

### § 3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ НАУКИ В ПЕРИОД ЭЛЛИНИЗМА. РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ И ПОЯВЛЕНИЕ ЗАЧАТКОВ ФИЗИКИ

В III в. до н. э. в древнем мире происходят большие изменения. В результате завоеваний Александра Македонского возникает огромная империя, объединившая большую территорию и многочисленные народы Европы, Азии и Африки. После смерти Александра Македонского она распалась на несколько крупных рабовладельческих государств. В истории период, начинающийся с завоеваний Александра Македонского, называют периодом эллинизма. Этот период характеризуется более совершенной техникой. Особенно большие достижения имеют место в строительной технике, военном деле и мореплавании.

В строительной технике используют теперь целый ряд механизмов, особенно подъемных. Основную роль играли так называемые простые машины. О строительных механизмах древних можно судить по книге «Об архитектуре»<sup>1)</sup> римского инженера и архитектора Витрувия (II половина I в. до н. э.). Сильно продвинулась вперед и военная техника. Еще до III в. до н. э. существовали различные метательные машины, которые теперь стали широко применять при осаде городов. Использовались различные метательные машины, катапульты, баллисты и др. Об этих машинах можно составить себе представление опять же по книге Витрувия. Интересен рассказ древнегреческого писателя Плутарха (ок. 46—126 гг.) о военных машинах, построенных Архимедом и примененных им для защиты от римских войск его родного города Сиракуз на острове Сицилия<sup>2)</sup>.

Большую роль играл морской и военный флот. Древние были отважными мореплавателями, смело бороздили воды Средиземного и Черного морей и выходили в Атлантический океан. В этих условиях создается возможность обобщения научных знаний уже не в форме натурфилософии, а в форме отдельных конкретных наук. Из единой греческой натурфилософии выделяются прежде всего науки физико-математического цикла. Оформляются как самостоятельные науки математика и астрономия, хотя последняя еще долгое время тесно связана с общими натурфилософскими представлениями. Появляются зародыши механики — учение о равновесии тел и жидкостей — и зачатки оптики.

Философия теперь уделяет больше внимания собственно философским вопросам: вопросом логики, гносеологическим вопросам, вопросам этики и т. д. Однако и чисто натурфилософские вопросы продолжают занимать философию. Так, в рассматриваемый период появляются сочинения Эпикура и позднее Лукреция, о которых говорилось выше. Эти философы продолжают традицию Левкиппа — Демокрита и их учения содержат ряд идей, которые позже разрабатывают в естествознании. Натурфилософские учения других фи-

<sup>1)</sup> См.: Витрувий М. Об архитектуре. Л., Соцэкиз, 1936.

<sup>2)</sup> См.: Плутарх. Сравнительные жизнеописания. Т. I. Пелопид и Марцелл. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 391—392.

лософов периода эллинизма в основном не содержат новых прогрессивных идей, которые бы предвосхищали естественнонаучные открытия будущего или сыграли когда-нибудь положительную роль в естественных науках физико-математического цикла.

Развитие математики, астрономии и других наук в период эллинизма в значительной степени связано с городом Александрией, расположенным на африканском побережье Средиземного моря. Начиная с III в. до н. э. этот город стал научным и культурным центром древнего мира. Птолеми, цари египетские, приглашали в свою столицу Александрию ученых и философов из других стран и создавали им условия для работы. В Александрии образовалась знаменитая Александрийская библиотека, имевшая, по преданию, около 500 000 рукописей.

В период эллинизма математика сложилась как самостоятельная наука. Знаменитый александрийский ученый Евклид (III в. до н. э.) подвел итог и обобщил в своих «Началах» все, что было сделано до него в области математики. Он создал настолько совершенную систему геометрии, что она почти в неизменном виде просуществовала многие столетия. Евклид «очистил» геометрию и математику вообще от всякой мистики и натурфилософских идей и придал ей исключительную логическую стройность. Его система геометрии много лет считалась образцовой, ей следовали самые крупные математики, физики и даже философы последующего времени.

В период эллинизма зарождается и высшая математика. Здесь большие заслуги принадлежат Архимеду, решившему труднейшие для своего времени задачи вычисления площадей криволинейных фигур. Однако возникновение высшей математики относится уже к значительно более позднему периоду.

Астрономия также оформилась к III в. до н. э. в самостоятельную науку. В период эллинизма были получены новые важные результаты. Уже в III в. до н. э. александрийский астроном Эратосфен (ок. 276—194 до н. э.) произвел измерения размеров Земли, определил ее радиус. Крупнейший астроном Гиппарх (II в. до н. э.) значительно усовершенствовал методы астрономических измерений, применяя более точные приборы. Он уточнил положение и характер движения небесных тел, составил большой звездный каталог, содержащий свыше 1000 звезд.

подавляющее большинство астрономов придерживалось геоцентрических взглядов на строение мира. Однако, как отмечалось, уже пифагорейцы высказали гипотезу о движении Земли. Позже греческий астроном Аристарх Самосский (конец IV — первая половина III в. до н. э.) высказал гипотезу о гелиоцентрической системе мира. Однако учение о движении Земли не получило в древности развития, и только Коперник, возродивший идею Аристарха Самосского, разработал гелиоцентрическую систему мира.

В отличие от математики древняя астрономия, хотя и выделилась в самостоятельную научную область, тем не менее была тесно связана с натурфилософскими и общеполитическими идеями

древности. Развитие астрономии вызвало к жизни некоторые общие представления механики: вопрос о сложении движений и вопрос об его относительности. В связи с этим более подробно остановимся на тех вопросах истории астрономии, которые имели отношение к некоторым общим теоретико-познавательным вопросам, а также к механике. Затем рассмотрим начало развития вопросов механики, уже непосредственно не связанных с астрономией, после чего остановимся кратко на начале развития других разделов физики.

Вполне естественно, что изучение механического движения началось с исследования движения небесных тел. Это объясняется, во-первых, тем, что изучение движения небесных тел имело прямое практическое значение. Во-вторых, движение небесных тел казалось наиболее простым и правильным. Действительно, движение подавляющего числа небесных тел (неподвижных звезд) представляется с Земли равномерным круговым движением. Правда, были известны небесные тела, движение которых нельзя было считать простым круговым движением. Это в первую очередь планеты, видимое движение которых более сложное. Особенности движения и определили их название «планеты», что означает блуждающие. Характер движения Солнца и Луны также отличается от характера видимого движения неподвижных звезд. Возникла идея, нельзя ли представить движение названных небесных тел как движение, составленное из простых равномерных движений по кругу. Имеются свидетельства, что именно такую задачу перед астрономами поставил еще Платон, руководствуясь идеей о совершенстве небесных тел и совершенстве круга как геометрической фигуры. Впервые эту задачу попытался решить греческий астроном Эвдокс (ок. 408—ок. 355 гг. до н. э.). Он предположил, что вокруг Земли вращаются несколько сфер. На каждой сфере закреплена определенная планета. Эта сфера вращается внутри другой сферы, гомоцентричной с первой. В свою очередь вторая сфера вращается вокруг Земли, которая является общим центром. В результате видимое движение планеты с Земли выглядит сложным. Планета совершает прямые и попятные движения. Введя несколько таких гомоцентричных сфер, Эвдокс надеялся объяснить видимое движение планет по небесной сфере и одновременно сохранить идею о том, что движение планет — небесных тел — совершается по круговым траекториям. Таким образом, впервые рождается идея о возможности сложения и разложения движения на составляющие. Теория Эвдокса была несовершенной. Она давала более или менее удовлетворительные результаты только для Солнца, Луны и внешних планет (Юпитера и Сатурна). Кроме того, она не могла объяснить изменения яркости планет; последнее свидетельствовало, что их расстояния от Земли изменяются. Тем не менее эта теория была принята Аристотелем, который усложнил ее, увеличив число вращающихся сфер до 56 (у Эвдокса их было 27), однако не смог устранить имеющиеся недостатки.

Более совершенная теория движения небесных тел была разработана позже греческими учеными Аполлонием (III в. до н. э.) и Гиппархом. Для объяснения сложного движения планет, Солнца и

Луны ими была предложена и разработана теория эпициклов. Согласно этой теории, движение небесных тел происходит равномерно по круговой орбите — эпициклу, центр которого, в свою очередь, совершает равномерное вращение вокруг Земли по круговой орбите — деференту. С помощью этой теории можно было надеяться

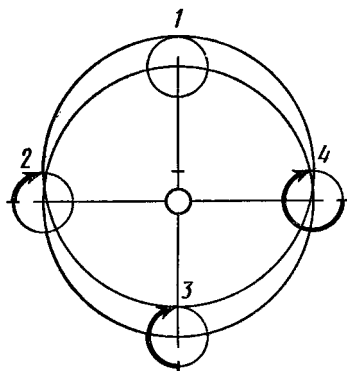


Рис. 1

более удовлетворительно объяснить видимое движение небесных тел (планет, Солнца и Луны). При этом выполнялась и задача представления движения небесных тел как комбинации равномерных круговых движений. Одновременно было показано, что видимое движение небесного тела можно представить иначе, опять-таки руководствуясь представлением о равномерных круговых движениях. Можно показать, что небесные тела равномерно движутся по окружности, центр которой не совпадает с центром Земли. Эта теория получила название теории эксцентриков.

Уже Аполлоний и Гиппарх знали, что рассмотренные теории могут приводить к одинаковым результатам. Так, движение планеты по эпициклу с тем же периодом, что и период движения центра эпицикла по деференту, но в противоположную сторону, эквивалентно движению по эксцентрическому кругу (рис. 1). Следовательно, оказалось, что видимое движение небесных тел, даже состоящее из круговых движений, если принять их за элементарные, можно представить несколькими способами. Естественно, что при создании теории движения небесных тел было целесообразно раскладывать движение наиболее простым способом. Гиппарх, например, исходя из соображений простоты, выбрал теорию эксцентриков для расчета движения Солнца.

Таким образом, развитие астрономии привело к возникновению представления о возможности разложения движения различными способами и о том, что этот процесс является чисто математическим.

Новые данные, полученные астрономией, заставляют усложнять картину движения небесных тел. Для построения теории их движения приходится использовать и теорию эпициклов, и теорию эксцентриков. Теория эпициклов и эксцентриков была доведена до совершенства древнегреческим астрономом Птолемеем (II в.) и изложена в его знаменитой книге, арабское название которой «Альмагест». Эта книга долгое время, вплоть до Коперника, была основным канонизированным сочинением и на Востоке и в Европе. Птолемею удалось построить достаточно удовлетворительную теорию движения небесных тел вокруг Земли, представив их как комбинацию простых круговых движений, используя и эпицикл, и эксцентрики и введя еще некоторые новые элементы. При этом Птолемей

каждый раз исходил из принципа простоты. Он полагал, что движение небесных тел можно представить различными способами, и каждый раз находил наиболее удачный. Эта общая идея явилась предметом обсуждения. Если астрономы легко свыклись с ней, то для философов она стала предметом дискуссии, особенно для прямых последователей Аристотеля.

Какие движения следует считать реальными: видимые движения небесных тел, а «круги», на которые их можно разложить — фикцией, или же, наоборот, действительными реальными движениями (так сказать, элементарными) являются круговые движения? Этот, вообще говоря, бессмысленный, с нашей точки зрения, вопрос решался по-разному различными философами. Одни утверждали, ссылаясь непосредственно на Аристотеля, что реальны простые круговые движения небесных тел. Другие же считали, что реальностью является видимое движение, а круги, эпициклы и эксцентрики, как, например, утверждал греческий философ Прокл (410—485), существуют только в мыслях астрономов, а не в действительности. Александрийский ученый Филопон (VI в.) полагал, что вращательные равномерные движения существуют в природе сами по себе. Из этих движений разум астронома составляет сочетания кривых, которые не существуют нигде, кроме как в воображении. Некоторые философы утверждали, что не дело астрономов решать вопрос о том, каково действительное движение в небе. Задача состоит в том, чтобы уметь лишь вычислять положение и движение небесных тел на небесной сфере так, как они представляются нам. Эта тема звучит довольно настойчиво у многих древних философов и философов средних веков. Симплиций (IV в.) — комментатор Аристотеля — утверждал, например, что астрономы придумали теорию вращающихся сфер и теорию эпициклов и эксцентриков для того, чтобы «спасти явления». В таком же духе пишут и более поздние философы, особенно те, которые полностью восприняли учение Аристотеля о небе, в частности теорию вращающихся сфер. Так, например, арабский ученый и философ Ибн Рушд (Аверроэс) (1126—1198) писал, что «астрономия Птолемея ничтожна в отношении существующего, но она удобна как средство вычислять»<sup>1)</sup>.

В связи с развитием астрономии в древности был также затронут вопрос об относительности астрономического движения. Вероятно, смутное представление об относительности движения возникло довольно рано. Об этом можно судить исходя из того, что очень рано возникли гипотезы о движении Земли (как мы видели, впервые такая гипотеза была высказана пифагорейцами еще в V в. до н. э.). И позже ученые высказывались за движение Земли. Так, философ Древней Греции Гераклид (IV в. до н. э.) считал, что хотя Земля и находится в центре мира, тем не менее она вращается вокруг своей оси. В истории хорошо известно уже упоминавшееся выше имя древнегреческого астронома Аристарха Самосского, который

<sup>1)</sup> Dreyer J. L. E. History of the planetary systems from Thales to Kepler. Cambridge, 1906, p. 267.

впервые высказал гипотезу о гелиоцентрической системе мира. Он полагал, что Солнце находится в центре Вселенной, а вокруг него вращается Земля, которая также совершает обороты и вокруг своей оси. Мы не имеем определенных данных, которые бы свидетельствовали, что в средние века в Европе кто-нибудь высказывал мнение о движении Земли, вплоть до XVI в. Однако на Востоке (в Индии и Китае) были ученые и философы, которые придерживались гипотезы о движении Земли. Нельзя сомневаться, что, высказав догадку о движении Земли, древние ученые не имели хотя бы смутного представления об относительности движения. Они, конечно, знали, что во многих случаях наблюдателю, движущемуся относительно какого-нибудь предмета, кажется, что движется этот предмет, а не он сам. Об этом говорил повседневный опыт. Естественно, что, высказывая гипотезу о движении Земли, они должны были учитывать этот опыт. И действительно, об этом существует упоминание. Так, Цицерон (106—43 гг. до н. э.), излагая мысли некоторых древних ученых о движении Земли, говорит, что, по их мнению, нам лишь кажется, что Земля неподвижна, а небесные тела движутся. В действительности же все происходит наоборот. Он пишет:

«По словам Теофраста, Никетас из Сиракуз высказал мнение, что Солнце, Луна и все небесные тела пребывают в покое, и ничего не движется в мире, кроме Земли, которая, вращаясь вокруг своей оси с большой скоростью, производит видимость неподвижности Земли и движущегося Солнца»<sup>1)</sup>.

О том, что человеку, движущемуся относительно неподвижного тела, представляется, что он в покое, а тело движется, говорят также ощущения человека, находящегося на плывущем корабле. Это, конечно, было хорошо известно в древности, и, безусловно, на это обращали внимание. В частности, об этом явлении говорит римский поэт Вергилий (70—19 гг. до н. э.) в поэме «Энеида»; «В море от порта идем и отходят и Земли и грады». Позже эти слова процитирует Коперник в своем сочинении о гелиоцентрической системе мира. Интересную цитату можно привести из сочинения китайского астронома Люся Хуна (I в. до н. э.). Он писал:

«Земля постоянно движется, но люди не знают этого; они как команда на закрытом судне; когда оно перемещается, они этого не замечают»<sup>2)</sup>.

Это утверждение почти как в учении Галилея, не хватает только уточнения, что судно должно двигаться равномерно и прямолинейно. Вообще, образ человека, находящегося внутри плывущего корабля и не замечающего это движение, становится классическим примером при обсуждении принципа относительности.

Таким образом, идея об относительности движения начинает вызревать в древности. Но сначала она, как отмечалось выше, не получает обобщения и уточнения. Учение Аристотеля отбросило эту идею. По Аристотелю, говорить о движении можно также только

<sup>1)</sup> Duhem P. Le système du Monde, v. I. Paris, 1913, p. 22.

<sup>2)</sup> Панекук А. История астрономии. М., «Наука», 1966, с. 101.

по отношению к другому телу. С точки зрения кинематики, всякие движения являются относительными. Однако в природе существует истинно неподвижное тело, движение относительно которого является абсолютным. Этим телом является, по Аристотелю, неподвижная Земля. Таким образом, можно говорить об истинном покое и истинном движении любого тела. И истинное движение, согласно его механике, можно определить, даже принимая участие в этом движении.

Из учения Аристотеля следует, что если бы вдруг Земля стала двигаться, то люди сейчас же заметили бы это, ибо они, как и все тела, стремились бы сохранить свое положение во Вселенной. На этом выводе обосновывал Птолемей, бывший последователем Аристотеля в вопросах механики, возражение против гипотезы о движениях Земли. По его мнению, она приводила к нелепым результатам:

«Если предположить, — пишет он, — что Земля движется, то вследствие огромной величины она при своем движении должна опережать все тяжелые тела; и вследствие ее колоссальной скорости и живые существа и другие тяжелые тела должны будут остаться далеко позади без поддержки в воздухе, сама же она в конце концов должна будет выскочить из границ неба. Но ничего более смешного, нелепого и бессмысленного нельзя себе представить»<sup>1)</sup>.

Высказываясь против гипотезы о вращении Земли, он критикует и тех, кто ее принимал:

«Но должны они все же признать, что Земля, вследствие ее движения, наиболее быстрого из всех существующих движений, должна в кратчайший срок совершить также огромный поворот, что все, что на ней не закреплено, должно быть воспринято как движущееся в направлении, противоположном движению Земли. И ни облака, ни что другое, летящее или брошенное, не наблюдалось бы направляющимся к востоку, так как Земля опередила бы всякие движения, направленные на восток, и, таким образом, любое тело наблюдалось бы движущимся к западу, т. е. в сторону, которую Земля оставляет за собой»<sup>2)</sup>.

Эти аргументы Птолемея казались неопровержимыми. Они основывались на учении Аристотеля. Против этих аргументов пришлось возразить Копернику, а затем Галилею.

Однако, несмотря на всеобщее мнение о неподвижности Земли, принцип относительности, как кинематический принцип, признавали философы, а в последующем даже богословы. Сам Птолемей считал возможным на основе этого принципа пользоваться гипотезой о движении Земли для простоты астрономических расчетов. Он писал:

«Некоторые философы полагают, что нет оснований возражать против их предположения, согласно которому небесный свод покоится, в то время как Земля вращается вокруг своей оси с Запада на Восток, производя один оборот за сутки, или же предполагать, что они оба совершают вращение вокруг одной и той же оси в противоположных направлениях, в соответственном отношении опережая друг друга»<sup>3)</sup>.

Идея о возможности использования гелиоцентрических представлений, хотя они и являются, как полагали, ложными, для упроще-

<sup>1)</sup> Der Claudius Ptolemäus. Handbuch der Astronomie. B. 1. Leipzig, 1912, s. 18.

<sup>2)</sup> Там же, s. 19.

<sup>3)</sup> Там же.

ния расчетов хорошо гармонируют с теми взглядами на астрономию, о которых говорилось выше. Если астрономия не в состоянии установить действительные движения во Вселенной, а способна лишь, если можно так сказать, давать рецепты для вычисления положений и движений небесных тел на небесной сфере, то почему нельзя пользоваться гелиоцентрической системой? Гелиоцентрическая система, с кинематической точки зрения, эквивалентна геоцентрической. И если ее использование упрощает расчеты, то почему бы ее не использовать? Больше того, решать вопросы о том, какая система правильнее, астрономия не может. Древний ученый Посидоний (135—51 гг. до н. э.) так и писал: «Не дело астрономии решать, что в природе неподвижно, а что движется»<sup>1)</sup>.

Мнение о том, что астрономам не возбраняется использовать гелиоцентрическую систему, считая, правда, ее ложной, сохранилось и в средние века. Так, например, знаменитый средневековый схоласт Фома Аквинский высказывал такую мысль, полагая, что для объяснения чего-либо можно пользоваться двумя противоположными гипотезами. Таким образом, развитие понятия об относительности движения способствовало в то время развитию идеи чистого описания, идеи агностицизма, разделявшей действительность от ее отражения в сознании людей.

В древности начал обсуждаться еще один вопрос механики, о котором следует упомянуть. Это уже вопрос, относящийся к механике земных тел, который не был непосредственно связан с проблемами астрономии. Он заключался в следующем. По основному закону механики Аристотеля, скорость движущегося тела пропорциональна приложенной к нему силе. Но отсюда следовало, что, как только на тело перестает действовать сила, оно сейчас же должно остановиться. Однако во многих случаях ничего подобного не наблюдалось. Все знали, например, что камень, брошенный из пращи, довольно далеко летит уже после того, как он из нее вылетел. Это явление пытались объяснить следующим образом. Позади камня, когда он движется под действием силы, стремится образоваться пустое пространство. Но природа, как учил Аристотель, не терпит пустоты, поэтому воздух, устремляясь туда, где может образоваться пустота, продолжает подталкивать некоторое время тело вперед, уже после того как сила перестала на него действовать. Однако через некоторое время такое объяснение перестало удовлетворять некоторых ученых и философов. Тогда возникла теория, которая в средние века получила название теории «импетуса (*impetus*)». Ее родоначальником был греческий ученый и философ Филопон. Он полагал, что движущемуся телу движущее тело сообщает некую «движущую силу», которая и продолжает некоторое время двигать это тело, пока вся не израсходуется. Эта новая идея, развитая, правда, в гораздо более позднее время (в XIV в.), сыграла определенную роль в дальнейшем развитии механики.

---

<sup>1)</sup> Dreyer J. L. E. History of the planetary systems from Thales to Kepler, p. 132.



Наконец, в древности возникли статика и гидростатика, появлению которых было непосредственно связано с решением технических задач. Основополагающую роль в возникновении статики и гидростатики сыграл Архимед (ок. 287—212 гг. до н. э.). В отличие от более ранних сочинений работы Архимеда лишены каких-либо натурфилософских элементов. Несмотря на то что появление работ по статике было вызвано техническими потребностями, сочинения Архимеда лишены видимой связи с практикой. По своему характеру они абстрактны и очень похожи на «Начала» Евклида.

Архимеду прежде всего принадлежит установление понятия центра тяжести тел, которое он сформулировал в сочинении, не дошедшем до нашего времени. Судя по более поздним источникам, Архимед так определил центр тяжести:

«Центром тяжести некоторого тела является некоторая, расположенная внутри него точка, обладающая тем свойством, что если за нее мысленно подвесить тяжелое тело, то оно останется в покое и сохраняет первоначальное положение»<sup>1)</sup>.

В дошедших до нас сочинениях Архимеда по статике «О равновесии плоских фигур или о центрах тяжести плоских фигур» и «Послании к Эратосфену о механических теоремах» он развивает теорию нахождения центра тяжести различных фигур. В основе этой теории лежит теорема о рычаге, изложенная Архимедом в первом из этих сочинений. Нужно отметить, что закон простого рычага был известен давно. Даже в одном из ранних сочинений по механике «Механические проблемы», которое некоторые историки приписывают Аристотелю, была сделана попытка доказать этот закон. Однако доказательство было основано на учении Аристотеля о насильственных и естественных движениях и его нельзя считать, по сути дела, доказательством.

Архимед формулирует сначала постулаты, из которых выводит закон рычага. Приведем для примера некоторые из постулатов Архимеда. Первый постулат: «равные тяжести на равных длинах уравновешиваются, на неравных же длинах не уравновешиваются, но перевешивают тяжести на большей длине»<sup>2)</sup>. Второй постулат: «если при равновесии на каких-нибудь длинах кодной из тяжестей



Архимед

<sup>1)</sup> Архимед. Сочинения. М., Физматгиз, 1962, с. 71.

<sup>2)</sup> Там же, с. 273.

будет что-либо прибавлено, то они не будут уравниваться, но перевесит та тяжесть, к которой было прибавлено»<sup>1)</sup>.

Сначала Архимед доказывает закон рычага для случая соизмеримых грузов. Теорема гласит: соизмеримые величины уравниваются на длинах, которые будут обратно пропорциональны тя-

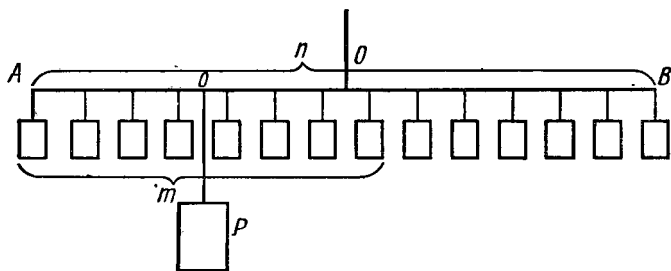


Рис. 2

жестям<sup>2)</sup>. В основе доказательства лежит шестой постулат. Смысл его заключается в следующем. Пусть на невесомом стержне  $AB$  (рис. 2) помещены  $n$  равных грузов; будучи подвешен в точке  $O$ , стержень находится в равновесии. В соответствии с шестым постулатом равновесие не нарушится, если любую группу из  $m$  грузов заменить одним грузом, вес которого  $P$  равен сумме весов этих грузов, подвешенных в точке  $o$ , являющейся точкой приложения их центра тяжести. Пусть теперь имеется два груза  $P$  и  $Q$ , причем  $P/Q \leq n/m$ , где  $n$  и  $m$  — целые числа. Разобьем груз  $P$  на  $2n$ , а груз  $Q$  — на  $2m$  равных грузиков и расположим их на равных расстояниях вдоль невесомого стержня  $AB$ , длина которого  $L$  (рис. 3). Согласно первому постулату, стержень находится в равновесии, если точка опоры  $O$  делит его пополам. Заменим теперь  $2n$  грузов грузом  $P$  и  $2m$  грузов — грузом  $Q$ . По шестому постулату, равновесие не нарушится, если груз  $P$  подвешен в точке  $C$ , являющейся

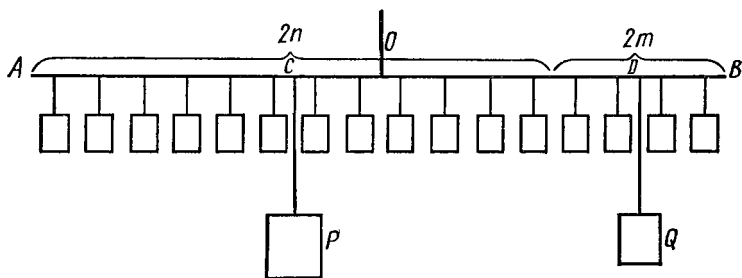


Рис. 3

<sup>1)</sup> Архимед. Сочинения, с. 274.

<sup>2)</sup> Там же.

точкой приложения центра тяжести  $2n$  грузов, а груз  $Q$  — в точке  $D$ , являющейся точкой приложения центра тяжести  $2m$  грузов. Но так как

$$OC = \frac{L}{2} - \frac{L}{2(n+m)} n \text{ и } OD = \frac{L}{2} - \frac{L}{2(n+m)} m,$$

то при равновесии удовлетворяется условие  $OC/OD = m/n$ . Следовательно,  $P/Q = OD/OC$  и теорема доказана.

Затем Архимед распространяет доказанную теорему на случай несоизмеримых грузов. При этом он поступает, как и Евклид, который, доказав какую-либо теорему для соизмеримых отрезков или площадей и т. д., распространял ее на случай несоизмеримых. Наконец, на основе полученных результатов Архимед развивает теорию для нахождения центров тяжести различных фигур.

По гидростатике известно одно сочинение Архимеда «О плавающих телах», в котором рассматривалась задача равновесия плавающих тел. К этой задаче Архимед пришел, исходя из практической задачи устойчивости морских судов, которые, как говорилось выше, играли в древности большую роль. Возможно, что на открытие основного закона гидростатики, носящего имя Архимеда, в какой-то степени повлияла и задача, которую поставил, согласно легенде, перед Архимедом его родственник царь Гиерон. Об этой легенде повествует Витрувий в своей книге «Об Архитектуре». Он рассказывает, что царь Гиерон попросил Архимеда найти способ уличить в мошенничестве мастера, сделавшего для него корону и заменившего, по его предположению, часть золота серебром. Архимед, сидя в ванне, нашел решение и в восторге, с возгласом «эврика» выскочил из ванны и стал бегать по комнате. По поводу этой легенды часто высказываются скептически, полагая, что задача, которую поставил царь Гиерон Архимеду, была слишком незначительна. Однако нужно сказать, что, во-первых, проблема определения удельных весов драгоценных металлов была достаточно важной. В дальнейшем она в значительной мере способствовала развитию техники взвешивания, в частности гидростатического взвешивания. Во-вторых, следует подчеркнуть, что научное творчество — сложный и запутанный процесс и кажущиеся незначительными причины часто играют существенную роль.

В основе теории равновесия плавающих тел Архимеда лежит закон, носящий его имя. При его доказательстве он также сначала сформулировал постулаты. Исходное положение гидростатики Архимеда таково:

«Предположим, что жидкость имеет такую природу, что из ее частиц, расположенных на одинаковом уровне и прилежащих друг к другу, менее сдавленные выталкиваются более сдавленными и что каждая из ее частиц сдавливается жидкостью, находящейся над ней по отвесу, если только жидкость не заключена в каком-либо сосуде и не сдавливается еще чем-нибудь другим»<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Архимед. Сочинения, с. 328.

Согласно первой теореме Архимеда, покоящаяся жидкость принимает такую форму, что ее поверхность образует сферу, центр которой совпадает с центром Земли. Архимед доказывает эту теорему методом от противного. Представим себе, что поверхность жидкости не есть сфера с центром, совпадающим с центром Земли. Следовательно, если мысленно рассечь воду плоскостью, проходящей через центр Земли, то в сечении не получается дуга окружности с центром, расположенным в центре Земли. Значит, и расстояния от центра Земли до поверхности воды разные, и частицы, находящиеся на равном расстоянии от центра Земли, испытывают различное давление. Отсюда, согласно исходному положению (постулату), следует, что равновесия не будет. Итак, равновесие возможно только в том случае, если поверхность воды — сфера с центром, совпадающим с центром Земли.

Затем Архимед доказывает теорему о том, что твердые тела, имеющие при равном объеме равный с жидкостью вес, будучи помещены в жидкость, погружаются в нее настолько, что совершенно не выступают над ее поверхностью и остаются в таком положении; что тела более легкие, чем жидкость, плавают, так что некоторая часть тела выступает над поверхностью жидкости. Наконец, следует ряд теорем, образующих закон Архимеда. В книге рассматриваются также различные случаи равновесия плавающих тел.

Как отмечалось выше, в сочинениях по статике и гидростатике ничего не говорилось о возможном практическом применении полученных теоретических результатов. Больше того, в них даже нет никаких указаний на эксперимент. Все изложение ведется в строго абстрактной форме. Эта особенность сочинений Архимеда объясняется духом эпохи, презрением к физическому труду, характерным для рабовладельческого общества, мнением, что наука должна служить лишь духовному самоусовершенствованию. Казалось дурным тоном, если бы Архимед в своих сочинениях коснулся практического применения развитых им теорий. Сам Архимед, по-видимому, не придерживался такого взгляда на роль науки. История оставила нам много сведений об исследованиях Архимеда, которые имели практическое значение. Уже упоминалось свидетельство Плутарха о том, что Архимед построил военные машины, которые использовались для защиты его родного города Сиракуз. Известно и другое изобретение Архимеда, имеющее чисто практическое значение, — водоподъемная машина (Архимедов винт).

Однако Архимед, по-видимому, уделявший немало внимания инженерному искусству, не упоминал об этом в своих сочинениях. Плутарх объясняет это аристократизмом Архимеда. Он пишет:

«Архимед был человеком такого возвышенного образа мыслей, такой глубины души и богатства по знанию, что о вещах, доставивших ему славу ума не смертного, а божественного, не пожелал написать ничего, но считая сооружение машин... низменным и грубым, все свое рвение обратил на такие занятия, в ко-

торых красота и совершенство пребывают не смешанными с потребностями жизни...»<sup>1)</sup>

Однако возможно, что Плутарх переоценивает аристократизм Архимеда и приведенная цитата характеризует не столько самого Архимеда, сколько господствующее мировоззрение того времени.

Остается кратко упомянуть о тех небольших успехах, которые были достигнуты в период эллинизма в других областях физических наук. Во-первых, некоторые успехи были достигнуты в оптике. Развитие знаний в этой области обуславливалось целым рядом обстоятельств. Так, например, давно применялся метод визирования при измерениях земельных площадей в строительной технике, в астрономии же все измерения основывались на этом методе. Естественно, что широкое применение метода визирования привело к исследованию законов распространения света. Кроме того, следует отметить, что в повседневной жизни большое распространение имели зеркала, употреблявшиеся в быту и даже входившие в аппаратуру жрецов.

Уже Евклид в своих сочинениях «Оптика» и «Катоптрика» (старое название учения об отражении света) изложил два основных закона геометрической оптики: закон прямолинейного распространения света и закон отражения. Оптическими исследованиями занимался и Архимед; им было написано сочинение «Катоптрика», которое до нас не дошло, но о его содержании можно судить по различным свидетельствам, в которых сообщается, что в этой книге Архимед писал:

«Почему в плоских зеркалах предметы и изображения представляются одинаковыми, в выпуклых и сферических — уменьшенными, в вогнутых же, наоборот, увеличенными; по какой причине правая меняется местом с левой, когда в одном и том же зеркале изображенце то уходит вглубь, то выходит наружу; почему вогнутые зеркала, помещенные против Солнца, зажигают подложенный трут»<sup>2)</sup>, и т. д.

Архимед исследовал и преломление света. Однако закон преломления света он не установил. Сформулировать этот закон пытался и Птолемей. Он построил даже специальный измерительный прибор, который состоял из диска, разделенного на градусы. На диске вокруг его центра могли вращаться две линейки-указатели (рис. 4). Птолемей наполовину погружал диск в воду и, вращая верхнюю линейку, приводил ее в такое положение, что она казалась продолжением нижней, находящейся в воде. Затем, вынимая диск из воды, он определял углы падения и прелом-

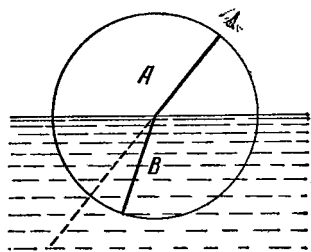


Рис. 4

<sup>1)</sup> Плутарх. Сравнительные жизнеописания. Т. I. Пелиопид и Марцелл. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 393.

<sup>2)</sup> Архимед. Сочинения, с. 368—369.

ления. Однако, несмотря на то что измерения Птолемея были достаточно точны, ему не удалось установить закон преломления. Исследования Птолемея интересны тем, что они уже являлись опытными, поставленными для установления определенного закона природы.

Зачатки опытных исследований в области физики можно найти и у других александрийских ученых — Ктесибия и Герона. Ктесибий

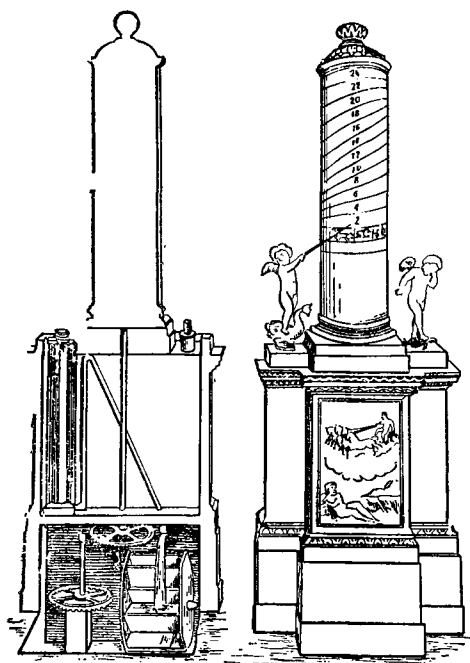


Рис. 5. Водяные часы Ктесибия

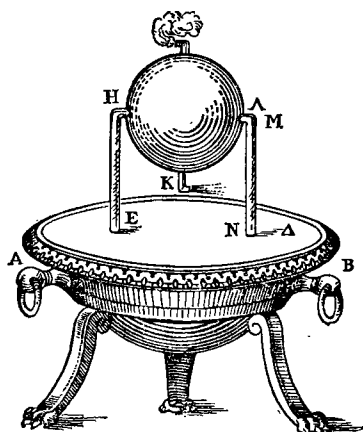


Рис. 6. Эолопил

известен как изобретатель водяного насоса, водяного органа и конструктор водяных часов (рис. 5). Герон, известный под именем Гробна Александрийского, — изобретатель сифонов и автоматов, производил опыты с нагретым воздухом и паром. Используя реактивное действие струи пара, Герон построил нечто вроде реактивного двигателя, имевшего название «эолопил». Он состоял из железного шара, из которого выходили две трубки с загнутыми концами. В шар наливали воду и разводили под ним огонь. Когда образовавшийся пар выходил из боковых трубок, шар начинал вращаться (рис. 6). Изобретения Герона совершенствовали экспериментальную технику, но сколько-нибудь значительного применения на практике не получили и остались в истории как занимательные и искусные игрушки. Герон занимался также теоретическими исследованиями. Он разработал теорию сифона, основанную на принципе неразрывности струи. В оптике Герон доказал, что при отражении света от

плоского зеркала луч проходит наименьшее расстояние, т. е. частный случай принципа Ферма.

В древности были получены также самые первые сведения об электрических и магнитных явлениях. Теоретические взгляды на оптические и другие физические явления продолжали оставаться примитивными и содержали немало элементов антропоморфизма и гилозоизма.

#### **§ 4. РАЗВИТИЕ НАУК ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЦИКЛА В СРЕДНИЕ ВЕКА**

В первые века нашей эры обострились противоречия, свойственные рабовладельческому строю. Римская империя, объединявшая древний мир, в V в. н. э. распалась под действием внутренних и внешних сил — восстания рабов, бедноты, покоренных народов и нападений варварских племен. Вместе с падением Римской империи на смену рабовладельческому пришел феодальный строй. Переход к феодализму означал прогресс в истории развития общества, но этот переход сопровождался огромными потрясениями в хозяйственной, политической и культурной жизни общества. Города были разрушены, торговые и политические связи между народами практически прекратились. В образовавшихся в Западной Европе государствах каждое феодальное поместье представляло собой замкнутое, в основном натуральное, хозяйство. С гибелью рабовладельческого общества гибнет и древняя культура. Господствующей идеологией становится христианство. Христианская церковь приобретает все большее и большее влияние и ведет борьбу с философией и наукой древних ученых и мыслителей. Уже в 391 г. александрийский епископ Феодор организовал разгром знаменитой Александрийской библиотеки. При этом погибла значительная часть ценнейших рукописей. Философская мысль замирает. Император Восточной Римской империи Юстиниан закрыл в 529 г. последнюю философскую школу в Афинах, а философов изгнал из города. Церковь проповедует пренебрежение и ненависть к естественным наукам, сочинения древних философов и ученых рассматриваются как языческая греховная литература. Наука приходит в упадок. Хозяйство в феодальных поместьях велось примитивными способами. Даже в высших слоях общества царил невежество, сами феодалы были неграмотны. Только среди духовенства были грамотные люди, которые умели читать священные книги, но и они были крайне невежественны. Читать сочинения древних философов и заниматься наукой духовенству воспрещалось. Папа Григорий I специальным постановлением запретил чтение древних книг и занятие математикой и философией.

Знания о природе в целом ряде вопросов вернулись к представлениям догреческой философии. Землю считали плоской, покрытой хрустальным небесным сводом в несколько этажей, где находились ангелы, архангелы и бог. Суеверие, поповщина и мракобесие господствовали в Западной Европе, и только гораздо позже наметились изменения в развитии ее культуры. Византия, не испытавшая таких