

Ньютон оставил неизгладимый след в науке.

«На языке Ньютона, — писал С. И. Вавилов, — мы думали, говорили долгое время и только теперь делаются попытки изобрести новый язык. Вот почему можно утверждать, что на всей физике лежал отпечаток его мысли; без Ньютона наука развивалась бы иначе»<sup>1)</sup>.

Энгельс, высоко оценивая заслуги Ньютона, одновременно указывал на ограниченность его мировоззрения. Отмечая особые заслуги Ньютона в науке, он одновременно подчеркивал метафизический характер воззрений последнего:

«Коперник в начале рассматриваемого нами периода дает отставку теологии; Ньютон завершает этот период постулатом божественного первого толчка»<sup>2)</sup>.

Более того, в своих записках Энгельс не удержался и гневно назвал Ньютона «индуктивным ослом»<sup>3)</sup>. (В дальнейшем будет показано, чем вызвано такое резкое замечание.)

#### § 14. ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИКИ НЬЮТОНОМ

Ньютон занимается исследованиями в области механики еще в студенческие годы, а затем, особенно плодотворно, в период пребывания на родине во время чумы 1665—1667 гг. В это время у Ньютона уже в основном сформировались такие понятия, как масса и сила, ему также уже были известны второй и третий законы динамики. Особую роль в формировании этих понятий и законов сыграло изучение Ньютоном вращательного движения. Он рассмотрел движение материальной точки внутри сферы по большому кругу и определил силу, с которой эта точка действует на сферическую поверхность. У Ньютона возникает идея о тождестве силы тяжести и силы тяготения, под действием которой движутся Луна вокруг Земли и планеты вокруг Солнца. Из третьего закона Кеплера он выводит выражение для силы тяготения, т. е. открывает закон всемирного тяготения. Однако Ньютон не публикует свои исследования и открытия в области механики и, в частности, закон тяготения. Только гораздо позже, уже к началу 80-х годов, Ньютон возвращается к вопросу о тяготении и к механике вообще.

Возрождению интереса к механике способствовало усиление интереса со стороны ученых к проблеме тяготения и к небесной механике вообще. Идея о том, что движение небесных тел происходит под влиянием силы тяготения, высказывается все чаще и чаще. Старый противник Ньютона Гук определенно утверждал, что между небесными телами действует сила тяготения, величина которой обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами.

<sup>1)</sup> Вавилов С. И. Исаак Ньютон, с. 217—218.

<sup>2)</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е, Т. 20, с. 350.

<sup>3)</sup> Там же, с. 520.

Астроном Галлей из третьего закона Кеплера выводит, что сила тяготения между планетами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Но он не может на основании этого результата получить первый закон Кеплера, согласно которому планеты движутся по эллиптическим орбитам. Он сообщает об этом Ньютону, который отвечает, что им эта задача решена. Галлей уговаривает Ньютона опубликовать свои исследования по этому вопросу. Однако опубликовать только исследования по небесной механике и открытый закон тяготения нельзя. Ведь Ньютон уже использует здесь основные понятия и законы механики, которые не были общеизвестны. Ньютон пишет работу «О движении», посвященную механике. Он направляет ее Королевскому обществу в 1685 г., но печатать не разрешает. Через год Ньютон представляет рукопись книги «Математические начала натуральной философии», которая выходит в свет в 1687 г. «Математические начала натуральной философии» — первая книга, посвященная не просто какому-нибудь вопросу механики, а механике вообще. В ней впервые сформулированы основы классической механики, ее основные понятия и законы, решен целый ряд теоретических задач и, наконец, построена теория движения небесных тел — небесная механика.

Рассмотрим сначала основные понятия и законы классической механики в том виде, как они были введены в науку Ньютоном. Он первоначально определяет количество материи: «Количество материи есть мера таковой, происходящая от ее плотности и объема совокупно (*Quantitas materiae est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim*)». Затем Ньютон указывает, что это же количество он будет называть «телом» и «массой»<sup>1)</sup>.

Определение массы, данное Ньютоном, неоднократно обсуждалось и вызвало большие споры. Не останавливаясь на этом вопросе подробно, отметим следующие моменты. Во-первых, для Ньютона понятия количества материи и массы — синонимы. Такой взгляд в физике был господствующим вплоть до середины прошлого столетия, когда основы механики Ньютона начинают подвергаться анализу и критике. В частности, в это время многие ученые выступили с критикой понятия количества материи как бессодержательного, не имеющего отношения к научному понятию массы. Тогда же возникли толкования понятия массы и способы введения этого понятия в механику. Следует отметить, что понятие количества материи как синоним понятия массы продолжали использовать и в нашем столетии. Еще сравнительно недавно на страницах журнала «Успехи физических наук» проходила дискуссия о возможности понимания массы как количества материи<sup>2)</sup>. Во-вторых, определение количества материи или массы у Ньютона можно считать определением только

---

<sup>1)</sup> Следует отметить, что известный перевод первого определения, выполненный А. Н. Крыловым, «количество материи («масса»)» и т. д. не является точным. Слово «масса» добавлено переводчиком и в определении Ньютона не встречается.

<sup>2)</sup> См.: Успехи физических наук. Т. 48, вып. 2, 1952. См. также: Успехи физических наук. Т. 52, вып. 3, 1954; «Вопросы философии», 1954, № 2; 1955, № 2.

в том случае, если принять плотность за первичное понятие, как собственно и было у Ньютона. В противном случае определение массы, данное Ньютоном, — прочный круг, за что его упрекали Мах и другие ученые. Однако как более общее (первичное) понятие плотности Ньютон не определяет.

Нужно также иметь в виду, что понятие количества материи не было совсем новым. Возникновение его связано с развитием представления о материи как о некоем однородном материале, из которого построены все тела. Так, многие ученые, придерживавшиеся атомной гипотезы, представляли себе атомы абсолютно плотными и неделимыми. Под количеством материи в теле они понимали количество атомов в нем или же количество того однородного материала, из которого вылеплены атомы. Этой точки зрения придерживался, по видимому, и Ньютон, считавший, что все тела состоят из неделимых и неизменных атомов. Правда, определяя понятие количества материи, Ньютон ничего не говорит об атомах. Однако из его других высказываний можно определенно утверждать, что он придерживался атомистической гипотезы. В-третьих, следует подчеркнуть, что приведенное выше определение, по сути, не отвечает на вопрос, что такое масса, как она измеряется, какие свойства тел она представляет. Все эти вопросы Ньютон рассматривает в дальнейшем. Он совершенно отчетливо говорит, что масса тела определяет его инерционные свойства (свойства тела сопротивляться изменению состояния покоя или движения). Он также отмечает, что масса тела пропорциональна весу и измеряется им. Ньютон правильно использует понятие массы во втором законе, при рассмотрении конкретных задач механики. Наконец, эта величина фигурирует в открытом им законе тяготения.

Таким образом, Ньютон вводит в механику новое понятие массы, отделяя его от понятия веса тела. До Ньютона понятие массы использовали, например, в задаче о соударении тел. Но эту величину отождествляли с весом тела. Для простых случаев падения тел, удара шаров и т. п. это допустимо. Однако Ньютон решал задачу о движении небесных тел, когда эти две величины уже смешивать нельзя. Здесь было необходимо новое понятие, которое характеризовало бы механические свойства самого тела, не зависящие от его формы, движения и от отношения к другим телам. Такой величиной в классической механике является масса. Естественно, что Ньютон отождествлял эту величину с количеством материи — величиной, определяющей само тело независимо от его формы, движения, отношения к другим телам.

Следующим важным определением является определение количества движения: «Количество движения есть мера такового, происходящая от скорости и количества материи совокупно» (*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiae conjunctum*). Понятие количества движения не являлось новым, и Ньютон ничего к нему не прибавил.

Понятие силы, так же как и понятие массы, — новое. Конечно, слово «сила», как и слово «масса», употребляли очень давно. Но до

Ньютона под силой понимали разное, например причину механического движения (в смысле Аристотеля) и энергию и причину изменения вообще и т. д. Ньютон же дает этому понятию строго научное определение: «Приложенная сила есть действие, производимое на тело для изменения его состояния покоя или равномерного прямолинейного движения». «Сила, — подчеркивает Ньютон, — проявляется единственно только в действии и по прекращении действия в теле не остается». Ньютон подчеркивает, что отказывается обсуждать, какова природа силы:

«Происхождение силы может быть различным: от удара, от давления, от центростремительной силы», и далее: «...я придаю тот же самый смысл названиям ускорительные и движущие, притяжения и натиски. Название же притяжение (центром), натиск или стремление (к центру), я употребляю безразлично одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически...»<sup>1)</sup>

Определив основные понятия механики — массу и силу, Ньютон рассматривает понятия пространства, времени и движения. Прежде всего Ньютон разделяет абсолютное и относительное время, пространство и движение. Абсолютное пространство и время, по Ньютону, существуют независимо от чего-либо, безотносительно к чему-либо: абсолютное время, или длительность, всегда течет равномерно, абсолютное пространство остается всегда однородным и неподвижным. Ни абсолютное время, ни абсолютное пространство не доступны нашим чувствам. Доступны чувствам и измерениям относительное время и относительное пространство; они являются мерой абсолютных. Относительное время есть «мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени (т. е. абсолютного. — Б. С.), как-то: час, день, месяц, год»<sup>2)</sup>. Относительное пространство — ограниченная подвижная часть абсолютного пространства, его мера, которая доступна нашим чувствам по положению его относительно некоторых тел «и которое в обыденной жизни принимают за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространств подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли»<sup>3)</sup>.

Соответственно разделению времени и пространства на абсолютное и относительное Ньютон и движение делит на абсолютное и относительное. Абсолютное движение — это движение относительно абсолютного пространства и времени (относительно абсолютной системы отсчета); относительное движение — движение относительно относительного пространства и времени (относительно какой-либо реальной системы отсчета). Однако в отличие от абсолютного пространства и времени абсолютное движение, по Ньютону, в какой-то степени определимо. Во-первых, безусловно определимо абсолютное ускорение. Для этого достаточно, говоря современным

<sup>1)</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Перевод А. Н. Крылова. — Изв. Николаевской морской акад. Вып. IV и V. ч. II, 1915—1916, с. 29.

<sup>2)</sup> Там же, с. 30.

<sup>3)</sup> Там же.

языком, измерить силы инерции, действующие при ускоренном движении.

Ньютон описывает опыт с вращающимся ведром, в которое налита вода. При вращении ведра вода изменяет свою поверхность; по этому изменению можно судить, что вращается именно ведро, а не вселенная вокруг него. Другой пример — определение вращения связанных шаров по натяжению веревки. Что же касается абсолютной скорости, т. е. скорости относительно того абсолютного пространства, о котором он говорил, то Ньютон должен был понимать, что она не определима. Тем не менее он писал:

*«Распознавание истинных движений отдельных тел и точное их разграничение от кажущихся весьма трудно, ибо части того неподвижного пространства, о котором говорилось и в котором совершаются истинные движения тел, не ощущаются нашими чувствами. Однако это дело не вполне безнадежно (курсив мой. — Б. С.). Основания для суждений можно заимствовать частью из кажущихся движений, представляющих разность истинных, частью из сил, представляющих причины и проявления истинных движений».*

Более того, задачей науки, по Ньютону, и является как раз нахождение истинных движений тел:

*«Нахождение же истинных движений тел по причинам, их производящим, по их проявлениям и по разностям кажущихся движений, и, наоборот, нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений излагается подробно в последующем. Именно с этой целью и составлено предназначенное сочинение»<sup>1)</sup>.*

Почему же Ньютон так неясно говорил о возможности определения абсолютного движения, т. е. движения, относительно абсолютно неподвижного пространства, хотя это пространство не подвержено нашим чувствам? Это объясняется, по-видимому, философскими и даже религиозными взглядами Ньютона. Он, как будет сказано ниже, полагал, что пространство заполнено богом и является его чувствилищем. Таким образом, хотя человек не имеет средств для определения положения и скорости относительно пространства, заполненного богом, тем не менее они существуют и известны богу. Но подтверждение этой идеи Ньютон фактически находил только в абсолютности ускорения, в том, что ускорение — величина абсолютная, а это означает, по его мнению, что можно говорить об ускорении относительно абсолютно неподвижного пространства.

Взгляды Ньютона на пространство, время и движение, так же как и на массу, продержались долгое время, вплоть до середины XIX в., когда начинается критика этих взглядов. В это время формируется понятие инерциальных систем отсчета и понятие абсолютной скорости теряет смысл. Однако понятие абсолютного ускорения смысла не потеряло, и вопрос об абсолютном характере ускорения дискутируется и по настоящее время. Далее мы коснемся этих вопросов подробнее.

После того как Ньютон сформулировал основные понятия механики, он устанавливает основные законы движения.

---

<sup>1)</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии, с. 35.

Первый закон: «*Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не принуждается приложенными силами изменить это состояние*».

Второй закон: «*Изменение количества движения пропорционально приложенной движущейся силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует*»<sup>1)</sup>.

Третий закон: «*Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны*».

Эти три закона общеизвестны. Они формулируются почти точно так же и в настоящее время. Таким образом, установлены основные понятия механики и основные законы механического движения. Анализ механического движения, начатый Галилеем, закончен, в основном произведен, основы классической механики построены.

В основах механики Ньютон разошелся с Декартом и его последователями — картезианцами. Картезианцы включали в механику вопрос о физической природе взаимодействия, о причине изменения механического движения, считая, что всякое взаимодействие должно в конечном счете сводиться к толчку или давлению. Ньютон строил теорию механического движения, отказавшись от исследования природы взаимодействия, от физического анализа причин, порождающих механическое движение или изменяющих его. Для характеристики взаимодействия Ньютон ввел понятие силы как причины, изменяющей движение тел. Его механика — наука, в которой, по выражению Энгельса, «причины движения принимают за нечто данное и интересуются не их происхождением, а только их действиями»<sup>2)</sup>. Введя понятие силы, Ньютон исключил фактически из рассмотрения механики все немеханические формы движения и свел ее основную задачу к нахождению движений по силам, или, наоборот, — к нахождению действующих сил по движениям. Все это — шаг вперед, так как механика, претендующая у картезианцев объяснить весь мир, превратилась фактически в собственно механику, т. е. науку об одной механической форме движения материи.

Основное применение механики Ньютон видел в построении теории движения небесных тел — небесной механики. В первой книге «Математических начал» Ньютон в основном рассматривает задачу движения тел под действием центральных сил (это ему нужно для последующего изучения движения небесных тел). Вторая книга посвящена вопросам гидродинамики. В ней рассматриваются движение тел в среде, обладающей трением; распространение волн в жидкой среде; случаи течения жидкости и т. п. Эта часть книги, хотя и имеет самостоятельное значение, но заканчивается исследованием ряда вопросов, относящихся к проблеме вращательных движений жидкости. Она направлена против вихрей теории Декар-

---

<sup>1)</sup> Под движением здесь Ньютон понимает, конечно, «истинное» движение, т. е. движение относительно «абсолютного» пространства.

<sup>2)</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. Т. 20, с. 407.

та, хотя Ньютон и не называет его имени. Он пишет, что «планеты не могут быть переносимы материальными вихрями»<sup>1)</sup>.

Третья книга посвящена вопросу тяготения и небесной механике и называется «О системе мира».

### § 15. ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ, СПОР О ПОНИМАНИИ ЭТОГО ЗАКОНА

Проблема тяготения возникла в связи с гелиоцентрической теорией строения Вселенной. Для Аристотеля и его последователей — перипатетиков — проблема тяготения не существовала. В соответствии с их теорией небесные тела движутся естественно, для их движения не требуется никакая материальная сила. Другое дело тяжесть. Тяжесть есть «стремление» тела к центру мира. Ничего общего между этим стремлением и движением небесных тел перипатетики не видели.

Коперник, изменивший взгляд на строение Вселенной и затронувший механику Аристотеля, должен был прийти к обобщению понятия тяжести. И, действительно, он высказал точку зрения, что тяжесть существует не только на Земле, но и на других небесных телах. Он писал:

«...я полагаю, что тяготение есть не что иное, как некоторое природное стремление, сообщенное частям божественным провидением творца Вселенной, чтобы они стремились к целостности и единству, сходясь в форму шара. Вполне вероятно, что это свойство присуще также Солнцу, Луне и остальным блуждающим светилам...»<sup>2)</sup>

Таким образом, по Копернику, уже существует не только тяжесть на Земле, но и, если можно так сказать, своя тяжесть на других небесных телах.

Следующий шаг был сделан Кеплером, который высказал идею, что тяготение существует между любыми материальными телами и выражается в их стремлении слиться друг с другом. Небесные тела также тяготеют друг к другу. Планеты тяготеют к Солнцу, и они соединились бы с ним, если бы особые силы не удерживали их на своих орбитах. При этом Кеплер считал, что сила тяготения между небесными телами обратно пропорциональна расстоянию между ними. К этой идее он пришел, руководствуясь гипотетической аналогией между распространением света и «распространением» силы тяжести. Эта аналогия могла бы привести Кеплера к правильному выводу о наличии обратно пропорциональной зависимости между силой тяготения и квадратом расстояния. Однако он полагал, что сила тяжести (в отличие от распространения света) распространяется не в пространстве, а в плоскости орбиты планет. Отсюда и следовала обратно пропорциональная зависимость.

<sup>1)</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии, с. 446.

<sup>2)</sup> Коперник Николай. О вращении небесных сфер, с. 30.