**Механика. Эллинистическая эпоха**

Ильичев А. Т.

**Александрийский музей.**

После смерти Александра Великого в 323 г. до н. э. и бегства Аристотеля Афины, которые уже потеряли свое политическое значение, мало-помалу стали также терять свое первенство и как интеллектуальный центр. Там еще оставались философские школы, но центр научных интересов переместился в Александрию Египетскую. Развитие науки, которому способствовали всеобщее распространение греческого языка и щедрая поддержка правителей многих государств, образовавшихся после распада империи Александра, достигло к тому времени такого уровня, что научные знания не могли уже оставаться общедоступными, а стали уделом специалистов.

Птолемей I Сотер, основатель египетской династии Птолемеев, призвал к своему двору Деметрия Фалерского, ученика Аристотеля, и поручил ему создать школу по образцу "Ликея". Так был создан Александрийский музей. Первым ядром библиотеки этого Музея было собрание трудов Аристотеля. При Птолемее II Филадельфе, вступившем на трон в 285 г. до н. э., музей стал большим культурным центром, где ученые жили вместе, за государственный счет; в своем распоряжении они имели две большие библиотеки, насчитывавшие к 48 г. до н. э. 700 000 томов.

Это первый в истории пример коллективной организации научных исследований. Нечто подобное было вновь достигнуто лишь в нашем веке. Вскоре началось издание книг Музеем, чему способствовало наличие папируса, дававшее Египту естественную монополию в изготовлении писчего материала.

Эти условия, исключительно благоприятные для развития науки, привлекали в Александрию большое число ученых со всех концов света. Там процветали научные школы в течение всего античного периода. В частности, вся физика эллинистического периода, представляющая собой большую и лучшую часть вклада античности в исследование природы в современном понимании, связана с Александрийским музеем.

**Архимед.**

С успехами Музея связано также имя Архимеда, труды которого ясно показывают различие между философским синтезом, к которому стремились афинские школы, и систематическим научным исследованием конкретных явлений природы, предпринятым александрийскими учеными.

Архимед родился в Сиракузах около 287 г. до н. э. в семье Фидия, известного астронома. Длительное время он учился в Александрии и на всю дальнейшую жизнь сохранил научные связи с учеными Музея. В Египте, возможно во время вторичного пребывания там, когда слава о его гении уже распространилась, Архимедом были сконструированы мосты и воздвигнуты дамбы для регулировки разливов Нила. Но наиболее гениальным изобретением этого периода был подъемный винт, который и до сих пор называется винтом Архимеда. По оценке Галилея, судьи весьма компетентного и строгого, это изобретение " не только великолепно, но просто чудесно, поскольку мы видим, что вода подымается в винте, беспрерывно опускаясь"1. Это изобретение, ставшее возможным благодаря глубоким геометрическим познаниям Архимеда и его исключительной изобретательности в механике, использовалось в Египте как для подъема воды на возвышенности (на высоту до четырех метров), которых обычно разлив Нила не достигал, так и для осушения низменных местностей.

Весьма многочисленны (около сорока) другие механические изобретения, приписываемые Архимеду. И хотя исторические источники, которыми мы располагаем, порой содержат элементы легенды, историки все же не сомневаются в том, что он действительно был автором целого ряда изобретений — таких, например, как сцепление бесконечного винта с шестерней и полиспасты, примененные им для спуска на воду громадного корабля. С этим событием связано приписываемое ему изречение: "Дайте мне точку опоры, и я вам подыму весь мир". Несомненно, именно он сконструировал жемчужину точной механики — планетарий, описанный в одном из не дошедших до нас его трудов. Марцелл перенес планетарий в Рим в качестве военного трофея. Впоследствии им восхищался Цицерон. Нет, наконец, никакого сомнения в истинности оснований для популярного впоследствии рассказа об обороне Сиракуз — города, сопротивлявшегося в течение трех лет римским войскам, наступавшим под командованием Марцелла. В период этой осады Архимед непрерывно изобретал все новые боевые машины, наводившие страх на осаждающих. Сиракузы были все же взяты и, согласно легенде, какой-то грубый римский воин вопреки приказу Марцелла убил Архимеда в тот момент, когда он на песке рисовал геометрические фигуры. Даже если эпизод этот выдуман, он все же весьма характерен.

Архимед — основатель статики и гидростатики. Хотя его изложение носит геометрический характер и основано на постулатах, полученных из не описанных им опытов, ясно, однако, что у него имелись навыки в проведении точных экспериментов. Архимед сам описывает один из таких экспериментов — установленный им способ измерения кажущегося углового диаметра Солнца: "Итак, укрепив длинную линейку на вертикальной подставке, расположенной в месте, откуда виден восход Солнца, поставим на линейке вертикально небольшой точеный цилиндр. Когда Солнце близко к горизонту и на него можно смотреть, линейка поворачивается в сторону Солнца и глаз располагается на краю линейки. При этом цилиндр, находясь между Солнцем и глазом, закрывает все Солнце. Затем постепенно перемещают цилиндр от глаза, пока Солнце не начнет слегка показываться со всех сторон цилиндра; на этом месте цилиндр закрепляется"2.

Даже современные физики не описывают опытов с большей тщательностью. Первым научным трудом Архимеда было, по-видимому, исследование центров тяжести; в нем рассматриваются законы рычага и центры тяжести (барицентры) тел. Как мы уже упоминали, условие равновесия рычага встречается в "Проблемах", приписываемых Аристотелю, но там оно изложено весьма неясно и вперемешку с принципами динамики. Архимед же выводит его из постулатов, полученных из непосредственных опытов с рычагами, так что постулаты, предпосланные рассмотрению равновесия рычагов, имеют, несомненно, экспериментальное происхождение. Первый, главный постулат гласит: "Предположим, что равные тяжести, подвешенные на равных длинах, уравновешиваются. На неравных же длинах равные тяжести не уравновешиваются: опускается та часть (системы), где тяжесть подвешена на большем расстоянии"3.

Теорема VI гласит: "Соизмеримые величины уравновешиваются, если длины, на которых они подвешены, находятся в обратном отношении к тяжестям".

Дальше это положение распространяется на несоизмеримые величины.

В этой работе появляется фундаментальное понятие механики — понятие о центре тяжести. Архимед говорит о нем в постулатах 4 — 7, не давая ему определения. Отсюда заключают, что это понятие было впервые введено то ли неизвестным нам предшественником Архимеда, то ли им самим в более ранней работе, не дошедшей до нас. Но в обоих случаях Архимед все равно должен считаться основателем рациональной теории центров тяжести.

С разработкой этого понятия связано и открытие другого фундаментального понятия механики — момента силы относительно прямой или плоскости. Архимед знал, как видно из его труда "Metodo" ("Метод"), обнаруженного Хейбергом лишь в 1906 г., что "две величины, подвешенные на плечах рычага, находятся в равновесии, если равны произведения их площадей или объемов на расстояние их центров тяжестей от опоры"4.

О том, какую пользу извлек Архимед из этого понятия и из знания центров тяжести для своих математических открытий, рассказывается в любой современной истории математики.

Более известно открытие Архимедом закона гидростатики, до сих пор носящего его имя. Фактически, Архимед осознал, что равновесие жидкости, окружающей погруженное в нее твердое тело не нарушается, если заменить объем твердого тела, тем же объемом покоящейся жидкости с распределениями плотности и давления, удовлетворяющими условиям равновесия. Отсюда просто следует закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует сила, равная весу жидкости в объеме тела.

Это открытие связано с легендой, передаваемой многими историками, из которых наибольшего доверия заслуживает Витрувий. Согласно легенде, Гиерон, тиран Сиракуз, приходившийся, по-видимому, родственником Архимеду, поручил ему выяснить, сделана ли его корона целиком из золота или же в нее подмешано серебро. Эта задача занимала Архимеда довольно долго, пока не помог случай. Однажды, принимая ванну, Архимед заметил, что чем больше он погружается в воду, тем больше воды выливается из ванны. Он понял, что это явление даст ему ключ к разгадке задачи, в восторге выскочил из ванны и побежал по городу, восклицая: "Эврика, эврика!" (нашел, нашел!).

Согласно Витрувию, чтобы раскрыть мошенничество с короной, Архимед применил следующий метод: он опустил в сосуд, наполненный водой, золотой слиток того же веса, что и корона, а потом собрал и взвесил вылившуюся воду. Потом он повторил такой же опыт со слитком серебра того же веса и нашел, что воды вылилось больше (потому что при одинаковом весе объем серебра превышает объем золота). Повторив опыт с короной вместо слитков, Архимед получил результат, лежащий где-то посередине между результатами двух предыдущих опытов, откуда и заключил, что корона сделана не из чистого золота.

Следует заметить, что Галилей в одной из своих юношеских работ считает описанный Витрувием опыт "...весьма грубым и неизящным. Тем более грубым он кажется тем, кто потом читал и изучал искуснейшие изобретения столь божественного человека, из которых слишком ясно, насколько все остальные ученые были ниже Архимеда и сколь мало надежды, что кто-либо мог найти что-либо подобное тому, что он нашел... Сознание того, что такой способ рассуждения в целом ошибочен и лишен той точности, которая требуется в математических вопросах, заставило меня многократно задумываться над тем, каким образом можно было бы с помощью воды изящно определить смесь двух металлов. В конце концов после усердного анализа того, что Архимед говорит в своих трудах о предметах, находящихся в воде, причем о предметах с равным весом, мне пришел в голову способ точного решения нашей проблемы, который, по моему убеждению, и есть тот самый способ, который применял Архимед, поскольку он, помимо того, что он весьма точен, опять же основан на доказательствах, имеющихся у того же Архимеда"5.

Согласно исторической реконструкции Галилея, Архимед определял потерю веса для чистого золота, для чистого серебра и для короны и по этим данным находил, как это и теперь делают в учебниках физики, состав короны.

Но каков бы ни был примененный Архимедом способ, ясно, что законы гидростатики были им получены на основе опытных данных, хотя в его дошедшем до нас труде по гидростатике рассмотрение проводится "в геометрическом духе", без всяких ссылок на опыты, лежащие в его основе. Архимед принимает лишь две основные гипотезы: в любой жидкости менее сжатая часть вытесняется более сжатой; выталкивание вверх, испытываемое твердым телом, погруженным в жидкость, направлено по вертикали через центр тяжести этого тела. Отсюда он выводит, что поверхность покоящейся жидкости представляет собой часть поверхности сферы с центром в центре Земли, так что уровень моря всюду одинаков.

В предложении 3 рассматриваемого трактата появляется новое фундаментальное понятие физики — неизвестное его предшественникам понятие удельного веса. Вот как оно вводится: "Твердое тело, которое имеет равный вес и равный объем с жидкостью, погружается в нее настолько, что ни одна часть его поверхности не выступает над жидкостью и не опускается ниже" 6.

Предложения 4 и 5 касаются случаев тел, более легких и более тяжелых, чем жидкость, в которую они опущены. В предложении 7 излагается знаменитый закон: "Тела, относительно более тяжелые, чем жидкость, опускаются вниз до самого дна и становятся в жидкости настолько легче, сколько весит объем жидкости, равный объему тела".

Вторая книга этого трактата посвящена условиям плавания, и в частности условиям равновесия пустого сегмента параболоида вращения. Классический метод этого рассмотрения до сих пор применяется в работах по механике.

Из дошедших до нас работ Архимеда ясен тот фундаментальный вклад, который внесен им в физику: введение понятий центра тяжести, статического момента, удельного веса; закон равновесия рычага; основной закон гидростатики. Таким образом, Архимед заложил основы двух новых разделов науки — статики и гидростатики. Традиционное предубеждение греков против физики постепенно ослабевает.

**Александрийские механики.**

Яркими представителями Александрийской школы были Ктесибий, Филон и Герон. Для александрийской механики характерен интерес к изучению и применению сжатого воздуха (пневматика). Работ представителей этой школы, посвященных непосредственно механике твердого тела, не так много. В книге "Механика" Филона, написанной приблизительно в 250 г. до н. э., дошедшей до нас в хорошем состоянии, несмотря на некоторые позднейшие изменения, внесенные в нее арабами, рассматриваются некоторые вопросы теории рычага. В книге "Механика" Герона, дошедшей до нас полностью лишь в арабском переводе, Герон подробно рассматривает простые механизмы (ворот, рычаг, блок, клин, винт), зубчатые передачи и другие более сложные механизмы. "Механика" Герона — своеобразная энциклопедия античной техники — написана в популярной форме, и ею могли пользоваться с практической целью механики и ремесленники.

Что Герон был популяризатором, не вызывает сомнения, да он и сам не делает из этого тайны. Поэтому его труды свидетельствуют не столько о талантах автора, сколько о техническом уровне, достигнутом греками эллинистического периода. Им были известны простые механизмы, зубчатые передачи, гидростатика, самые разнообразные применения сифонов, сжимаемость воздуха, движущая сила пара. Таким образом, греки уже владели и техническими знаниями, и научным пониманием, достаточными для того, чтобы создать индустриальные машины и предвосхитить XVIII век.

А что же они вместо этого делали? Придумывали механические фокусы и конструировали игрушки для развлечений во время празднеств, изобретали приспособления, создающие "магические" эффекты при религиозных богослужениях для усиления суеверия народных масс, изготовляли орудия и катапульты. Такую направленность науки и техники александрийской школы можно лишь частично объяснить такими объективными причинами, как отсутствие в одном и том же месте энергии и сырья (особенно железа и топлива).

**Период упадка**

**Энциклопедии.**

После Герона и Птолемея наступил упадок физики. Первые его признаки проявились довольно рано; со временем он становился все глубже и глубже. Свежие оригинальные исследования уступили место компиляциям, бесконечным повторениям, псевдонаучному пережевыванию.

Римляне, вступившие в контакт с греческой наукой периода ее упадка, особенно усвоили ее в тех частях, которые могли иметь непосредственное практическое применение. Это усвоение предшествовало периоду создания наиболее поразительных римских сооружений, свидетельством величия которых являются сохранившиеся до наших дней колоссальные руины. Но напрасно мы искали бы в римской литературе оригинальные научные работы. Было создано большое число научных энциклопедий. Их значение особенно велико потому, что в течение многих веков они были единственным источником сведений о греческой науке. Из этих изданий упомянем, поскольку они имеют отношение к истории физики, 7 книг "Quaestiones Naturales" ("Вопросы естествознания") Люция Аннея Сенеки Младшего (3 г. да н. э.— 65 г. н. э.); "De Architectural7 Витрувия Поллиона, деятельность которого относится к периоду правления императора Августа; 37 книг "Naturalis Historia" ("Естественная история") Гая Плиния Секунда Старшего (23—79 гг. н. э.). Позже, со смертью Аниция Манлия Северина Боэция (480—525), на Западе традиции греческой школы были окончательно забыты вследствие нашествия варваров.

**Филопон.**

На Востоке культурные традиции греков никогда не исчезали, хотя и были сильно ослаблены. Поддерживаемые византийскими комментаторами, они были переняты арабами и еще раз пришли на Запад приблизительно в XIII веке.

Среди комментаторов следует отметить Иоанна Филопона, называемого также Иоанном Грамматиком, деятельность которого развертывалась в Александрии в первой половине VI века. Он написал обширный комментарий к трудам Аристотеля, причем проявил там известное свободомыслие. В частности, Филонов первым оспорил аристотелеву теорию, по которой движение тела поддерживается толчками воздуха. Возражения Филопона были вполне правильны, хотя и примитивны. Почему приведенное во вращение колесо продолжает вращаться вокруг своей оси? Каким образом может в этом случае воздух поддерживать движение? Если движение обязана давлению воздуха на обратную сторону тела, то заостренная с хвоста стрела должна была бы лететь медленнее, чем незаостренная. В действительности же происходит как раз обратное. Почему? И почему камень можно бросить дальше, чем перо?

Эти и подобные аргументы заставили Филопона отказаться от аристотелевой теории как не подтверждающейся экспериментально в случае падения тел и предположить, что движущая сила сообщает телу некоторое действие или способность к движению, названную позже "импето" ("impeto"), которая постепенно расходуется в процессе движения, так что, когда кончается импето, кончается движение. Точно понять мысль Филопона довольно трудно, в частности из-за его многословия. Но если допустить, что в понятии импето-интуиция Филопона и последующих ученых предвосхитила наше понятие-энергии, то тогда учение Филопона о движении окажется явным прообразом закона инерции.

**Список литературы**

1 Le ореге di Galileo Galilei, Firenze, 1891, p. 186. (Есть русский перевод: Галилео Галилей, Избранные труды, т. II, изд-во "Наука", 1964, стр. 35.

2 Arenarius, I, 12, в книге Archimedis opera omnia, v. II, Lipsiae, 1881, p. 251 (греческий текст с параллельным латинским переводом). (Часть работ Архимеда переведена на русский язык; см. Архимед, Сочинения, М., 1962.)

3 Archimedis opera omnia, v. II, p. 143. (См. перевод: Архимед, О равновесии плоских тел, Сочинения, М., 1962.)

4 Enrico R u f i n i, II "Metodo" di Archimede, Milano, 1961, p. 84 (перевод на итальянский с комментариями).

5 Galileo Galilei, La bilancetta, не опубликованная автором рукопись, написанная в 1586 г. (Le ореге di Galileo Galilei, v. I, p. 215—216.)

6 Archimedis opera omnia, v. I, p. 362 (Есть русский перевод: Архимед, О плавающих телах, в книге "Начала гидростатики", М., 1933).

7 Есть русский перевод: В итрувий, Об архитектуре, Л., 1936.