезы.

Открытие несоизмеримости явилось поворотным пунктом в истории греческой математики; по своему значению для того времени оно может быть сопоставлено с открытием неевклидовых геометрий в XIX в. Оно означало крах ранних пифагорейских представлений о том, что соотношения любых величин могут быть выражены через отношения целых чисел. О том резонансе, который вызвало это открытие в образованных кругах греческого общества, свидетельствует ряд мест в сочинениях Платона и Аристотеля, где обсуждаются вопросы несоизмеримости. Вслед за простейшими случаями несоизмеримостей начали изучаться более сложные. Пифагореец Феодор из Кирены (вторая половина V в. до н. э.) показал, что стороны квадратов с площадями 3, 5, 6, 7, ..., 17 несоизмеримы со стороной единичного квадрата. А ученик Феодора *Теэтет*, бывший современником и другом Платона, дал первое общее учение об иррациональных величи-

нах («невыразимых», как говорили греки). Прежде всего он показал, что если площадь квадрата выражается целым числом N , которое не является второй степенью другого целого числа, то его сторона всегда будет несоизмерима со стороной единичного квадрата. Далее Теэтет распространил доказательство иррациональности на числа типа $\sqrt[3]{N}$ (где N не есть третья степень другого целого числа), $\sqrt{N} + \sqrt{M}$ и $N + \sqrt{M}$ (так называемые «биноминали»), $\sqrt{N} - \sqrt{M}$, $N - \sqrt{M}$ и $\sqrt{N} - M$ («апотомы») и $\sqrt{\sqrt{N} \cdot \sqrt{M}}$ («медиаля»). Изложение результатов Теэтета содержится в X книге «Начал» Евклида.

Обнаружение несоизмеримых отрезков и тем самым открытие иррациональных («невыразимых») величин поставило греческих математиков перед проблемой первостепенной важности. Каков мог быть выход из трудного положения, в котором оказалась математика в результате этого открытия? Одним из возможных был путь, по которому пошла математика Нового времени, — путь обобщения понятия числа и включения в него более широкого класса математических величин — как рациональных, так и иррациональных. При этом греки могли бы начать разработку чисто аналитических методов решения математических задач. Но они к этому еще не были подготовлены (заметим, кстати, что в греческой математике того времени отсутствовало как понятие нуля, так и понятие отрицательных величин). Поэтому греки избрали другой путь — путь геометризации математики. В результате возникла геометрическая алгебра, позволявшая на основе использования наглядных геометрических образов решать чисто алгебраические задачи; о ее характере мы можем судить по II книге Евклида и по произведениям Архимеда и Аполлония. Эта дисциплина, бывшая типичным детищем эллинского духа, начала закладываться во второй половине V в. до н. э.; она основывалась на античной планиметрии, представлявшей собой геометрию циркуля и линейки, и была приспособлена для решения квадратных уравнений и некоторых других классов алгебраических задач. Но ее возможности были ограничены, и в дальнейшем греческая геометрическая алгебра оказалась тормозом, препятствовавшим свободному развитию математической мысли в древности.

В процессе создания геометрической алгебры греческие математики разработали теорию пропорций, приспособив

ее для оперирования с несоизмеримыми отрезками. При этом было сформулировано новое определение пропорциональности, которое оказалось в равной степени применимым как для рациональных, так и для иррациональных величин. Теорией пропорций занимались Гиппас Метапонтский, Гиппократ Хиосский, Архит Тарентский и другие математики V и начала IV вв. до н. э. Свое завершение теория пропорций нашла в общей теории отношений, разработанной величайшим математиком IV вв. до н. э. Евдоксом Книдским, о котором речь в следующей главе.

Что касается чистой геометрии, то к началу IV в. до н. э. было в основном завершено логическое построение планиметрии, включавшей в себя теорию параллельных, определение сумм углов треугольника и площадей многоугольников, теорему Пифагора, теорию дуг и хорд в круге, построение правильных многоугольников и вычисление площади круга. Первое систематическое изложение геометрии было дано Гиппократом Хиосским. Из достижений самого Гиппократа широкую известность получила так называемая «теорема о луночках», изложение которой можно найти в любом курсе истории математики.

Наряду с планиметрией в V в. до н. э. начала развиваться и стереометрия. Если ранним пифагорейцам были известны только три правильных многогранника — тетраэдр, куб и додекаэдр, то в дальнейшем к ним прибавились еще два — октаэдр и икосаэдр. А в IV в. до н. э. Теэтет уже дал общую теорию правильных многогранников. Выше уже было сказано о том, что Демокриту приписывалось открытие формул для объемов конуса и пирамиды. Следует также отметить, что в связи с развитием театральной техники возникла потребность в разработке теории перспективы. Автором первого сочинения (может быть, просто инструкции?) по этому вопросу источники называют художника Агафарха, вслед за которым о теории перспективы будто бы писали Анаксагор и Демокрит.

Большую популярность в V в. до н. э. приобрели три геометрические задачи, которые оказались неразрешимы средствами геометрии циркуля и линейки: 1) удвоение куба; 2) трисекция угла; 3) квадратура круга. Задачей об удвоении куба, получившей наименование «делосской задачи», занимались крупнейшие математики того времени — Гиппократ Хиосский и Архит Тарентский; в даль-

нейшем она явилась толчком к изучению конических сечений. Для решения задачи трисекции угла известный философ-софист Гипсий из Элиды изобрел кривую, впоследствии названную «квадратрисой». Третья задача — квадратура круга — была настолько популярна, что упоминание о ней содержится даже в «Птицах» Аристофана. По преданию, ею занимался в афинской тюрьме Анаксагор. Особый интерес в связи с этой задачей представляют рассуждения софиста Антифона, трактовавшего круг как многоугольник с очень большим числом сторон.

Подводя итоги развитию математики в рассматриваемый период, мы не можем не поражаться тому гигантскому скачку, который был сделан этой наукой за какие-нибудь полтора столетия. В конце VI в. до н. э. основные математические понятия еще оставались объектом эзотерических спекуляций в пифагорейской школе, а о том, велись ли какие-либо исследования по математике вне рамок этой школы, мы не имеем никаких сведений. К началу IV в. до н. э. математика превращается в строгую и самостоятельную дисциплину, отвечающую всем критериям подлинной научности. При этом следует подчеркнуть два обстоятельства, сопутствовавших этому прогрессу.

Первое. Примерно в середине V в. до н. э. занятия математикой перестают быть прерогативой одних лишь пифагорейцев, становясь предметом профессиональной деятельности ученых, не примыкавших ни к какому философскому направлению. Если Феодора из Кирены и Архита из Тарента еще называют пифагорейцами, то Гиппократ Хиосский был, по-видимому, уже чистым математиком-профессионалом. С другой стороны, теоретическая математика начинает привлекать внимание философов, не имеющих отношения к пифагорейской школе; об этом говорят сообщения о занятиях математикой Анаксагора, Гиппия, Антифона и о математических сочинениях Демокрита. Математика становится особой, выделенной наукой, наукой по преимуществу, и в качестве таковой она вскоре начнет рассматриваться как образец для всех прочих наук.

Вторым колоссальным обстоятельством следует считать создание дедуктивного математического метода. У нас нет возможности проследить историю возникновения этого метода. Был ли он выработан еще ранними пифагорейцами? Или, как считают некоторые, его рожде-

ние было стимулировано логическими рассуждениями Зенона? Или же, наконец, он оформился лишь в процессе творческой деятельности великих математиков конца V в. до н. э. — Гиппократ и Архита? Мы не знаем; нам известно только то, что в книге Гиппократ по геометрии весь материал излагался уже строго дедуктивно — путем логического вывода следствий из небольшого числа исходных положений. Таким образом, мы не сделаем, по-видимому, большой ошибки, приурочив рождение математической науки к моменту появления этой книги.

Астрономия. В отличие от математики греческая астрономия V в. до н. э. не может похвалиться столь же большими успехами. Прежде всего обращает внимание скудость астрономических знаний у большинства философов-досократиков (вплоть до Демокрита). Их космологические спекуляции не обосновывались ни наблюдениями, ни расчетами; о планетах у них были еще очень смутные представления; даже объяснение солнечных и лунных затмений, данное Анаксагором, было лишь гениальной догадкой, не вытекавшей из космологических концепций самого клазоменца.

И здесь, согласно античным источникам, основные достижения принадлежат пифагорейской школе. Имеются основания предполагать, что гипотеза о шарообразности Земли была сформулирована впервые пифагорейцами (и уже от них заимствована Парменидом). Возможно, не без восточных влияний пифагорейцы научились различать пять планет и начали наблюдать за их перемещениями. Имеется сообщение, что Алкмеон, который по своим научным воззрениям был близок к пифагорейцам, говорил о движении планет с запада на восток, противоположном движению неподвижных звезд. В дальнейшем в пифагорейской школе оформилась классическая модель космоса, в которой небесные светила располагались на семи кругах, или сферах, в следующем порядке (по мере удаления от Земли): Луна, Солнце, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн*. Расстояния между этими сферами уподоблялись пифагорейцами интервалам музыкальной гаммы, причем они предполагали, что при своем вращении сферы издают соответствующие тона, в совокупности образующие «небесную» гармонию, или музыку.

* В пифагорейской школе эти планеты имели, конечно, другие наименования.

сфер, которая не воспринимается нами, потому что наши уши к ней привыкли.

О космологической системе пифагорейцев в том виде, в каком она сложилась к первой половине IV в. до н. э., можно составить представление по «Тимею» Платона. Однако к модели космоса, изложенной в «Тимее», пифагорейская наука пришла, по-видимому, не прямым путем. Наиболее интересное уклонение представляла собой система *Филолая* из Тарента — пифагорейца, жившего в конце V в. до н. э. Филолай отказался от традиционного представления о центральном положении Земли и поместил в центр мира огненный «очаг» (Гестию), вокруг которого движутся в порядке удаления от него — невидимая для нас «Противоземля», затем Земля, Луна, Солнце, пять планет и внешняя звездная сфера (рис. 3). Солнце, по Филолаю, есть прозрачный шар, заимствующий свой свет и тепло, во-первых, от центрального «очага», а во-вторых, от огня, расположенного за пределами внешней сферы. Введение Противоземли было нужно Филолаю предположительно для того, чтобы сделать число небесных кругов равным десяти. Возможно, впрочем, что у него были и другие соображения, тем более что некоторые досократики (Анаксимен, Анаксагор) также допускали существование невидимых (темных) небесных тел, находящихся ниже Луны.

В источниках сообщаются имена и других ученых той эпохи, которые, не будучи философами, занимались астрономией. Первым из них называют *Клеострата Тенедосского*, жившего во второй половине VI в. до н. э. и который будто бы оборудовал наблюдательный пункт на горе Иде, откуда следил за движениями небесных светил. Он, вероятно, имел какие-то контакты с вавилонскими астрономами; в частности, ему приписывают установление наименований созвездий зодиака, хорошо известных вавилонянам. Клеострат написал поэму в стихах, называвшуюся «Астрология», от которой до нас дошел один коротенький фрагмент.

Деятельность греческих астрономов в VI—V вв. до н. э. в значительной степени имела практическую направленность: ее важной задачей было уточнение календаря, в частности согласование лунного календаря (с которым было связано большинство религиозных ритуалов) с фактической длительностью солнечного года. Эта задача решалась путем установления многолетних циклов, между

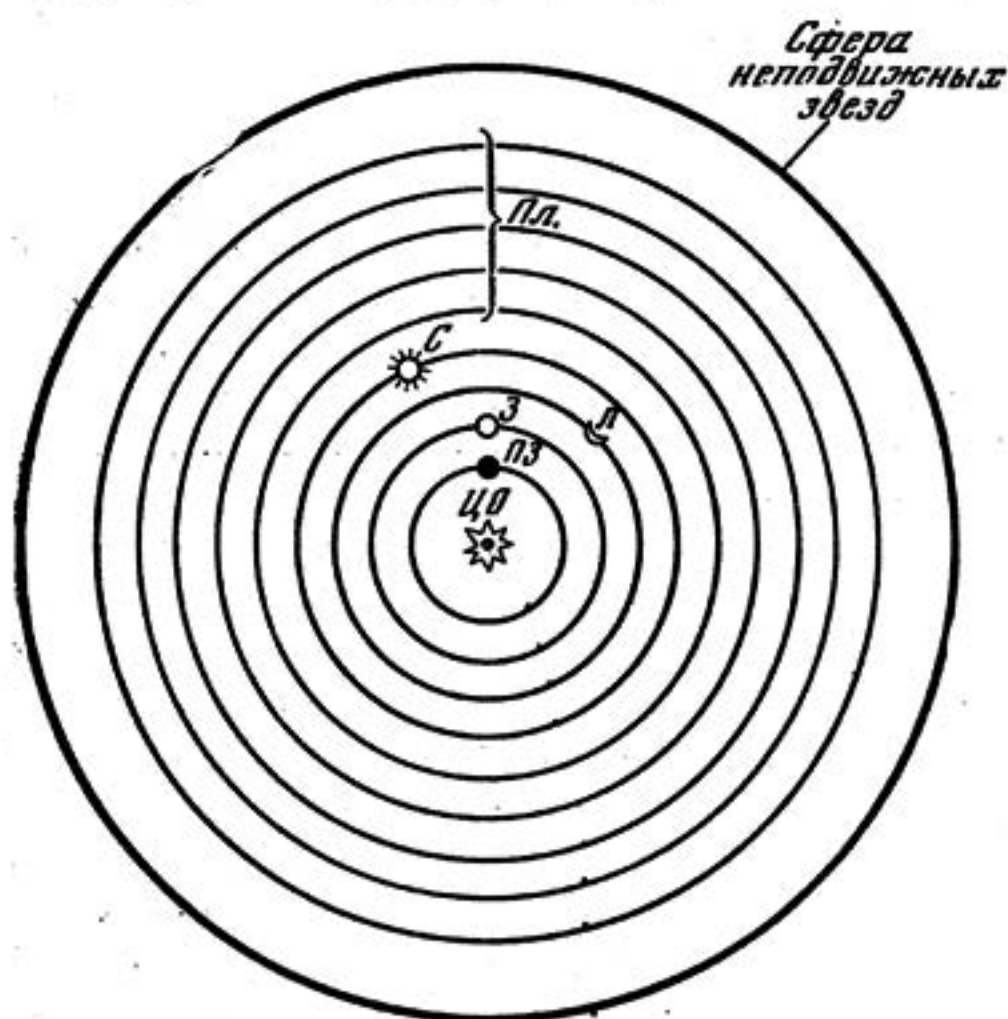


Рис. 3. Система мира по Филолаю:

ЦО — центральный огонь, ПЗ — противоземля, З — Земля, Л — Луна, С — Солнце, Пл — пять планет (последовательность которых источниками не засвидетельствована)

которыми требовалось вставлять дополнительные месяцы. В качестве первого такого цикла называют «октаэтериду» («восьмилетие»), введенную то ли Клеостратом, то ли его учеником Гарпалом; последнему приписывается также уточнение длительности солнечного года. Между прочим, имеется любопытное указание, что Гарпал был именно тем греком, который помог Ксерксу навести мосты через Геллеспонт.

Более определенные сведения имеются о двух афинских астрономах второй половины V в. до н. э. — *Метоне* и *Евктемоне*. Свои наблюдения они проводили в разных местах — в Афинах, на Кикладах, в Македонии и Фракии. Оба они упоминаются в связи с полным солнечным затмением, имевшим место 27 июня 432 г. до н. э. Метон (кстати сказать, осмеянный Аристофаном в «Птицах») установил 49-летний лунно-солнечный цикл, состоявший из 235 месяцев, семь из которых были дополнительными;

110 месяцев этого цикла имели по 29 дней, 125 — по 30 дней. Солнечный год, по Метону, содержал $365\frac{5}{19}$ (365,263) дней, что всего лишь на полчаса отличается от точного значения. Что касается Евктемона, то ему приписывается обнаружение неодинаковой длительности времен года; согласно его наблюдениям, астрономические времена года (начиная с летнего солнцестояния) равны соответственно 90, 90, 92 и 93 дням.

Примерно в то же время жил *Энопид Хиосский*, который, как считают, был первым астрономом, измерившим наклон эклиптики по отношению к экватору. Он также предложил свой лунно-солнечный цикл, который равнялся 59 годам. Длительность солнечного года Энопид оценил в $365\frac{22}{59}$ дней.

Из всего сказанного явствует, что по сравнению с бурным взлетом математики достижения греческих астрономов в рассматриваемый период были более чем скромными. И все же было бы несправедливо недооценивать значение кропотливой работы, проводившейся такими людьми, как Энопид, Метон и Евктемон. Эта работа подготавливала фундамент, на котором впоследствии было воздвигнуто здание античной теоретической астрономии Евдокса—Гиппарха—Птолемея.

**ГРЕЧЕСКАЯ НАУКА ЭПОХИ ПЛАТОНА
И АРИСТОТЕЛЯ****Общая обстановка в конце V в. до н. э.**

Последние десятилетия V в. до н. э., ознаменовавшиеся трагической Пелопоннесской войной, были временем глубокого кризиса греческой политической формы государства. Рабовладельческая демократия в той форме, в какой она установилась в Афинах и в большинстве других полисов тогдашнего эллинского мира, начала обнаруживать присущие ей внутренние дефекты. Она оказалась неспособной обеспечить ни мир, ни всеобщее благосостояние, ни такой правопорядок, который гарантировал бы жизнь и безопасность граждан. Неограниченное народо-властие стало оборачиваться неограниченной тиранией. Война крайне обострила противоречия, существовавшие между различными группами общества, — между потомственной аристократией и демосом, богатыми и бедными, жителями городских и сельских общин, наконец — между всадниками и гоплитами (тяжеловооруженными воинами), с одной стороны, и моряками (фетами) — с другой. Классовая борьба приводила к кровавым столкновениям, порою завершавшимся массовой резней.

Все это вызвало рост антидемократических тенденций и стимулировало поиски новых форм государственного устройства. В кругах образованных греков резко усилился интерес к проблемам этическим и политическим; в то же время развивалось скептическое, а порой прямо отрицательное отношение ко всякого рода космологическим спекуляциям. Свидетельством такого отношения могут служить литературные памятники той эпохи: «Облака» Аристофана, а несколько позднее — «Федон» Платона и «Воспоминания о Сократе» Ксенофонта.

И, действительно, ранняя греческая наука «о природе» оказалась к тому времени в тупике. Она не располагала критериями, которые позволили бы произвести выбор между многообразными концепциями, выдвинутыми рядом мыслителей, начиная с Фалеса Милетского. Она не

смогла привести к знанию, которое имело бы общезначимый характер, и в конце концов начала вырождаться. Последние «физики», имена которых дошли до нас,—Архелай Афинский и Диоген из Аполлонии—уже не создали ничего, что можно было бы сравнить с достижениями их предшественников: Архелай ограничился разработкой отдельных аспектов воззрений своего учителя Анаксагора, а учение Диогена представляло собой эклектический сплав взглядов Анаксимена, атомистов и того же Анаксагора. Для дальнейшего движения вперед нужно было разработать методы обоснования знания, а для этого требовалось создать теорию познания. Наряду с этикой и политикой в центре внимания нового поколения философов оказывается также гносеология.

Носителями этого нового подхода к знанию становятся софисты. Этим именем называлась не какая-либо философская школа и не определенное научное направление; оно обозначало скорее своеобразную социальную прослойку, которой раньше не существовало и которая появилась именно в эту кризисную эпоху. Софистами именовались странствующие учителя мудрости, совмещавшие в себе функции ученых, популяризаторов науки и преподавателей, а порой выполнявшие и другие (например, дипломатические) обязанности. Они не жили подолгу в каком-то определенном месте, а останавливались то в одном, то в другом городе, где за плату обучали молодых людей всем наукам, которые могли быть полезны гражданину и политическому деятелю. На примере Антифона и Гиппия мы видели, что софисты не чуждались и чисто научных, в частности математических проблем, но в целом их интересы лежали в другой области.

Наиболее выдающимися философами среди софистов были Протагор из Абдер и Горгий из Леонтин (в Сицилии). Они внесли существенный вклад в разработку гносеологических проблем, которые решались ими в духе релятивизма и скептицизма. Релятивистская установка Протагора была выражена в знаменитом его положении: «Человек есть мера всех вещей: существующих, что они существуют, и несуществующих, что они не существуют». Испытавший значительное влияние элеатов, Горгий разработал рассуждение, в котором доказывал: 1) что ничто не существует; 2) что если нечто и существует, то оно непознаваемо; 3) что если оно познаваемо, то это познание не может быть высказано. Скептицизм софистов был

естественной реакцией против догматизма «физиков», которые в большинстве случаев даже не пытались обосновывать постулируемые ими положения и концепции.

В Афинах просветительская деятельность софистов натолкнулась на сильную оппозицию. Консервативные круги полагали (и не без основания), что широкое распространение пропагандируемых софистами взглядов может привести к подрыву традиционной религии и морали. Аттическая комедия подвергала софистов жестоким насмешкам. Непримирым врагом софистики явился афинянин *Сократ* (469—399 гг. до н. э.), хотя по духу своего мышления он был кое в чем близок своим оппонентам. Сократ не был ученым в обычном смысле слова; скорее это был народный мудрец, оказавший большое влияние на современников не содержанием своего учения (которого — в позитивном смысле — у него, собственно, и не было), а своей яркой личностью, с большой художественной силой обрисованной в диалогах Платона. В конце жизни Сократ был привлечен афинянами к суду по обвинению в пренебрежении к традиционной религии и в развращении юношества. Истинной подоплекой вынесенного ему смертного приговора было, по-видимому, резко критическое отношение Сократа к афинской демократии.

После смерти Сократа возникла целая литература, героем которой он сделался: это так называемые «сократические сочинения» (*logoi sōkratikoī*), главным образом в форме диалогов, авторами которых, помимо Платона, были Ксенофонт, Антисфен, Эсхин (все трое — из Афин), далее Евклид из Мегары, Федон из Элиды и Аристипп из Кирены. Это были люди, хорошо знавшие Сократа; некоторые из них (Антисфен, Евклид, Аристипп) сами стали основоположниками философских школ, весьма различавшихся как по принципиальным установкам, так и по деятельности их представителей, но все они отражали уже отмеченный выше крен в сторону этических и политических проблем и на развитие точных и естественных наук не оказали сколько-нибудь заметного влияния.

Платон и его картина мира

Платон (428—348 гг. до н. э.) оставил глубокий след в истории всей античной культуры. Он был не только великим философом, создавшим первую в истории человечества систему объективного идеализма, но также блестя-

щим художником слова, политическим идеологом, организатором и теоретиком науки и — не в последнюю очередь — проницательным ученым, высказавшим большое число важных и плодотворных идей. Но наряду со всем этим Платон был гражданином Афин, болезненно ощущавшим кризис политической формы города-государства вообще и афинской демократии в частности. Он видел все недостатки этой демократии, а после казни его любимого учителя Сократа она стала для него неприемлемой. Этим объясняются его настойчивые поиски идеального государственного устройства, его социально-утопические концепции, которые он не только формулировал теоретически, но пытался (хотя и неудачно) осуществить в реальной жизни.

Из 36 дошедших до нас сочинений, которые традиция связывает с именем Платона, большая часть посвящена нравственным, эстетическим и другим чисто человеческим проблемам. Многие диалоги Платона имеют остро полемический характер: в них он критикует софистов и прежде всего — их релятивистские установки в вопросах морали и политики. Платон ищет абсолютных ценностей; он хочет найти опору для морали, которая не зависела бы от человеческого установления. Идя по пути поисков абсолютного, он приходит к своей знаменитой теории идей, изложенной в ряде диалогов, принадлежащих / к зрелому периоду его творчества («Федон», «Федр», «Пир», «Парменид», «Государство» и др.).

Сама по себе теория идей как особых умопостигаемых сущностей, имеющих более высокий онтологический статус по сравнению с находящимися в пространстве и времени чувственно воспринимаемыми вещами, относится к области философии и не имеет прямого отношения к позитивным наукам. Поэтому на ней мы здесь задерживаться не будем. Отметим только, что рассматриваемая в ее логическом аспекте теория идей явилась важнейшим вкладом в развитие понятийного научного мышления, представляя собой дальнейшую разработку проблем, поставленных элеатами. С этой точки зрения идеи Платона суть не что иное, как общие понятия, переведенные в онтологический план.

В процессе создания теории идей Платон столкнулся с математикой. Возможно, что интерес к математике возник у него под влиянием знакомства с Архитом Тарентским, с которым он встречался во время своего пребыва-

ния в Италии (после смерти Сократа Платон уехал из Афин и около двенадцати лет провел к путешествиям). Вернувшись на родину, Платон основал научную школу — Академию, которая была размещена на участке, специально купленном для этой цели Платоном в роще, носившей имя древнеаттического героя Академа (отсюда и ее название). Это была первая в истории человечества подлинно научная школа, над дверями которой, согласно преданию, было написано: «Необученным геометрии вход воспрещен». Высокая оценка математики определялась философскими установками Платона: он считал, что занятия математикой являются важным этапом на пути познания идеальных истин. В «Государстве» Платон рекомендует включить четыре дисциплины — арифметику, геометрию, стереометрию и теоретическую астрономию — в число предметов, подлежащих изучению «стражами», стоящими во главе идеального государства. При этом он подчеркивает, что имеет в виду не практическую полезность этих наук, которую он отнюдь не отрицает, а их важность для упражнения ума и для того, чтобы подготовить душу к размышлениям над высшими философскими проблемами. В последний период, находясь под большим влиянием пифагорейцев, Платон был склонен отождествить свои идеи с пифагорейскими числами.

Сам Платон не внес существенного вклада в математику, но его влияние на развитие математических наук было весьма значительным. Он руководил научной деятельностью внутри своей Академии и находился в дружественных отношениях с крупнейшими математиками того времени — Феодором, Теэтетом и Евдоксом (о влиянии, которое оказал на Платона Архит, уже было сказано выше). Математические проблемы рассматриваются в ряде диалогов Платона, в частности в «Меноне», «Теэтете», «Государстве». А в своем последнем (и, по-видимому, изданном посмертно) сочинении — «Послезаконии» — Платон изложил теорию непрерывных пропорций Архита. Однако с историко-научной точки зрения основной заслугой Платона следует считать то обстоятельство, что он был первым греческим мыслителем (пифагорейские спекуляции с числами здесь в счет не идут), осознавшим значение математизации знания, т. е. того пути, по которому пошло развитие науки в александрийскую эпоху и по которому оно продолжает идти до нашего времени.

Умозрительное и в том числе математическое знание

ставилось Платоном выше знания эмпирического. Из этого не следует, что Платон вообще отвергал ценность знания, получаемого с помощью органов чувств (как иногда пишут), но он считал, что это знание дает информацию только о мире явлений и потому не может не быть приблизительным, неточным и обладающим лишь некоторой степенью вероятности. Познание же идеальных истин является, по Платону, высшей формой познания и осуществляется с помощью чистого умозрения, родственного теоретическому мышлению математика.

В нескольких диалогах Платон касается и астрономических вопросов. В «Федоне» он впервые прямо и недвусмысленно утверждает тезис о шарообразности Земли. В последней (10-й) книге «Государства» содержится набросок облеченной в сказочно-фантастическую форму пифагорейской картины космоса. Но наиболее обстоятельное изложение космогонических воззрений Платона мы находим в «Тимее» — одном из поздних и вместе с тем знаменитейших платоновских диалогов.

Рассказ об устройстве космоса здесь ведет некий Тимей из Локр, по всей видимости пифагореец, который характеризуется как «глубочайший знаток астрономии». Однако Тимей не просто пересказывает пифагорейское учение. Все общие рассуждения и обоснования, содержащиеся в диалоге, несомненно принадлежат самому Платону. Резкий разрыв с пифагорейской традицией очевиден в постановке проблемы о происхождении мира. Архаичная пифагорейская космогония с ее огненной единицей, порождающей многообразие чисел и вещей, была для Платона уже неприемлема. Космос в целом рассматривается им как произведение, созданное высшей творческой силой — Демиургом — в подражание некоему идеальному первообразу. Следовательно, космос существовал не вечно; он зрим, осязаем и телесен, а все вещи такого рода, по мнению Платона, возникают и порождаются. Вместе с космосом возникло и время; поэтому нет смысла ставить вопрос о том, что было до возникновения космоса. Космос един — это живое существо, наделенное душой и умом.

Основными компонентами при образовании космоса послужили огонь (носитель зримой предметности) и земля (носитель осязаемой предметности). Между этими двумя компонентами помещены еще два средних члена — воздух и вода, причем воздух относится к воде, как огонь

к воздуху, а вода к земле, как воздух к воде. Т. е., в соответствии с пифагорейскими представлениями, между четырьмя элементами существует отношение пропорции. Каждый из четырех элементов вошел в состав космоса целиком, чтобы не было никаких остатков, из которых мог бы родиться другой космос и чтобы не было никаких сил (тепла, холода, и т. д.), которые могли бы действовать на этот космос извне.

Космосу как совершенному существу придана форма абсолютно гладкой сферы. Космос не обладает никакими органами, направленными наружу; ничто не выходит за его пределы и не входит в него откуда бы то ни было. В центре космоса помещена его душа, откуда она распространяется по всему его протяжению и облекает его извне. Структуре души, подробно описываемой Платоном, точно соответствует телесная структура космоса.

В теле космоса Демиург выделил два вращающихся круга, соответствующих, согласно нашей терминологии, плоскости экватора и плоскости эклиптики. Один из этих кругов является внешним по отношению ко второму, причем оба они вращаются в противоположных направлениях, образуя друг с другом угол, подобно углу между стороной прямоугольника и его диагональю (рис. 4). Внешний круг выражает собой природу — тождественного (истинного, благого); его движение едино и нераздельно — это движение внешней небесной сферы. Внутренний круг означает природу иного (изменчивого, неразумного); он расщепился на семь неравных кругов, по которым движутся Луна, Солнце и пять планет. Из планет в «Тимее» называются только «звезда Гермеса» (Меркурий) и «Утренняя звезда» (Венера). Имена внешних планет мы находим впервые лишь в «Послезаконии» — диалоге, принадлежность которого Платону оспаривалась многими учеными.

Наряду с общими положениями Платон в ходе своего изложения высказывается по ряду частных вопросов, относящихся главным образом к движению небесных светил. Эти высказывания далеко не всегда допускают однозначное толкование. Надо иметь в виду, что «Тимей» не был научным трактатом по астрономии и не претендовал на то, чтобы служить систематическим изложением данных, которые были известны в этой области Платону и его современникам. К тому же далеко не все в «Тимее» надо понимать буквально; многое (в том числе описание

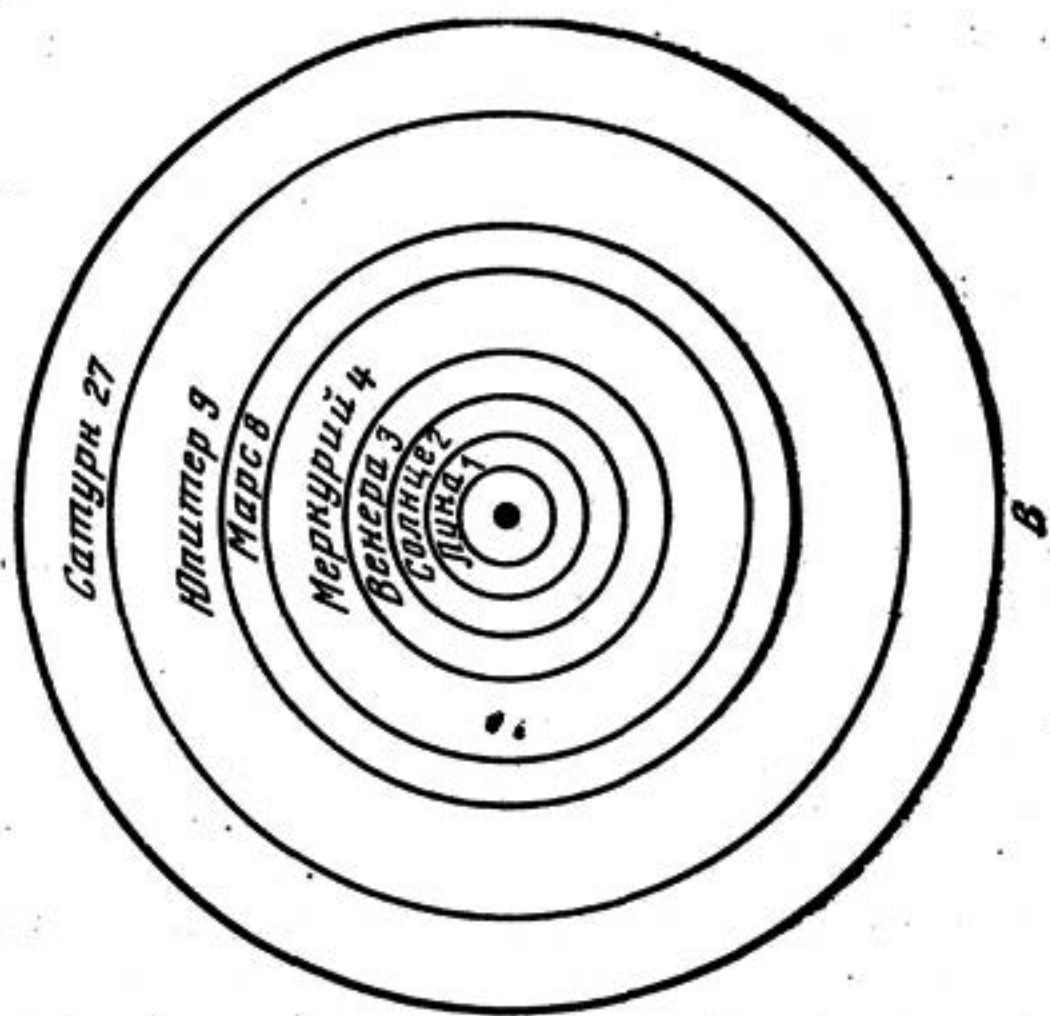
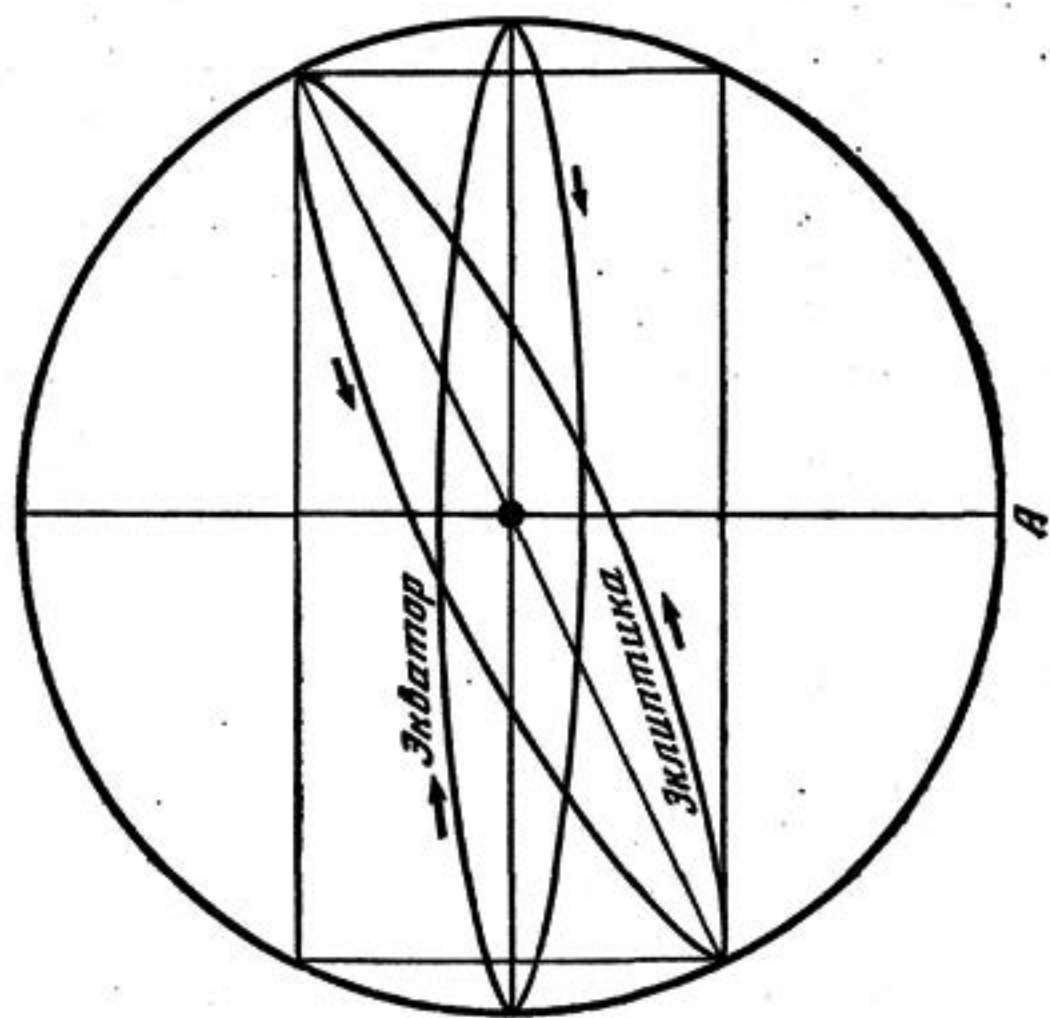


Рис. 4. Структура космоса по Платону:

А. Соотношение круга «тождественного» и круга «иного»;

В. Круг «иного» (цифры указывают относительные расстояния планет до центра космоса)

акта творения космоса Демиургом) Платон изложил индизказательно — в форме мифа, к которой он нередко прибегал и в других своих диалогах. Несмотря на это (а может быть, именно благодаря этому) картина космоса, нарисованная в «Тимее», стала классическим образом античного космоса, который считается одним из наиболее ярких и характерных созданий эллинского духа.

Большой интерес для историка науки представляет изложенная в «Тимее» теория материи, которую можно рассматривать как своеобразный синтез концепции четырех элементов Эмпедокла и атомистики Демокрита. Платон признает четыре так называемые стихии (*stoicheia*) основными компонентами материального мира, но он не считает их элементарными в строгом смысле слова. В их основе лежит общая, неопределенная материя, которую Платон называет Кормилицей или Восприемницей и которая, по его словам, «растекается влагой, пламенеет огнем и принимает формы земли и воздуха». Эти четыре стихии (или «четыре рода», как их называет Платон) упорядочены с помощью образов и чисел, а именно состоят из мельчайших невидимых частиц, имеющих формы правильных многогранников. Так, частицы огня суть тетраэдры, воздуха — октаэдры, воды — икосаэдры, земли — кубы. При этом Платон, очевидно, учитывал чувственно воспринимаемые свойства соответствующих стихий — подвижность, устойчивость, способность воздействовать на другие вещи и т. д. Что касается пятого многоугольника — додекаэдра, то он остался не у дел. В «Тимее» Платон ограничился неясным замечанием, что бог определил его для вселенной в целом. Однако в «Послезаконии», написанном позднее, вводится пятый элемент — эфир, частицам которого придается форма додекаэдра.

Поверхность каждого из четырех многогранников, сопоставленных с четырьмя элементами, может быть представлена в виде комбинации некоторого числа треугольников — либо неравносторонних, с углами при гипотенузе 30 и 60°, либо равносторонних, с углами 45°. Эти треугольники рассматриваются Платоном как элементарные структурные единицы, из которых построены вещи. С помощью треугольников первого типа могут быть получены фигуры частиц огня, воздуха и воды, с помощью вторых — только кубы, из которых состоит земля. По этой причине три первые стихии могут переходить друг в дру-

га путем перестройки соответствующих частиц, земля же всегда остается землей.

Поскольку из одних и тех же элементарных треугольников можно построить правильные многогранники различных размеров, то каждая стихия представляет собой не одно строго однородное вещество, а скорее целый класс веществ, обладающих некоторыми общими свойствами, но в чем-то могущих существенно отличаться друг от друга. С точки зрения современной физики, каждый такой класс аналогичен определенному агрегатному состоянию вещества; в конкретных примерах, которые Платон разбирает в качестве иллюстраций к своей теории, эта аналогия становится особенно разительной.

Любые изменения и превращения вещества обусловлены перестройкой частиц, входящих в состав этого вещества. Если тело состоит из однородных и равновеликих частиц и при этом не подвергается никаким внешним воздействиям, в нем не может происходить никаких превращений. Если же вещество представляет собой смесь двух или нескольких родов частиц, в этом случае между разнородными частицами начинается борьба, заканчивающаяся либо обособлением частиц каждого рода, либо же разрушением и перестройкой более слабых или малочисленных частиц. Наиболее бурные процессы имеют место в тех случаях, когда одним из компонентов смеси оказывается огонь; ибо миниатюрные, подвижные частицы огня обладают, по Платону, особой агрессивностью. Исходя из этих предпосылок, Платон рассматривает в «Тимее» ряд физических процессов, относящихся — если пользоваться современной терминологией — к области фазовых превращений вещества.

Весьма интересны соображения Платона о понятиях верха и низа, тяжести и легкости. Понятия верха и низа, по его мнению, имеют относительный характер. Люди, находящиеся в других точках поверхности земного шара, будут называть верхом и низом не то, что мы; это происходит потому, что мы называем низом направление, куда падают тяжелые вещи; падают же они к центру космоса. Они туда стремятся не в силу своей природы, а потому, что сосредоточенная в центре космоса земля притягивает к себе родственные ей «землеподобные» вещи по принципу «подобное стремится к подобному». Аналогично этому огненная периферия космоса стала бы притягивать к себе части огня, если бы кто-либо вознамерился ото-

рвать их от нее. То же справедливо по отношению к воздуху и воде. Таким образом, у Платона уже имеется предвосхищение идеи гравитации, привязанной, правда, к концепции четырех элементов.

Занимала Платона и проблема движения, обсуждению которой посвящен ряд мест в его поздних диалогах (начиная с «Теэтета»). Итогом этих размышлений следует считать классификацию движений, приводимую в «Законах». Из десяти видов движений Платон выделяет самодвижение, присущее жизни; причиной такого движения может быть лишь душа. При этом Платон приписывает души не только живым организмам, но также небесным светилам и космосу в целом. Излагая свою концепцию, Платон резко полемизирует с «физиками», объяснявшими самодвижение вещей их «природой».

Биологические взгляды Платона несут на себе печать его общефилософских воззрений. По его мнению, жизнь на Земле началась с появления человеческого рода. Творец мира создал человека как самое совершенное существо, в наибольшей степени приближающееся к образу божества. Все остальные виды живых существ возникли из людей как их несовершенные модификации. Наряду с этими фантастическими идеями Платон высказывает ряд интересных соображений о соотношении между строением отдельных органов и их функциями. Следуя традиции, идущей от Алкмеона, он придавал особое значение мозгу, который, по его мнению, служит местопребыванием высшей, бессмертной части души. Две другие части души имеют смертную природу и расположены соответственно в сердце и в области живота.

В каком отношении нарисованная в «Тимее» картина мира находится к науке «о природе»? На этот вопрос нельзя дать бесспорного ответа. С одной стороны, воззрения Платона продолжают традиции нерасчлененной науки VI—V вв. до н. э. Спекулятивный характер этих воззрений, рассмотрение мира как единого целого, сочетание космогонической и космологической проблематики с физическими и биологическими вопросами — все это сближает Платона с мыслителями предыдущей эпохи. Да и отдельные аспекты платоновских представлений о мире указывают на их зависимость от учений ряда досократиков. Если в своей космологии Платон идет в основном за пифагорейцами, то творческая деятельность Демиурга генетически связана с мироустроющей функцией анакса-

горовского Разума. Концепция четырех элементов заимствована Платоном у Эмпедокла, а платоновская атомистика, несмотря на существенные расхождения, была по-видимому, стимулирована атомистическим учением Левкиппа — Демокрита.

С другой стороны, в системе Платона появляются характерные черты, которые отсутствовали в учениях досократиков. Среди них мы отметим, во-первых, уже упомянутое выше крайне враждебное отношение Платона к понятию «природы», которое лежало в основе мироощущения большинства досократиков; во-вторых — провозглашенную Платоном (хотя еще и не реализованную им) программу математизации науки; в-третьих, четкое отделение философских и гносеологических проблем от проблем естественнонаучных.

В своей картине мира Платон стремился выйти за рамки науки «о природе». Но эта задача могла быть решена лишь путем создания наук нового типа, что действительно было сделано, но не философами, а самими учеными — математиками, астрономами, естествоиспытателями.

Евдокс — провозвестник науки нового типа

Евдокс Книдский (родился ок. 400 г. до н. э.) был ключевой фигурой в греческой науке своего времени. Нам он известен прежде всего как математик и астроном, но кроме того он писал книги по философии, географии, музыке и медицине. К сожалению, от всех его сочинений до нас дошли лишь отдельные цитаты, приводимые позднейшими авторами.

О жизни Евдокса позднейшие авторы сообщают следующее. В молодости он изучал математику у Архита в Таренте и медицину у Филистиона в Сицилии. 23-х лет он прибыл в Афины и, будучи очень бедным, поселился в гавани Пирея, откуда ежедневно ходил пешком в платоновскую Академию и обратно. Позднее, при содействии друзей, он совершил путешествие в Египет, где набирался астрономических знаний у жрецов Гелиополя. Вернувшись в Грецию, он основал собственную школу в Кизике (на южном берегу Мраморного моря). Получив широкую известность, Евдокс еще раз побывал в Афинах, где беседовал с Платоном на философские темы. Умер он 53-х лет от роду на своей родине, в Книде.

По своим философским взглядам Евдокс в ряде вопросов примыкал к Платону. Он признавал теорию идей, но в отличие от Платона полагал, что идеи как-то «примешиваются» к чувственно воспринимаемым предметам (так, идея белого цвета присутствует в белых предметах, обуславливая их белизну). Высшее благо в отличие от Платона он отождествлял с наслаждением, приближаясь таким образом, по крайней мере теоретически, к гедонизму (с этой точкой зрения Платон полемизирует в «Филебе» — возможно, как раз под влиянием бесед с Евдоксом). Впрочем, сила Евдокса заключалась не в философии и, что очень важно, его философские воззрения никак не влияли на его научные изыскания.

Евдокс, бесспорно, был великим математиком. Развивая достижения Архита и Теэтета в области теории пропорций, он построил общую теорию отношений, основанную на новом определении величины. Если раньше теоремы теории отношений приходилось доказывать отдельно для чисел, отрезков и площадей, то понятие величины, введенное Евдоксом, включало в себя как числа, так и любые непрерывные величины. Это понятие определялось с помощью общих аксиом равенства и неравенства, к которым Евдокс добавил аксиому, теперь обычно именуемую аксиомой Архимеда: «Две величины находятся между собой в определенном отношении, если любая из них, взятая кратно, может превзойти другую». Исходя из этих аксиом, Евдокс разработал безупречно строгую теорию отношений, изложенную Евклидом в V книге «Начал». Глубина этой теории была по-настоящему оценена лишь во второй половине XIX в. н. э., когда трудами Дедекинда и других математиков были созданы основы современной теории вещественных чисел.

Другим важнейшим вкладом Евдокса в математику была разработка так называемого «метода исчерпывания», заложившего основы теории пределов и подготовившего почву для позднейшего развития математического анализа. В основе «метода исчерпывания» лежит следующее положение: если от какой-либо величины отнять половину или более, затем ту же операцию проделать с остатком, и так поступать дальше и дальше, то через конечное число действий можно дойти до такой величины, которая будет меньше любого наперед заданного числа. С помощью этого метода Евдокс впервые строго доказал, что площади двух кругов относятся как квадраты их диаметров (само

это положение было известно еще Гиппократу Хиосскому); далее, что объем пирамиды равен $\frac{1}{3}$ объема призмы с теми же основанием и высотой и что объем конуса равен $\frac{1}{3}$ объема цилиндра с теми же основаниями и высотой. Два последних положения, как мы видели выше, древние приписывали Демокриту, который, однако, не дал им строгого обоснования. В дальнейшем «метод исчерпывания» был развит Архимедом. В «Началах» Евклида он изложен в XII книге.

Для истории астрономии значение Евдокса было, пожалуй, еще более значительным. Фактически его можно считать создателем античной теоретической астрономии как самостоятельной науки, ни в какой степени не зависевшей от космологических спекуляций досократиков.

Любопытно, что подлинное величие Евдокса-астронома было оценено историками науки лишь в XIX в. Это объяснялось в первую очередь тем, что все сочинения Евдокса оказались безнадежно утерянными, а свидетельства древних авторов (например, комментатора Аристотеля Симпликия), в которых сообщалось о его достижениях, страдали отрывочностью и нечеткостью. В результате исследований, проводившихся учеными на протяжении нескольких поколений, выдающийся итальянский астроном Д. В. Скиапарелли (1835—1910) смог дать реконструкцию теории Евдокса, которая до сих пор принимается большинством историков астрономии. В настоящее время астрономическая теория Евдокса предстает перед нами примерно в следующем виде.

Существует предание, что инициатором создания теории Евдокса был Платон. Уже с давних времен среди греческих мыслителей господствовало убеждение, что космос должен иметь сферическую форму. Это убеждение подкреплялось широко распространенным мнением, что наиболее совершенным геометрическим телом является сфера (шар), подобно тому как наиболее совершенной плоской геометрической фигурой считался круг. По этим причинам казалось вполне естественным предположить, что в сферическом космосе все небесные тела движутся по круговым орбитам. Это предположение, однако, оказывалось непосредственно справедливым лишь для неподвижных звезд. Уже орбиты Солнца и Луны обнаруживали существенные отклонения от строго круговой формы, а что касается планет, то их движения относительно неподвижных звезд состояли из ряда прямых и обратных

перемещений, причем их видимые траектории описывали на небесном своде причудливые завитки и петли. И вот Платон будто бы поставил перед своими учениками задачу — представить движения небесных тел в виде комбинаций равномерных круговых движений. Эта задача была блестяще решена Евдоксом.

Предложенная Евдоксом модель космоса состояла из двадцати семи равномерно вращающихся вокруг Земли гомоцентрических сфер, т. е. таких сфер, центры которых совпадают, но оси которых могут, вообще говоря, иметь различное направление. Одной из этих сфер была сфера неподвижных звезд, совершавшая за одни сутки полный оборот вокруг оси, проходившей через полюса Земли. Плоскость экватора этой сферы совпадала с плоскостью земного экватора. Остальные двадцать шесть сфер были распределены между прочими небесными телами: Солнцу и Луне были приданы по три сферы, а пяти планетам — по четыре.

Рассмотрим теперь, как с помощью трех вращающихся сфер объяснялись видимые перемещения Солнца. Вращение первой из этих сфер совпадало с вращением сферы неподвижных звезд; с его помощью описывалось суточное движение Солнца. Вторая сфера описывала годовое движение Солнца по эклиптике. Ось этой сферы была жестко связана с двумя противоположными точками первой сферы и имела наклон по отношению к оси первой сферы (и, следовательно, по отношению к земной оси), примерно равный 24° ; заметим, впрочем, что в эпоху Евдокса греки еще не пользовались делением круга на 360 градусов — это деление было заимствовано ими позднее у вавилонян. Экватор второй сферы, совпадавший с плоскостью эклиптики, проходил через пояс зодиакальных созвездий. Вторая сфера совершала вращательное движение вокруг своей оси с запада на восток, т. е. в направлении, противоположном вращению первой сферы; период вращения второй сферы был равен одному году. Максимальное и минимальное удаление Солнца от небесного экватора совпадало с моментами летнего и соответственно зимнего солнцестояния; точкам пересечения эклиптики с экватором соответствовали моменты весеннего и осеннего равноденствия. Третья сфера, к экватору которой, собственно, и было прикреплено Солнце, имела ось, жестко связанную с двумя противоположными точками второй сферы и наклоненную под небольшим углом к оси этой

последней. Третья сфера совершала очень медленное вращение в том же направлении, в котором вращалась и вторая сфера, т. е. с запада на восток. По словам Симпликия, введение третьей сферы потребовалось для объяснения того, что в дни весеннего и зимнего солнцестояния Солнце якобы восходит не всегда в одной и той же точке.

Аналогичным образом описывалось и движение Луны. Первая лунная сфера соответствовала суточному вращению небесного свода с востока на запад; ее полюса совпадали с полюсами сферы неподвижных звезд. Вторая сфера, экватор которой (как и в случае Солнца) совпадал с плоскостью эклиптики, служила для объяснения движения Луны вдоль пояса зодиакальных созвездий с запада на восток; период ее вращения был равен одному лунному месяцу. Третья сфера, несшая Луну на своем экваторе, была введена в связи с тем обстоятельством, что орбита Луны не совпадает с эклиптической, а находится то выше нее, то ниже. Ось этой сферы была жестко связана с двумя точками второй сферы и имела наклон по отношению к оси последней (причем этот наклон, по утверждению Симпликия, значительно превышал угол между осями второй и третьей сфер в случае Солнца). О периоде вращения этой сферы в дошедших до нас источниках ничего не сообщается; как и в случае третьей — солнечной сферы, — Симпликий характеризует ее вращение эпитетом «медленное».

Приведенная реконструкция несколько отличается от реконструкции Скиапарелли; однако она вполне соответствует свидетельствам древних авторов, писавших об Евдоксе.

Значительно сложнее обстояло дело с моделированием движения пяти планет. Дело в том, что при своем движении по небесному своду планеты не только отходят от плоскости эклиптики то в ту, то в другую сторону, но через определенные промежутки времени вдруг прекращают свое движение по поясу зодиака с запада на восток и в течение нескольких дней остаются неподвижными по отношению к окружающим звездам, а затем начинают двигаться с востока на запад (так называемое ретроградное, или «попятное», движение планет). Через некоторое время, сильно отличающееся у разных планет, они снова как бы останавливаются, после чего возобновляют свое нормальное («прямое») движение с запада на

восток. Теперь мы знаем, что подобный характер видимого движения планет связан с вращением Земли вокруг Солнца, но Евдоксу и его современникам это обстоятельство было, разумеется, неизвестно. Задача представления такого движения путем комбинации нескольких равномерных круговых движений кажется, на первый взгляд, очень трудной.

Евдокс решил эту задачу гениально простым образом. Для каждой планеты он ввел четыре равномерно вращающиеся сферы. Первая сфера, как и в рассмотренных выше случаях, соответствовала суточному движению небесного свода вокруг мировой оси. Вторая сфера аналогичным образом служила для описания поступательного движения планеты вдоль плоскости эклиптики; ее период вращения был равен сидерическому периоду соответствующей планеты*. Некоторое своеобразие представляло в этом случае видимое движение Меркурия и Венеры, которые никогда не отходят далеко от Солнца и вместе с ним совершают годичный оборот вдоль пояса зодиакальных созвездий. По этой причине Евдокс предположил, что сидерический период для этих двух планет совпадает с солнечным годом (на самом деле он составляет 88 дней для Меркурия и 225 дней для Венеры). Значения сидерического периода для остальных планет, которые дает Евдокс, гораздо лучше согласуются с истинными данными.

Для представления описанного выше «петлеобразного» пути планет в процессе их движения по эклиптике Евдокс ввел третью и четвертую сферы. Третья сфера имела полюса, жестко связанные с двумя точками экватора второй сферы (т. е. эклиптики), и, подобно второй сфере, вращалась с запада на восток. Полюса этой сферы были различны для разных планет, лишь для Меркурия и Венеры они оказывались совпадающими. Наконец, четвертая сфера, к экватору которой была прикреплена соответствующая планета, вращалась вокруг оси, наклоненной под определенным углом к оси третьей сферы, причем угол наклона различался у всех планет. Эта четвертая сфера вращалась с тем же периодом, что и третья, но в противоположном направлении.

* Сидерическим периодом (или оборотом) планеты называется тот промежуток времени, через который планета снова оказывается в том же месте пояса зодиака,

Путем соответствующего геометрического построения можно показать, что в результате комбинации вращений третьей и четвертой сфер планета будет описывать около плоскости эклиптики своеобразную кривую, несколько напоминающую восьмерку (рис. 5). Эту кривую Евдокс назвал «гиппопедой» (*hipporpedē*), что в переводе означает «лошадиные пути»; в наше время она носит наименование лемнискаты. Путем подбора соответствующих углов наклона между осями третьей и четвертой сферы оказалось возможным довольно точно воспроизвести петлеобразное движение Юпитера и Сатурна. Однако для остальных планет результаты оказались значительно менее утешительными (так, для Марса и Венеры из модели Евдокса вообще не удастся получить попятного движения). Мы не знаем, в какой степени Евдокс осознал дефекты своей модели. Вероятно, они вскоре стали очевидны, потому что некоторое время спустя Каллипп предложил усовершенствованную, хотя и несколько усложненную (по сравнению с Евдоксовой) модель космоса, о которой будет сказано ниже.



Рис. 5. «Гиппопеда» Евдокса

Подытожим принципиальные особенности модели Евдокса, повторявшиеся во всех последующих гомоцентрических моделях космоса. Каждому небесному телу (за исключением неподвижных звезд) придается некоторое число равномерно вращающихся сфер. Эти сферы взаимосвязаны друг с другом, хотя и совершенно независимы от сфер, приданных другим небесным светилам. Их связь выражается в том, что полюса каждой последующей сферы прикреплены к фиксированным точкам предыдущей сферы; в силу этого каждая сфера, помимо своего собственного вращения, участвует во вращательных движениях всех предшествовавших (наружных) сфер. Само небесное тело жестко прикреплено к определенной точке экватора последней (самой внутренней) сферы. Первая (самая наружная) сфера тождественна по характеру сво-

его движения с первыми сферами всех прочих небесных тел, а также со сферой неподвижных звезд.

Согласно свидетельствам античных авторов, Евдокс был не только теоретиком, но и первоклассным астрономом-наблюдателем. При своей школе в Кизике он организовал первую греческую обсерваторию, где его ученики вели систематические наблюдения за небесными светилами. Он дал детальное описание созвездий, видимых на широте Греции, составил каталог звездного неба. До нас дошли названия двух астрономических сочинений Евдокса — «Явления» (*Phainomena*) и «Зеркало» (*Enoptron*), которые, согласно Гиппарху, были посвящены одним и тем же вопросам и различались лишь в деталях. На основе этих сочинений греческий поэт Арат написал в III в. до н. э. дидактическую поэму, первая часть которой содержала красочное описание созвездий и связанных с ними легенд (вторая часть поэмы касалась в основном метеорологических вопросов). Поэма Арата, называвшаяся, как и книга Евдокса, «Явления», пользовалась в древности большой популярностью и в течение долгого времени была важнейшим источником астрономических сведений среди образованных кругов греко-римского общества.

Из числа непосредственных учеников Евдокса древние источники называют двух выдающихся математиков — *Менехма* и *Динострата* и астронома *Полемарха*, который в свою очередь был учителем *Каллиппа* из Кизика. В 20-х годах IV в. до н. э. Каллипп находился в Афинах, где познакомился с Аристотелем, от которого мы, собственно говоря, и знаем о тех изменениях, которые были внесены Каллиппом в модель космоса, разработанную Евдоксом. Согласно утверждению Симпликия, Каллипп не написал книг, в которых была бы изложена его теория.

Как мы видели выше, модель Евдокса давала хорошие результаты для Юпитера и Сатурна, но значительно худшие для внутренних планет. Поэтому Каллипп сохранил число сфер, приданных Евдоксом двум внешним планетам, но добавил по одной сфере для Меркурия, Венеры и Марса. О характере движения этой пятой сферы античные источники не сообщают никаких деталей. Упомянувшийся выше итальянский астроном Скиапарелли высказал предположение, каким образом эта сфера могла бы работать, но это предположение имеет чисто гипотетический характер. Кроме того, Каллипп добавил по две сферы для Солнца и для Луны. Это позволило ему объяснить

различную длительность времен года, которая была хорошо известна со времен Евктемона, а также учесть иррегулярности движения Луны, остававшиеся необъясненными в модели Евдокса.

Таким образом, общее число небесных сфер по Каллиппу (включая сферу неподвижных звезд) оказалось равным тридцати четырем.

Следующий принципиально важный шаг в построении общей картины мира был сделан учеником Платона Гераклидом Понтийским, уроженцем Гераклеи — города, расположенного на южном берегу Черного моря. Сочинения этого, несомненно очень незаурядного мыслителя до нас не дошли, но из косвенных свидетельств известно, что он объяснил видимое суточное движение небосвода не оборотами внешних небесных сфер вокруг Земли, а вращением самой Земли вокруг собственной оси. Намек на эту идею содержался, впрочем, уже в «Тимее» Платона. Древние источники сообщают также, что гипотеза о вращении Земли вокруг оси высказывалась еще задолго до Гераклида пифагорейцем Экфантом из Сиракуз, но об этом последнем мы практически ничего не знаем.

Гераклиду Понтийскому приписывается еще другая смелая гипотеза. Известно, что две внутренние планеты — Меркурий и Венера — не уходят далеко от Солнца, а оказываются то по одну, то по другую его сторону. В связи с этим Гераклид будто бы предположил, что Меркурий и Венера вращаются не вокруг Земли, а вокруг Солнца и лишь это последнее движется по круговой орбите вокруг Земли. Если эти сообщения верны, то тогда нужно будет признать, что Гераклид Понтийский сделал первый существенный шаг по направлению к гелиоцентрической системе Аристарха.

Гипотеза о вращении Меркурия и Венеры вокруг Солнца имеет значение еще вот в каком отношении. Важнейший недостаток моделей Евдокса и Каллиппа состоял не в том, что они не воспроизводили (или плохо воспроизводили) какие-то детали видимого движения планет, а в том, что они не давали объяснения фундаментальному факту — изменению в блеске планет. Ведь планеты в этих моделях находятся всегда на одном и том же расстоянии от Земли, следовательно, они, казалось бы, должны обладать неизменной яркостью. Между тем яркость планет — особенно внутренних — подвержена очень большим колебаниям. Гипотеза Гераклида Понтийского позволяла, хотя

бы в принципе, объяснить это обстоятельство — не крайней мере для Меркурия и Венеры.

О причинах, воспрепятствовавших принятию гипотез Гераклида Понтийского античной наукой, мы будем говорить в дальнейшем — в связи с неуспехом гелиоцентрической системы мира Аристарха Самосского.

Создание моделей космоса, основанных на представлении о равномерно вращающихся сферах, явилось стимулом для разработки, с одной стороны, сферической геометрии, с другой же — кинематики движущихся точек, кругов и сфер. Несомненно, что соответствующие исследования велись в школе Евдокса и даже, может быть, в платоновской Академии. Но о них мы ничего не знаем. Мы располагаем лишь двумя небольшими сочинениями, написанными в конце IV в. до н. э. неким Автоликом из Питаны. Первое из них — «О вращающейся сфере»; в нем содержится чисто абстрактное рассмотрение изменения положений точек и кругов, расположенных на сфере, вращающейся с равномерной скоростью. Реальные астрономические объекты в этом сочинении вообще не упоминаются. Второе сочинение — «О восходах и заходах» — имеет более конкретный характер: в нем речь идет о Солнце, о двенадцати знаках зодиака, о восходах и заходах звезд, находящихся на поясе зодиака и ниже него. Эти небольшие трактаты Автолика представляют собой наиболее ранние греческие сочинения теоретико-астрономического характера, дошедшие до нашего времени.

Аристотель

Всеобъемлющая научно-философская система Аристотеля явилась синтезом всех достижений греческой науки предшествующего периода. Хотя она вышла далеко за рамки ранней науки «о природе», в каких-то отношениях ее можно все же рассматривать в качестве высшей точки и завершающего этапа этой науки. В системе Аристотеля отразился образ мира, который оказался наиболее адекватным сознанию человека эпохи античности. Физика, этика и политика, естественнонаучные и гуманитарные устремления были приведены Аристотелем к единству — не всегда безупречному, но все же вызывающему восхищение своим универсализмом. Именно этот универсализм послужил одним из факторов, обеспечивших учению Аристотеля исключительную долговечность, особенно в ту

эпоху (средние века), когда конкретные научные дисциплины, начавшие успешно развиваться в III в. до н. э. — III в. н. э., оказались в состоянии застоя и упадка.

Аристотель, сын Никомаха, бывшего придворным врачом царя Македонии Аминтаса II, родился в 384 г. до н. э. в Стагире — маленьком городке на Халкидском полуострове. Еще совсем молодым человеком (в 367 г.) он прибыл в Афины, где встретился с Платоном и поступил в Академию, в которой он затем находился около двадцати лет. Уже в это время Аристотель начал писать сочинения (главным образом в форме диалогов), от которых до нас дошли лишь незначительные фрагменты. В 348 г., после смерти Платона, он покидает Афины, проводит несколько лет на берегу Геллеспонта и на острове Лесбосе, а затем получает приглашение от македонского царя Филиппа II быть воспитателем его сына Александра. В этой должности он находится несколько больше трех лет (343—340), но в 335 г. возвращается в Афины, где основывает собственную научную школу — Ликей *, которой и руководит почти до конца жизни. После гибели Александра и крушения македонской империи (323 г.) Аристотель вынужден вторично покинуть Афины; он уезжает на остров Эвбею, где в 322 г. умирает.

Аристотелевские трактаты, дошедшие до нас в составе так называемого «Свода Аристотеля», были написаны, по видимому, в тот период, когда Аристотель читал лекции в Ликее, причем многие из этих трактатов, судя по их форме, являлись не чем иным, как конспектами этих лекций, а некоторые вообще были приписаны ему ошибочно. Первое научное издание «Свода Аристотеля» было выпущено Прусской Академией наук в 1831 г.

Естественнонаучные воззрения Аристотеля неотделимы от его общефилософских принципов; поэтому, прежде чем приступить к изложению его научных концепций, необходимо хотя бы вкратце остановиться на основных положениях его философии.

Краеугольным камнем философии Аристотеля является учение о материи и форме. В отличие от Платона Аристотель считал, что истинным бытием обладает не общее, не идея, не число, но конкретная единичная вещь. Толь-

* Наименование восточного пригорода Афин, где была расположена школа Аристотеля.

ко такая вещь может быть сущностью (субстанцией), т. е. чем-то самобытным, существующим в самом себе, что в нашем мышлении выступает как субъект суждения, но не как его предикат или атрибут. Всякая же единичная вещь представляет собой сочетание материи и формы. Материя — это то, из чего возникает вещь, что может рассматриваться как материал (субстрат), из которого она состоит. Однако к одной лишь материи вещь не сводится: чтобы стать вещью, материя должна принять форму; без формы материя является вещью лишь в возможности, но не в действительности. С другой стороны, одна лишь форма не может стать вещью в ее живой, единичной актуальности: форма без материи есть лишь — в плане познания — понятие о вещи, а в плане бытия — суть вещи. Сама по себе форма есть нечто общее; чтобы стать единичным бытием, она должна соединиться с материей; соединение материи с формой есть реализация возможного, т. е. возникновение реально существующей конкретной вещи.

Понятия материи и формы, по Аристотелю, не абсолютны, но взаимообусловлены. То, что является материей в одном отношении, в другом отношении может быть формой. В качестве примера единства материи и формы Аристотель приводит бронзовую статую. Материей для статуи в данном случае служит бронза. Но ведь глыба бронзы, из которой отлита статуя, тоже была единичной вещью, т. е. чем-то актуально существующим и, следовательно, представлявшим собою некое единство материи и формы, некий «вид» (*eidos*), как говорили греки. Материей по отношению к этому виду служат четыре элемента — огонь, воздух, вода и земля, из сочетания которых в определенных пропорциях получается вещество, обладающее свойствами, позволяющими обозначить его как бронзу. Но и эти четыре элемента не лишены формы; каждый из них характеризуется некоторой комбинацией качеств и, следовательно, может рассматриваться как «вид». Лишь первичная материя (*prōtē hylē*), которой нельзя приписать никаких качеств, абсолютно бесформенна и не является видом: она не может выступать как единичная, актуально существующая конкретная вещь, она — чистая возможность.

Итак, в иерархии мира вещей на самом нижнем уровне — после первичной материи — стоят четыре элемента или, как их называл Аристотель, четыре стихии (*stoicheia*,

или «буквы»; это наименование указывает на то, что вещи образуются из сочетаний элементов, подобно тому, как слова образуются из сочетаний букв). Стихии — это первичная материя, получившая форму под действием той или иной пары первичных сил (*dynameis*) — горячего, сухого, холодного и влажного. От сочетания сухого и горячего получается огонь, сухое и холодное дают землю, горячее и влажное — воздух, холодное и влажное — воду (сочетания взаимоисключающих качеств — сухого и влажного, а также горячего и холодного — считаются невозможными). В отличие от четырех «корней» Эмнедокла (стихии Аристотеля могут в принципе переходить друг в друга (эти переходы обозначались у него термином *alloiōsis*). Далее, стихии могут вступать во всевозможные соединения, образуя разнообразные вещества, называвшиеся у Аристотеля подобочастными (*ta homoioμεγē*). Такого рода подобочастным является в вышеприведенном примере бронза; в мире органической природы к подобочастным веществам относятся мясо, кровь, древесина и другие ткани или жидкости, входящие в состав животных или растительных организмов. На следующем уровне в иерархии бытия находятся неподобочастные образования; к таковым относятся, например, отдельные органы — глаз, рука, сердце и т. д., а также вещи, созданные человеком, — дом, стол, статуя и т. д.

Для объяснения процессов движения, изменения, развития, происходящих в мире, Аристотель вводит четыре класса причин: причины материальные, формальные, действующие и целевые. Так, причиной того, что из бронзы возникла статуя, является, во-первых, сама бронза (материальная причина), во-вторых, деятельность ваятеля (действующая причина), в-третьих, та форма, которую приобрела бронза в результате этой деятельности (формальная причина), и, в-четвертых, та цель, которую ставил перед собой ваятель (целевая причина, или «ради чего», как обычно говорит Аристотель). Нетрудно заметить, что три последние причины перекрываются между собой и противостоят первой, материальной, причине. Ведь цель, поставленная ваятелем, в том и состояла, чтобы придать бронзе определенную форму, а придание формы и, следовательно, достижение этой цели могло быть осуществлено лишь в результате определенной деятельности.

Аналогичным образом рассматриваются Аристотелем и процессы, совершающиеся в органическом мире; только там источник движения (развития, роста) находится не вне вещи (как в примере со статуей), а заключен в ней самой. Этот источник — «природа» (*physis*). Анализ различных аспектов понятия природы, производимый Аристотелем, показывает, что природа в его понимании есть внутренне присущий вещам принцип (закон) движения или развития — и в этом Аристотель является прямым продолжателем мыслителей досократовской эпохи.

В связи с понятием природы Аристотель дает первое в истории определение науки физики. Физическая наука, говорит он, есть наука «о природе», т. е. она изучает некоторый род бытия, который имеет в самом себе принцип (или начало) движения и покоя. Отсюда следует, что она не есть наука о деятельности (как, например, политика) или наука о творчестве (как поэтика), поскольку в этих науках принцип или начало лежит либо в деятеле, принимающем решение, либо в творце, придающем материалу ту или иную форму. Как и математика, физика есть наука теоретическая, однако отличие ее от математики состоит в том, что она имеет дело с таким бытием, которое способно к движению, и с такими формами и образами, которые неотделимы от материи. При сопоставлении физики Аристотеля с физикой в нашем теперешнем понимании мы видим, что в сферу первой входит не только вся неорганическая, но и вся органическая природа, включая человека и его душу.

Таким образом, аристотелевская физика может рассматриваться как синоним естествознания в самом широком смысле этого термина.

Существенно новым у Аристотеля по сравнению с его предшественниками было использование идеи природы для объяснения механических форм движения. Всякое тело, по мнению Аристотеля, обладает естественной, присущей ему по природе (*physei*), формой движения. Для земных тел таким естественным движением является движение по прямой линии — к центру космоса, либо от центра к периферии. Тяжелые вещи — земля, вода, а также все сложные тела, в которых эти элементы преобладают, стремятся по природе двигаться к центру космоса, т. е. падать вниз; наоборот, огонь, воздух и все легкие вещи, составленные по преимуществу из этих двух элементов, стремятся по природе удалиться от центра кос-

моса, т. е. подыматься вверх. Движение, противоположное по направлению естественному, а также всякая другая форма движения, например движение по кругу или по какой-либо иной кривой, будет для этих тел неестественным, противным их природе, и может быть осуществлено лишь насильственным путем. Другую картину мы имеем в надлунном мире: для небесных светил естественным движением является равномерное вращение по кругу вокруг центра космоса (т. е. вокруг Земли).

Сказанное образует основу для космологии Аристотеля, наиболее детально изложенной в его трактате «О небе». Надо лишь добавить еще два положения, имеющих в системе Аристотеля фундаментальный характер. Первое — отрицание актуальной бесконечности, приводящее к необходимости мыслить мир ограниченным и конечным. Второе — отрицание пустоты. Оба эти положения кардинальным образом противоречат принципам космологии Демокрита, с которым Аристотель много и обстоятельно полемизирует. Космос, по Аристотелю, ограничен, он имеет форму сферы, за пределами которой нет ни пространства, ни времени и, следовательно, ничего. Этот космос вечен и неподвижен: он не возник ни в результате чьего-либо творческого акта (как у Платона), ни в ходе естественного космогонического процесса (как у досократиков). Он заполнен материальными телами, которые в «подлунной» области образованы из четырех элементов — огня, воздуха, воды и земли. Это — область изменчивого и преходящего: в ней происходят процессы возникновения, роста и гибели всевозможных вещей, в том числе живых существ. Резко отличается от нее «надлунная» область, где нет места возникновению и гибели, где находятся лишь небесные тела — звезды, планеты, Луна и Солнце, совершающие свои вечные круговые движения. Это — область пятого элемента, эфира, который у Аристотеля обычно именуется «первым телом» (*prōton sōma*). Эфир ни с чем не смешан, вечен и не переходит в другие элементы; он не обладает тяжестью или легкостью и его естественным движением является движение по кругу. Он не везде одинаково чист; это относится главным образом к пограничному с подлунной областью слою, где он соседствует с огнем и воздухом, но в целом это наиболее «божественный» из всех пяти элементов.

В центре космоса находится Земля, имеющая форму шара; шарообразность Земли доказывается Аристотелем

как априорными соображениями, так и с помощью аргументов, основанных на наблюдении. Аристотель приводит первую в истории греческой науки оценку размеров земного шара, диаметр которого оказывается у него завышенным примерно в два раза по сравнению с истинным значением. Далее он утверждает, что Земля неподвижна и не вращается вокруг своей оси. Небесным светилам также присуща шарообразная форма, как наиболее совершенная из всех возможных. В отношении движения небесных тел Аристотель опирался на результаты, полученные Евдоксом и Каллиппом. Однако то, что у астрономов было лишь моделью, у Аристотеля стало реальным механизмом движения небесных светил. Всю надлунную область космоса он представил в виде ряда соприкасающихся сфер, имеющих эфирную природу и равномерно вращающихся с разными скоростями вокруг различных осей. К некоторым из этих тел прикреплены небесные тела, также состоящие из эфира (но не из прозрачного, а светящегося). Внешняя сфера — сфера неподвижных звезд — совершает полный оборот вокруг небесной оси в течение суток; своим движением она увлекает следующую за ней сферу, каковой является внешняя сфера Сатурна; эта, в свою очередь, увлекает вторую сферу Сатурна, которая, кроме того, обладает собственным движением вокруг оси, перпендикулярной к плоскости эклиптики, и т. д. Но вот мы рассмотрели движение всех четырех, по Каллиппу, сфер Сатурна и должны перейти к Юпитеру. Ясно, что сферы Сатурна (за исключением первой, повторяющей суточное движение небесного свода) никак не должны влиять на вращение сфер Юпитера, иначе получилось бы, что Юпитер, помимо собственных движений, повторяет все движения Сатурна. Чтобы избежать этого, Аристотель помещает между внутренней сферой Сатурна и внешней сферой Юпитера еще три сферы, которые повторяют вращения трех внутренних сфер Сатурна, но лишь в обратном направлении, как бы «нейтрализуя» их. В результате на внешнюю сферу Юпитера будет воздействовать движение только одной сферы — внешней сферы Сатурна, совершающей обращение вокруг мировой оси за одни сутки. Аналогичным образом Аристотель помещает по три или четыре «нейтрализующих» сферы после каждой из пяти планет и после Солнца. Для Луны этого делать не нужно, ибо Луна является последним небесным телом, совершающим круговые вращения. Таким образом, общее

число сфер у Аристотеля оказывается разным 56 (составление чисел сфер для различных небесных светил по Евдокею, Каллиппу и Аристотелю дано в табл. 2).

Таблица 2

Различия в структуре трех гомоцентрических моделей космоса

Небесные светила	Число небесных сфер		
	в модели Евдокса	в модели Каллиппа	в модели Аристотеля
Неподвижные звезды	1	1	1
Сатурн	4	4	4 + 3 «нейтрализующих»
Юпитер	4	4	4 + 3
Марс	4	5	5 + 4
Венера	4	5	5 + 4
Меркурий	4	5	5 + 4
Солнце	3	5	5 + 4
Луна	3	5	5
Всего	27	34	56

Вопрос об источнике движения небесных сфер решался Аристотелем неоднозначно. В трактате «О небе» круговое движение внешней сферы — сферы неподвижных звезд — трактуется как ее изначальное, «божественное» свойство. В последних книгах «Физики» и в «Метафизике» Аристотель развивает концепцию вечно действующего «первичного двигателя» (бога), который, сам оставаясь неподвижным, приводит в движение небесные сферы. В восьмой главе XII книги «Метафизики», где содержатся прямые ссылки на Евдокса и Каллиппа, Аристотель, помимо высшего первичного двигателя, приводящего в движение сферу неподвижных звезд, допускает существование других вечных и неподвижных божественных сущностей, которые, ведая движением остальных небесных сфер, занимают в мировой иерархии низшее положение по отношению к «первичному двигателю». В средние века эта концепция была развита Фомой Аквинским применительно к потребностям христианской теологии.

Если для «надлунной» области характерны вечные, равномерные движения по кругам, то в «подлунной» об-

ласти любые перемещения могут быть лишь местными и временными. Они делятся на естественные, причина которых лежит в природе перемещаемого тела, и насильственные, т. е. такие, которые совершаются под действием внешней силы. Анализ насильственных перемещений привел Аристотеля к первому наброску динамики, основными понятиями которой являются сила, скорость и сопротивление. Сила определяется Аристотелем как причина движения; поскольку Аристотель считал, что с прекращением причины прекращается ее действие, то в его динамике движение тела должно непрерывно поддерживаться действующей на нее силой. Скорость приведенного в движение тела пропорциональна действующей на него силе; изменение величины силы вызывает соответствующее изменение скорости тела. Причиной того, что приведенное в движение тело продолжает двигаться даже когда оно оторвалось от источника движения, Аристотель считает воздух, окружающий тело. Если бы воздуха не было, то с прекращением действия силы тело мгновенно остановилось бы. С другой стороны, окружающая тело среда оказывает сопротивление его движению. Скорость тела пропорциональна отношению действующей на него силы к сопротивлению окружающей среды. Если бы сопротивление среды отсутствовало, то любая сила сообщила бы телу бесконечно большую скорость. Это — один из аргументов, которым пользуется Аристотель, доказывая невозможность существования пустоты. Динамика Аристотеля — это динамика тел, движущихся в материальной среде.

Наряду с рассмотрением механических движений Аристотель дал общую теорию качественных изменений и превращений тел, изложенную им в трактате «О возникновении и уничтожении» и частично в четвертой (последней) книге «Метеорологии».

Аристотель не был математиком и не написал ни одного математического сочинения, но он был хорошо знаком с достижениями греческих математиков, и в его книгах можно найти важные замечания, имеющие непосредственное отношение к математическим наукам. Математику — наряду с физикой и «первой философией» — он относил к числу теоретических наук. Предметом математики, по его мнению, является не какой-либо класс чувственно воспринимаемых объектов, а некоторый род свойств, присущих любым объектам, — именно те свой-

ства, которые имеют отношение к категории количества. Под категорию количества подпадают, во-первых, числа, а во-вторых, протяженные величины. Количественные свойства математика изучает, отвлекаясь от всех чувственно воспринимаемых свойств предметов, поэтому математические истины познаются не с помощью органов чувств, а с помощью разума. Этим определяются особенности математического метода: математика исходит из определений и аксиом, т. е. бесспорных положений, из которых с помощью логических умозаключений выводятся теоремы и другие следствия. Характерно, что почти все примеры доказательств, приводимые Аристотелем во «Второй Аналитике», взяты им из области математики.

Помимо чистой математики, Аристотель отмечал ряд дисциплин, изучающих количественные свойства определенных классов объектов. Это — астрономия, механика, оптика, наука о гармонии и т. д. Эти науки имеют отношение как к физике, так и к математике: по своему предмету они ближе к первой, а по методам — ко второй.

Весьма существенную часть в научном наследии Аристотеля составляют его сочинения, относящиеся к области живой природы. До нас дошли 4 больших и 11 малых биологических трактатов Аристотеля, в которых с исчерпывающей полнотой изложено все, что было к тому времени известно в этой области. В этих трактатах Аристотель выступает как истинный основоположник биологической науки, и утверждение, что, несмотря на всю свою универсальность, Аристотель-ученый был прежде всего и по преимуществу биологом, представляется недалеким от истины.

В сфере внимания Аристотеля находился как животный мир, так и мир растений. Но ботанические трактаты Аристотеля были менее значительными и не дошли до нас; последнее обстоятельство отчасти объясняется тем, что работу по изучению растений блестяще продолжил ученик Аристотеля Теофраст, далеко превзошедший в этой области своего учителя. Наоборот, все зоологические сочинения Аристотеля сохранились и дают достаточно полное представление о размахе его естествоиспытательской деятельности.

Прежде всего поражает количество материала, бывшего в распоряжении Аристотеля. Это не только собственные наблюдения философа, но и информация, полученная из самых различных источников — из рассказов охотников,

рыболовов, пастухов, из врачебных сочинений и т. д. В своих сочинениях Аристотель описал 495 видов различных животных (это превышает число видов, находимых нами в «Естественной истории» Плиния, написанной несколькими столетиями позднее), в том числе 160 видов птиц, 120 видов рыб, 60 видов млекопитающих, 60 видов насекомых и т. д. По ареалу своего распространения изученная Аристотелем фауна охватывает берега Эгейского моря и Архипелаг, по преимуществу же — Македонию, Троаду и остров Лесбос.

Аристотель дает первую в истории науки классификацию животного мира. Прежде всего он делит животных на обладающих кровью (ta apaima) и лишенных крови (ta enaima). Поскольку под кровью Аристотель понимал только красную кровь, то это деление, грубо говоря, совпадает с делением на позвоночных и беспозвоночных животных. Аристотель, между прочим, указывает, что животные с кровью имеют позвоночник и, как правило, обладают четырьмя конечностями, хотя и не кладет эти факты в основу своей классификации. Животные с кровью делятся, далее, на четвероногих живородящих, четвероногих яйцекладущих, двуногих (птицы) и безногих (рыбы). Кроме того, он выделяет особые группы, не подходящие под его классификацию; это — водные живородящие (киты, дельфины), летающие живородящие (летучие мыши), змеи. Эти группы, однако, причисляются им по другим признакам либо к четвероногим живородящим (млекопитающие), либо к четвероногим яйцекладущим (пресмыкающиеся). Сопоставление животных по их внутреннему строению привело Аристотеля к последовательному расположению живых существ соответственно определенной шкале (самая ранняя попытка создания «лестницы природы»).

В биологических сочинениях Аристотеля (и в первую очередь в канитальной «Истории животных») содержится множество сведений об образе жизни и нравах животных, о способах их размножения, о сроках спаривания, о ходе беременности у живородящих животных, о постройке гнезд и откладывании яиц птицами, об особенностях развития рыб и т. д. Аристотель описывает места обитания животных, приводит сведения об их питании, передвижениях, зимней спячке, линьке, заботе о потомстве, обсуждает проблему благоприятных и неблагоприятных условий для жизни животных.

В трактате «О возникновении животных» излагаются сведения из области эмбриологии человека и животных. В нем рассматриваются также вопросы, касающиеся происхождения половых различий, наследования признаков, возникновения уродов и многоплодия и формирования признаков в процессе постэмбрионального развития.

О точности сведений, которыми располагал Аристотель, свидетельствует хотя бы такой факт. Он писал, что существует группа живородящих рыб (акулы и скаты) и отмечал, что у одной из акул (обозначавшейся родовым именем *Galeios*) яйца прикрепляются к матке с помощью органа, сходного с последом четвероногих живородящих животных. Это наблюдение Аристотеля в течение многих столетий считалось ошибочным, и только в середине XIX в. немецкий зоолог И. Мюллер доказал его правильность.

Другой пример. В главе «Истории животных», посвященной головоногим моллюскам, Аристотель указывает, что у сепий, кальмаров и каракатиц имеются два длинных хоботка, отсутствующие у осьминогов, с помощью которых эти животные захватывают и препровождают в рот пищу, а зимой прикрепляются к скале и стоят так, подобно кораблям на якоре. И это наблюдение долгое время оставалось неподтвержденным, но в конечном счете также оказалось совершенно верным. Великий естествоиспытатель XIX в. Ж. Кювье, впервые после Аристотеля детально изучавший анатомию головоногих моллюсков, убедился в полноте и точности аристотелевских описаний.

С не меньшей точностью (хотя, может быть, и не всегда с той же полнотой) Аристотель описывал и другие классы животных — ракообразных, брюхоногих моллюсков, иглокожих, насекомых, птиц и т. д. Следует при этом указать, что он производил многочисленные анатомические рассечения изучаемых им животных, самым тщательным образом исследуя органы пищеварения, размножения и другие части их тел и фиксируя свои наблюдения в виде рисунков. Альбомы таких рисунков, именовавшиеся «Анатомиями» (*anatomiā* — по-гречески — «рассечения»), служили приложениями к «Истории животных»; к сожалению, эти альбомы оказались позднее безвозвратно утраченными.

Проблемы, связанные с органами чувств, с происхождением и особенностями ощущений, а также с умствен-

ной деятельностью человека, затрагиваются в ряде сочинений Аристотеля и прежде всего в трактате «О душе». Человеческая душа, по Аристотелю, имеет тройственный характер: она состоит из души растительной, или питающей, души чувствующей и души разумной. Разумная душа существует только у человека, животным присуща питающая и чувствующая душа, растениям же — только питающая.

Наше изложение научных взглядов Аристотеля было бы неполным, если бы мы оставили в стороне его сочинения по логике. Общеизвестно, что Аристотель считается создателем формальной логики, т. е. учения об умозаключениях и доказательствах. Это учение, называвшееся им «аналитикой», изложено в специальном трактате, состоящем из двух частей («Аналитика Первая» и «Аналитика Вторая»). Однако сам Аристотель не считал логику отдельной наукой; по его мнению, это скорее орудие («органон») всякой науки, ибо никакая наука, заслуживающая этого наименования, не может обойтись без умозаключений и доказательств. Необходимо, однако, отметить, что в своих сочинениях по логике Аристотель вышел за рамки чисто формальной логики; это особенно заметно при чтении «Топики» — одного из наиболее интересных логических трактатов Аристотеля, в котором он развивает основные принципы достижения не достоверного, а всего лишь вероятностного знания; этот раздел логических исследований в отличие от «аналитики» Аристотель назвал «диалектикой».

В своих логических трактатах Аристотель явился творцом новой огромной области знания. Все, что было сделано в логике до него — элеатами, софистами, Платоном, — было всего лишь подходами, попытками уяснить отдельные принципы и методы, без какой-либо их систематизации и объединения в единую стройную систему. Не случайно в трактате «Софистические опровержения» Аристотель пишет не без оттенка вполне оправданной гордости:

«... в искусстве красноречия имелось многое и давно сказанное. Что же касается учения об умозаключениях, то мы не нашли ничего такого, что было бы сказано до нас, а должны были сами создать его с большой затратой времени и сил».

Аристотель стал основоположником одной из важнейших научно-философских школ древности, получившей наименование перипатетической. Она была названа так потому, что Аристотель имел обыкновение прогуливаться со своими учениками по саду Ликей, обсуждая с ними те или иные вопросы (peripateō — гуляю, прогуливаюсь). Наиболее значительными учениками Аристотеля считаются: Феофраст из Эреса (на острове Лесбос), Евдем Родосский, Аристоксен Тарентский, Дикеарх Мессинский. Все они были самостоятельными учеными, сохранявшими общий дух основоположника школы, но в отдельных вопросах не останавливавшимися перед существенными отклонениями от взглядов своего учителя.

Самым талантливым из них был, бесспорно, Феофраст (372—287 гг. до н. э.), возглавивший школу после того, как Аристотель, незадолго до смерти, в последний раз покинул Афины, и оставивший ее руководителем в течение 36 лет. Феофраст написал множество сочинений, относившихся к самым различным областям знания, из которых до нас почти целиком дошли только два больших трактата по ботанике («История растений» и «Причины растений»), имевшие такое же значение для становлений этой науки, как «История животных» Аристотеля для зоологии. Наряду с более или менее значительными отрывками из других естественнонаучных сочинений Феофраста (например, «О камнях», «О ветрах» и т. д.) мы имеем ряд фрагментов из его большого труда «Мнения физиков», в котором в строго систематическом порядке излагались воззрения философов-досократиков. О характере этого сочинения можно судить по сохранившемуся отрывку «Об ощущениях». Его утеря представляется особенно огорчительной потому, что оно явилось основным источником сведений о досократиках для всех позднейших античных авторов (Аэций, Диоген Лаэртский, Плутарх, Стобей и др.), составлявших историко-философские или философско-биографические компиляции, лишь частично дошедшие до нашего времени. Что же касается «Характеров» Феофраста, пользовавшихся в прошлом (особенно в XVIII в.) колоссальной популярностью, то их, по-видимому, следует рассматривать как ряд выдержек из большого сочинения по этике.

Евдем, о жизни которого почти не имеется сведений, был менее продуктивным и самостоятельным мыслителем, чем *Феофраст*. В первые годы после смерти *Аристотеля* он работал вместе с *Феофрастом* над дальнейшим развитием аристотелевской логики, а затем вернулся к себе на родину (на остров *Родос*), где открыл филиал школы. Большой интерес, по-видимому, представляли его работы по истории астрономии и математики, на которые впоследствии многократно ссылался неоплатоник *Прокл*.

Аристоксен был выходцем из пифагорейской школы, влияние которой, по-видимому, сильно ощущалось в его сочинениях. Так, в его рассуждениях о соотношении души и тела большую роль играло пифагорейское понятие гармонии. Он написал несколько сочинений по истории и теории музыки, от которых до нас дошел ряд отрывков.

Что касается *Дикеарха*, то он занимался преимущественно географией, историей и политикой. О его географических работах будет сказано несколько ниже.

Помимо перечисленных непосредственных учеников *Аристотеля*, следует еще упомянуть более молодого по сравнению с ними *Стратона* из Лампсака, руководившего школой после смерти *Феофраста* (с 287 по 269 гг. до н. э.). *Стратон* был, несомненно, выдающимся ученым. Его интересы лежали главным образом в области физики и психологии; к сожалению, от его сочинений до нас дошли лишь немногие и малозначительные фрагменты. На основании косвенных источников можно заключить, что *Стратон* отошел от *Аристотеля* в ряде самых существенных пунктов. Основным понятием в его учении было понятие «природы» (*physis*), которую он считал универсальной, неотделимой от материи силой; наоборот, бог и душа как самостоятельно действующие агенты им решительно отрицались. Он отказался от аристотелевской концепции естественных мест для элементов и полагал, что все четыре элемента обладают различными степенями тяжести. *Стратон* подверг обстоятельной критике атомистическое учение своего современника *Эпикура*, но в то же время заимствовал некоторые положения атомистики. Материя, по его мнению, состоит из частиц, в принципе делимых, которые отделены друг от друга промежутками, занимающими меньший объем, чем эти частицы (тем самым *Стратон* объяснял свойство сжимаемости, присущее многим телам, которое считалось одним из важнейших эмпирических аргументов в пользу атомистики). Помимо

удара и тяжести, Стратон допускал существование и других действующих сил (к ним он относил, в частности, теплоту и холод). Душу в отличие от Платона и Аристотеля Стратон считал единой; по его мнению, она является источником как восприятий и ощущений, так и мышления и локализуется в передней части головы, между бровями. Нам только кажется, что ощущения возникают в органах чувств: последние служат лишь восприимчивыми внешними раздражениями, которые передаются душе с помощью промежуточного агента, каковым является пневма (воздух). Неизвестно, приписывал ли Стратон также и душе воздушную природу. Восприятия могут сохраняться в душе в течение длительного времени; в результате их движения возникает мышление (ибо мы не можем мыслить ничего, что ранее не было бы воспринято нами).

В целом учение Стратона представляло собой своеобразную материалистическую переработку перипатетической физики и психологии и содержало ряд положений, имевших бесспорно прогрессивное значение. То, что в дальнейшем как это учение, так и личность самого Стратона были основательно забыты, объясняется стечением ряда обстоятельств, среди которых немалую роль, по-видимому, сыграл момент исторической случайности.

Преемник Стратона по руководству школой Ликон из Троады (умер в 225 г. до н. э.) не был большим ученым, хотя и написал ряд сочинений, отличавшихся не столько глубиной содержания, сколько изяществом формы. После этого наступил длительный период упадка перипатетической школы. В течение этого периода те сочинения, которые теперь входят в «Корпус Аристотеля», оставались практически неизвестными; наоборот, читались и пользовались популярностью лишь ранние произведения философа, написанные им, когда он еще был в составе платоновской Академии (именно на них ссылаются, например, Цицерон в своих философских трактатах). Положение меняется, когда в конце I в. до н. э. собрание аристотелевских рукописей попадает в Рим, где они приводятся в порядок, подвергаются текстологической обработке и снабжаются комментариями Андроником Родосским. С этого времени начинается новый период существования перипатетической школы, когда ее представители направляют свои усилия на изучение и комментирование текстов великого основоположника школы.

НАУКА ЭПОХИ ЭЛЛИНИЗМА

Эллинизм и зарождение александрийской науки

Образование империи Александра Македонского знаменовало собой окончательное крушение греческой общественно-политической формы города-государства и явилось поворотным пунктом и началом новой эры не только в политической, но и культурной истории древнего мира. Эта эра — эллинизм. Походы Александра далеко раздвинули пределы известного грекам мира и, расширив их кругозор, способствовали утверждению нового мироощущения, не свойственного жителям Эллады классической эпохи. Раньше греки тоже не оставались безвыездно в своих городах: они отправлялись в морские путешествия и основывали колонии на берегах Черного и Средиземного морей. Эти колонии были чисто греческими поселениями в варварском окружении и, за исключением отдельных случаев (Навкратис в Египте), нельзя было говорить о сколько-нибудь существенном влиянии этого окружения на обычаи, представления о мире и культурные интересы греческих поселенцев. Теперь же под властью Александра оказались великие древние цивилизации, во многих аспектах превосходившие греческую, и непосредственный контакт с ними не мог не привести к самым серьезным последствиям для греческой культуры, и в первую очередь для отношения греков к окружающему миру. Присущие грекам классической эпохи черты партикуляризма, национальной гордости и ощущения своей исключительности сменились космополитизмом, ставшим в дальнейшем характерной особенностью всей поздней античности; возникновение Римской мировой державы и победа христианства не погасили, а лишь усилили эти космополитические тенденции. Другой важный момент состоял в потере старой Грецией ее прежней культурной гегемонии. Если Афины еще продолжали оставаться местом пребывания важнейших философских школ, то оформившиеся к этому времени специальные науки нашли более благо-

приятную почву для своего развития в столицах новых государств, на которые распалась империя Александра после смерти ее создателя. Эти государства были своеобразными конгломератами греческих и местных элементов, причем культурная элита в них почти целиком состояла из греков, а греческий язык стал языком образованных слоев общества и одновременно международным языком новой эпохи. На первое место среди новых столиц быстро выдвинулась Александрия, где уже основатель династии — Птолемей I Сотер (323—283 гг. до н. э.) — приютил ученика Феофраста Деметрия Фалерского, который может считаться первым «переносчиком» в Александрию аристотелевских традиций. Несколько позднее в Александрию был приглашен Стратон Лампсакский для участия в воспитании наследника престола, будущего Птолемея II (подобно тому, как Аристотель участвовал в воспитании Александра Македонского). Стратон находился в Александрии вплоть до смерти Феофраста (в 287 г.), после чего вернулся в Афины, чтобы принять на себя руководство школой. При первых правителях династии Птолемеев была основана знаменитая александрийская Библиотека, начало которой положено Деметрием, а также учрежден Мусей (Mouseion) — научное учреждение, при котором жили крупнейшие ученые и литераторы, получавшие государственное жалованье, достаточное для того, чтобы они могли целиком посвятить себя научным занятиям. Большого развития достигла там же книгоиздательская деятельность, чему в немалой степени способствовала монополия Египта на папирус — единственный книжный материал, получивший в то время широкое распространение; в результате Александрия вскоре стала крупнейшим центром книжной торговли. Все это привело к тому, что уже в III в. до н. э. александрийская наука достигла расцвета почти во всех оформившихся к тому времени областях знания.

Не только Птолемей Сотер и его преемники, но и другие «диадохи» (так назывались бывшие полководцы Александра Македонского, разделившие между собой его империю) были меценатами наук и искусств. К этому их побуждали соображения престижа, а порой и личный интерес. Так, крупные библиотеки, а при них научные центры возникли в Пелле (Македония), Пергаме (западная Малая Азия), Антиохии (Сирия), а также в городах, не бывших столицами диадохов — в Родосе (на острове

того же названия), Смирне, Эфесе. Интерес к наукам проявляли также сицилийские тираны, с которыми еще в начале IV в. до н. э. неудачно пытался флиртовать Платон. Позднее один из них — Гиерон, — захвативший власть в Сиракузах в 269 г. до н. э., стал покровителем Архимеда.

Каковы же были отличительные черты наук, с большим или меньшим успехом развивавшихся в перечисленных научных центрах и пользовавшихся покровительством тамошних царственных властителей? Эти науки уже ничем не напоминали раннюю греческую науку «о природе». Для них были характерны, с одной стороны, резкое отграничение от философии, а с другой — четкая дифференциация и специализация. Математика и астрономия, механика и оптика, физиология и эмбриология, география и история, наконец, целый ряд гуманитарных дисциплин — все они развивались самостоятельно, обладая, каждая, специфической проблематикой и присущими данной науке методами исследования. Этому, разумеется, не противоречило то обстоятельство, что некоторые величайшие ученые эпохи эллинизма (Евклид, Архимед, Эратосфен) прославились достижениями не в одной, а в нескольких областях знания.

В связи с этим в последующей части нашей книги несколько изменится и метод изложения: рассмотрение материала будет проводиться нами уже не по учениям, каждое из которых является продуктом творчества определенного лица, а по дисциплинам.

Основные философские учения эпохи эллинизма

В отличие от специальных наук философия эллинистической эпохи не нашла благоприятной почвы в столицах новых государств и продолжала в основном оставаться афинской. Помимо платонизма и перипатетиков, в III в. до н. э. возникли новые философские школы, полемизировавшие друг с другом и боровшиеся за успех и влияние.

С точки зрения истории науки интерес представляют лишь две из этих школ — эпикурейство и стоицизм.

Основатель первой из них *Эпикур* (342—270 гг. до н. э.) был сыном афинянина Неокла, проживавшего на острове Самос. Восемнадцать лет от роду он стал учеником Нав-

зифана, придерживавшегося атомистической доктрины Демокрита, и принял основные положения атомистики. Большое влияние на него (особенно в этической части) оказало также учение основателя скептической школы Пиррона, жившего примерно в это же время с немногими учениками в Элиде. Выработав собственную систему, Эпикур в течение нескольких лет учил в Лампсаке и Митилене (на острове Лесбос), а затем, в 306 г., перенес свою школу в Афины, где жил со своими учениками и друзьями в «саду», который и после его смерти продолжал служить местопребыванием эпикурейской школы.

Приняв атомистику Демокрита в целом, Эпикур пытался усовершенствовать ее в тех вопросах, которые вызвали наиболее острую критику ее противников. Так, он признавал наличие абсолютной противоположности верха и низа; по его представлениям, в бесконечной бездне пространства бесчисленные множества атомов несутся сверху вниз, увлекаемые силой тяжести. Тяжесть атомов пропорциональна их величине, однако различия в тяжести не влияют на скорость их падения в пустоте; этот тезис выводился Эпикуром из представлений о дискретной структуре пространства (он считал, что из бесконечной делимости пространственных интервалов неизбежно вытекала бы — в соответствии с аргументами Зенона Элейского — невозможность всякого движения). Атомы в своем падении с одинаковой скоростью могут отклоняться от строго вертикального направления. Эти отклонения (позднее обозначенные Лукрецием латинским термином *clinamen*) невелики, но произвольны. Отклоняясь, атомы могут сталкиваться друг с другом, сцепляться и образовывать скопления и вихри, приводящие к возникновению миров.

Источником всякого знания, согласно учению Эпикура, являются чувственные восприятия; в этом отношении Эпикур был представителем последовательного сенсуализма в греческой философии. Адекватность восприятий вызывающим их внешним объектам обосновывалась Эпикуром с помощью демокритовской теории истечений и образов.

В соответствии с воззрениями творцов атомистики, Эпикур считал душу телесной, состоящей из наиболее легких и подвижных атомов; при этом он делил ее на несколько составных частей, обладающих разными функциями. Единство души обусловлено сдерживающей

ее телесной оболочкой; в случае гибели последней душа улетучивается, распадаясь на отдельные атомы. В целом учение о душе было разработано Эпикуром весьма основательно, ибо оно служило фундаментом для его этики, составлявшей ядро и важнейшую часть всей его философской системы.

Как и Демокрит, Эпикур признавал существование богов, но отрицал, что они как-либо влияют на ход мирового процесса: обитая в пространствах между мирами, боги пребывают в состоянии вечного блаженства, не нарушаемого никакими заботами или страстями.

От Эпикура дошли до нас лишь немногие тексты: три философских письма (к Пифоклу, Геродоту и Менекею), сборник важнейших эпикурейских максим (*Kuriai doxai*) и ряд фрагментов. Влияние эпикуреизма в позднейшие эпохи определялось не сочинениями самого Эпикура, а поэмой «О природе вещей», написанной последователем Эпикура римским поэтом Лукрецием.

Если эпикурейство было еще во всех отношениях порождением эллинского духа, то наиболее могучая философская школа этой эпохи — стоицизм — вобрала в себя много восточных элементов. Характерно, что почти все ведущие деятели этой школы были так или иначе связаны с Востоком. Ее основатель *Зенон* (ок. 366—264 гг. до н. э.) был уроженцем финикийской колонии Китион на Кипре. Школа его получила наименование по месту, в котором происходили занятия (*stoa* — крытая галлерея с колоннами). Большого влияния школа стоиков достигла в конце III в. до н. э., когда ее руководителем стал выдающийся ученый *Хрисипп* из Сол (Киликия). Преемником Хрисиппа был *Диоген* из Вавилона, а последний большой мыслитель греческого стоицизма — *Посидоний Родосский* (первая половина I в. до н. э.) — происходил из Сирии.

Философия, по мнению стоиков, распадается на три главных отдела — логику, физику и этику. В отличие от Аристотеля, признававшего за логикой значение лишь орудия всякого познания, стоики считали логику самостоятельной наукой. Эта наука, по их мнению, изучает и словесные знаки (звуки, слоги, слова, предложения) и обозначаемое ими (понятия, суждения, умозаключения). Таким образом, стоики относили к логике и грамматику, и философию языка. В рассуждениях стоиков, относящихся к логике, имеется много очень интересных

мыслей, на которых мы здесь не имеем возможности останавливаться.

Физико-космологические воззрения стоиков обладают также значительным своеобразием. Стоики признавали элементами всего сущего четыре стихии, но из них они выделяли «высшие» стихии — огонь и воздух, противопоставляя их низшим — воде и земле. Сочетание огня и воздуха образует «пневму» — нечто вроде души, проникающей все вещи и мир в целом; хотя эта душа материальна, она обладает активностью и формообразующей способностью; наоборот, вода и земля пассивны, инертны и получают форму от пневмы. Взаимопроникновение пневмы и материи имеет своеобразный характер; пневма непрерывна и заполняет все пространство, в том числе и те его точки, которые уже заняты материальными вещами. В этом смысле пневму можно сопоставить с эфиром (или полем) физики нового времени. Это сопоставление оказывается тем более уместным, что в силу внутренних движений, в ней происходящих, пневма всегда находится в состоянии известного натяжения (*tonos*); степенью этого натяжения определяются различные градации форм пневмы. Величина и фигура тел, а также все их качества — все это является результатом действия пневмы. В мире органической природы пневма обуславливает жизнедеятельность живых существ, причем от тонкости «пневматической» формы зависит степень организации данного класса животных или растений. Космос в целом объединяется пневмой, которая придает ему единство и охватывает все, что в нем содержится. Существует только один космос: он имеет сферическую форму и окружен беспредельным пустым пространством. Космос — живое разумное существо, проходящее циклический путь развития. Он возникает из первичного огня, проходит стадии, когда в нем раскрывается все многообразие сущего, а затем вновь разрешается в стихию огня в результате всеобщего воспламенения (*ekpyrōsis*). Этот процесс необходим и причинно обусловлен — так же, как причинно обусловлены и все единичные события мирового процесса, включая кажущиеся произвольными действия живых существ. Эту единую и необходимую причинную связь всего совершающегося стоики называли термином «рок» или «судьба» (*heimarmenē*).

Центральное место в философии стоиков занимала этика. И хотя проблемы этики, как и вообще гуманитарных

наук, лежат за пределами нашего рассмотрения, все же несколько слов об основных положениях этики стоиков необходимо сказать.

Подобно эпикурейцам (и в полном соответствии с общепринятой в античности точкой зрения), главной целью человеческой жизни стоики считали счастье (*eudaimonia*). Но если эпикурейцы понимали под счастьем наслаждение, то для стоиков высшим счастьем человека считалась жизнь, согласующаяся с его «природой». Это означало, что человек должен стремиться к максимальной степени совершенства, развивая свои естественные задатки и способности. Максимальная же степень совершенства человека тождественна с добродетелью; следовательно, жизнь, согласующаяся с «природой», есть по учению стоиков, не что иное, как добродетельная жизнь. В этом вопросе стоики кардинально отличались от другой современной им школы — кинической, основателем которой был один из учеников Сократа *Антисфен*. По мнению киников, согласие с «природой» было эквивалентно отказу от всякого рода человеческих норм и установлений; поэтому киники проповедовали ничем не сдерживаемое следование «естественным» инстинктам и побуждениям (отметим, в связи с этим, что об ученике Антисфена *Диогене Синопском* — наиболее ярком представителе кинической школы — имеются многочисленные анекдоты).

Таким образом, если киники довели до крайних выводов развивавшуюся софистами доктрину о противоположности «природы» и «закона» (*physis — nomos*), то у стоиков понятие «природы» было радикально переосмыслено. Отождествляя «природу» со стремлением к добродетели, стоики по сути дела сняли указанную софистическую противоположность.

География

География была наукой, в наибольшей степени испытавшей непосредственное воздействие походов Александра Македонского. До этого географический кругозор греков еще не очень отличался от тех представлений об ойкумене, которые были изложены в книгах Геродота. Правда, в IV в. до н. э. путешествия в далекие страны и описания чужих земель становятся более частыми по сравнению с предшествующим столетием. В знаменитом «Анабазисе» Ксенофонта содержится много интересных дан-

ных по географии и этнографии Малой Азии и Армении. Ктесий Книдский, состоявший в течение 17 лет (415—399 гг.) врачом при персидском дворе, написал ряд исторических и географических сочинений, из которых, помимо описания Персии, особой популярностью в древности и в средние века пользовалось описание Индии, содержавшее массу баснословных сведений о природе и жителях этой страны. Позднее (около 330 г. до н. э.) некий Пифей из Массилии предпринял путешествие вдоль западных берегов Европы; миновав Гибралтар и открыв Бретонский выступ, он в конце концов достиг полумифической земли Фуле, которую некоторые исследователи отождествляют с теперешней Исландией, другие же — с Норвегией. Отрывки из сочинения Пифея приведены в трудах Полибия и Страбона.

И все же, когда Александр Македонский начал свои походы, и он, и его полководцы имели лишь очень слабое представление о странах, которые им предстояло завоевать. Армию Александра сопровождали «землемеры» или, точнее, «шагомеры» (*bēmatistoi*), устанавливавшие, на основе подсчета шагов, пройденные расстояния, составлявшие описание маршрутов и наносившие на карту соответствующие территории. Когда Александр возвращался из Индии, часть войска была им отправлена морем, причем командир флота Неарх получил приказание исследовать береговую полосу Индийского океана. Покинув устье Инда, Неарх благополучно достиг Двуречья и написал отчет об этом плавании, которым позднее пользовались историографы походов Александра Арриан и Страбон. Данные, накопленные во время походов Александра, позволили ученику Аристотеля *Дикеарху* из Мессаны составить карту всех известных тогда районов ойкумены.

Представление о шарообразности Земли, окончательно утвердившееся в Греции в эпоху Платона и Аристотеля, поставило перед греческой географией новые принципиальные задачи. Важнейшей из них была задача установления размеров земного шара. И вот Дикеарх предпринял первую попытку решить эту задачу с помощью измерений положения зенита на разных широтах (в районе Лисимахии у Дарданелл и у Ассуана в Египте), причем полученное им значение земной окружности оказалось равным 300 000 стадиев (т. е. около 50 000 км вместо истинного значения 40 000 км). Ширину ойкумены (с севера

на юг) Дикеарх определил в 40 000 стадиев, а длину (с запада на восток) — 60 000.

Наряду с этим Дикеарх занимался определением высот горных вершин и составил описание Греции в трех книгах. В целом же Дикеарх с полным правом может считаться первым географом-профессионалом в греческой науке.

Интересовался географией и другой представитель перипатетической школы — *Стратон*. Он высказал гипотезу, что Черное море было когда-то озером, а потом, соединившись со Средиземным морем, начало отдавать свои излишки Эгейскому морю (наличие течения в Дарданеллах было известным фактом, обсуждавшимся, в частности, Аристотелем; вспомним также историю постройки мостов через этот пролив для войска Ксеркса). Средиземное море, по мнению Стратона, также было ранее озером; когда оно прорвалось через узкий Гибралтарский пролив (называвшийся тогда Геркулесовыми столбами), уровень его снизился, обнажая побережье и оставляя раковины и отложения солей. Эта гипотеза потом оживленно обсуждалась Эратосфеном, Гиппархом и Страбоном.

Высшие достижения александрийской географии связаны с именем *Эратосфена* из Кирены, в течение долгого времени (234—196 гг. до н. э.) стоявшего во главе александрийской библиотеки. Эратосфен был необычайно разносторонним человеком, оставившим после себя сочинения по математике, астрономии, истории (хронологии), филологии, этике и т. д.; однако его географические работы были, пожалуй, наиболее значительными.

Большой труд Эратосфена «География», состоявший из трех книг, не сохранился, но его содержание, а также полемические замечания к нему Гиппарха довольно полно изложены Страбоном. В первой книге этого сочинения Эратосфен дает очерк истории географии, начиная с древнейших времен. При этом он критически высказывается по поводу географических сведений, приводимых «непогрешимым» Гомером; рассказывает о первых географических картах Анаксимандра и Гекатея; выступает в защиту описания путешествия Пифея, неоднократно высмеивавшегося его современниками. Во второй книге Эратосфен приводит доказательства шарообразности Земли, упоминает о своем методе измерения размеров земного шара и развивает соображения об ойкумене, которую он считал островом, со всех сторон окруженным океаном.

На этом основании он впервые высказал предположение о возможности достичь Индию, плывя из Европы на запад. Третья книга представляла собой подробный комментарий к составленной Эратосфеном карте.

Метод, примененный Эратосфеном для определения окружности Земли, был подробно описан им в специальном сочинении; метод состоял в измерении длины тени, отбрасываемой гномоном в Александрии в тот самый момент, когда в Сиене (Ассуане), находившейся приблизительно на том же меридиане, Солнце стоит прямо над головой (рис. 6). Угол между вертикалью и направлением на Солнце оказался (в Александрии) равным $\frac{1}{50}$ полного круга. Считая расстояние между Александрией и Сиеной равным 5000 стадиев (немного менее 800 км*), Эратосфен получил для окружности земного шара приближенное значение 250 000 стадиев. Более точные вычисления дали значение 252 000 стадиев, или 39 690 км, что всего лишь на 310 км отличается от истинной величины. Этот результат Эратосфена оставался непревзойденным вплоть до XVII в.

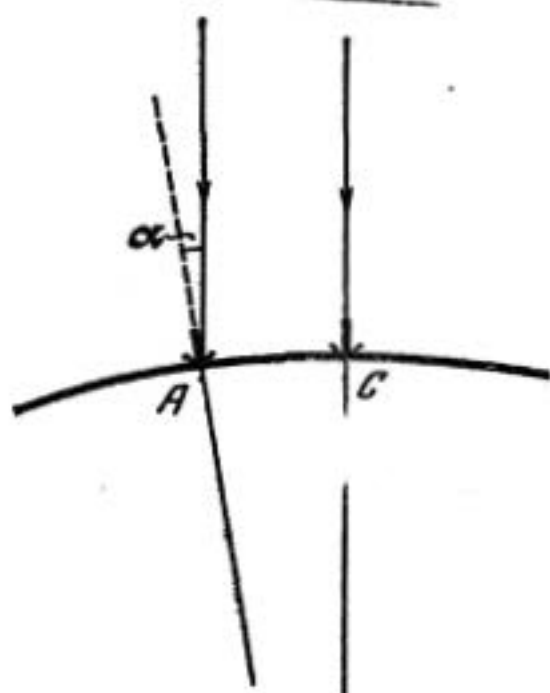


Рис. 6. Метод определения окружности Земли по Эратосфену (А — Александрия, С — Сиена)

Знаменитый астроном II в. до н. э. Гиппарх написал сочинение, в котором подверг резкой критике «Географию» Эратосфена. Критика в основном касалась методов локализации географических объектов. Гиппарх считал недопустимым придавать серьезное значение свидетельствам путешественников или моряков об удаленности и ориентации этих объектов; он признавал лишь методы, основанные на точных объективных данных, к которым он относил высоту звезд над горизонтом, длину тени, отбрасываемой гномоном, различия во времени наступления лунных затмений и т. д. Вводя в употребление сетку меридианов и параллелей в качестве основы для построе-

* Длина египетского стадия, которым, по-видимому, пользовался Эратосфен, была равна 157,5 м.

вия географических карт, Гиппарх явился основоположником математической картографии.

На примере географии мы видим, что даже эта наука, ранее бывшая чисто описательной, подверглась в александрийскую эпоху процессу математизации. Еще в большей степени этот процесс был характерен для развития астрономии, механики, оптики. Поэтому мы вправе утверждать, что именно в эту эпоху математика впервые стала признанной царицей наук. А следовательно, прежде чем переходить к другим наукам, целесообразно рассмотреть замечательные достижения эллинистической математики.

Математика

Евклид. В конце IV в. до н. э. почти вся известная к тому времени математика была изложена в «Началах» Евклида — замечательном труде, которому суждено было остаться образцом и идеалом на два с лишним тысячелетия*.

О личности Евклида мы почти ничего не знаем, за исключением того, что он был современником Птолемея I Сотера и преподавал математику в Александрии. Предполагается, что он получил математическое образование в Афинах (может быть, в Академии?). Судя по тому, что Архимед приводит в одной из своих книг предложение, взятое из «Начал», этот основной труд Евклида был, по видимому, к тому времени уже хорошо известен. Не легко оценить вклад, внесенный в математику самим Евклидом, поскольку он, по всей видимости, был не столько творческим гением, подобно Евдоксу или Архимеду, сколько блестящим педагогом и систематизатором. Основное содержание «Начал» Евклида составляют открытия Гиппократы Хиосского, Теэтета, Евдокса и других математиков предшествующей эпохи, причем излагаемому материалу Евклид придал логическую стройность и формальную законченность.

Дошедший до нас текст «Начал» состоит из пятнадцати книг, причем две последние были написаны не Евкли-

* Греческое наименование основного труда Евклида — «Stoicheia», что было бы правильнее переводить как «Элементы». Мы, однако, сохраняем принятый в русской литературе перевод.

дом, а добавлены позднее. Кратко резюмируем содержание каждой из них.

Первые четыре книги «Начал» посвящены геометрии на плоскости — в них представлен тот же материал, который, предположительно, уже содержался в книге Гипократа Хиосского. Из этого, однако, не следует, что в своем изложении Евклид просто повторял Гипократа. В особенности это относится к I книге, начинающейся с определений, постулатов и аксиом. В числе постулатов имеется знаменитый (пятый) постулат о параллельных линиях, попытки изменения которого привели впоследствии к созданию неевклидовых геометрий. После этого идут теоремы, устанавливающие важнейшие свойства треугольников, параллелограммов, трапеций. В конце книги приводится теорема Пифагора.

Во II книге излагаются основы геометрической алгебры. Произведение двух величин трактуется в ней как прямоугольник, построенный на двух отрезках. Устанавливается дистрибутивность умножения по отношению к сложению (т. е. если $a = a_1 + a_2 + a_3$, то $ba = ba_1 + ba_2 + ba_3$). Доказывается ряд важных тождеств, например,

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2.$$

Дается геометрическая формулировка нескольких типов задач, эквивалентных задачам на квадратные уравнения.

III книга посвящена свойствам круга, его касательных и хорд.

Накопец, в IV книге рассматриваются правильные многоугольники. Строятся правильные n -угольники при $n = 3, 4, 5, 10, 15$, причем построение правильного 15-угольника принадлежит, по-видимому, самому Евклиду.

V и VI книги «Начал» отражают вклад Евдокса в теорию отношений и ее применения к решению алгебраических задач. Особой законченностью отличается V книга, посвященная общей теории отношений, охватывающей как рациональные, так и иррациональные величины (о чем мы уже говорили в третьей главе, в разделе, посвященном Евдоксу).

VII, VIII и IX книги посвящены арифметике, т. е. теории целых и рациональных чисел, разработанной, как указывалось выше, пифагорейцами не позднее V в. до н. э. Помимо теорем, относящихся к сложению и умножению целых чисел и умножению их отношений, здесь рассматриваются вопросы теории чисел: вводится

«алгоритм Евклида», излагаются основы теории делимости целых чисел, доказывается теорема о том, что существует бесконечное множество простых чисел. Эти три книги написаны, по-видимому, на основе не дошедших до нас сочинений Архита.

X книга, содержащая изложение результатов, полученных Теэтетом, посвящена квадратичным иррациональностям. Дается их классификация (биномиали, апотомы, медиали и т. д.).

В XI книге рассматриваются основы стереометрии; здесь содержатся теоремы о прямых и плоскостях в пространстве, трехмерные задачи на построение и т. д.

В XII книге излагается метод исчерпывания Евдокса, с помощью которого доказываются теоремы, относящиеся к площади круга и к объему шара, а также выводятся соотношения объемов пирамид и конусов с объемами соответствующих призм и цилиндров.

Основные результаты XIII книги, посвященной пяти правильным многогранникам, принадлежат Теэтету.

Позднее к «Началам» были присоединены XIV и XV книги, не принадлежавшие Евклиду, а написанные позже — одна во II в. до н. э., а другая в VI в. н. э. Об их содержании будет сказано ниже.

При всем богатстве материала, включенного в «Начала» Евклида, это сочинение отнюдь не было всеохватывающей энциклопедией античной математики. Так, в него не вошли теоремы о «луночках» Гипократа Хиосского, а также три знаменитых задачи древности — об удвоении куба, трисекции угла и квадратуре круга, о которых мы говорили во второй главе. Мы не находим в нем также ни единого упоминания конических сечений, теория которых в это время уже начала разрабатываться (в том числе и самим Евклидом).

Были ли у Евклида предшественники в попытках создания дедуктивной системы математики? Безусловно, были. О Гиппократе Хиосском мы уже говорили. Как сообщает неоплатоник Прокл в своих комментариях к «Началам», аналогичные попытки предпринимались также двумя математиками IV века — неким Леоном и Февдием из Магнесии, примыкавшим к платоновской Академии. Евклид, несомненно, был знаком с их работами. Это, однако, нисколько не умаляет его собственных заслуг. Мы не можем считать случайностью, что именно «Начала» сохранились в веках, в то время как труды не-

посредственных предшественников Евклида были утеряны и забыты, и даже о их содержании не сохранилось никаких сведений. В конечном счете суд истории оказывается, как правило, справедливым.

Кроме «Начал», Евклиду приписывается еще несколько сочинений, относящихся к различным разделам математической науки. В книге «Данные» («Dedomena») Евклид рассмотрел 95 случаев, когда некоторым числом заданных величин определяются другие величины (к каковым могут относиться части фигур, их положения, взаимные соотношения и т. д.). В небольшом сочинении «О делении фигур» («Peri diaireseōn»), сохранившемся только в арабском переводе, обсуждается задача о делении данной геометрической фигуры на две части, имеющие данное отношение, с помощью прямой, имеющей данное направление или проходящей через данную точку. Некоторые математические сочинения Евклида до нас не дошли; среди них древние источники называли «Ложные заключения» («Pseudaria») и книгу о конических сечениях («Kōnika»), написанную задолго до знаменитого трактата Аполлония на эту же тему.

Помимо чисто математических сочинений, Евклид написал еще ряд сочинений, относящихся, согласно нынешней терминологии, к различным разделам математической физики. До нас дошли: «Явления» («Phainomena»), где излагается элементарная сферическая астрономия; далее, «Оптика» и «Катоптрика», о которых речь пойдет ниже, и «Сечения канона» («Katatomē kanonos»), содержавшие десять предложений о музыкальных интервалах. Изложение в этих сочинениях также имело строго дедуктивный характер, причем теоремы в них выводились из точно сформулированных физических гипотез и математических постулатов.

Архимед. Величайший ученый эпохи эллинизма Архимед формально не принадлежал к александрийской научной школе; он родился в 287 г. до н. э. в Сиракузах и там же прожил почти всю свою жизнь. Считается, однако, несомненным, что он бывал в Александрии, где установил связи с александрийскими учеными; об этом свидетельствует его переписка с Кононом, Досифеем и Эратосфеном.

Будучи сыном сиракузского математика и астронома Фидия, Архимед уже в детстве получил хорошую математическую подготовку. Но собственно математическими

проблемами он начал заниматься сравнительно поздно. В какой-то период своей жизни Архимед посетил Александрию, где сблизился с уже упомянутым Кононом (с острова Самос), занимавшим должность астронома при дворе третьего представителя династии Птолемеев — Птолемея III Эвергета (246—211 гг. до н. э.). Конон, в то время находившийся в преклонном возрасте, был, несомненно, высококвалифицированным математиком; предполагается, что именно он побудил Архимеда заняться чисто математическими проблемами. По возвращении в Александрию Архимед регулярно переписывается с Кононом, а после смерти последнего — с его учеником Досифеем. До нас дошли пять писем Архимеда к Досифею; по существу это пять математических трактатов, из которых каждый посвящен определенному кругу проблем. В соответствии с их содержанием эти письма-трактаты имеют следующие названия:

1. «Квадратура параболы»,
- 2 и 3. «О шаре и цилиндре»,
4. «О коноидах и сфероидах»,
5. «О спиралях».

Значение этих писем трудно переоценить: в них Архимед непосредственно подходит к методам высшей математики. Если в первом письме, где решается задача об определении площади параболического сегмента, отсеченного прямой, Архимед еще пользуется методом исчерпывания Евдокса, то в последующих письмах он разрабатывает свой метод, который им применяется к вычислению поверхностей и объемов ряда геометрических тел.

Метод Архимеда представляет собой дальнейшее развитие и усовершенствование метода Евдокса. Как было указано в предыдущей главе, Евдокс получал искомое значение площади (поверхности, объема), безгранично увеличивая число членов ряда величин, сумма которых имела своим пределом именно это значение. Но при этом общая схема метода еще не была сформулирована Евдоксом, и рассуждения должны были повторяться заново для каждого конкретного случая. В отличие от Евдокса Архимед заключал подлежащую определению величину между двумя интегральными суммами, разность которых могла быть сделана меньше любой наперед заданной величины. Искомая величина находится при этом как общий предел обеих сумм при безграничном увеличении числа слагае-

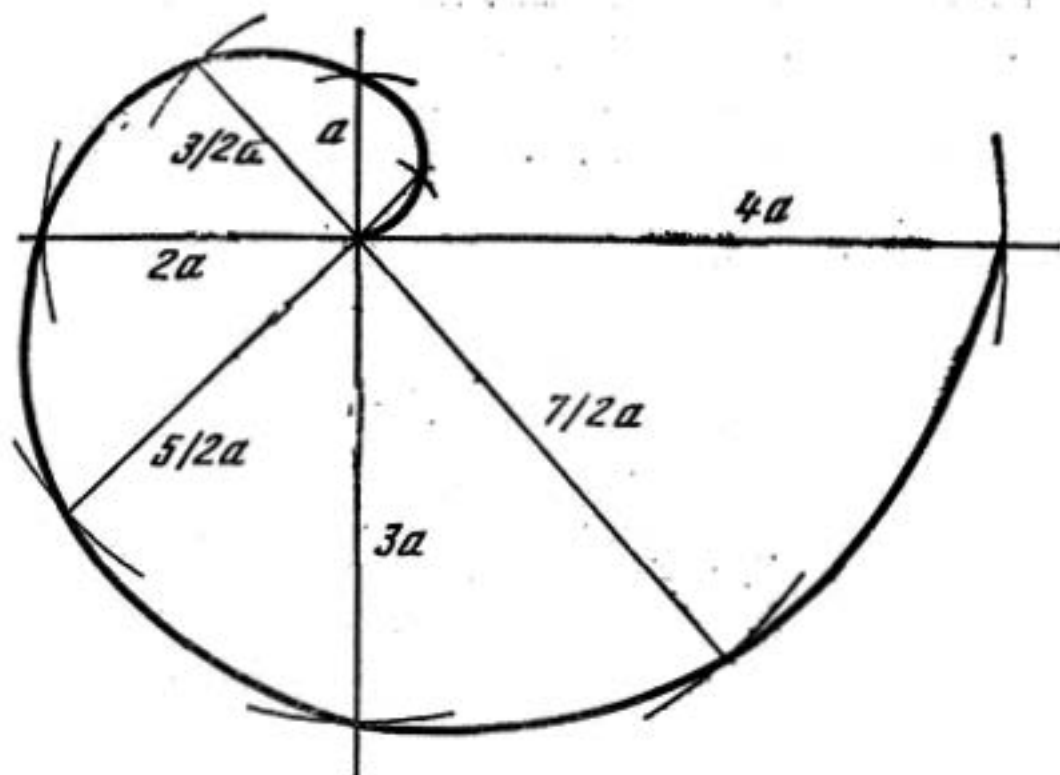


Рис. 7. Архимедова спираль ($\rho = a\varphi$)

мых, что эквивалентно задаче о вычислении определенного интеграла. При определении поверхности шара, при нахождении объема сегментов параболоида и гиперболоида, а также эллипсоида вращения Архимед, по существу дела, вычислял интегралы:

$$\int_0^{\alpha} \sin x \, dx \quad \text{и} \quad \int_0^a (ax^2 + b) \, dx.$$

Этим же методом он решал и более трудные задачи — определения длин дуг и площадей ряда кривых поверхностей.

Все эти задачи мы находим в книгах «О шаре и цилиндре», «О коноидах и сфероидах», «О спиралях». Трудно сказать, осознавал ли Архимед, что в каждой из рассмотренных им задач речь шла об одном и том же математическом понятии — понятии определенного интеграла. Во всяком случае, у него еще не было средств, чтобы дать общее определение интеграла. Кроме того, во всех решаемых задачах Архимеда интересовали в первую очередь не методы, а результаты — например, что поверхность шара в четыре раза больше, чем площадь его большого круга, и что объем шара равен $\frac{2}{3}$ объема описанного около него цилиндра. Последним результатом Архимед особенно гордился, вследствие чего на его мо-

гиле был поставлен надгробный памятник, изображавший шар, вписанный в цилиндр.

Наряду с методами вычисления площадей и объемов, Архимед разработал метод определения касательной к кривой, фактически сводящийся к нахождению производной. По каким-то причинам этот метод фигурирует только в письме «О спиралях», где он применяется для определения касательной к спирали $\rho = a\varphi$ (так называемая «Архимедова спираль», рис. 7), однако рассуждения Архимеда имеют общий характер и применимы к любой дифференцируемой кривой. Тем же методом Архимед пользуется для нахождения экстремальных значений алгебраических выражений, которые могут быть выражены в виде геометрических кривых. В частности, пользуясь современной терминологией, можно сказать, что он провел полное исследование существования положительных корней кубического уравнения определенного вида. Проблема определения экстремальных значений сводится Архимедом к проблеме нахождения касательной к соответствующей кривой.

Помимо пяти писем к Досифею, до нас дошли — полностью или частично — еще некоторые математические работы Архимеда. Так, мы располагаем фрагментом его книги «Измерение круга», в котором доказывается ряд теорем, относящихся к свойствам круга (более полный текст этого сочинения сохранился в арабском переводе). В одной из теорем Архимед, пользуясь методом ичерпывания, доказывает, что площадь круга равна площади прямоугольного треугольника, один катет которого равен радиусу данного круга, а другой — длине его окружности. При этом в качестве побочного результата Архимед устанавливает приближенное значение отношения длины окружности к диаметру (т. е. числа π). Вычисляя периметры вписанных в круг и описанных вокруг него многоугольников, Архимед устанавливает для этого числа следующие неравенства:

$$3 \frac{10}{71} < \frac{\text{длина окружности}}{\text{диаметр}} < 3 \frac{1}{7}^*.$$

Наряду со строго математическими методами Архимед иногда пользуется остроумными эвристическими приемами для получения тех же результатов. Еще в первом

* Обе эти дроби дают три первых знака числа π : 3,14...

письме к Досифею («О квадратуре параболы») площадь параболического сегмента определяется не только методом исчерпывания Евдокса, но также «механическим» методом, представлявшим собою изобретение самого Архимеда. Обоснование подобных процедур содержится в рукописи неизвестного ранее сочинения Архимеда, обнаруженной в Константинополе приват-доцентом Петербургского университета Попадопуло Керамевсом и прочтенной в 1906—1908 гг. известным датским филологом И. Л. Хейбергом. В этом сочинении (так называемый «Эфод»), пользуясь принципом рычага, Архимед приводит доказательства ряда теорем, в других сочинениях доказываемых им с помощью интегрального метода. При этом Архимед пишет: «Кое-что из того, что ранее мною усмотрено при помощи механики, позднее было доказано также и геометрически». Разумеется, такие «механические» методы не могли быть применены ко всем задачам подобного рода, которые, однако, также были решены Архимедом. Механические методы, используемые Архимедом, представляют собой обход интегрирования, когда можно бывает выразить одни интегралы через другие, уже известные. Этому не противоречит то обстоятельство, что механические методы применялись Архимедом задолго до того, как он разработал интегральный метод, представлявший собой развитие метода исчерпывания Евдокса.

Уже в древности большой популярностью пользовалось сочинение Архимеда, дошедшее до нас полностью под названием «Псаммит» (примерный перевод — «Исчисление песчинок») и относящееся к числу поздних работ великого сиракузца, причем, судя по началу, оно было теснейшим образом связано с астрономической проблематикой. Математическое содержание «Псаммита» сводится к разработке системы классификации больших чисел. Эта классификация, кажущаяся теперь неоправданно сложной, заканчивается числом, которое в наших обозначениях может быть записано как

$$10^8 \cdot 10^{16}.$$

Громадность этого числа должна была поражать воображение древних, не привыкших оперировать с очень большими числами. По сравнению с ним количество песчинок, которые заполнили бы пустую сферу, равновеликую сфере неподвижных звезд, оказалось равным, согласно

расчетам Архимеда, неизмеримо меньшему числу — 10^{63} .

Не все математические сочинения Архимеда дошли до нашего времени. Так, книги «Леммы», «О семиугольнике», «О касающихся кругах» известны нам лишь в арабском изложении; некоторые геометрические теоремы, доказанные Архимедом, сохранились в математическом трактате знаменитого среднеазиатского ученого Ал-Бируни (973—1048 гг.); от ряда же других книг (в том числе от трактата «О параллельных линиях») до нас дошли лишь их заглавия. Но и того, что нам известно, достаточно, чтобы оценить Архимеда как величайшего математика древности, явившегося предтечей творцов высшей математики Нового времени.

Аполлоний Пергский. Третий великий математик эпохи эллинизма — Аполлоний из Перги (в Памфилии — небольшой области, расположенной на южном побережье Малой Азии) — жил и работал в Александрии, Пергаме и Эфесе в конце III в. до н. э. Наиболее знаменитое сочинение Аполлония — «Конические сечения» («Κοινηκά») — посвящено теории кривых второго порядка (эллипса, гиперболы и параболы), получающихся при сечении конуса плоскостью, расположенной под разными углами к оси конуса. До нас сочинение Аполлония дошло не полностью: из составлявших его восьми книг мы располагаем оригинальным греческим текстом лишь первых четырех и арабским переводом трех последующих; что же касается восьмой книги, то она считается утерянной, хотя о ее содержании мы можем судить по изложению Паппа в его «Математическом сборнике». Долгое время сочинение Аполлония не имело влияния на развитие науки, и лишь в XVII в., в связи с развитием аналитической геометрии, механики и новой теории движения планет, данной Кеплером, наступило возрождение идей Аполлония. Теория конических сечений Аполлония принадлежит к числу таких математических теорий, которые создавались задолго до того, как в них возникала потребность в математическом естествознании.

Из других математических работ Аполлония полностью сохранился (в арабском переводе) лишь один небольшой трактат в двух книгах — «О сечении в данном отношении». В нем рассматривается следующая задача: даны две прямые, лежащие в одной плоскости, и точка на каждой из них; через некоторую третью точку надо провести прямую так, чтобы она отсекала на данных прямых, на-

чина от данных точек, отрезки, которые находились бы друг к другу в заданном отношении. Первая книга трактата рассматривает случай, когда данные прямые параллельны, вторая — когда они пересекаются (рис. 8). Аполлоний показывает, что эта задача сводится к решению некоторого квадратного уравнения.

Аполлоний написал еще два трактата на сходные темы; о них мы знаем по изложению Паппа.

«О сечении с заданной площадью». В этом сочинении рассматривалась задача, аналогичная предыдущей: оба отсекаемых отрезка должны, при умножении их друг на друга, дать прямоугольник заданной площади.

«Об определенном сечении». На прямой даны четыре точки: A , B , C и D . Определить точку P , лежащую на той же прямой, так, чтобы произведение $AP \cdot CP$ имело заданное отношение к $BP \cdot DP$.

Несколько трактатов Аполлония известны нам по ссылкам на них Паппа и других позднейших авторов.

«О касаниях». Здесь разбирается знаменитая задача Аполлония: даны три объекта, каждый из которых может быть точкой, прямой или окружностью. Найти окружность, которая проходит через каждую из данных точек и касается заданных прямых или окружностей.

«О плоских геометрических местах». В этом трактате Аполлоний доказывал ряд теорем, в которых рассматривались геометрические места, относящиеся к прямым и окружностям. Некоторые из этих теорем приводятся Паппом. Интересно, что в этом трактате впервые используются инверсия на плоскости и гомотетия как преобразования, переводящие «плоские места» (прямые и окружности) в такие же «места».

«О сравнении додекаэдра и икосаэдра». Эта книга упоминается Гипсиклом во введении к так называемой XIV книге «Начал» Евклида. В ней доказывалось, что если додекаэдр и икосаэдр вписаны в один и тот же шар,

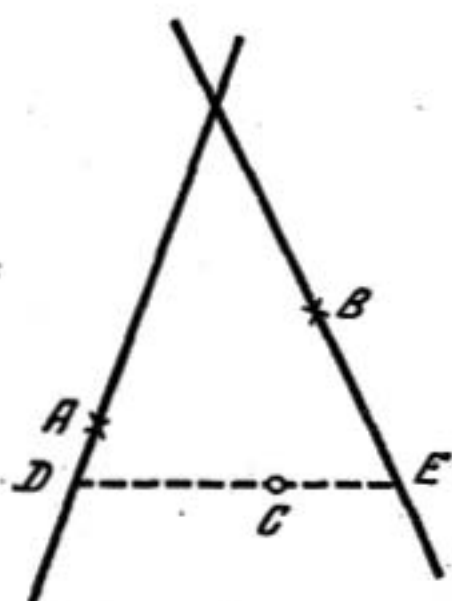


Рис. 8. Теорема Аполлония о сечении в данном отношении

($AD/BE = p$, где p — данное число)

то их поверхности имеют то же отношение, что и их объемы.

Известны названия еще некоторых сочинений Аполлония, но о их содержании нет определенных сведений. Среди них — работа «О неупорядоченных иррациональностях», в которой, как можно предполагать, классификация иррациональных величин, содержащаяся в «Началах» Евклида, была распространена на более широкие классы иррациональностей. К сожалению, мы не располагаем данными, которые позволили бы судить, насколько далеко Аполлоний продвинулся в этой области.

Но даже из того, что мы знаем о достижениях Аполлония — то ли из его оригинальных текстов, то ли из свидетельств о нем математиков более позднего времени — мы вправе заключить, что в его лице эллинистическая эпоха дала миру первоклассного математического гения. В трудах Аполлония греческая геометрическая алгебра достигла высшего расцвета. После него это направление математической науки начинает постепенно хиреть и иссякать. Для дальнейшего успешного развития античная математика нуждалась в новых импульсах; эти импульсы, однако, нельзя было почерпнуть в тогдашней действительности.

«Малые» математики эпохи эллинизма

Наряду с гигантскими фигурами Евклида, Архимеда и Аполлония в Александрии и в других культурных центрах III—II вв. до н. э. жили и работали математики меньшего калибра, не давшие новых идей и не разработавшие принципиально новых теорий. И все же некоторые из них заслуживают того, чтобы их имена не были преданы забвению.

О Кононе Самосском, старшем друге Архимеда, мы уже упоминали выше. О его собственных математических достижениях нам ничего не известно; впрочем, он был, по-видимому, скорее астрономом, чем математиком.

Математические труды другого друга Архимеда — *Эратосфена Киренского* — были не столь значительны, как его работы в области географии и хронологии, но они все же свидетельствовали об оригинальном и творческом уме их автора. Так, Эратосфен дал механическое решение знаменитой задачи об удвоении куба; это решение было высечено на стене одного из александрийских храмов. Он

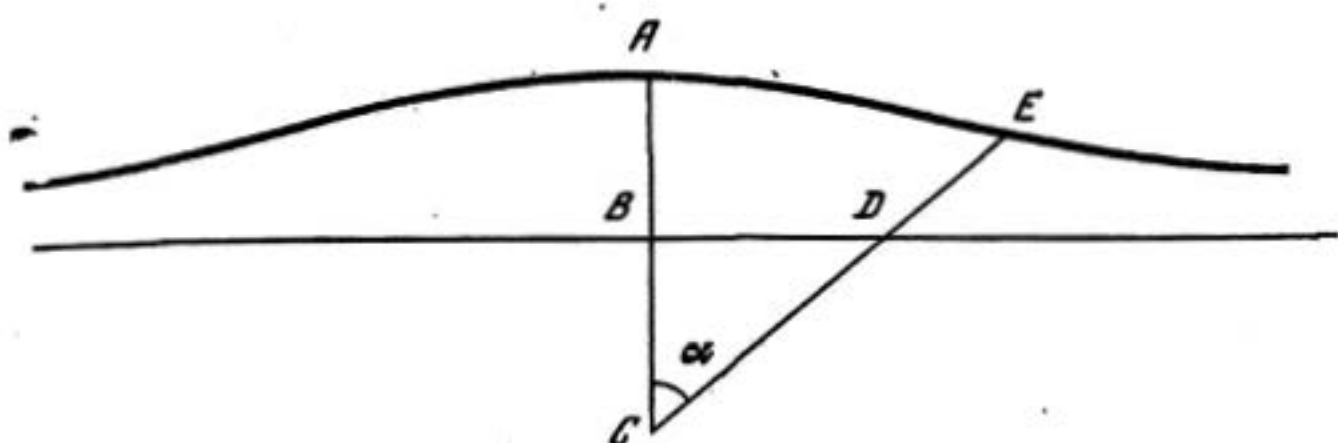


Рис. 9. Конхоида (или кохлонда) Никомеда. При любом α (меньше 90°) $AB = DE$

занимался теорией чисел и предложил оригинальный способ выделить простые числа из последовательности всех нечетных чисел (так называемое «решето Эратосфена»). В диалоге «Платоник» он изложил основы античной арифметики, где, в частности, были сформулированы правила образования различных пропорций.

Старший современник Аполлония, *Никомед*, известен главным образом тем, что открыл новую алгебраическую кривую — конхоиду. Она определяется как геометрическое место точек, образуемое концами лучей, исходящих из точки O и пересекающих прямую, причем расстояние от этой прямой до конца луча остается всегда равным a (рис. 9). В полярных координатах уравнение этой кривой имеет вид:

$$\rho = a + \frac{b}{\cos \varphi}.$$

Как рассказывают источники, Никомед очень гордился этой кривой и построил прибор для ее черчения. Он применил свою кривую для решения задач об удвоении куба и трисекции угла.

Ко второй половине II в. до н. э. относится творчество Диокла, изучавшего другую алгебраическую кривую — циссоиду. Она строится следующим образом. Даны два взаимно перпендикулярных диаметра круга AB и CD . Пусть точки K и L удаляются от B в обе стороны, все время, однако, оставаясь на равном расстоянии от диаметра AB . Из точки L опустим на диаметр CD перпендикуляр. Пересечение этого перпендикуляра с прямой KD даст нам точку, которая, по мере удаления K и L от B ,

будет описывать циссоиду (рис. 10). С помощью этой кривой Диокл также решил задачу об удвоении куба. Кроме того, он предложил свое решение задачи Архимеда о делении шара в заданном отношении; это решение, однако, было утеряно еще в древности.

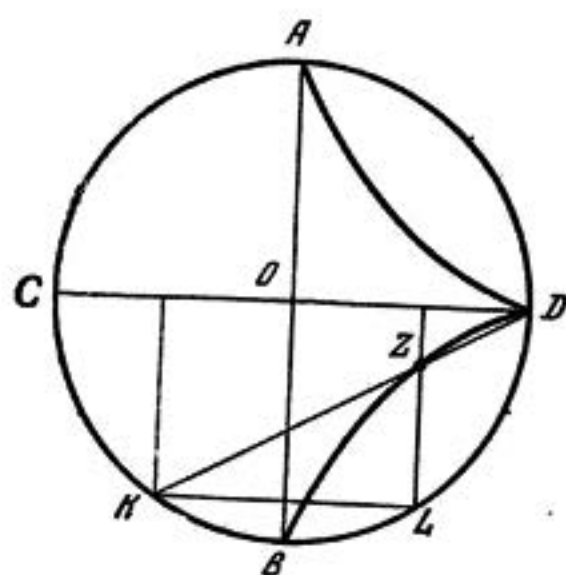


Рис. 10. Построение циссоиды

Между III в. до н. э. и началом нашей эры жил Зенодор — автор трактата «Об изопериметрических фигурах», где в частности, было показано:

1) что из двух правильных многоугольников с равными периметрами большую площадь будет иметь прямоугольник с большим числом сторон;

2) что если окружность круга и периметр правильного многоугольника равны, то

площадь круга будет всегда больше правильного многоугольника;

3) что из всех многоугольников равного периметра и с равным числом сторон наибольшую площадь будет иметь правильный многоугольник.

Следствие этих теорем состоит в том, что из всех изопериметрических фигур круг будет иметь наибольшую площадь. Зенодор также утверждал, что из всех пространственных тел с одинаковой поверхностью наибольшим объемом будет обладать шар. Это, вообще говоря, правильное предложение, им не было доказано; он сумел доказать лишь следующие теоремы (которые в его сочинении шли под номерами 13 и 14):

1) Если правильный многоугольник с четным числом сторон вращать вокруг самой длинной его диагонали, то получится тело, ограниченное коническими поверхностями, которое будет меньше шара с такой же поверхностью.

2) Каждый из пяти правильных многогранников будет меньше шара с той же поверхностью.

Наконец, следует назвать Гипсикла, живущего в Александрии во II в. до н. э. Он написал сочинение о правильных многогранниках, по своему содержанию примыкавшее к XIII книге «Начал» Евклида; вероятно,

именно поэтому оно было позднее включено в «Начала» в качестве XIV книги и таким образом дошло до нашего времени. В этом сочинении Гипсикл рассматривает додекаэдр и икосаэдр, вписанные в один и тот же шар, и показывает, что объемы этих двух фигур относятся друг к другу так же, как их поверхности. Кроме того, он доказывает, что указанное отношение будет равно отношению ребра вписанного куба к ребру икосаэдра. Других чисто математических работ Гипсикла мы не знаем; впрочем, в источниках имеется указание на то, что он писал о многоугольных числах, примыкая, таким образом, к пифагорейской традиции.

Диокл, Зенодор и Гипсикл (и вообще все математики эллинистической эпохи, жившие после Аполлония) обычно именуются «эпигонами». Они действительно были эпигонами — в том смысле, что к основному богатству античной математики, накопленному гениями IV—III вв. до н. э., они добавили лишь мелочи, не выходявшие за рамки уже существовавших идей и теорий.

Астрономия

В предыдущей главе, излагая достижения античной астрономии классического периода, мы дошли до Гераклида Понтийского, предложившего модель мира, в которой Земля совершала суточные обороты вокруг своей оси, а Меркурий и Венера вращались вокруг Солнца. Система Гераклида еще не снимала всех трудностей, связанных с изменением яркости планет. Это изменение было характерно не только для Венеры, но и для Марса: находясь в противостоянии с Солнцем, Марс имел значительно большую яркость, чем в соединениях, причем эти противостояния и соединения могли происходить в любых местах зодиакального пояса. Объяснить это можно было двояко: либо Марс вращается вокруг Солнца, а Солнце, в свою очередь, совершает обороты вокруг Земли, либо же Земля, находясь между Солнцем и Марсом, вращается вокруг Солнца. Первый путь был избран уже в Новое время знаменитым датским астрономом Тихо Браге: у него все пять видимых планет вращались вокруг Солнца, а Солнце — в соответствии с традиционной геоцентрической точкой зрения — вращалось вокруг Земли. Второе из указанных допущений; означавшее переход к гелио-

центрической системе мира, было сделано великим астрономом древности — Аристархом.

Аристарх Самосский родился во второй половине IV в. и умер предположительно в середине III в. до н. э.; таким образом, он был современником Евклида, Эпикура и Стратона. О его жизни нет никаких сведений — за исключением того, что примерно в 288—277 гг. до н. э. он занимался астрономическими наблюдениями в Александрии. Основное сочинение Аристарха, в котором была изложена его система мира, до нас не дошло; о его содержании коротко сообщает Архимед в «Псаммите». Сохранился текст лишь одного небольшого, но крайне интересного трактата Аристарха «О размерах и расстояниях Солнца и Луны». Трактат Аристарха написан по образцу математических сочинений того времени: он состоит из ряда выводимых друг из друга теорем, которым предшествуют шесть фундаментальных положений, или «гипотез», взятых в основном из данных наблюдений, полученных при прохождении Луны через тень Земли во время лунных затмений. Из этих данных Аристарх заключает: 1) что расстояние от Земли до Солнца составляет приблизительно 18—20 расстояний от Земли до Луны; 2) что диаметры Солнца и Луны находятся в том же отношении друг к другу, как и их расстояния до Земли; 3) что отношение диаметра Солнца к диаметру Земли должно лежать в пределах между $\frac{19}{3}$ и $\frac{43}{8}$. Отсюда следует, что объем Солнца должен быть в $(\frac{19}{3})^3$ или приблизительно в 250 раз больше объема Земли.

Каким образом получил Аристарх эти значения, вообще говоря, очень сильно отличающиеся от действительных? В качестве примера рассмотрим первое из приведенных соотношений — соотношение между расстояниями от Земли до Солнца и от Земли до Луны. Аристарх фиксирует тот момент времени, когда Луна находится строго в первой (или последней) четверти, т. е. когда мы видим освещенной половину лунного диска. Очевидно, что в этот момент прямые, соединяющие Луну с Землей и Луну с Солнцем, образуют прямой угол. Затем Аристарх определяет угол α , который в этот же момент времени образуют прямые, соединяющие Солнце с Луной и Землей (рис. 11). Этот угол, согласно его наблюдениям, оказывается равным одной тридцатой прямого угла (т. е. в нынешних обозначениях $\alpha = 3^\circ$). Задача состоит в том, чтобы

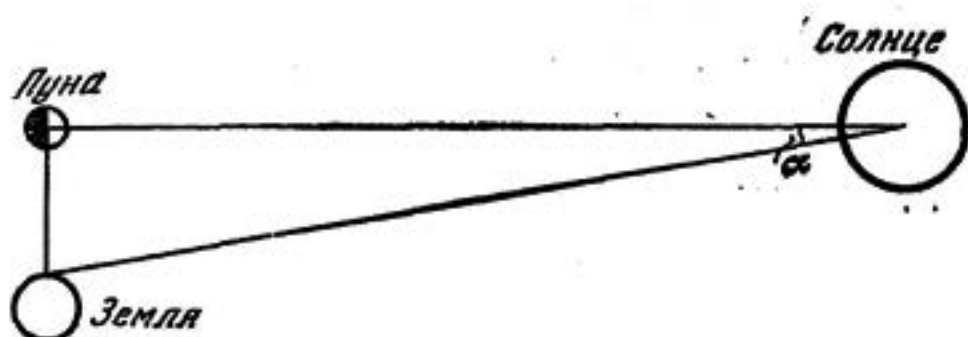


рис. 11. Метод определения отношения расстояний Земля — Луна и Земля — Солнце по Аристарху

$$(З.-Л.)/(З.-С.) = \sin \alpha \approx \alpha$$

определить, во сколько раз расстояние от Земли до Солнца (З.—С.) превосходит расстояние от Земли до Луны (З.—Л.) или, если пользоваться тригонометрическими терминами — в определении $\sin \alpha$. С помощью соответствующих геометрических построений Аристарх находит неравенства, заключающие отношение (З.—С.)/(З.—Л.) в достаточно узкие границы. А именно, он получает

$$18 < \frac{З.-С.}{З.-Л.} < 20.$$

Математические рассуждения Аристарха безупречны. Почему же найденное им приближенное значение отношения (З.—С.)/(З.—Л.) оказалось очень далеким от истинного? Потому, что принятое им значение угла α оказалось завышенным примерно в 18 раз (на самом деле оно составляет всего около $10'$). Дефектными были не математические приемы Аристарха, а его наблюдательная техника.

Зная отношение (З.—С.)/(З.—Л.) и учитывая тот факт, что видимые поперечники Солнца и Луны примерно равны, мы сразу же находим, что диаметр Солнца должен быть в 19 раз больше диаметра Луны.

Несколько сложнее обстоит дело с определением отношения диаметра Солнца к диаметру Земли. При выводе этого соотношения Аристарх использует одну из шести «гипотез», сформулированных им в начале трактата, а именно, что поперечник тени Земли, падающей на Луну при лунном затмении, принимается равным удвоенному диаметру Луны. С помощью этой гипотезы и найденного выше соотношения между расстоянием от Земли до Луны и от Земли до Солнца, Аристарх находит искомое отношение (19/3).

В числе шести «гипотез» Аристарха фигурирует и такое утверждение: «Диаметр Луны равен одной пятнадцатой части знака зодиака», т. е. 2° . Это — грубая ошибка, на которую часто ссылаются как на свидетельство несовершенства наблюдательных средств Аристарха (на самом деле видимый поперечник Луны равен $0,5^\circ$). Правда, Архимед в «Псаммите» сообщает, что диаметр видимого диска Солнца (а значит, и Луны?) составляет, по Аристарху, одну семьсот двадцатую часть круга, что, в общем, соответствует действительности. Откуда же возникла указанная ошибка? Может быть, она явилась следствием небрежности переписчика? Независимо от решения этого частного вопроса, можно считать несомненным, что Аристарх не придавал большого значения точности наблюдательных данных, которыми он пользовался. Он подходил к решению своих астрономических задач скорее как математик, чем астроном, для которого прецизионность наблюдений имеет первостепенное значение.

Эти критические замечания отнюдь не имеют целью умалить роль Аристарха в развитии точного естествознания. В истории математики эта роль определяется тем, что он начал пользоваться — пусть еще в неявном виде — тригонометрическими функциями*. Что же касается астрономической науки, то величие Аристарха выражается прежде всего в том, что он впервые попытался по наблюдательным данным определить как относительные размеры небесных светил (Земли, Луны и Солнца), так и относительные расстояния между ними. Это был шаг величайшего значения, по существу, может быть, значительно более важный, чем создание первой гелиоцентрической системы мира, что по традиции считается основным достижением Аристарха-астронома.

В самом деле, имеются все основания думать, что гелиоцентрическая модель космоса рассматривалась Аристархом как естественное следствие полученных им результатов о сравнительных размерах Солнца и Земли. В V в. до н. э. Анаксагор допустил, что Солнце по своей величине может превышать Пелопоннес — для того вре-

* Это не значит, что Аристарху следует приписать абсолютный приоритет в этом вопросе. Примерно в это же время аналогичный метод приближенного вычисления тангенса был применен в «Катоптрике» Евклида.

мени очень смелое предположение. Лишь не намного дальше этого пошел, по-видимому, Аристотель. И вот оказалось, что объем Солнца в 250 раз больше объема Земли. Хотя и эта цифра была очень заниженной (на самом деле, как мы теперь знаем, объем Солнца по крайней мере в миллион раз превышает объем Земли), но она была достаточной для того, чтобы вызвать сомнения в правильности традиционной геоцентрической картины мира. Если Солнце так велико по сравнению с Землей, то не естественнее ли было бы именно его принять за центр вселенной? Тем более, что это допущение приводило к радикальному упрощению устройства космоса и естественным образом разрешало трудность с колебаниями яркости некоторых планет. А эта трудность, как мы видели, была наиболее слабым пунктом в гомоцентрических моделях мира, создававшихся учеными IV в. до н. э.

Вероятно, таким — или сходным — образом Аристарх обосновывал свою гелиоцентрическую концепцию. Естественное возражение, что в случае движения Земли вокруг Солнца должны были бы меняться видимые конфигурации неподвижных звезд, Аристарх отводил указанием на огромность радиуса сферы неподвижных звезд. Как свидетельствует Архимед в «Псаммите», сфера, по которой, согласно Аристарху, обращается Земля вокруг Солнца, находится в таком же отношении к сфере неподвижных звезд, в каком в обычной геоцентрической модели Земля находится к тому, что мы называем космосом.

Несмотря на все, с нашей точки зрения, крайне убедительные аргументы в пользу гелиоцентрической модели мира, предложенной Аристархом, модель эта не нашла поддержки среди большинства астрономов античности; единственным известным ее сторонником оказался Селевк из Селевкии, весьма оригинальный мыслитель, живший во II в. до н. э. Любопытно, что Селевк был первым ученым, установившим зависимость приливов и отливов от положения Луны. Селевк отстаивал также тезис о бесконечности вселенной, следуя в этом отношении атомистам и, возможно, Гераклиду Понтийскому.

Против гипотезы Аристарха выдвигались доводы, которые по тому времени казались достаточно вескими. Так, например, Птолемей рассуждал, что если бы Земля двигалась так быстро, как это следовало из предположения о ее вращении вокруг оси (и тем более при ее вращении

вокруг Солнца), то все, что находится на ее поверхности и не связано с ней жестким образом (например, облака), должно было бы отставать от ее движения и казаться улетающим в противоположную сторону. С позиций аристотелевской динамики, не знавшей закона инерции, этому аргументу ничего нельзя было противопоставить. Другие возражения против системы Аристарха имели уже чисто астрономический характер. По Аристарху, все планеты, Луна и Земля движутся равномерно по круговым орбитам вокруг Солнца. Это лишало возможности объяснить наблюдаемые нерегулярности в движении небесных светил, которые в геоцентрической системе мира могли быть учтены путем добавления дополнительных круговых движений. Уже афинские астрономы V в. до н. э. Метон и Евктемон знали, что длительность четырех времен года неодинакова — так, как если бы Солнце двигалось по своей орбите то быстрее, то медленнее. По-видимому, именно для объяснения этого факта Каллипп ввел четвертую сферу для Солнца в своей модели мира. Между тем из гелиоцентрической системы Аристарха следовало, что длительность четырех времен года всегда остается одинаковой. Надо также учесть, что в III в. до н. э. грекам стали известны данные многовековых наблюдений вавилонских астрономов; данные вавилонян позволили уточнить греческие наблюдения над движением небесных светил, причем, как правило, эти уточнения говорили не в пользу системы Аристарха*.

К сожалению, мы очень мало знаем об астрономических работах Архимеда. Из высказываний самого Архимеда можно заключить, что он не принял гелиоцентрической системы Аристарха и, в соответствии с господствовавшим мнением, полагал, что Земля находится в центре мира. По словам римского писателя Макробия, Архимед вычислил, на расстоянии скольких стадий находится Земля от Луны, Венеры, Меркурия, Солнца, Марса, Юпитера и Сатурна. Если свидетельство Макробия соответствовало истине, то было бы крайне интересно установить, на осно-

* Аналогичные возражения выдвигались в XV в. против гелиоцентрической системы мира Коперника. Они казались весьма существенными, однако вскоре были сняты великими открытиями Кеплера, установившими истинный характер движения небесных светил по эллиптическим, а не по круговым орбитам. Античная наука имела своего Коперника (Аристарха), но не имела Кеплера.

вании каких соображений Архимед производил свои вычисления. Мы, однако, об этом ничего не знаем.

В «Псаммите» Архимед дал детальное описание метода, примененного им для измерения видимого диаметра Солнца. Это описание свидетельствует о большом экспериментальном мастерстве Архимеда (любопытно, что в своих расчетах он даже учитывает размеры человеческого зрачка). Полученное им значение определяется верхним и нижним пределами (в современных обозначениях — $32'55''$ и $27'$), причем верхний предел оказывается очень близким к истинному значению (которое колеблется между $31'28''$ и $32'37''$).

Известно также, что Архимед построил планетарий — полу сферу с механизмом, позволявшим воспроизводить движение Луны, Солнца и пяти планет. После смерти Архимеда планетарий был увезен в Рим, где им мог восхищаться еще Цицерон. Возможно, что к этому планетарию имело отношение не дошедшее до нас сочинение Архимеда «Об изготовлении сфер».

Из астрономов меньшего масштаба этой эпохи, помимо Конона и Досифея, с которыми переписывался Архимед, следует упомянуть двух астрономов, также живших в Александрии в первой половине III в. до н. э., — Аристилла и Тимохариса. В отличие от астрономов-математиков (или «теоретиков», как сказали бы мы теперь) они были типичными наблюдателями, занимавшимися точным измерением положений звезд, установлением моментов равноденствий и т. д. Они пользовались при этом специальными инструментами, снабженными градуированными кругами.

Данные Аристилла и Тимохариса были впоследствии использованы Гиппархом.

Непосредственное отношение к астрономии имело и определение размеров земного шара, произведенное Эратосфеном, о чем уже шла речь выше, в разделе географии. Но у Эратосфена были и другие астрономические работы; в частности, ему приписывается точное определение наклона эклиптики. В середине IV в. до н. э. Евдокс определил этот наклон как дугу окружности, стягивающую сторону правильного пятинадцатигульника, т. е. 24° . По Эратосфену же, разность между высотами Солнца в летние и зимние солнцестояния равна примерно $11\frac{1}{3}$ полуокружности, что соответствует в градусах наклону $23^\circ 51'$, очень близкому к истинному значению. Из этого,

между прочим, следует, что в эпоху Эратосфена дуга измерялась еще не градусами, а долями окружности.

Шестидесятиричная система деления на градусы впервые встречается во II в. до н. э. у Гипсикла — того самого, который написал XIV книгу «Начал» Евклида. В сочинении «Анафорик» («О восхождениях») Гипсикл излагает приближенный метод определения промежутков времени, в течение которых восходят и заходят некоторые знаки зодиака, причем — подобно вавилонянам — он делит сутки на 360 «градусов времени». В этой работе Гипсикла ясно чувствуется вавилонское влияние. Существует, впрочем, мнение, что самому Гипсиклу в этом сочинении принадлежит лишь несколько первых фраз, все же остальное представляет собой пересказ вавилонского астрономического текста.

Величайший астроном александрийской эпохи Гиппарх был родом из Никеи (в Вифинии, на северо-западе Малой Азии). Его деятельность относится примерно к середине II в. до н. э. (между 160 и 120 гг.). Он производил наблюдения в разных местах, в том числе и в Александрии, но его основным местопребыванием был остров Родос. От многочисленных сочинений Гиппарха до нас дошли лишь «Комментарии к Арату», но, к счастью, о его астрономических достижениях достаточно подробные сведения сообщает нам Птолемей в «Альмагесте».

Заслуги Гиппарха громадны — как в отношении усовершенствования геоцентрической картины мира, так и в области наблюдательной астрономии. Прежде всего его имя в истории астрономии связано с теорией эпициклов. Правда, эта теория начала разрабатываться еще в III в. до н. э., причем уже тогда она рассматривалась в качестве альтернативы моделей космоса, основанных на комбинациях гомоцентрических сфер. Серьезный вклад в разработку теории эпициклов внес Аполлоний Пергский. Птолемей обстоятельно излагает одну из теорем Аполлония, относящуюся к тем моментам времени, когда планета, движущаяся по малому кругу вокруг центра, который, в свою очередь, движется по большому кругу вокруг Земли, кажется стоящей на месте. Вавилонские астрономы тщательно наблюдали эти стояния и записывали их в своих таблицах, однако никакой их теории они не могли и не пытались дать. Аполлоний свел проблему стояний к чисто геометрической задаче и показал, что при определен-

ных соотношениях угловых скоростей центра эпицикла и планеты, движущейся по эпициклу, существуют такие интервалы времени, в течение которых планета будет казаться находящейся в покое.

Гиппарх придал теории эпициклов законченную форму и с ее помощью построил усовершенствованную геоцентрическую модель космоса. При этом он заметил, что если период движения небесного тела по эпициклу равен периоду движения центра эпицикла, движущегося вокруг Земли в противоположном направлении, то в этом случае результирующее движение

тела будет происходить по круговой орбите, центр которой уже не будет совпадать с центром Земли (рис. 12). Такие орбиты Гиппарх назвал эксцентами. Он предположил, что неодинаковость времен года проистекает из того, что центром круговой орбиты Солнца является не центр Земли, а другая точка, т. е. что Солнце движется по эксцентру. Зная длительности всех четырех времен года,

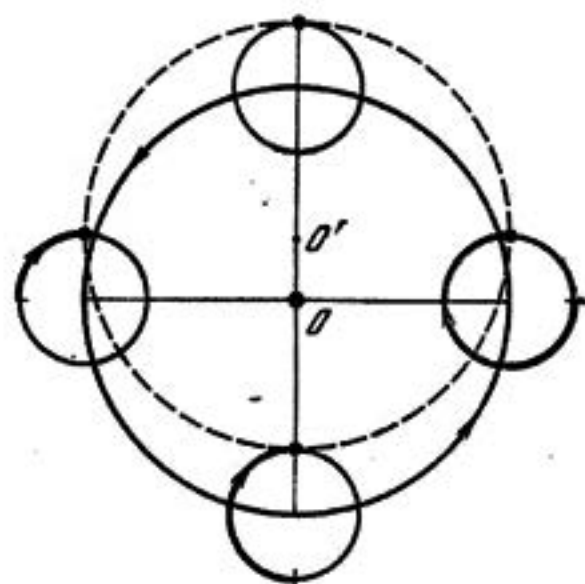


Рис. 12. Эпициклы и эксцентр

Гиппарх точно определил положение центра солнечной орбиты. Теория движения Солнца была им разработана полностью, что же касается движений планет, то их детальная теория, базирующаяся на понятиях эпицикла и эксцентра, была создана триста лет спустя Клавдием Птолемеем.

Введением эксцентров роль Гиппарха в истории астрономической науки отнюдь не исчерпывается. Он по справедливости считается создателем прецизионной наблюдательной астрономии. Птолемей упоминает три трактата Гиппарха: «О длине года», «Об интеркаляции месяцев и дней» и «Об изменении солнцестояний и равноденствий». Мы попытаемся кратко резюмировать результаты, полученные Гиппархом и изложенные им в этих трактатах.

Большим достижением Гиппарха было открытие им явления прецессии (предварения равноденствий), свидетельствовавшее о высокой степени точности, которой достигла греческая астрономия в александрийскую эпоху.

Сравнивая свои наблюдения с наблюдениями Тимохариса, проводившимися примерно на полтора столетия раньше, Гиппарх установил, что за это время точка осеннего равноденствия переместилась вдоль эклиптики с востока на запад на 2° . Это значение довольно точно соответствует истинному (согласно измерениям недавнего времени прецессия составляет $50,3''$ в год). Отсюда Гиппарх заключил, что длительность тропического года, определяемого временем, протекающим между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через точку осеннего (или весеннего) равноденствия, отличается от длительности года сидерического, равного промежутку времени, за который Солнце возвращается к одним и тем же звездам. Гиппарх вычислил длительность тропического года и установил, что она равна 365 дням 5 часам 55 минутам и 16 секундам, что было на $\frac{1}{300}$ дня короче принимавшегося обычно значения, равного $365\frac{1}{4}$ дня. Значение Гиппарха также не было абсолютно точным; согласно вычислениям нашего времени, длительность года в эпоху Гиппарха была равна 365 дням 5 часам 48 минутам и 56 секундам, что на 6 минут 20 секунд короче значения, полученного Гиппархом. Надо, впрочем, иметь в виду, что установление моментов равноденствия представляло в то время немалые трудности и даже Птолемей писал, что здесь могут встречаться ошибки «больше одной четверти дня».

Много внимания уделил Гиппарх также изучению движений Луны. В этом вопросе он мог воспользоваться вавилонскими данными, так как движение Луны было исследовано халдейскими астрономами с особой тщательностью. Гиппарх сравнил эти данные с результатами собственных наблюдений: известно, что в промежутке между 146 и 135 гг. до н. э. Гиппарх наблюдал несколько лунных затмений. Он определил периоды обращения Луны, получив для них следующие значения:

синодический период*: 29 дней 12 часов 44 минуты 3,3 секунды;
сидерический период: 27 дней 7 часов 43 минуты 13,1 секунды.

Оба эти значения с точностью до одной секунды совпа-

* Синодическим периодом Луны называется время между двумя одинаковыми фазами Луны; сидерическим же — время, протекающее между двумя одинаковыми положениями Луны на небесном своде.

дают с истинным значением и практически не отличаются от значений, записанных в вавилонских таблицах. Далее Гиппарх разработал теорию движения Луны, приняв в качестве ее орбиты эксцентрический круг, дававший возможность хорошо объяснить изменение скорости Луны на ее орбите. Учитывая то обстоятельство, что при солнечном затмении, которое было полным в районе Геллеспонта, в Александрии были закрыты лишь $\frac{1}{3}$ солнечного диска (вероятно, речь идет о затмении 129 г. до н. э.), Гиппарх смог довольно точно определить расстояние от Земли до Луны, поскольку расстояние между точками, с которых производились наблюдения, было хорошо известно. Гиппарху приписывался и другой остроумный метод определения расстояния до Луны — на основании измерений размеров земной тени, когда через нее проходит Луна.

В своих вычислениях Гиппарх широко пользовался тригонометрическими соотношениями, правда, без тех обозначений, которыми пользуемся теперь мы. Вместо таблиц синусов и тангенсов он составил таблицу хорд, в которой длины хорд были даны в зависимости от стягиваемых ими углов. Предполагается, что эта таблица содержалась в написанной им книге «О теории прямых в круге». К сожалению, ни эта книга, ни таблица хорд до нас не дошли, поэтому мы не можем сказать, каким способом Гиппарх вычислял значения хорд, включенные в таблицу. Следует при этом отметить, что Гиппарх уже широко пользуется вавилонской системой деления круга на 360 градусов и затем на минуты и секунды; с тех пор эта система входит во всеобщее употребление.

Немалый вклад был внесен Гиппархом и в звездную астрономию. Он составил каталог неподвижных звезд, содержащий, как предполагают, около 850 звезд, места которых на небесном своде определялись их долготой и широтой относительно эклиптики. Впоследствии Плиний писал, что работа по составлению каталога была предпринята Гиппархом после того, как на небе вспыхнула новая звезда. Мы не знаем, так ли это было на самом деле. Мы не знаем также, какой аппаратурой располагал Гиппарх при установлении положений звезд; вероятно, он пользовался инструментом того типа, который позднее получил наименование «армиллярной сферы».

Поскольку Гиппарх занимался определением длительности года и периодов Луны, то было вполне естественно,

что он занялся также усовершенствованием лунно-солнечного календаря. Во второй главе было рассказано о том, что в целях приведения в соответствие солнечного календаря с лунным афинский астроном V в. до н. э. *Метон* установил 19-летний цикл, включавший 235 лунных месяцев, из которых 110 имели по 29 дней, а 125 — по 30. Всего в этом цикле было 6940 дней. «Цикл Метона» получил в античную эпоху широкое распространение. Однако он обладал небольшим дефектом: при общепринятой длительности года в $365 \frac{1}{4}$ дня, в этом цикле оказывалось не целое число дней — 6939,75. Чтобы устранить этот недостаток, *Каллипп* — тот самый, который увеличил число гомоцентрических сфер в евдоксовой модели космоса, — предложил объединить четыре метоновых цикла по 6940 дней, опустив при этом один день. Таким образом, «цикл Каллиппа» состоял из 27 759 дней, которые были сгруппированы в 940 месяцев — 441 месяц по 29 дней и 499 по 30 дней. Этот цикл делился точно на 76 лет по $365 \frac{1}{4}$ дня и на 940 синодических периодов, имевших длительность 29 дней 12 часов 44 минуты и 25,5 секунды (что всего лишь на 22 секунды превышало истинную длительность синодического периода).

Цикл Каллиппа никогда не использовался в официальных положениях о календаре и учитывался лишь учеными. Однако Гиппарх решил внести в него дальнейшие уточнения, приведя его в соответствие с вычисленным им более точным значением тропического года. Он учетверил 76-летний календарный период Каллиппа и отбросил от получившихся 304 лет еще один день. В результате получился цикл, который точно делился на 304 года и 3760 лунных месяцев, длительность которых соответствовала значениям, полученным Гиппархом. Цикл Гиппарха никем никогда не использовался, тем более, что при всей своей сложности и он не может считаться абсолютно точным: ведь, как мы указали выше, длительность тропического года, по Гиппарху, на 6 минут превышает истинную длительность, причем с течением времени эта разница продолжает увеличиваться.

Все изложенное выше, как нам кажется, с достаточной отчетливостью показывает, какого высокого уровня достигла греческая астрономия в эпоху расцвета эллинистической науки. По точности своих наблюдений она уже несколько не уступала вавилонской астрономии, значительно превосходя последнюю в чисто теоретическом от-

ношении. У вавилонян оставалось лишь одно преимущество: бóльшая масса наблюдательного материала, накопленного за многие столетия. Но этот материал в эллинистическую эпоху стал доступен грекам, и уже Гиппарх широко им пользовался, сравнивая греческие наблюдения с вавилонскими и проверяя одни данные путем сопоставления их с другими.

Механика

В первой главе мы отметили поразительный, с точки зрения наших современных представлений, факт, что античная техника и античная наука развивались в значительной степени независимо друг от друга. Ремесло, металлургия, строительное дело, решения ряда инженерных задач — все это находилось в Греции уже в VI в. до н. э. на довольно высоком уровне, в то время как наука была тогда еще в самом зачаточном состоянии.

Последующие три столетия характеризуются бурным развитием греческой науки. Особенных успехов достигли к началу III в. до н. э. математика и астрономия (мы оставляем в стороне философию, логику, медицину и т. д., которые по самому существу своему не могли иметь технических выходов). Однако эти успехи никак не отразились на развитии техники. Обе эти дисциплины развивались как чисто теоретические, не ставившие перед собой сколько-нибудь серьезных практических задач, за исключением, может быть, разработки календаря. Та же отрасль науки, которая могла бы оказать положительное воздействие на технический прогресс (мы имеем в виду теоретическую механику), зародилась лишь в эпоху Архимеда. Напомним, сколь примитивны были теоретико-механические представления Аристотеля с его естественными и насильственными движениями, с его идеями о роли воздуха при движении брошенных тел и т. д. Эти представления и идеи возникли в полном отрыве от реальной деятельности человека, не проверялись практикой и потому не могли найти технического применения.

Существовали лишь две области техники, развитие которых ознаменовалось в классическую эпоху греческой цивилизации более или менее существенными успехами.

1. Театральная техника, одним из элементов которой были подъемные механические устройства. Собственно говоря, для обозначения этих устройств и стало приме-

няться/ греческое слово «машина» (*hē mēchanē*, откуда, между прочим, происходит и латинское выражение *deus ex machina*). Позднее этим словом стали обозначаться машины вообще.

2. Военное дело, приведшее к созданию метательной артиллерии и новых типов военных судов. Особенно бурное развитие военная техника получила в период, непосредственно последовавший за походами Александра Македонского. Источники сообщают об остроумных военных машинах Архимеда, затруднивших взятие Сиракуз римлянами. Дело было, однако, не только в гении Архимеда, ведь и осаждавший город римский полководец Марцелл также располагал аналогичными наступательными орудиями (историю осады Сиракуз красочно рассказывает историк Полибий). В войнах между наследниками Александра Македонского метательные орудия и другие военно-механические устройства сыграли небывалую до того времени роль; в этой связи следует особо отметить осаду Родоса Деметрием, сыном Антигона, получившим после нее прозвище Полиоркета (т. е. «разрушителя городов»).

Что касается Архимеда, то он, по-видимому, был чем-то в роде военного инженера при дворе сиракузского тирана Гиерона (который, кстати сказать, приходился ему родственником). Однако достижения Архимеда в области инженерного дела не сводились к одним лишь военным машинам. Выше уже было сказано о созданном им искусном планетарии, вызывавшем восхищение у людей того времени. Ему же приписывается изобретение так называемого Архимедова винта («улитки»), применявшегося для поливки полей. Рассказывают также, что с помощью технических приспособлений Архимед передвигал по суше тяжело нагруженный корабль Гиерона.

Специфической отраслью техники являлась возникшая в III в. до н. э. пневматика, под которой понималось использование давления воздуха для создания различного рода механических устройств. Основателем этой отрасли считается Ктесибий, современник Архимеда, живший и работавший в Александрии. Труды самого Ктесибия до нас не дошли, но сведения об его изобретениях содержатся в сочинениях ряда авторов — Филона, Витрувия, Афиней, Плиния и Герона. Из этих источников мы узнаем, что Ктесибий был изобретателем двухцилиндрового водяного насоса, снабженного всасывающими и нагнетательными клапанами; водяного органа, управление которым осу-

ществовалось с помощью сжатого воздуха; водяных часов, отличавшихся от древней клепсидры тем, что в них имелся поплавок, движение которого передавалось фигурке, указывавшей время на специальной шкале, и некоторых других устройств. Сообщается также о созданных им военных метательных машинах, в которых использовалась сила сжатого воздуха.

Следующим «пневматиком» был Филон из Византии, возможно, ученик Ктесибия. В молодости он приехал в Александрию, чтобы познакомиться с работавшими там известными мастерами-механиками; большую часть своей дальнейшей жизни он провел на острове Родос, где написал объемистое сочинение «Механика», девять книг которого охватывали все области античной техники. Оригинальный текст этого сочинения не сохранился, но некоторые его части дошли до нас в арабской переработке. После общего введения Филон описывал разного рода метательные орудия; здесь же он рассматривал действие рычага. Затем шло изложение конструкций автоматов и кукольного театра, а в отделе, посвященном пневматике, который начинался с экспериментального доказательства упругости воздуха, описывались всевозможные механические устройства, служившие для развлечения публики в садах и во время празднеств: волшебные кубки, лейки, из которых по желанию могли литься различные жидкости, фонтаны с пьющими животными и поющими птицами и другие аналогичные забавы. Наряду с этим у Филона были описаны и аппараты, предназначавшиеся для практических целей, например водяные колеса, водочерпалки, автомат для омовения перед входом в храм и т. д. В большинстве этих машин использовалось давление воздуха. Из дошедших до нас описаний следует также, что Филон был хорошо знаком с принципом сифона.

И Ктесибий и Филон были, по-видимому, прежде всего изобретателями-практиками; об их же теоретических воззрениях нам ничего неизвестно. Первой попыткой теоретического осмысления действия различного рода механизмов следует считать трактат «Механические проблемы», ранее приписывавшийся Аристотелю и до сих пор включаемый в свод аристотелевских сочинений, но на самом деле написанный в более позднюю эпоху, скорее всего в Александрии III (или II) в. до н. э. Этот трактат представляет значительный интерес для истории механики, поэтому на нем следует остановиться.

«Механические проблемы» состоят из 36 глав, написанных в форме ответов на вопросы. В этих главах речь идет о многих механизмах — рычаге, весах, колодезном журавле, клещах, топоре, клине, колесе, катке, гребном весле и руле, гончарном круге и ряде других. Действие каждого из этих механизмов сводится автором трактата к принципу рычага, который, в свою очередь, объясняется удивительными свойствами круга. Сведение рычага к кругу является наиболее оригинальной чертой трактата, не имеющей соответствия в последующих сочинениях по механике.

Рассматривая вращение отрезка вокруг одного из его концов, автор «Механических проблем» обращает внимание на тот факт, что ни одна из точек, находящихся на этом отрезке, не будет двигаться с одинаковой скоростью, но точки, отстоящие от центра дальше, будут двигаться с большей скоростью по сравнению с точками, лежащими ближе к центру. Круговое движение рассматривается при этом как сумма двух движений: прямолинейного, направленного по касательной к кругу, и центростремительного, направленного к центру круга. Первое из них является естественным, второе — насильственным. Точка, движущаяся по внешнему (большему) кругу, будет, проходя одно и то же расстояние, отклоняться к центру на меньшую величину, чем точка, движущаяся по внутреннему (меньшему) кругу. Отсюда следует, что для движения по внешнему кругу требуется приложить меньше усилия, чем для движения по кругу внутреннему, но скорость движения на внешнем круге будет больше. Именно это обстоятельство лежит, по мнению автора трактата, в основе действия рычага.

Изложенные рассуждения представляют собой причудливую смесь метафизических спекуляций и верных наблюдений. До научной механики здесь еще очень далеко, но некоторые мысли автора бесспорно интересны. Предположение о том, что прямолинейное движение само по себе является «естественным» движением, выводит нас за пределы чисто перипатетических представлений и может рассматриваться в качестве первой, хотя и очень нечеткой формулировки принципа инерции. Кроме того, утверждение, что для большего отклонения от прямолинейного движения требуется приложить большее усилие, уже содержит намек на существование зависимости между силой и ускорением, т. е. на второй закон динамики.

Заслуживает также внимания тот факт, что автору «Механических проблем» уже был известен принцип параллелограмма скоростей — как в форме сложения, так и в форме разложения движений.

Но намеки так и остались намеками. Зарождавшиеся в «Механических проблемах» тенденции не получили дальнейшего развития. Несмотря на широкое распространение военных метательных орудий как в эллинистическую, так и в римскую эпоху, мы не можем заметить никакого прогресса в области изучения динамики вплоть до VI в. н. э., т. е. фактически вплоть до начала средневековья. Это лишний раз свидетельствует об отрыве теоретической мысли от практической (ремесленной, инженерной) деятельности, который был характерен для рабовладельческого общества.

Что касается рычага, то он продолжал оставаться в центре внимания ученых эллинистической эпохи, но трактовался ими в чисто статическом плане, главным образом в связи с проблемой весов и взвешивания. Так, например, условия равновесия рычага рассматриваются в псевдоевклидовом трактате «Книга о весах», дошедшем до нас лишь в арабском переводе. Автор этого сочинения дает определение веса как меры тяжести или легкости предмета, сопоставляемого с другими предметами с помощью весов. Затем путем передвижки одних и тех же грузов вдоль коромысла весов, разбитого на равные отрезки, устанавливается закон равновесия рычага. При этом автор пользуется понятием «сила веса», которая меняется в зависимости от положения груза на коромысле. По смыслу проводимых рассуждений «сила веса» эквивалентна статическому моменту, т. е. произведению груза на его расстояние от точки опоры.

Проблемой рычага много занимался Архимед. Правда, его ранние сочинения по этому вопросу — «О весах» и «О рычагах» — не сохранились, но дошедший до нас трактат «О равновесии плоских фигур» начинается с изложения математической теории равновесия рычага, после чего Архимед переходит к изложению общей теории равновесия, основным понятием которой является понятие центра тяжести (которое в этом трактате предполагается читателю известным). Форма изложения здесь, как и в других книгах Архимеда, строго аксиоматическая. Доказав ряд общих теорем, Архимед определяет центры тяжести ряда плоских фигур — треугольника, паралле-

пипеда, трапеции, а во второй части трактата — параболического сегмента и параболической трапеции.

В одной из позднейших работ Архимед упоминает свое сочинение «О равновесии». То, что это сочинение не тождественно с трактатом о равновесии плоских фигур, показывают ссылки Архимеда на центры тяжести круга, цилиндра, призмы, конуса, параболоида вращения. Возможно, что трактат «О равновесии плоских фигур» был лишь одной частью более обширного труда «О равновесии», за которой следовала другая часть, посвященная равновесию объемных тел.

От несохранившихся трактатов Архимеда дошел ряд фрагментов, цитируемых Героном (в «Механике»), Паппом (в «Математической библиотеке») и другими авторами. В частности, Герон приводит длинный отрывок из раннего сочинения Архимеда — «Книги опор». В нем еще нет строгости, присущей зрелым трудам великого сиракузца, и содержится ряд ошибок, относящихся к распределению опорных реакций и показывающих, что в период написания этой книги Архимед еще не знал, что вес тела можно считать сосредоточенным в его центре тяжести.

Приведем дословно знаменитое определение центра тяжести, взятое Паппом из какого-то не дошедшего до нас сочинения Архимеда (может быть, из книги «О рычагах»):

«Центром тяжести некоторого тела мы называем некоторую расположенную внутри него точку, обладающую тем свойством, что если за нее мысленно подвесить тяжелое тело, то оно останется в покое и сохранит первоначальное положение».

В заключение остановимся на последнем, по-видимому, предсмертном труде Архимеда — «О плавающих телах», заложившем математические основы новой науки — гидростатики. Не исключено, что его написание было стимулировано популярной историей с короной царя Гиерона. Долгое время этот трактат был известен лишь в латинском переводе XIII в.; греческий текст трех четвертей трактата был обнаружен только в 1905 г. И. Л. Хейбергом в Константинополе, одновременно с письмом к Эратосфену (так называемый «Эфод»), о котором было сказано выше, в разделе математики.

Трактат «О плавающих телах» делится на две книги. Первая книга начинается с допущения, что жидкость яв-

ляется совокупностью прилегающих друг к другу частиц, из которых менее сдавленные вытесняются более сдавленными, причем каждая отдельная частица сдавливается жидкостью, отвесно над ней расположенной. Из этого фундаментального допущения Архимед выводил ряд следствий. В первых двух устанавливалось, что свободная поверхность воды, окружающей Землю, имеет сферическую форму, причем центр сферы совпадает с центром Земли. Хотя сферичность Земли к этому времени была уже общепризнанным фактом, тем не менее вывод Архимеда отнюдь не казался тривиальным и даже вызвал возражения такого крупного ученого, как современник Архимеда Эратосфен.

В последующих теоремах исследуются вопросы равновесия и устойчивости погруженных в жидкость тел, в частности формулируется положение, известное в наше время под именем закона Архимеда. Затем устанавливаются условия равновесия плавающего в жидкости сегмента шара, а во второй части трактата — сегмента параболоида. Обе эти задачи решаются двумя независимыми друг от друга и очень остроумными математическими методами. Именно эти методы представляли, в первую очередь, интерес для Архимеда, поскольку очевидно, что никакого практического значения обе эти задачи иметь в то время не могли.

Пример Архимеда крайне поучителен и позволяет сделать некоторые общие выводы. Будучи гениальным математиком и одновременно замечательным инженером, Архимед мог в большей степени, чем кто-либо другой из ученых той далекой эпохи, уяснить глубокую взаимозависимость между теоретическими (фундаментальными, как сказали бы мы теперь) исследованиями и их техническими приложениями. Между тем даже у него требования практики являются в лучшем случае всего лишь случайными поводами для постановки тех или иных научных задач; решения же этих задач стимулируются отнюдь не возможными их применениями в практической жизни, а прежде всего чистой любознательностью ученого. Это была особенность всей античной науки, присущая ей на протяжении всей ее многовековой истории. В силу этого дефекта развитие античной науки происходило, если выражаться языком современной автоматики, без обратной связи, которая побуждала бы ее ставить все новые и новые задачи. В этом следует усматривать частичное

объяснение застоя античной науки, последовавшего вслед за ее бурным взлетом в III—II вв. до н. э.

Оптика

Оптика была тем разделом физики, который уже в древности подвергся процессу математизации и получил очертания научной дисциплины в нашем понимании. Во избежание недоразумений надо оговориться, что греки придавали термину «оптика» более узкое значение, чем мы: для них это была наука о зрении. Затем они различали катоптрику — науку об отражении лучей от зеркальных поверхностей, скенографию, включавшую не только прикладные вопросы, связанные с изготовлением театральных декораций, но и учение о перспективе вообще, и, наконец, диоптрику — учение об оптических измерениях. Явление преломления света также было хорошо известно грекам, но его детальное изучение началось относительно позднее, причем его включали либо в оптику, либо в катоптрику.

О взглядах древних философов на природу зрения говорилось при изложении соответствующих учений, Аристотель сделал важный шаг, предположив, что видимые нами предметы действуют на глаз через промежуточную среду. Эту среду, которой может быть и воздух, и вода, и многие из твердых тел, Аристотель назвал «прозрачным» (*diaphanes*). Свет есть как бы актуализация такого «прозрачного»; там же, где оно существует только в возможности, бывает тьма. Цвет предмета является движущим началом для актуально прозрачной среды; этот цвет изменяет «прозрачное» таким образом, что оно начинает действовать на глаз. Бесцветные предметы не вызывают такого действия и потому не могут быть восприняты зрением. Видимые нами цвета представляют собой сочетания, в различных пропорциях, двух основных цветов — белого и черного. О механизме образования зрительного образа в глазу Аристотель ничего не говорит, хотя строение глаза было ему в общих чертах известно.

Значение теории Аристотеля состояло прежде всего в том, что в ней была подчеркнута роль промежуточной среды, находящейся между видимым предметом и глазом. Объединение этой теории со взглядами атомистов было произведено в учении Стратона, согласно которому цвета отделяются от тел (подобно демокритовским «образам»).

и соответственно окрашивают среду, которая уже затем действует на глаз.

Любопытное предвосхищение волновой концепции света мы обнаруживаем в физическом учении стоиков. Точка зрения стоиков на природу зрения сводится вкратце к следующему. От души, состоящей из «пневмы», отделяется «зрительная пневма», попадающая в зрачок и являющаяся причиной возникновения своего рода волн, распространяющихся в пределах конуса, вершина которого находится в зрачке. Ударяясь о предмет, волны возвращаются к глазу и производят на него давление, обуславливающее возникновение зрительных ощущений. Этот процесс происходит лишь в освещенном воздухе: темный воздух оказывает волнам настолько большое сопротивление, что они не могут в нем распространяться.

В эпоху поздней античности новых идей в данной области не возникло. Зато геометрическая оптика достигла больших успехов именно в эпоху поздней античности. Основные закономерности отражения света были известны уже Платону. Аристотель формулирует закон отражения практически в той форме, в какой мы знаем его теперь. Наиболее древний дошедший до нас трактат по оптике приписывается Евклиду; в нем он придерживается старых пифагорейских представлений о том, что зрение осуществляется с помощью зрительных лучей, прямолинейно распространяющихся из глаза и как бы ощупывающих предмет. Эти представления, однако, были достаточны для вывода основных положений геометрической оптики и теории перспективы. Фактически «Оптика» Евклида является трактатом по теории перспективы. Законы перспективы выводятся им из четырнадцати исходных положений, являющихся результатом оптических наблюдений. На закон отражения Евклид ссылается, как на нечто уже известное: он говорит, что этот закон доказывается в его «Катоптрике».

«Катоптрика» Евклида до нас не дошла; приписывавшийся этому автору текст под таким заглавием является, вероятно, позднейшей компиляцией. По-видимому, уже в древности это сочинение было оттеснено на второй план объемистой «Катоптрикой» Архимеда (теперь также утерянной), содержавшей строгое изложение всех достижений греческой геометрической оптики. Сам Архимед был не только теоретиком оптики, но и мастером оптических наблюдений, о чем свидетельствует описанная им

методика измерения видимого диаметра Солнца (см. раздел астрономии).

Дальнейшие успехи греческой оптики связаны с именами Герона и Птолемея и будут рассмотрены ниже.

Науки о живой природе

Из предыдущего изложения явствует, что александрийская эпоха была временем исключительного расцвета математических наук. Наоборот, описательное естествознание этого времени не продемонстрировало сколько-нибудь существенного продвижения вперед. Правда, в специальных работах, посвященных земледелию, садоводству, пчеловодству и тому подобным прикладным отраслям человеческой деятельности, было собрано много наблюдений и описано много фактов. Однако в научном отношении эти работы не дали ничего нового по сравнению с биологическими трактатами Аристотеля или трудами по ботанике Теофраста. На трудах Аристотеля основан как каталог птиц, составленный поэтом и историком литературы III в. до н. э. Каллимахом, так и зоологический сборник александрийского грамматика Аристофана из Византии (конец III — начало II вв. до н. э.), причем у этих авторов уже чувствуется склонность к чудесному и сказочному, оказавшая столь вредное влияние на развитие естествознания в эпоху поздней античности.

Значительно больший прогресс был достигнут в то время в области анатомии, чему немало способствовал отказ от старых религиозных предрассудков, запрещавших вскрытие человеческих трупов. Творцом научной анатомии и основателем александрийской школы врачей считается *Герофил* из Халкедона, ученик косского врача Праксагора. Его деятельность протекала в Александрии в начале III в. до н. э.; он был автором нескольких не дошедших до нас сочинений, среди которых античные источники называют большой труд «Анатомия» и специальные работы — «О глазах», «О пульсе» и др.

Ставя выше всего наблюдение и опыт, Герофил сумел избавиться от ряда укоренившихся догм и во многих отношениях явился пролагателем новых путей в науке. Его важнейшие работы в области анатомии относились к строению и функционированию нервной системы; он тщательно изучил нервные центры и отдельные нервы и окончательно установил, что головной мозг является

средоточием умственных способностей человека. Из общей массы нервов он выделил нервы чувствительные, идущие от периферии человеческого тела к спинному и головному мозгу. Он впервые провел четкое различие между артериями и венами и выяснил, что артерии получают свою кровь из сердца. Исследуя с помощью клепсидры пульс, он пытался перенести на биение пульса ритмические закономерности теории музыки и впервые оценил значение пульса, как важного диагностического средства. С пульсом он тесно связывал механизм дыхания, причем дыхательный цикл был у него разбит на четыре этапа: вдыхание свежего воздуха, распространение этого воздуха по всему телу, извлечение из тела загрязненного воздуха и устранение загрязненного воздуха путем выдыхания. Кроме того Герофил дал подробное описание анатомии глаза, печени, половых органов и других частей тела, а также провел сопоставление анатомического устройства человека и животных.

В области практической медицины Герофил уделял большое внимание действию лекарственных препаратов, в особенности тех, которые изготавливались из трав; наряду с этим он подчеркивал значение рациональной диеты и гимнастических упражнений. Будучи выходцем из косской медицинской школы, Герофил придерживался учения о четырех соках; он много занимался изучением трудов Гипократа и к некоторым из них написал комментарий.

Другим выдающимся ученым той эпохи был *Эрасистрат* с острова Кеос. Он учился в Афинах и на острове Кос, затем переехал в Александрию, где к середине III в. до н. э. приобрел большую известность. В течение некоторого времени он был лейб-медиком сирийского царя Селевка, однако в последние годы своей жизни прекратил врачебную практику и занялся исключительно научной деятельностью. Именно в этот период было, по-видимому, написано его основное анатомическое сочинение «О рассечениях».

Эрасистрат продолжил анатомические исследования Герофила, особенно в области нервной системы. Он подразделил нервы на чувствительные и двигательные, установил различие между большим головным мозгом и мозжечком, а также обратил внимание на извилины мозга человека и животных; большую сложность этих извилин он связал с более высоким уровнем развития интеллекта.

В изучении кровообращения Эрасистрат кое в чем пошел дальше Герофила, хотя в отдельных вопросах высказывал ошибочные взгляды. Так, он утверждал, что кровь циркулирует только по венам, в то время как артерии наполнены воздухом (эта точка зрения базировалась на наблюдениях над трупами, у которых артерии оказываются пустыми). Главным двигателем крови и воздуха по телу Эрасистрат признал сердце; в то же время он считал, что органом, вырабатывающим кровь, является печень. Помимо вскрытия трупов, Эрасистрат (как сообщают некоторые источники) делал живосечения на преступниках, предоставлявшихся ему царем.

В своей врачебной практике Эрасистрат придерживался иных принципов, чем Герофил: он полемизировал с гуморальной патологией гиппократиков и скептически относился к лекарствам; считая причиной всех болезней неправильное питание, он рассматривал диету в качестве основного лечебного средства. Теоретические воззрения Эрасистрата отличались смешением атомистических представлений с учением о пневме, развивавшимся стоиками.

Наряду с этими двумя корифеями медицинской науки в рассматриваемую эпоху жили и другие талантливые врачи; среди них источники называют некоего Эвдема, открывшего и описавшего действие ряда желез человеческого организма.

В эллинистическую эпоху образовалось несколько медицинских школ, о которых будет сказано в следующей главе. Сейчас мы упомянем лишь школу так называемых «эмпириков», основанную последователями Герофила. Эта школа отрицала значение для медицины любых теоретических построений и во главу угла ставила непредвзятое наблюдение; в этой позиции «эмпирики» усматривали верность истинным принципам учения Гиппократа.

НАУКА ЭПОХИ РИМСКОЙ ИМПЕРИИ

Причины упадка эллинистической науки

II—I вв. до н. э. отмечены признаками упадка александрийской и вообще греческой науки. Созданные диадохами (преемниками Александра Македонского) эллинистические государства истощали себя во взаимных войнах, а затем одно за другим падали под ударами римских легионов. Антиохия, Пелла, Пергам теряют значение политических и одновременно культурных центров; вместе с прекращением меценатства в них замирает научная жизнь. Правда, Александрия все еще продолжала оставаться научной столицей тогдашнего мира, но и она потерпела значительный ущерб в результате пожара, уничтожившего часть сокровищ Библиотеки, во время так называемой «александрийской» войны Юлия Цезаря (49 г. до н. э.). Мусей также постепенно пришел в упадок и потерял свое прежнее значение.

Несколько позже, уже в начале новой эры, когда все страны Средиземноморья и Ближнего Востока были объединены под властью Римской империи, намечается новый подъем: ко II в. н. э. относится деятельность величайшего после Гиппократов врача древности Клавдия Галена и знаменитого астронома Клавдия Птолемея. Но сами римляне в этом не были повинны. Практическому складу римского ума было чуждо стремление к теоретическому познанию, являвшееся столь характерным признаком греческой научной мысли. Показательно, что из среды римлян не вышло ни одного сколько-нибудь значительного ученого, хотя Рим дал миру великолепных поэтов, глубоких моралистов, замечательных историков, блестящих ораторов. Но мы не видим ни одного римского философа, хоть сколько-нибудь приближающегося к Платону и Аристотелю, ни одного римского математика, хотя бы в малой степени подобного Евдоксу, Евклиду или Аполлонию Пергскому. Цицерон, вероятно, был наиболее глубоким умом, которого породила римская национальная

культура, но его заслуга состояла всего лишь в том, что он, как прекрасно сказал А. Блок, «собрал жалкие остатки меда с благоуханных цветов великого греческого мышления, с цветов, беспощадно раздавленных грубым колесом римской телеги».

Отсутствие оригинальных научных работ восполнялось в Риме компиляциями, имевшими характер популярных энциклопедий и иногда писавшимися в стихотворной форме. Из сочинений этого рода большой славой пользовалась не дошедшая до нас энциклопедия в девяти книгах Варрона (I в. до н. э.), охватывавшая грамматику, логику, риторику, геометрию, арифметику, астрономию, теорию музыки, медицину и архитектуру. Аналогичная энциклопедия была составлена в следующем веке Корнелием Цельсом. Энциклопедический характер носит и знаменитая поэма «О природе вещей» Лукреция, в которой автор, исходя из учения Эпикура, освещает с позиций атомистики самые разнообразные вопросы естествознания, а также многотомная «Естественная история» Плиния Старшего.

Казалось бы, римский практицизм должен был стимулировать развитие прикладных дисциплин. Это, действительно, так и было, но только отчасти. До нас дошло много произведений на латинском языке, посвященных сельскому хозяйству, военному делу, архитектуре и т. д. Но техника в узком смысле слова — та техника, которая лежит в основе производительных сил общества, практически осталась на том же уровне, какого она достигла в эпоху Архимеда. Более того: в некоторых областях техники, например в судостроении, наблюдался известный регресс. Причины этого коренились в рабовладельческой форме хозяйства, достигшей в эпоху Римской империи своего наивысшего развития. Массы рабов, поставлявшихся римским рабовладельцам из завоеванных провинций, парализовали всякие стимулы к техническим изобретениям и усовершенствованиям. Дешевый труд рабов был основным фактором, препятствовавшим развитию производительных сил и вызывавшим застой и загнивание римского общества. А когда внутренние междоусобицы и нашествия варварских племен привели к распаду Римской империи, на ее развалинах возникли полудикие государства, которым не было никакого дела ни до науки, ни до техники. Лишь Византия в какой-то мере оставалась хранительницей научных традиций античности, но в

силу ряда специфических условий она могла только сохранять эти традиции, не перерабатывая их творчески и не развивая.

География

На рубеже эллинистического и римского времени стоит своеобразная фигура стойка Посидония (ок. 135—50 гг. до н. э.), родившегося в Апамее (Сирия), но затем переселившегося на остров Родос; там и протекла большая часть его научной деятельности. В конце жизни Посидоний переселился в Рим, где стал учителем Цицерона; там же он и умер. Подобно Аристотелю, Посидоний пытался охватить всю науку того времени, хотя его универсализм сочетался с поверхностностью. В отличие от предшественников по школе Посидоний много занимался математикой, а его комментарий к «Тимею» способствовал возрождению интереса к пифагорейской мистике чисел, к которой, как и к астрологии (и в этом сказался дух времени), он сам был весьма неравнодушен. Он обладал, по-видимому, незаурядными астрономическими познаниями и построил планетарий по образцу архимедовского, а также написал трактат о величине и удаленности Солнца. Надо также упомянуть, что он был крупным историком, продолжившим знаменитый труд Полибия.

Наибольшую самостоятельность Посидоний проявил, по-видимому, в области географической науки. В сочинении «Об Океане» он изложил наблюдения, собранные им во время поездки к западным окраинам Европы. Пробыв около месяца в Кадисе, он изучал морские приливы и потом развил идеи Селевка о связи приливов и отливов с положением Луны на небосклоне. Впрочем, по мнению Посидония, Луна оказывает влияние не только на приливы, но и на многое другое, в том числе на рост деревьев, развитие моллюсков и на кровообращение у человека. Идея взаимозависимости и тайной гармонии всех явлений природы служила Посидонию для объяснения климатических и прочих особенностей разных стран; описывая эти страны, Посидоний, наряду с верными сведениями, охотно сообщал всякого рода фантастические небылицы и сказки. Он писал также о землетрясениях, о метеорологии и о многих других вопросах.

Вслед за Эратосфеном Посидоний предпринял попытку определить размеры земного шара. Он использовал по существу тот же принцип, применив его, однако, не к

Солнцу, а к яркой южной звезде Канопус (альфа созвездия Корабль Арго; по современной номенклатуре — альфа Киля). Когда эта звезда для наблюдателя, находящегося на Родосе, касается горизонта, в Александрии она находится на высоте, равной $\frac{1}{48}$ окружности, т. е. $7\frac{1}{2}^\circ$. На основании расстояния между этими пунктами, которое оценивалось моряками в 5000 стадиев, была определена величина окружности Земли, оказавшаяся равной 240 000 стадиев. К сожалению, мы не знаем, какими именно стадиями пользовался в своих расчетах Посидоний; если, как и у Эратосфена, это был египетский стадий, равный 157 м, то результат Посидония следует считать сильно заниженным. Не исключено, однако, что ошибка Посидония способствовала впоследствии открытию Америки, поскольку Колумб в своих расчетах исходил из предположения о длине земной окружности, которая тоже была значительно меньше истинной.

Ни одна из книг Посидония до нас не дошла, но в древности они пользовались широкой популярностью. Многочисленные ссылки на них можно найти, в частности, у Страбона, Гемина, Манилия, Клеомеда и других авторов.

Большое число сведений из области географии и этнографии содержится в ряде сочинений исторического жанра того времени. Достаточно назвать «Всеобщую историю» Полибия (II в. до н. э.), «Историческую библиотеку» Диодора (I в. до н. э.), «Римские древности» Дюниция Галикарнасского (I в. до н. э.) и т. д., а из сочинений, написанных на латинском языке, — «Римскую историю от основания города» Тита Ливия (конец I в. до н. э. — начало I в. н. э.), «Записки о Галльской войне» Юлия Цезаря, а также более поздние труды Тацита, Аммиана Марцеллина и других авторов.

Из собственно географических сочинений описательного жанра наиболее значительными были, бесспорно, работы *Страбона* и *Павсания*. Знаменитая «География» Страбона (65 г. до н. э. — 21 г. н. э.) в семнадцати книгах была подлинной энциклопедией географических знаний того времени. Ее автор был родом из Амасеи, столицы понтийских царей; учился он в Пергаме и, возможно, в Александрии; в течение жизни он совершил несколько далеких путешествий, однако большая часть его труда основана не на собственных наблюдениях, а на сочинениях более ранних авторов. Две первых книги «Географии»

заняты общими рассуждениями и полемикой с предшествовавшими писателями. Собственно описательная география начинается с III книги, причем восемь книг (III—X) посвящены Европе, шесть (XI—XII) — Азии и одна, последняя (XII) — Африке.

В целом «География» Страбона представляет собой грандиозную компиляцию, которая, по замыслу автора, не должна была быть слишком специальной, а предназначалась для широкого круга образованных читателей. К астрономии и математике у Страбона было скорее отрицательное отношение: так, в противоположность Гиппарху, он придавал большее значение надежным показаниям путешественников и моряков, чем определениям, основанным на наблюдениях звезд и математических вычислениях. Страбон принимает данные Эратосфена о размерах земного шара, но не описывает метода получения этих данных, считая это слишком специальным делом, не имеющим отношения к географии. Далее, у Страбона имеются рассуждения о способах картографирования, но большой компетенции в этом деле он не обнаруживает. Он интересуется землетрясениями, вулканами, наносной работой рек и другими проблемами подобного рода; у него имеется также четко разработанная концепция климатических поясов земного шара. Все это, однако, сочетается с экскурсами в область мифологии и с обращениями к авторитету Гомера.

Другим сочинением Страбона, от которого до нас дошли лишь отдельные фрагменты, были «Исторические записки» в 43-х книгах, написанные в дополнение ко «Всеобщей истории» Полибия.

О жизни путешественника и писателя II в. н. э. Павсания ничего достоверного не известно. Он написал сочинение «Описание Эллады» в десяти книгах, причем каждая из этих книг посвящена определенной области Балканского полуострова и содержит массу сведений, относящихся к истории, мифологии, народным преданиям и легендам, памятникам архитектуры и искусства и т. д., и в этом состоит величайшая ценность труда Павсания для исследователя древнегреческой культуры. Но и с точки зрения сообщаемых топографических деталей «Описание Эллады» может и теперь служить путеводителем по многим местам Греции.

Резкий контраст с трудами Страбона и Павсания составляет «География» *Клавдия Птолемея* (первая поло-

вина II в. н. э.). Строго говоря, ее следовало бы назвать «Картографией», так как она в основном посвящена изложению методов научного картографирования, развивая в этом вопросе традиции Гиппарха. Описательная география Птолемея не интересует; более того, он относится к ней с явным презрением, а географические наименования приводятся им лишь для того, чтобы указать координаты каждого места (в общей сложности таких мест у него около 8 000). Объясняя методику картографирования Птолемей ссылается на своего предшественника Марина Тирского, время жизни которого нам точно неизвестно. К своей книге Птолемей приложил 27 карт (в оригинальном виде до нас не дошедших), которые, в своей совокупности, изображали всю известную тогда ойкумену — от Канарских островов (откуда он, вместе с Марином, начинает вести отсчет долгот) до Китая. Эти карты не были свободны от ошибок: так, например, Птолемей считал, что восточный берег Африки поворачивает в районе экватора к востоку и соединяется с берегами юго-восточной Азии, превращая, таким образом, Индийский океан во второе Средиземное море. Были у Птолемея и другие ошибки. Несмотря на это, его карты во многом превосходили как карты его предшественников, так и все карты, создававшиеся позднее — в эпоху средних веков.

Что касается римлян, то географией как самостоятельной наукой они занимались мало. Первым географическим трудом на латинском языке было сочинение в трех книгах Помпония Мелы (I в. н. э.), имевшее заглавие «Об описании местностей» и представлявшее собой лаконичное изложение данных, заимствованных из работ греческих авторов. Сочинением Мелы широко пользовался Плиний в своей «Естественной истории». Географическая информация, содержащаяся в труде Плиния, представляет собой собрание самых разнородных сведений, приводимых без малейшей попытки подойти к ним критически и вообще как-нибудь в них разобраться. Отсутствие самостоятельности характеризует и «Естественнонаучные вопросы» Сенеки; правда, этот философ-энциклопедист излагает географические теории того времени более связно, нежели Плиний. Общенаучные воззрения, которых придерживается в этом труде Сенека, в большей своей части заимствованы у Аристотеля и Посидония.

Эпоха поздней античности, после Птолемея, не дала в области географической науки ни одного значительного

имени. Упоминания заслуживает, может быть, лишь Маркиан из Гераклеи Понтийской, живший около 400 г. и написавший (на греческом языке) несколько компилятивных сочинений, от которых до нас дошли отдельные куски. Бесспорно выдающимся ученым был Стефан Византийский, автор объемистой «Этнографии» в 60 книгах, но его время жизни падает на конец VI — начало VII вв. и потому не может быть отнесено к античной эпохе.

Математика

В предыдущей главе мы уже указывали на тот странный факт, что после Аполлония Пергского в эллинистической математике не появилось ни одного большого имени. Примерно около столетия длилась эпоха «эпигонов», затем наступил двухвековой перерыв — как если бы математикой в это время вообще никто не занимался. Новый подъем намечается лишь к концу I в. н. э., т. е. уже в эпоху Римской империи. Двумя выдающимися математиками этого времени были Герон и Менелай — оба из Александрии.

Герон более известен как талантливый инженер и изобретатель, но эта сторона его деятельности будет освещена ниже. Об его интересе к математике свидетельствует прежде всего тот факт, что он написал комментарий к «Началам» Евклида. Однако математика прежде всего была для него важна своими прикладными аспектами. До нас дошла «Метрика» Герона — сочинение, в котором собраны всевозможные формулы, использовавшиеся для измерения и для вычисления фигур. Среди них приводится и доказывается формула, служащая для определения площади треугольника по трем его сторонам и приводимая в наше время в любом учебнике геометрии под именем «формулы Герона» (имеются, впрочем, указания, что эта формула была известна еще Архимеду). Помимо точных формул, Герон приводит ряд приближенных правил; так, для извлечения квадратного корня он применяет правило, взятое, по-видимому, из вавилонской математики:

$$\sqrt{N} \approx \frac{1}{2} \left(a + \frac{N}{a} \right),$$

где a^2 — наибольший целый квадрат, меньший N . Есть у него правило и для извлечения кубического корня. Эти и многие другие правила он формулирует без доказательств, лишь поясняя их числовыми примерами.

Менелай Александрийский был математиком совсем иного рода. В области тригонометрии он был продолжателем Гиппарха и написал книгу, ныне утерянную, о вычислении хорд (что эквивалентно вычислению синусов). Кроме того, он заложил основы новой науки — сферической тригонометрии. В арабском переводе до нас дошла его «Сфера», состоящая из трех книг. В двух первых книгах доказываются различные теоремы о сферических треугольниках (между прочим, теорема о равенстве).

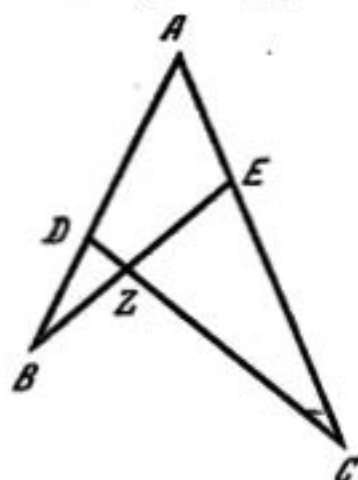


Рис. 13. К «теореме о трансверсалиях» Менелая на плоскости

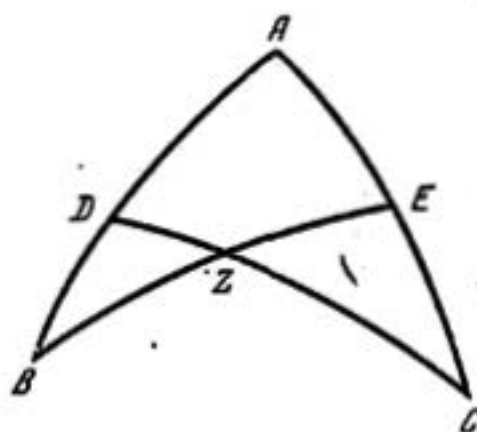


Рис. 14. К «теореме на трансверсалиях» Менелая на сфере

Третья книга начинается с «теоремы о трансверсалиях», состоящей в следующем.

Пусть даны две прямые AB и AC и на них взяты две произвольные точки D и E , и пусть CD и BE пересекаются в точке Z (рис. 13). Тогда можно доказать, что между отрезками, получившимися на чертеже, существуют такие соотношения:

$$\frac{CE}{AE} = \frac{CZ}{DZ} \times \frac{BD}{AB} \quad \text{и} \quad \frac{CA}{AE} = \frac{CD}{DZ} \times \frac{BZ}{BE}.$$

Посредством проектирования из центра Менелай переводит эти отношения на сферу (рис. 14) и, если ADB , AEC , CZD и BZE будут большими кругами сфер, получает отношение для хорд:

$$\frac{\text{хорда}(2CE)}{\text{хорда}(2AE)} = \frac{\text{хорда}(2CZ)}{\text{хорда}(2DZ)} \times \frac{\text{хорда}(2BD)}{\text{хорда}(2AB)}$$

и

$$\frac{\text{хорда}(2CA)}{\text{хорда}(2AE)} = \frac{\text{хорда}(2CD)}{\text{хорда}(2DZ)} \times \frac{\text{хорда}(2BZ)}{\text{хорда}(2BE)}.$$

Из теоремы о трансверсалиях Менелай получает ряд формул сферической тригонометрии.

Доказанная Менелаем «теорема о трансверсальных» нашла потом широкое применение у Птолемея. Вообще вся эта область математики разрабатывалась тогда в качестве математического аппарата для астрономии; тем не менее книга Менелая представляла собой значительное достижение и с чисто математической точки зрения.

Клавдий Птолемей был также несомненно прекрасным математиком, хотя математика интересовала его главным образом лишь как средство для решения астрономических и картографических задач. Но он не чуждался и чисто математической проблематики, о чем свидетельствует то, что им было написано сочинение о параллельных линиях и о пятом постулате Евклида (о чем сообщает Прокл). Текст этого сочинения утрачен и сколько-нибудь детальными сведениями о его содержании мы не располагаем (неоплатоник Прокл приводит якобы птолемеёво доказательство пятого постулата Евклида, содержащее грубую ошибку).

Следует отметить, что в «Альмагесте» Птолемей широко пользуется заимствованной у вавилонян шестидесятиричной системой нумерации, применяя ее не только для дуг круга, но также для отрезков и площадей. Таким образом, «минуты», «секунды» и т. д. становятся у него отвлеченными числами, не связанными с каким-либо определенным видом величины. Любопытно, что в его записи дробей существовал символ $\omicron$ («омикрон»), служивший для обозначения отсутствия одного из шестидесятиричных разрядов. Это — первое появление нуля в европейской математической литературе.

В лице *Диофанта*, величайшего математика III века н. э., мы встречаемся с представителем нового, алгебраического направления в античной математике, которое не находилось ни в какой связи с традиционной греческой геометрией. В свете новейших открытий в области ориенталистики можно считать вероятным, что корни алгебры Диофанта (так же, как и приближенных формул Герона) восходят к вавилонской математике. К сожалению, мы не располагаем никакими промежуточными звеньями, которые позволили бы нам проследить процесс переноса вавилонских алгебраических методов на эллинистическую почву.

О жизни и личности Диофанта у нас нет никаких сведений, если не считать стихотворной эпиграммы-задачи, из которой следует, что Диофант прожил 84 года. Основ-

ное сочинение Диофанта — «Арифметика» — посвящено «достопочтеннейшему Дионисию». Мы знаем, что в середине III в. н. э. епископом Александрии был Дионисий; если в посвящении речь идет именно о нем, то это почти единственное указание на время жизни Диофанта, которым мы располагаем.

«Арифметика» состояла из тринадцати книг, из которых до нас дошли только шесть. Уже само построение «Арифметики» существенно отличается от дедуктивно-аксиоматического способа изложения, принятого в классической греческой математике. «Арифметика» представляет собой собрание задач, которые решаются независимо друг от друга; эти решения подчас бывают очень остроумны, хотя, по видимости, не претендуют на всеобщность. Было бы, однако, неправильно считать, что Диофант не владел общими методами или недооценивал их значения. В первой книге Диофант рассматривает задачи, приводящие к определенным квадратным уравнениям. Судя по всему, он умел решать эти задачи не хуже вавилонян и индийцев, причем в эпоху Диофанта, по-видимому, уже существовала устойчивая традиция решения таких задач.

Начиная со второй книги, Диофант рассматривает главным образом неопределенные уравнения — сначала второго, а потом и более высоких порядков. В Европе нового времени «Арифметика» стала известна в XVI в.; развитые Диофантом методы решения неопределенных уравнений оказали огромное влияние на Виета и Ферма. Эти методы находятся в таком же отношении к позднейшей алгебре и теории чисел, в каком архимедовы методы вычисления площадей и объемов находятся к анализу бесконечно малых.

Для обозначения алгебраических выражений Диофант впервые ввел буквенную символику, сделав тем самым важный шаг вперед как по сравнению с числовой алгеброй вавилонян, так и по сравнению с греческой геометрической алгеброй классического периода. В его сочинении алгебра впервые находит свой собственный, присущий ей язык; правда, этот язык очень отличается от алгебраической символики нашего времени. Так, например, у Диофанта еще нет знака $+$; если нужно сложить несколько членов, он просто пишет их друг за другом. Для вычитания же у него существует особый символ $\wedge$ (можно ли рассматривать этот символ как обозначение отрицательного числа, остается неясным). В качестве примера укажем,

что выражение

$$x^3 + 8x - (5x^2 + 1)$$

выглядит в записи Диофанта следующим образом:

$$K^{\bar{v}} \alpha \varsigma \varsigma \eta \wedge \Delta^{\bar{v}} \epsilon M^{\circ} \alpha.$$

Последним выдающимся математиком александрийской школы был Папп, живший в конце III — начале IV вв. Он составил комментарий к «Началам» Евклида, к «Альмагесту» Птолемея и к некоторым другим сочинениям, но его важнейшим трудом был «Математический сборник» («Synagōgē»), состоявший из восьми книг, из которых большая часть до нас дошла. В этом сочинении Папп собрал все, что он нашел интересного в трудах своих предшественников; по этой причине «Сборник» является бесценным источником сведений о содержании утраченных книг Евклида, Аполлония и других греческих математиков. Кроме того, в ряде случаев Папп приводит свои собственные результаты, показывающие, что он был не только компетентным компилятором, но и творческим исследователем высокого класса. Наибольшее значение имеют доказанные им теоремы, относящиеся к изучению кривых на торе и других поверхностях. Некоторые теоремы Паппа, вновь доказанные в XVII в. Дезаргом и Паскалем, положили начало проективной геометрии как особой ветви математической науки.

В конце IV в. в Александрии жил математик Теон, написавший комментарий к «Альмагесту» и заново издавший «Начала» Евклида. Он известен главным образом как отец знаменитой Гипатии, трагическая гибель которой в 418 г. символизировала конец александрийской научной школы. Гипатия была единственной женщиной в истории античной науки; о ее собственных трудах известно только то, что она занималась платоновской философией и писала комментарии к Аполлонию и Диофанту.

В V в. математическая мысль еще продолжает теплиться в Афинах. Так, неоплатоник Прокл написал комментарий к первой книге «Начал» Евклида, интересный тем, что в нем дается краткий очерк истории геометрии от Фалеса до Евклида. Заслуживает также упоминания Евтокий (VI в.), выдающийся комментатор Архимеда и Аполлония; труды этих ученых до сих пор издаются с его комментариями.

В астрономии, как и в математике, два столетия, следовавшие за смертью Гиппарха, были весьма неплодотворным периодом, не выдвинувшим ни одного значительного имени. Нельзя, впрочем, сказать, что астрономией в это время перестали заниматься; наоборот, она продолжала оставаться одной из самых популярных наук. Мы знаем, что в это время энциклопедист Посидоний, не будучи астрономом-профессионалом, производил расчеты по определению сравнительных размеров Земли, Луны и Солнца и расстояний между ними, следуя в этом отношении Аристарху и Гиппарху.

В это же время процветали астрономы-популяризаторы, такие, как Гемин (I в. до н. э.) и Клеомед (I в. н. э.), в сохранившихся сочинениях которых можно найти много ценной историко-астрономической информации. Об интересе к астрономии в эту эпоху свидетельствует, в частности, широкая популярность дидактической поэмы Арата «Явления», о которой мы упоминали выше. Любопытно, что эту поэму перелагали на латинский язык такие лица, как Варрон, Цицерон и Цезарь Германик.

Но имел ли место в это время хоть какой-либо прогресс в настоящей астрономической науке? На этот вопрос мы не можем ответить утвердительно. Новая информация, позволяющая думать, что астрономические изыскания не прекратились полностью, относится лишь к концу I в. н. э. В этот период — период стабилизации Римской империи — астрономическая наука начинает возрождаться. Но это была уже другая астрономия, существенным образом отличавшаяся от астрономии эпохи расцвета александрийской науки. Отличительные черты этой поздней античной астрономии состояли в следующем.

1. Происходит окончательное усвоение достижений вавилонской астрономии. Это выражается не только в использовании данных вавилонских наблюдений, не только в усвоении шестидесятиричной системы счисления, но и в том, что в греческую науку проникают вычислительные методы вавилонян, основанные на операциях с линейными числовыми разностями. Будучи значительно более примитивными по сравнению с геометрическими методами греков, эти числовые методы сосуществуют рядом с ними, с течением времени находя все более широкое применение.

2. Чистые струи астрономической науки, созданной трудами Евдокса, Аристарха и других гениев той эпохи, загрязняются текущим с Востока мутным потоком астрологии. Особый успех астрология имеет у римлян, склонных ко всякого рода суевериям и предрассудкам. При этом астрология в греко-римском мире приобретает существенно иные функции по сравнению с той ролью, какую она играла в странах Древнего Востока. Там наблюдения за такими небесными явлениями, как затмения, появления комет, необычные сочетания планет, имели целью предугадать счастливые или, чаще, пагубные события, предвестием которых эти явления считались (победа или поражение в войне, голод, наводнение, засуха и т. д.). Теперь же движение небесных светил стало связываться с индивидуальными судьбами людей. Основной и, в сущности, единственной задачей астрологии становится составление гороскопов, причем этим делом вынуждены заниматься самые крупные ученые. Более того, интерес к астрологии был важнейшим фактором, обусловившим новый подъем астрономической науки.

Выдающимся астрономом конца I в. н. э. был Менелай Александрийский, о котором мы уже писали в разделе математики. Имеются сообщения, что во время своего пребывания в Риме Менелай изучал покрытия звезд Луной. Аналогичные наблюдения производил примерно в то же время некий Агриппа в Вифинии. Эти наблюдения были использованы Птолемеем, который, сравнивая их с наблюдениями, полученными в свое время Тимохарисом и позже Гиппархом, а также со своими собственными данными, вычислил на их основании величину смещения равноденствия (прецессии).

Показательным для характеристики астрономических представлений у образованных людей того времени был трактат Плутарха «О лике, видимом на диске Луны» (начало II в. н. э.). Луна описывалась Плутархом как тело, подобное Земле (хотя и меньшей величины), на котором имеются горы, отбрасывающие глубокие тени. Эти представления имели уже существенно иной характер по сравнению с воззрениями, господствовавшими в эпоху Платона и Аристотеля.

Высшей точкой развития античной астрономии и одновременно ее последним крупным достижением следует считать основной труд Клавдия Птолемея «Математическая система» (по-гречески «*Mathēmatikē syntaxis*»), по-

лучивший впоследствии известность под арабизированным названием «Альмагест». В этом сочинении Птолемей до конца осуществил программу Гиппарха, состоявшую в создании геоцентрической системы мира, в которой видимое движение Луны, Солнца и пяти планет объяснялось бы с помощью эксцентрических кругов и эпициклов.

О жизни величайшего астронома древности мы ровно ничего не знаем — за исключением того, что первое наблюдение, включенное им в «Альмагест», было произведено в 125 г., а последнее — в 151 г. Все это время он жил и работал в Александрии; там же он, по-видимому, и умер (около 170 г.). Из астрономических сочинений Птолемея, кроме «Альмагеста», нам известны два: две книги «О планетах», в которых птолемеяевская теория движения планет излагается в сокращенном виде, и книга о положениях звезд, содержащая таблицы восхода и захода звезд для пяти точек, находящихся на разных широтах от Черного моря до Сиены (Ассуапа). О его астрологическом сочинении «Тетрабиблос» будет сказано ниже.

Для построения теории движения планет Птолемей должен был решить две задачи.

1. Определить движение центра эпицикла по эксцентрическому кругу (так называемому «деференту»);

2. Определить движение планеты по эпициклу. Для решения первой задачи нужно было наблюдать планету в те моменты времени, когда она лежит на прямой, соединяющей центр эпицикла с Землей. Согласно основному принципу теории эпициклов, радиус эпицикла, на конце которого находится планета, всегда направлен в ту же сторону, что и радиус солнечной орбиты, на конце которого находится Солнце. Сложность задачи состояла в том, что Солнце предполагалось движущимся по круговой орбите не вокруг Земли, а вокруг эпицентра (рис. 15), поэтому момент, когда планета оказывалась как раз против центра эпицикла, не совпадал с моментом, когда она находилась в противостоянии с Солнцем. Все это требовало проведения очень большого числа наблюдений, которые Птолемей выполнил с помощью инструмента с градуированными кругами, названного им «астролябон» и описанного в пятой книге «Альмагеста». При этом выяснилась еще дополнительная трудность. Мы уже знаем, что центр эпицикла планеты должен описывать эксцентрический круг, центр которого находится вне Земли. И вот оказалось, что теория будет соответствовать наблюдениям толь-

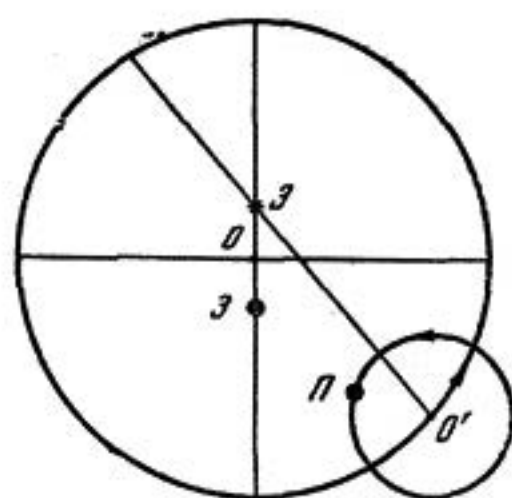
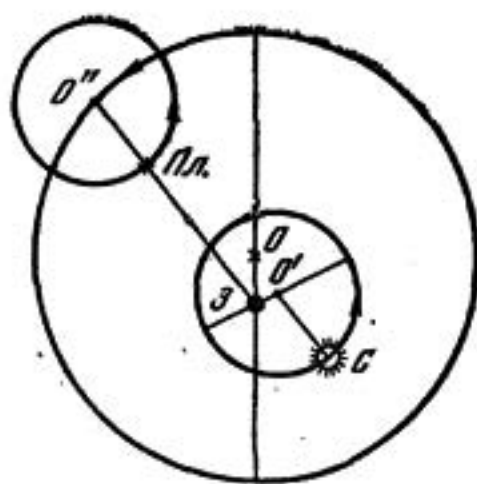


Рис. 15. Соотношение движения Солнца и планеты по Птолемею:

С — Солнце, З — Земля, Пл — планета, О — центр деферента, О' — центр солнечной орбиты, О'' — центр эпицикла

Рис. 16. Движение центра эпицикла О' кажется равномерным, если наблюдать его не из центра деферента О, а из экванта Э

ко в том случае, когда движение центра эпицикла будет выглядеть равномерным не из центра его орбиты, а из другой точки — так называемого «экванта», — расположенного на таком же расстоянии от центра орбиты, на каком, но только с другой стороны, находится от него Земля (рис. 16). Это означало, что фактически центр эпицикла движется по своей орбите не равномерно: в перигее, т. е. вдали от экванта, он движется быстрее, а в апогее (вблизи экванта) — медленнее.

Следует заметить, что Птолемей вынужден был допустить наличие экванта также и для движения Луны. Он не объясняет, каким образом он пришел к идее экванта. Он только пишет: «...мы нашли, что...»

Вторая из указанных выше задач состояла в определении размеров эпицикла. Для этого нужно было проводить наблюдения планет, когда они удалены от точки противостояния с Солнцем. И здесь требовалось большое число наблюдений для каждой планеты. При этом для трех внешних планет — Марса, Юпитера и Сатурна — теория эпициклов оказалась очень точно воспроизводящей видимые движения этих планет. Гораздо хуже обстояло дело с Меркурием и Венерой. Чтобы спасти положение, Птолемею пришлось допустить периодические изменения наклона плоскостей эпициклов этих планет по отношению к плоскостям их деферентов (не говоря о том, что для всех планет — как внешних, так и внутренних —

допускалась возможность наклона плоскости деферента по отношению к плоскости эклиптики). Эти «качания» делали картину совсем запутанной. Птолемей, видимо, сам чувствовал принципиальную неудовлетворительность столь сложной теории, потому что в тринадцатой (последней) книге «Альмагеста» он высказывает следующие соображения:

«Пусть никто, глядя на несовершенство наших человеческих изобретений, не считает предложенные здесь гипотезы слишком искусственными. Мы не должны сравнивать человеческое с божественным... Просто небесные явления нельзя рассматривать с точки зрения того, что мы называем простым и сложным, так как у нас — все произвольно и переменное, а у небесных существ — все строго и неизменно, так что их движения по орбитам нельзя представлять себе вынужденными и трудными».

В своей теории эпициклов Птолемей наряду с собственными наблюдениями и данными Гиппарха и других своих предшественников использовал богатейшие материалы многовековой работы вавилонских астрономов, на которых он сам прямо и многократно ссылается. Таким образом, в «Альмагесте» произошло органическое слияние греческой теоретической астрономии с достижениями восточной науки. В то же время нельзя недооценивать вклада самого Птолемея в методы астрономических наблюдений и расчетов. Если раньше (в том числе и у вавилонян) движение планет изучалось только по отношению к долготе, то Птолемей начал учитывать их перемещения по широте; созданная им методика впоследствии была почти целиком принята Коперником. В пределах точности наблюдений, производимых невооруженным глазом, эта методика давала достаточно хорошие результаты.

Но Птолемей был сыном своего времени. Наряду с научной астрономией он много занимался астрологией и написал по этому вопросу фундаментальное сочинение — так наз. «Тетрабиблос» («Четырехкнижие»). Этот факт в большей степени, чем что либо другое, характеризует то противоречивое положение, в котором оказалась античная наука в период своего заката.

О развитии механики в эпоху поздней античности мы можем судить прежде всего по работам *Герона Александрийского*. Сам Герон представляет собой фигуру в высшей степени загадочную. Никакими биографическими сведениями о нем мы не располагаем, и долгое время ученые спорили, к какому веку следует отнести деятельность этого человека. Учет ряда мелких деталей, встречающихся в его произведениях, позволяет с большой степенью вероятности предположить, что Герон жил во второй половине I в. н. э. и, может быть, в начале II в.

Основное научное сочинение Герона «Механика» дошло до нас только в арабском переводе. Оно состоит из трех книг. В первой книге рассматриваются теоретические вопросы — сложение скоростей по правилу параллелограмма, распределение нагрузки между опорами, определение центра тяжести, в трактовке которых Герон следует в основном Архимеду. Во второй книге описываются пять простых машин: рычаг, ворот, клин, винт и блок, и разъясняется их действие. Герон сам указывает, что теорию рычага он излагает по сочинению Архимеда «О равновесии». В третьей книге дается описание механизмов для поднятия тяжестей и прессов, основанных на комбинациях простых машин.

На греческом языке до нас дошли три трактата Герона, посвященные различным проблемам механики: «Пневматика», в которой описываются механизмы, приводимые в движение нагретым или сжатым воздухом, а также паром; затем книга «Об автоматах», содержащая описание конструкций всевозможных самодвижущихся устройств; наконец, «Белопойка» (буквально — «Изготовление метательных орудий»), которая посвящена военным, главным образом метательным орудиям.

Хотя известные нам труды Герона имеют в основном компилятивный характер и базируются на достижениях прежних авторов — прежде всего Архимеда и Филона, — тем не менее в них можно найти и существенно новые вещи. Так, при рассмотрении теоретических вопросов, Герон во многом отходит от чисто статических методов Архимеда, широко пользуясь методом изучения перемещений, приводящих к нарушению состояния равновесия. Вводя в число рассматриваемых величин время, он формулирует следующий, уже чисто динамический принцип:

«Величина движущей силы находится в обратном отношении ко времени перемещения». При изложении пневматических устройств Герон описал шар, вращающийся под действием пара («эолипил») — первый прототип паровой турбины. Любопытно, что давление воздуха и пара Герон объяснил ударами мельчайших частиц, из которых состоят эти физические тела. В то же время обращает на себя внимание то обстоятельство, что за исключением военных машин и немногих других устройств, которые уже были описаны более ранними авторами (пожарный насос, водяной орган), технические разработки Герона — иногда весьма сложные и остроумные — имели своей главной целью создание автоматов, служащих для развлечения и забавы. В машинах, которые могли бы заменить физический труд человека и повысить его производительность, рабовладельческое общество поздней античности, очевидно, не нуждалось.

Проблемам механики была посвящена последняя (восьмая) книга «Математического сборника» Паппа, о котором мы говорили в разделе математики. В этой книге собраны разнородные сведения из области механики, заимствованные по преимуществу из более ранних источников. Впрочем, в книге имеются и некоторые оригинальные результаты автора, например теоремы об объемах тел вращения, которые выражаются через длину окружности, описываемой центром тяжести вращающейся фигуры (так называемая «теорема Гюльдена—Паппа»). Обращает на себя внимание четкое различие, проводимое Паппом между механикой как теоретической наукой и механикой, являющейся практическим искусством.

Среди сочинений римских авторов мы не найдем ни одного, в котором обнаруживался бы теоретический интерес к механике. Зато до нас дошел ряд трудов на латинском языке, посвященных прикладным вопросам архитектуры, строительного дела, военной техники, гидротехники. Среди них надо отметить прежде всего «Десять книг об архитектуре» *Витрувия* (I в. до н. э.), из которых три последние посвящены гидравлике, устройству различных типов часов и ряду проблем прикладной механики, включая военные машины. Учитывая, прежде всего, интересы строительного дела, Витрувий подробно описывает механизмы, применявшиеся в то время для поднятия тяжестей.

Описание римских водопроводов содержится в сочинении землемера и гидротехника I в. н. э. Фронтин. В «Записках о Галльской войне» Юлия Цезаря приводится очень детальное (хотя и не во всем ясное) описание свайного моста, построенного по его приказу при переходе через Рейн. Писатель IV в. н. э. Флавий Вегетий был автором сочинений, в которых были изложены многие технические вопросы, связанные с военным делом (разбивка лагерей, строительство крепостей, съемка планов местности). Содержание всех этих сочинений находилось в соответствии с чисто практической направленностью римского ума.

В заключение скажем несколько слов о принципиально новом шаге в развитии теоретической динамики (в сущности, не разрабатывавшейся со времен Аристотеля), который был сделан на самом рубеже средневековья Иоанном Филопоном. Этот человек был настолько своеобразной фигурой, что о нем следует сказать несколько подробнее.

Иоанн Филопон (что значит «Трудолюб»; другое его прозвище — «Грамматик») родился, по-видимому, в конце V в. н. э. и большую часть своей жизни прожил в Александрии. Там он слушал лекции Аммония, возглавлявшего возникшую незадолго до этого александрийскую философскую школу, но потом принял христианство и в конце концов получил сан епископа. Помимо большого числа трудов по грамматике, философии, теологии, из которых лишь немногие сохранились, Филопон написал комментарий к ряду трактатов Аристотеля. Особый интерес представляют его комментарии к «Физике», в которых он подвергнул ревизии ряд положений аристотелевской натурфилософии.

Рассматривая проблему движения брошенного тела, Филопон утверждал, полемизируя с Аристотелем, что нет никаких оснований прибегать к помощи воздуха, чтобы объяснить продолжающееся движение тела, которое уже оторвалось от источника движения (например, от руки, толкнувшей камень). По мнению Филопона, источник движения сообщает телу некую внутреннюю силу, поддерживающую в течение определенного времени его движение. Эта сила бестелесна, следовательно, она не может иметь ничего общего ни с воздухом, ни с какой-либо иной средой. Скорость тела определяется величиной этой силы; сопротивление среды, в которой летит тело, может

только уменьшить его скорость, в пустоте же скорость будет иметь максимальную величину. В качестве примера движения без сопротивления Филопон указывал на равномерное и круговое движение небесных тел.

В средневековой литературе внутренняя сила, сообщаемая движущемуся телу, получила наименование «импетуса» (*impetus* по-латыни — стремление вперед, напор, натиск). Нам теперь ясно, что идея импетуса представляла собой первое предвосхищение понятий импульса и кинетической энергии.

Аристотелевская концепция падения тел также была раскритикована Филопоном. Согласно Аристотелю, чем больше тело, тем оно сильнее стремится к своему «естественному» месту (тяжелые — к центру вселенной, а легкие — к ее периферии). С другой стороны, скорость падающего (или, соответственно, летящего вверх) тела обратно пропорциональна сопротивлению среды, в которой это тело движется. Отсюда следовало, что при отсутствии сопротивления среды, т. е. в пустоте, тела должны падать (или лететь вверх) с бесконечно большой скоростью. По мнению же Филопона, тело и в пустоте будет падать с конечной скоростью, определяемой его тяжестью. Сопротивление среды может только уменьшить эту скорость. Иначе говоря, аристотелевский закон

$$v \sim \frac{P}{R}$$

(где v — скорость тела, P — его вес, а R — сопротивление среды) Филопон заменил другим законом, при котором скорость падающего тела может стать равной нулю, но никогда не будет бесконечно большой

$$v \sim P - R.$$

Свои соображения Филопон подкрепляет ссылкой на факты; вполне возможно, что он проводил какие-то эксперименты с падением тел в разных средах.

И в других вопросах Иоанн Филопон проявил оригинальность и самостоятельность мышления. В частности, он утверждал, что вселенная не вечна и что небесные тела имеют ту же природу, что и вещи подлунного мира. А в теологических вопросах, уже будучи христианином, Филопон высказывал взгляды, зачастую расходившиеся с догматами христианской религии.

По сравнению с оптическими трактатами Евклида и Архимеда «Катоптрика» Герона, ранее принимавшаяся за сочинение Птолемея, содержит ряд новых моментов. В этом трактате Герон обосновывает прямолинейность световых лучей бесконечно большой скоростью их распространения. Далее, он приводит доказательство закона отражения, основанное на предположении, что путь, проходимый светом, должен быть наименьшим из всех возможных. Это — частный случай принципа, обычно связывается с именем Ферма (позднее, в VI в. н. э., Олимпиодор будет обосновывать этот принцип следующим образом: природа не допускает никаких излишеств, а это имело бы место, если бы для прохождения света она выбирала не самый короткий путь). Вслед за законом отражения Герон рассматривает различные типы зеркал; особое внимание он уделяет цилиндрическим зеркалам и вызываемым ими искажениям изображений. В заключение в трактате приводятся примеры применения зеркал, в том числе для театральных представлений.

С точки зрения развития измерительной техники интересен другой трактат Герона — «О диоптре». Диоптрой Герон назвал универсальный визирный инструмент, сочетавший функции позднейших теодолита и секстанта. Наводка диоптры осуществлялась путем вращения вокруг двух осей — вертикальной и горизонтальной; для более точной установки служил микрометрический винт, впервые описанный именно в этом сочинении.

Явление преломления еще не рассматривалось Героном, хотя было известно грекам с давних времен. Систематическое изучение этого явления впервые было проведено Птолемеем. В своей «Оптике» Птолемей описывает опыты по измерению углов преломления света при переходе лучей из одной прозрачной среды в другую и приводит полученные им значения, которые для того времени можно считать весьма точными. Птолемей обнаружил также явление полного внутреннего отражения. Однако нет никаких намеков на то, что он пытался как-либо сформулировать закон преломления.

В вопросах отражения света и природы зрения Птолемей не пошел дальше своих предшественников. Его оптика все еще была построена на гипотезе зрительных лучей, испускаемых глазом!

Представляют интерес некоторые соображения Плутарха, развиваемые им в трактате «О лике, видимом на диске Луны». Приведя возражения, которые выставляются против мнения о том, что Луна отражает солнечные лучи, Плутарх указывает, что из-за неровностей поверхности Луны в этом случае нельзя ожидать отражения, подобного отражению от гладкого зеркала. Поверхность Луны отбрасывает свет во все стороны, подобно множеству беспорядочно расположенных зеркал. Плутарх отмечает, что, например, молоко в отличие от воды также не дает зеркального изображения вследствие шероховатости пленки, покрывающей его поверхность. Отсюда он выводит, что поверхность Луны должна быть подобна земной. Эти соображения показывают, что Плутарх уже был знаком с явлением рассеяния света.

На этом история античной оптики, в сущности, заканчивается. Из достижений более позднего времени следует отметить дошедший до нас фрагмент из сочинения Анфемия, строителя собора св. Софии в Византии (VI в. н. э.). В этом фрагменте точно формулируются закономерности отражения от параболических зеркал.

Науки о живой природе. Медицина.

Характерная особенность описательного естествознания в эпоху поздней античности состояла в следующем: те его отрасли, которые не имели непосредственного выхода в практику, хирели и вырождались; наоборот, те, которые были связаны с практическими приложениями — прежде всего в медицине — продолжали развиваться и преуспевать. К отраслям первой группы относилась, в частности, зоология, явно деградировавшая со времени появления «Истории животных» Аристотеля и постепенно лишавшаяся черт, которые должны быть присущи всякой настоящей науке. Книги, посвященные зоологии, начинают рассматриваться как некое занимательное чтение, причем как их содержание, так и форма изложения во многом определяются этой основной установкой.

Ярким представителем подобного рода литературы было сочинение «О животных» Александра из Минда (I в. до н. э.) — своего рода зоологическая энциклопедия, долгое время пользовавшаяся большой популярностью. В ней сведения, почерпнутые из Аристотеля и других серьезных авторов, были самым причудливым образом перемешаны

с информацией, имевшей сказочно-фантастический характер.

Учитывая любовь римлян к научно-популярной литературе энциклопедического характера, можно было ожидать, что сочинения этого рода появятся и на латинском языке. И в самом деле: непревзойденной по своему объему коллекцией раритетов и всякого рода занимательных сведений явилась «Естественная история» («*Historia naturalis*»), написанная римским военачальником и, вместе с тем, ученым-дилетантом *Гаем Плинием Секундом Старшим* (23—79 гг. н. э.). Этот грандиозный труд состоит из тридцати семи книг, большая часть которых (книги 8—32) посвящена описанию мира животных и растений различных поясов и стран. Там же содержатся рецепты по изготовлению и применению всевозможных лечебных средств. В отличие от «Истории животных» Аристотеля материал, изложенный в книгах Плиния, лишь в самой минимальной степени базировался на личных наблюдениях автора: в основном он представлял собой некритическую компиляцию данных, взятых из громадного числа литературных источников. Как сообщает в предисловии к «Естественной истории» сам Плиний, созданию этого труда предшествовало прочтение приблизительно двух тысяч книг, из которых было сделано около двадцати тысяч выписок. Популярность и влияние «Естественной истории» были огромными не только в римское время, но также в течение всего средневековья и в эпоху Возрождения.

Еще дальше в отношении занимательности пошел римский софист III в. *Клавдий Элиан*, который, хотя и был уроженцем итальянского города Пренесте (теперь Палестрина), однако писал свои книги по-гречески. Из его сочинений до нас дошла книга «О животных», представляющая собой беспорядочное собрание анекдотов и чудесных историй: на систематичность изложения и на критическое отношение к излагаемому материалу в ней нет и намека.

Значительно лучше обстояло дело с ботаникой — именно потому, что ботаника была основой, на которой развивалась фармакология того времени. Еще в начале I в. до н. э. придворный врач царя Митридата VI Эвпатора *Кратей* издал книгу о лечебных травах, текст которой сопровождался прекрасно выполненными цветными иллюстрациями (о качестве этих иллюстраций мы можем составить представление по дошедшим до нас позднейшим

их копиям). В дополнение к этой книге Кратей написал сочинение о лекарствах, которое затем широко использовалось как Диоскоридом, так и Плинием Старшим.

Следует также упомянуть о книге «О материи» («*Peri hylēs*»), написанной римским философом Секстием Нигером, деятельность которого падает на годы правления Юлия Цезаря и Октавиана Августа. В этой книге, посвященной в основном ботанике и фармакологии, Нигер пытался дать обоснование вегетарианскому образу жизни, сторонником и пропагандистом которого он являлся.

Наибольшей славой в эпоху поздней античности пользовалось ботанико-фармакологическое сочинение Диоскорида из Киликии (I в. н. э.), служившего военным врачом при императоре Клавдии, а затем обосновавшегося в Риме. В этом сочинении, которое называлось «О врачебной материи» («*Peri hylēs iatrikēs*») и состояло из пяти книг, Диоскорид дал подробное и достаточно систематизированное описание 600 целебных растений. Авторитет этого сочинения оставался непререкаемым в течение всех средних веков — как в Западной Европе, так и у арабов.

Общий упадок античной культуры в первых веках нашей эры не отразился на положении медицины. В качестве лейб-медиков при дворах монархов врачи пользовались почетом и приобретали большие состояния еще в эпоху диадохов. Рим предоставил греческим врачам широкое поле деятельности. Медицина эпохи Римской империи характеризуется соперничеством ряда школ (эмпирики, методисты, пневматики и т. д.), различавшихся теоретическими воззрениями и методами практического лечения.

Несмотря на полемику, которую вели друг с другом представители перечисленных школ, все они признавали Гиппократ классиком и основоположником медицинской науки и писали комментарии к тем или иным сочинениям Гиппократова свода.

Из медицинских сочинений, написанных римскими авторами по-латыни, упоминания заслуживает небольшая книга Корнелия Цельса (I в. н. э.) — нечто вроде справочника, представлявшего собой часть не дошедшей до нас энциклопедии. Достоинством этой книги является отнюдь не оригинальность содержания, а ясность и лаконизм изложения — черты, обычно присущие римским авторам.

Расцвет медицинской науки в эпоху Римской империи должен был привести к появлению выдающегося ума,

деятельность которого выразилась бы в синтезе всех достижений предшествующей эпохи. И такой ум действительно появился: им был *Клавдий Гален* (129—199 гг. н. э.) — великий врач, анатом и физиолог, написавший множество трудов, относившихся к различным разделам тогдашней науки. Для античной медицины Гален был тем же, чем был для античной астрономии его старший современник и тезка Птолемей. И тот и другой стали непререкаемыми авторитетами в своих областях и оставались таковыми вплоть до эпохи Возрождения. Общее между ними заключалось еще и в том, что их влияние на последующую науку определялось не столько творческим характером их гения, сколько присущим им обоим даром систематизации и приведения в порядок большого числа данных: как «Альмагест» Птолемея сделал излишним изучение астрономических трудов прежних лет, так и после Галена медицинские трактаты его предшественников сразу стали ненужными.

Родом Гален был из Пергама; в доме своего отца (архитектора) он получил многостороннее и достаточно глубокое по тому времени образование. Потом он изучал философию и медицину в Смирне, Коринфе и Александрии, работал в Пергаме, а в 162 г. переехал в Рим, где и жил (с небольшим перерывом) вплоть до смерти. Как ученый Гален был почти универсален, как писатель — необычайно плодовит: лишь в области медицины число написанных им трудов достигло 150 (из них сохранилось около 80), а общий список сочинений Галена включает около 250 названий. Правда, эта плодовитость имела и свои теневые стороны: труды Галена в большинстве своем страдают многословием и подчас не слишком оригинальны. Как человек Гален был, по-видимому, не очень привлекателен: писавшие о нем авторы отмечают его самомнение, его почти детское тщеславие, карьеризм. Эти недостатки, однако, не должны заслонить от нас заслуги Галена-ученого.

Прежде всего, Гален был прекрасным анатомом, и этим он выгодно отличался от большинства «эмпириков», «методистов», «пневматиков» и «эклектиков», о которых шла речь выше. Он изучал анатомию не только человека, но и разных животных — быков, овец, свиней, собак и т. д. Стимулом к этим исследованиям служило то обстоятельство, что вскрытие трупов людей в Риме было запрещено — как прежде в Элладе. Затрудняя, с одной

стороны, деятельность врачей, этот запрет, с другой стороны, оказал благотворное воздействие на развитие сравнительной анатомии животных. В частности, Гален заметил большое сходство в строении человека и обезьяны; водившаяся в то время на юго-западе Европы маленькая обезьянка была тем объектом, над которым он проводил опыты (в том числе вивисекторские) по изучению мышц, костей и других органов тела.

Физиологические воззрения Галена базировались в основном на теории соков Гиппократов. Гален прекрасно знал труды своего великого предшественника и комментировал их не только с медицинской, но также с языковой и текстологической точек зрения. Большое влияние на средневековую медицину оказало учение Галена об «основных силах», присущих отдельным органам и распределенных по телу согласно мудрому устройству природы; в этом учении отразились телеологические аспекты мировоззрения Галена. Детальному изучению Гален подвергнул центральную и периферическую нервную систему; в частности, он пытался установить связь спинномозговых нервов с процессами дыхания и сердцебиения. Однако истинный механизм работы сердца и кровообращения остался им неразгаданным. В его терапии наряду с воздухо- и водолечением и диететикой большую роль играли лекарственные препараты, иногда необычайно сложные, включавшие в себя до нескольких десятков компонентов, среди которых фигурировали яды и другие, порой неожиданные и неаппетитные вещества. Надо признать, что в рецептурных предписаниях Галена имелись элементы донаучного знахарства, но это только способствовало их популярности как в то время, так и позднее, в эпоху средневековья.

Мы видим, что Гален был достаточно противоречивой фигурой; наряду с прогрессивными моментами в его теории и в его медицинской практике отразились некоторые характерные черты упадка античной культуры. И в этом он также аналогичен Птолемею с его «Четверокнижием» и астрологической деятельностью.

После Галена в античной медицинской науке наступает упадок. Утверждая это, мы не имеем в виду деградацию чисто практических сторон врачебного дела (эта деградация тоже наступит, но позднее!); наоборот, в III—IV вв. н. э. хирургия, офтальмология, стоматология находились на очень высоком уровне. Но разработка теорети-

ческих проблем как медицины, так анатомии, физиологии и других подобных дисциплин прекратилась почти полностью. Следует остановиться, пожалуй, только на одной любопытной фигуре, которая в области медицины оказалась таким же связующим звеном между античной и средневековой наукой, каким в области механики был Иоанн Филопон.

Это — *Орибазий* из Пергама, знаменитый врач IV в. н. э., живший почти ровно на двести лет позднее Галена (даты его жизни — 326—403 гг.). Орибазий изучал медицину в Александрии, затем поселился в Афинах, где сблизился с будущим императором Юлианом (Отступником). Между ними возникла настоящая дружба — может быть, на базе общей преданности языческой религии. В течение недолгого правления Юлиана Орибазий был его лейб-медиком; он сопровождал императора в злосчастном персидском походе, где тот был убит (26 июня 363 г.) в возрасте 32 лет. После гибели Юлиана его христианские преемники подвергли Орибазия репрессиям, но в конце концов он был прощен (вероятно, после того, как принял христианскую веру). Основным трудом Орибазия была медицинская энциклопедия («*Synagōgai iatrikai*») в 70 томах, написанная им по поручению Юлиана и в которой в систематической форме была изложена вся совокупность знаний, приобретенных в области медицины за шесть веков от Гиппократов до Галена. Примерно третья часть этой энциклопедии дошла до нас и по сохранившимся отрывкам мы можем судить о той добросовестности, с которой была выполнена эта грандиозная работа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проследили историю развития античной науки от ее зарождения до последних ее вздохов, датируемых V—VI вв. н. э. Эта история представляет собой единый процесс, причем различия отдельных фаз этого процесса, как бы существенны они ни были, лишь подчеркивают его единство. По аналогии с развитием живого организма ранняя греческая наука «о природе», эллинистическая наука, наука эпохи Римской империи могут рассматриваться как юность, зрелость и старость античной науки. Хронологически история античной науки совпадает с историей античной культуры в целом и может рассматриваться как ее часть.

Этим, однако, не снимаются вопросы, возникающие при сопоставлении античной науки с наукой нового времени. В развитии этой последней также можно обнаружить наличие нескольких фаз или этапов, существенно отличающихся друг от друга. Средневековая наука XII—XIII вв., наука эпохи Возрождения, великая научная революция XVI—XVII вв., наука эпохи промышленного капитализма, наконец, научно-техническая революция XX в. — вот те этапы, в которых нашла яркое выражение преемственность развития европейской науки. В этой преемственности мы не обнаруживаем ни малейших следов предстоящего упадка или загнивания. Уходят в прошлое культурные эпохи, сменяются социально-экономические формации, но наука развивается все ускоряющимися темпами, причем нет никаких указаний на то, что эти темпы начнут в обозримом будущем замедляться. Эта особенность радикально отличает науку нового времени от античной науки.

Другая особенность науки нового времени состоит в том, что ее прогресс оказывает мощное, с течением времени все усиливающееся воздействие на развитие производительных сил и как следствие этого — на все стороны

человеческой жизни. Мы часто говорим, что наука в наше время стала непосредственной производительной силой общества, но не всегда осознаем все значение этой истины. Действительно, чем была бы наша экономика, наш быт, вообще вся жизнь современного цивилизованного человека без достижений физики, химии, механики, геологии и других наук? Мы очень быстро привыкаем к плодам этих достижений, подчас упуская из виду, в какой мере наличием этих плодов мы обязаны творческому труду многих поколений деятелей науки.

Ничего подобного не было в античности. Несмотря на блестящие достижения греческой науки, о которых было рассказано на предшествующих страницах, жизнь человека античной эпохи почти не зависела от этих достижений. Быт афинских граждан изменился бы очень мало, если бы в этом городе не жили Анаксагор и Платон. Победы Александра Македонского ни в какой степени не определялись научной деятельностью Аристотеля. И мы можем себе представить, что войны диадохов протекали бы без Мусея примерно так же, как они протекали в действительности. Наука рабовладельческого общества не была обязательным ингредиентом этого общества: последнее могло бы прекрасно обойтись и без науки.

Но она была ингредиентом античной культуры. И если греческая наука достигла небывалых по тому времени высот, то корни ее достижений надо искать в особенностях античной культуры, а ее специфику — в мироощущении человека античной эпохи.

Действительно, особенности античной культуры определялись теми представлениями о действительности, которые сложились у греков в период образования греческих городов-государств. Существенное влияние на формирование этих представлений оказали греческая религия, греческий эпос. Наука помогла осмыслить и систематизировать эти представления. В результате возник образ мира, характерный для античной эпохи — и только для нее. Не следует ограничивать этот образ мира одной лишь платоно-аристотелевской моделью космоса (как это иногда делается). Он допускал многообразные вариации и у различных мыслителей выступал в различных формах. Атомистика Демокрита — Эпикура представляла собой картину мира, существенно отличавшуюся от пифагорейской или перипатетической, но и она оставалась в пределах античного восприятия действительности.

Античная наука так и не сумела выйти за эти пределы. Не случаен тот факт, что геометрическая алгебра греков не смогла перейти в обычную алгебру — ту алгебру, которую в наше время изучает любой школьник уже с первых классов. Нам сейчас кажется удивительным, что, несмотря на замечательные успехи эллинистической математики, греки этой эпохи не были в состоянии освоить такие, казалось бы, элементарные понятия, как понятие нуля или отрицательной величины, впервые — и притом в очень неясной форме — появляющиеся у Птолемея и Диофанта. Другой пример: несмотря на развитие военной, в частности военно-баллистической техники, греки не смогли сформулировать кажущиеся нам почти что очевидными законы динамики брошенного тела. Далее: несмотря на создание хорошо разработанной теории конических сечений, с одной стороны, и на успехи наблюдательной астрономии — с другой, ни одному греку не могло прийти в голову, что планеты могут двигаться не по кругам, а по эллипсам. Греческие математики оперировали лишь с очень ограниченным числом функций и вообще понятие функции в его общей форме не было ими осознано. Эти примеры можно было бы умножить.

Не следует думать, что в греческой науке не было тенденций выйти за рамки античного образа мира. Эти тенденции мы обнаруживаем и у Аристарха, и у Архимеда, и у Диофанта, и даже у Паппа. Но эти тенденции остались нереализованными. Подобно росткам, попавшим на неблагоприятную почву, они увяли, не успев распуститься. Для их развития требовалось иное мироощущение, основанное на иной структуре общества. Не имея социально-экономических стимулов для своего дальнейшего развития и исчерпав свои внутренние потенции, античная наука начала чахнуть и вырождаться.

В свете сказанного ошибочными представляются точки зрения, согласно которым гибель античной науки объясняется нашествиями варваров или победой христианства. Разумеется, варварам не было никакого дела до науки, а отцы церкви относились к ней скорее отрицательно, но это были лишь внешние факторы, которые лишь завершили затянувшийся на несколько столетий кризис всей античной культуры, в том числе и античной науки. В основе же этого кризиса лежали внутренние причины, о которых было сказано выше.