

времени в любом направлении — вперед или назад. Проблема необратимости по этому здесь не подлежит обсуждению»¹⁾.

Однако сейчас вариационные принципы применяют в физике еще в более широком масштабе; их используют и в термодинамике, и для описания необратимых процессов. В настоящее время вариационные принципы связывают с принципом симметрии, который сам по себе является одним из самых общих принципов науки.

§ 26. РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ МЕХАНИКИ (МАССЫ И СИЛЫ) ПОСЛЕ НЬЮТОНА В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

Рассмотрим теперь, как развивались представления об основных понятиях механики после Ньютона (в основном уже в XIX в.). Ограничимся при этом рассмотрением развития понятий массы и силы, что же касается понятий системы отсчета, относительности движения и т. п., то развитие их будет рассмотрено ниже, при изложении истории возникновения теории относительности.

Понятие массы анализируют в двух направлениях. Во-первых, высказывается мысль, что отождествление понятий массы и количества материи не имеет строгого смысла и даже бессодержательно. Следует подчеркнуть, что понимание массы как количества материи критикуют главным образом ученые, придерживающиеся позитивистских взглядов, не признающие существования материи вообще. Особенно резко против такого понимания массы выступал Мах. Однако большинство ученых вплоть до начала нашего столетия в основном оставались на позициях материализма и по-прежнему рассматривали массу как основную количественную характеристику материи и, следуя Ньютону, ставили знак равенства между понятиями «масса» и «количество материи». В их число входили Л. Эйлер, Пуассон, Максвелл, В. Томсон и многие др.²⁾ Это вполне понятно, так как долгое время среди физиков был широко распространен взгляд на материю как на некоторый материал, из которого «вылеплены» все вещи. А так как масса — одно из наиболее общих свойств материальных вещей и, как считалось, всякая вещь обладает строго определенной массой, то казалось естественным понимать массу как количество материи. Такой широко распространенный взгляд на массу был подорван теорией относительности, которая показала, что масса не является инвариантной величиной, а зависит от скорости и от энергии, которыми обладает тело. Однако и после возникновения теории относительности некоторые ученые продолжали понимать массу как количество материи. Так, например, О. Д. Хвольсон в первом томе своего известного курса физики,

¹⁾ Вариационные принципы механики, с. 588.

²⁾ Максвелл Дж. К. Материя и движение. М., Госуд. изд-во, 1924, с. 29; Эйлер Л. Основы динамики точки. Теория движения твердых тел. М. — Л., ОНТИ, 1938; Poisson. *Traite de mécanique*. 1833, Т. I; Poinsot. *Elements de statique*, 1830, p. 176; Thomson W. and Tait. *Treatise on Natural philosophy*. 1879, Vol I, p. 220; см. также: Мещерский И. В. Работы по механике тел переменной массы, М. — Л., Гостехиздат, 1949, с. 178.

вышедшем в свет в 1923 г. писал, что масса тела измеряется количеством содержащейся в нем материи¹⁾. Даже в литературе более позднего времени можно встретить подобного рода утверждение.

С середины XIX в. начинается обсуждаться вопрос об определении величины массы. Подвергается критике определение Ньютона, который определял ее как величину, пропорциональную объему тела и его плотности. Появляется ряд других определений. Величину массы пытаются определить как ученые, продолжавшие рассматривать ее как количество материи, так и те, которые подходили к понятиям механики с чисто формалистических позиций или даже находились под влиянием позитивистской философии.

Одним из направлений в определении физического содержания массы, опирающимся на понимание ее как величины, которая определяет инертные свойства тела, было направление, основанное на рассмотрении взаимодействия тел.

Его родоначальником, по-видимому, был французский ученый Сен-Венан. Он писал:

«Масса тела есть отношение двух чисел — числа частей данного тела к числу частей стандартного тела. При этом части, будучи разделенными, при взаимном попарном столкновении сообщают друг другу равные и противоположно направленные скорости»²⁾.

Развивая далее это определение, Сен-Венан рассматривает столкновение двух различных тел, имеющих первоначально скорости v_1 и v_2 , которые после столкновения соответственно равны $v_1 + \Delta v_1$ и $v_2 + \Delta v_2$. Применяя закон сохранения количества движения к этому случаю, получаем

$$m_2 : m_1 = \Delta v_1 : \Delta v_2,$$

где m_1 и m_2 — массы тел.

Таким образом, если выбрать массу какого-либо тела за единицу, то, рассматривая соударение этого тела с другими телами, можно определить массы этих тел.

Мах также определял массу, рассматривая взаимодействие тел. Он отмечает, что при взаимодействии двух тел, в результате которого они приобретают ускорения, то если эти ускорения по величине одинаковы, и массы также одинаковы. Если же при взаимодействии тела получают разные ускорения, то отношение масс этих тел равно обратному отношению полученных при этом ускорений. Таким образом, если принять массу какого-либо тела за единицу, то можно соответствующим образом определить массу любого другого тела³⁾. Конечно, определение массы Махом является не определением фи-

¹⁾ Хвольсон О. Д. Курс физики. Т. I, РСФСР, Государственное издательство (Берлин), 1923, с. 68.

²⁾ Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике. М., «Прогресс», 1967, с. 97.

³⁾ Определение массы Махом подробно изложено в книге: Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике. М., «Прогресс», 1967, с. 98, и далее.

зической величины массы, а определением операции ее измерения. Тем не менее если незначительно изменить это определение так, чтобы оно было действительно определением физической величины, то мы получим одно из определений массы, которое употребляется и в настоящее время. В качестве примера можно привести определение массы, данное в учебнике по физике для 8-го класса средней школы: «Массой тела называется величина, которой определяется отношение его ускорения к ускорению тела, с которым оно взаимодействует»¹⁾.

Максвелл в своей книге «Материя и движение» исходил из возможности установления равенства масс различных тел по равенству ускорения, приобретаемого этими телами в результате действия на них одной и той же силы. Одинаковые же силы всегда можно иметь в наличии, например, используя одну и ту же пружину, сжимаемую на одну и ту же длину. Применяя затем принцип аддитивности массы, можно сравнивать между собой массы различных тел и, в частности, с выбранной единичной массой. Развивая эту идею, Максвелл приходит к известному способу измерения масс с помощью рычажных весов и наборов соответствующих гирь. Следует отметить, что в отличие от Маха, его предшественников и последователей Максвелл, рассматривая вопрос измерения массы, как и большинство его современников, понимает массу именно как количество материи, не различая эти понятия.

Было предложено еще много методов введения понятия массы. Вопрос о том, как лучше определять или вводить понятие массы, обсуждали и в XIX в., и в первой половине нашего столетия, его продолжают обсуждать и в настоящее время. По этому вопросу и поныне существуют различные мнения.

В заключение отметим, что до начала XX в. многие ученые не различали инертную и гравитационную массы. Масса рассматривалась как единая величина, которая фигурирует как во втором законе Ньютона, так и в законе всемирного тяготения. В значительной степени разделение понятий произошло под влиянием возникновения и развития теории относительности и связанных с ней вопросов.

Остановимся теперь на развитии понятия силы. История развития этого понятия более богата, нежели история развития понятия массы, по крайней мере в классической физике. Если понятие массы не вызывало возражений со стороны физиков, то понятие силы как основной физической величины неоднократно отвергалось в истории науки. Немало примеров, когда строили системы механики, не используя понятие силы или этому понятию придавали лишь вспомогательное значение. С другой стороны, были попытки возвести понятие силы в ранг самых общих, самых важных и принципиальных понятий физической науки.

Рассмотрим историю развития понятия силы только в самых общих чертах, так как для подробного ее описания понадобилась

¹⁾ Кикони И. К., Киконн А. К. Физика. М., «Просвещение», 1969, с. 87.

бы отдельная книга ¹⁾. Понятие силы было введено в науку Ньютоном, но начало формироваться гораздо раньше, еще в древности. Происхождение понятия силы связано с практической деятельностью людей еще в донаучный период. Уже тогда начало складываться представление, что для того, чтобы привести какой-либо предмет в движение, нужно применить определенное усилие, приложить силу. Так возникло понятие силы, имеющее, несомненно, антропоморфное происхождение.

Впервые вопрос о силе как причине механического движения подвергся научному анализу в учении о движении Аристотеля, который полагал, что всякие изменения, происходящие с любым телом, должны иметь причину. Это общее положение Аристотель относил и к механическому движению. Всякое перемещение тяжелого тела, считал он, происходит под действием чего-то другого. Все движущееся, по Аристотелю, должно приводиться в движение чем-нибудь. Всякое насильственное движение тел происходит под действием других тел, которые тянут, толкают эти тела. Таким образом, еще с Аристотеля начинает формироваться понятие силы в механике. Процесс формирования понятия силы был долгим и сложным. Ньютон в определенном смысле сформировал научное понятие силы в механике как действие, производимое на тело, в результате чего оно изменяет прямолинейное и равномерное движение, и установил в своем втором законе, что величина силы прямо пропорциональна ускорению тела, вызванного этой силой. Следует, правда, отметить, что хотя Ньютон и дал строгое определение силы в механике, термин «сила» продолжали употреблять, как и раньше, в разном смысле. Под термином «сила» понимали не только собственно «силу», но также и энергию. Известно, что Лейбниц ввел понятие живой силы как кинетической энергии движущегося тела. Таким образом, слово «сила» в самой физике имело двоякий смысл. Даже гораздо позже термин «сила» продолжали употреблять и в смысле энергии. Так, еще Гельмгольц в работе, написанной в середине XIX в., устанавливая закон сохранения энергии, называл энергию силой (работа так и называлась: «О сохранении силы»).

Помимо механики термин «сила» широко применялся и в философии, и в повседневной жизни. Это положение имеет место и по настоящее время. До сих пор говорят о силе духа, о силе убеждения, о силе чувств и т. д. После установления Ньютоном научного понятия силы в механике развитие этого понятия не заканчивается, наоборот, долгое время в классической физике, да и в философии, обсуждают его смысл, дают оценку с точки зрения его важности и даже поднимают вопрос о нужности этого понятия.

Вообще говоря, уже при жизни Ньютона намечаются, а затем развиваются два основных направления в понимании силы. Согласно одному из них, сила — это не основное, а производное понятие физики. Это направление имело несколько различных ответвлений,

¹⁾ См., например: J a m m e r M. Concept of force, Cambridge, 1957.

начиная от отрицательного отношения к понятию силы прямых последователей Декарта и кончая физиками, настроенными позитивистски. Согласно второму направлению, сила — одно из фундаментальных понятий физики такого же порядка, что и понятие материи. Наиболее видным приверженцем этого направления был хорватский ученый XVIII в. Р. Бошкович. Истоки первого направления следует искать в учении Декарта, который в основу физики положил два основных понятия: материи и механического движения. Однако после успехов механики Ньютона стало ясно, что понятие силы весьма полезно в механике. Вскоре картезианцы и ученые, находящиеся под влиянием их идей, посчитали возможным использовать понятие силы. Однако они не придают ему фундаментального значения, считая второстепенным. Так, например, Эйлер в своих работах по механике широко использует понятие силы, но возражает против того, чтобы под силой понималось нечто субстанциональное. За понятием «сила», по Эйлеру, как уже отмечалось, скрывалось понятие взаимодействия. Такая точка зрения развивалась вплоть до XIX в. Во Франции в середине прошлого столетия существовала так называемая «школа нитей». Согласно ее представлениям, развиваемым Ричем, Андрадом и др., понятие силы сводится к понятию давления или натяжения. В механике основными являются либо только чисто кинематические понятия, либо еще понятие давления или натяжения. Представитель этого направления Рич писал:

«Мы испытываем ощущения, которые возбуждают в нас несколько фундаментальных идей: сначала идею существования тел, затем формы тел и свойства пространства, затем движения и времени, затем еще идею о некоторой величине, которую мы называем давлением или тягой»¹⁾.

Одним из крупных ученых, придерживавшихся точки зрения, которую можно рассматривать как дальнейшее развитие вышеприведенных взглядов и даже как развитие чисто картезианских идей, был Герц. В 1891 г. он написал большой труд «Принципы механики, изложенные в новой связи»²⁾. В этой книге Герц построил механику, не используя понятие силы. Точнее, он не возражал против использования этого понятия, но только как неосновного, непринципиального. Действие силы на тело Герц заменяет действием связей этого тела с другими телами, используя при этом представление о скрытых движениях.

Силу как второстепенное понятие рассматривал и Даламбер. Как было показано, он отрицательно относился к понятию силы, считая его «темным метафизическим понятием». В механике, полагал Даламбер, следует пользоваться только понятиями материи и движения, понимая под движением чисто механическое движение. На такой взгляд оказали влияние, с одной стороны, картезианцы, а

¹⁾ Reech F. Cours de mécanique d'après la nature généralement flexible et élastique des corps. Paris, 1852, p. 1.

²⁾ Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. М., Изд-во АН СССР, 1959.

с другой стороны — позитивистские настроения самого Даламбера, стремящегося использовать в науке только величины, которые можно непосредственно измерить, т. е. имеет место известный формальный подход к научным исследованиям, провозглашенный позже Махом как одним из основных принципов познания.

Французский ученый Л. Карно (1753—1823) также считал понятие силы «темным метафизическим понятием». В середине XIX в. французский ученый Сен-Венан аналогично отзывается о понятии силы. При этом он подчеркивал, что хотя понятие силы и широко употребляется в механике, тем не менее оно играет вспомогательную, промежуточную роль. Он писал:

«Во всяком случае, каковы бы ни были рассматриваемые проблемы небесной или земной механики, сила никогда не входит ни в начальные данные, которыми всегда являются чувственные объекты, ни в результаты искомого решения»¹⁾.

Кирхгоф в лекциях по механике, опубликованных в 1876 г., также отрицательно отнесся к понятию силы в механике. Он видел пользу этого понятия единственно в том, что при его использовании изложение становится более кратким. Такое отношение к понятию силы было связано, как пишет сам Кирхгоф, с тем, что силу обычно рассматривали как причину движения. Задача же механики, по его мнению, не поиски причин движения, а описание его в наиболее полном и простом виде.

«Я хочу этим сказать, — пишет Кирхгоф, — что все сводится только к тому, чтобы раскрыть происходящие явления, а не к тому, чтобы доискиваться их причин. Если мы будем исходить из этого воззрения и введем представление о пространстве, времени и материи, то чисто математическим путем придем к общим уравнениям механики»²⁾.

Конечно, в мнении Кирхгофа можно видеть влияние позитивистской идеи чистого описания. Это дало повод Маху зачислить Кирхгофа в число своих единомышленников. Однако в приведенной цитате есть идеи, которые никак нельзя отнести к позитивистским. Достаточно упомянуть об идее материи. Заявление же Кирхгофа о том, что в задачу науки не входит познание причин, могло быть его реакцией на определение силы как причины движения, которое довольно широко употреблялось в его время. И в отрицательном отношении к силе как причине движения Кирхгоф был прав.

Прямо противоположное направление в развитии понятия силы заключалось в приписывании этой величине фундаментального значения в смысле особой субстанции, которая существует одновременно с материей или даже лежит в ее основе. Это направление в понимании силы особенно четко развито в середине XVIII в. хорватским ученым Ружером Бошковичем (1711—1787). Подобно большинству своих современников, Бошкович придерживался атомистических взглядов на строение материи. Но он считал атомы не

1) Jammer M. Concept of force, p. 216.

2) Кирхгоф Г. Механика. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 3.

только неделимыми и не обладающими внутренним строением, но и не имеющими размеров точками, которые являются центрами далекодействующих сил, находящихся в пустом пространстве. Силы между атомами-точками — центральные, их величина и направление зависят от расстояния между ними. При малых расстояниях это силы отталкивания, которые при сближении атомов точек неограниченно возрастают. При их удалении эти силы уменьшаются и на определенном расстоянии равны нулю, затем меняют знак и становятся силами притяжения. Возрастая с увеличением расстояния, они достигают максимума, после чего уменьшаются и снова становятся равными нулю и меняют знак. Изменяя несколько раз свой знак с увеличением расстояния, силы взаимодействия между точками становятся силами притяжения и постепенно убывают при дальнейшем увеличении расстояния. Такова в общих чертах теория строения материи по Бошковичу. Она фактически основана на понятии силы как единственной объективно существующей субстанции.

Представления Бошковича были восприняты и развиты английским ученым и философом Джозефом Пристли. Он также считал, что все тела состоят из центров сил притяжения и отталкивания. При этом он не противопоставлял понятия материи и силы, считая что сила и есть материя. Он писал, что силы притяжения и отталкивания не являются чем-то сообщенным материи, но на самом деле составляют то, чем она является в действительности, так что без этих свойств материя превращается в ничто¹⁾.

Идеи Бошковича и Пристли оказали влияние, в частности, на воззрения Фарадея. Фарадей был противником представления о том, что материя состоит из малых частиц — атомов, разделенных пустым пространством или наполненным эфиром. Он писал, что ему больше нравятся атомы Бошковича, представляющие центр сил, но добавлял, что его взгляды отличны от взглядов Бошковича. Фарадей не признавал пустого пространства, и его атомы, хотя и являются центрами сил, но не далекодействующих сил в пустом пространстве. Атомы Фарадея материальны, и каждый из них заполняет все пространство. Нет пустых промежутков между ними, нет пустоты. Материя не обладает свойством непроницаемости. Сила есть, если можно так сказать, свойство или сущность материи, она распространена по всему пространству, от центров сил — атомов. Взгляды Фарадея на понятия материи и силы гармонизировали с его представлением о существовании электрических и магнитных явлений, основанных на принципе близкодействия.

Подчеркнем, что идеи Бошковича переросли у Фарадея, по существу, в идею физического поля. Причем поля не в механическом понимании, как это было первоначально у Максвелла и его последователей, толковавших поле как проявление невидимых движений в эфире, а физического поля как одного из видов материи.

¹⁾ Пристли Джозеф. Избранные сочинения. М., Государственное социально-экономическое изд-во, 1934, с. 126.

Помимо рассмотренных крайних направлений в толковании понятия силы было множество других, носящих промежуточный характер или эклектически сочетающих идеи основных направлений.

В заключение обзора развития понятия силы в классической механике приведем трактовку этого понятия Ф. Энгельсом. Для Энгельса сила не является причиной движения. Движение есть форма существования материи, форма ее бытия. И в общем смысле говорить о причине движения не имеет смысла. Но движение может быть передано от одного тела к другому. И вот величина, характеризующая количественно эту передачу движения, и есть сила. Энгельс писал:

«Когда какое-нибудь движение переносится с одного тела на другое, то, поскольку движение переходит, поскольку оно активно, его можно рассматривать как причину движения, поскольку это последнее является переносимым, пассивным, и в таком случае эта причина, это активное движение выступает как сила, а пассивное движение — как ее проявление»¹⁾.

Под движением Энгельс понимал не только механические движения, не только перемещение тел в пространстве, но любую физическую форму движения. Если тело изменяет механическое движение, то другие тела, которые с ним взаимодействуют, также изменяют движение. При этом они не обязательно должны изменить скорость или вообще механическую форму движения. Так, например, если кинетическая энергия тела изменяется, то причиной этого может быть изменение потенциальной или внутренней энергии у других тел и т. д. Таково толкование понятия силы в механике, данное Энгельсом. Оно сохраняет значение и по настоящее время.

¹⁾ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. Т. 20, с. 595—596.