

частиц массы, бывших неподвижными (или становящихся неподвижными).

Для самого общего случая, когда изменение массы происходит за счет частиц, имеющих некоторую абсолютную скорость v' , совмещение второго и третьего законов Ньютона приводит, как показал Мещерский, к формуле

$$\frac{d(mv)}{dt} = F + v' \frac{dm}{dt}. \quad (9)$$

По правилу дифференцирования произведения двух функций

$$\frac{d(mv)}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt};$$

подставляя это выражение в формулу (9), мы видим, что при $v=v'$ вторые члены в левой и правой частях получающегося уравнения сокращаются. Стало быть, если присоединяемые (или отделяемые) частицы массы не были неподвижны (или не становятся неподвижными), но, наоборот, имеют в момент присоединения (или отделения) ту же скорость, что и главная масса m (т. е. когда $v'=v$), то, несмотря на изменяемость массы m , в этом частном случае мы можем пользоваться уравнением

$$F = m \frac{dv}{dt}.$$

Введем относительную скорость присоединяемых (или отделяемых) масс

$$w = v' - v$$

(что удобно, например, при анализе движения ракеты); тогда наиболее общее уравнение (9) можно свести к «школьной» формулировке второго закона Ньютона [к уравнению (2)]:

$$m \frac{dv}{dt} = F + F', \quad \text{где } F' = w \frac{dm}{dt}.$$

Здесь F' есть «сила реакции», действующая на массу m вследствие отделения или присоединения к ней частиц массы.

§ 13. Различные понимания второго закона механики

Имеются разногласия в понимании и в оценке значения второго закона Ньютона.

Вслед за Э. Махом, который в книге «Механика», опубликованной в 1883 г., предпринял попытку радикального пересмотра основных положений ньютоновой механики, многие физики стали рассматривать второй закон Ньютона как определение понятий массы или силы, а не как обобщение наблюдений и экспериментов.

Те физики, которые рассматривают второй закон как определение понятия силы, читают второй закон так: «силой называется произведение массы на ускорение». При такого рода понимании второй закон, взятый в отдельности, утрачивает какое бы то ни было физическое содержание; ведь мы вольны давать названия по усмотрению. Назвав силой произведение массы на ускорение, мы этим не устанавливаем никакой новой физической истины и, конечно, не можем претендовать на то, чтобы это с о г л а ш е н и е о термине «сила» рассматривалось как закон природы. С указанной точки зрения второй закон не есть закон, но является просто как бы предисловием к третьему закону.

В третьем законе устанавливается, что всегда существует только взаимодействие тел: силы, приложенные к различным взаимодействующим телам, попарно равны и направлены противоположно; они сообщают взаимодействующим телам равные по величине, но противоположные по знаку изменения количества движения. Поэтому взаимодействие между телами не может изменить суммарного количества движения этих тел: насколько возрастает количество движения какого-либо одного тела, настолько уменьшается количество движения других тел, взаимодействующих с первым (закон сохранения количества движения). Обо всем этом мы будем ниже говорить подробнее. Сейчас мы упомянули об этом только в целях сопоставления второго закона с третьим.

Физики, которые рассматривают второй закон как определение силы, считают, что действительным принципом механики (почерпнутым из опыта) является третий закон. Этот третий закон можно было бы сформулировать и не прибегая к понятию силы (прямо в виде закона сохранения количества движения). Таким образом, можно прийти к выводу, что понятие силы *не* является необходимым для построения механики. И действительно, многие рассматривают «силу» как понятие вспомогательное; при этом некоторыми высказывалось мнение, что понятие силы при желании можно исключить из физики без существенного ущерба для ее содержания.

Взамен ньютоновых законов можно положить в основу механики, как было показано многими учеными, другие принципы. Такие общие принципы механики, вполне заменяющие законы Ньютона и иногда более широкие, были высказаны Гамильтоном, Лагранжем, Якоби, Гауссом и др.

Эти принципы (в рамках данного курса они не могут быть изложены), вообще говоря, не имеют назначения устранить из механики понятие силы, но они во всяком случае отводят этому понятию более скромную роль, чем та, которую играет сила в ньютоновой механике. Герц построил механику (исходя из принципа, высказанного Гауссом), в основном не прибегая при анализе движений к понятию силы. Но не следует забывать, что задачи физики обширны; уже в статике и в особенности в учении о сопротивлении материалов понятие силы приносит неопределимые услуги; оно позволяет излагать динамику

с наибольшей в математическом отношении простотой; оно позволяет придать бóльшую наглядность описанию и анализу электрических явлений и т. д.

Некоторые другие физики, подобно первой группе, рассматривают второй закон как определение, но не как определение силы, а как *определение понятия массы*; они читают второй закон так: «инертной массой называется отношение силы к вызываемому этой силой ускорению». В отличие от этой «инертной массы» массу, определяемую на основе закона тяготения, называют «тяготеющей», или гравитационной, массой.

Многие физики придерживаются ньютоновой точки зрения, которая совершенно не совпадает с двумя изложенными выше взглядами.

Несомненно, что механику можно построить, давая разное определение понятиям и исходя из тех или иных принципов; но поскольку, изучая механику, мы полагаем в основу законы Ньютона, мы должны совершенно отчетливо представлять себе смысл, который Ньютон вкладывал в сделанные им утверждения. Не подлежит сомнению, что Ньютон высказал свой второй закон как аксиому, обобщающую опыт, а не как определение понятий «сила» и «масса».

Русский переводчик сочинения Ньютона — акад. А. Н. Крылов — в одном из своих примечаний к первой книге «Математических начал натуральной философии» справедливо замечает: «Давая определение понятия *движущая сила*, т. е. того, что теперь зовут просто *сила*, Ньютон обращает внимание на способ ее измерения и именно способ *статический* — уравнивание другой силой, препятствующей движению... Сила, статически вдвое бóльшая, сообщает и вдвое большее количество движения... Нигде Ньютон не говорит, чтобы сила и з м е р я л а с ь произведением массы на ускорение...».

По Ньютону, и сила и масса измеряются *статически*: «Измеряется масса по весу посредством рычажных весов...; движущая сила распознается по силе, ей равной и противоположной, которая могла бы воспрепятствовать ускорению движения тела...» (из «Определений» Ньютона, которые предшествуют формулировке «Аксиом движения»).

Коль скоро каждая из трех величин, входящих во второй закон, определена и измерена независимо от двух остальных, то второй закон приобретает, очевидно, смысл установленного опытом факта. Придерживаясь указанной выше терминологии, можно сказать:

Физическим содержанием второго закона является почерпнутая из опыта истина, что «инертная масса» тела (т. е. отношение силы к ускорению) всегда равна «тяготеющей массе» того же тела.

Но тогда становится ясным, что нет надобности различать инертную массу от тяготеющей и, следовательно, нет необходимости вводить эти два термина; Ньютон и не употреблял их и всегда пользо-

вался одним термином — «*quantitas materiae*» («количество материи»), который равнозначен слову «масса».

Первое доказательство справедливости сделанного выше утверждения о равенстве инертной и тяготеющей масс дают законы падения Галилея, из которых вытекает независимость ускорения силы тяжести от специального выбора падающего тела. Но, разумеется, эти опыты могли оказаться недостаточно точными. Поэтому справедливость высказанного выше утверждения проверялась позднее Ньютоном, затем Бесселем и венгерским физиком Этвешем. По Бесселю, разница между инертной и тяготеющей массой во всяком случае не превосходит $1/20\ 000$; по Этвешу, она не может быть более $1/10\ 000\ 000$. Таким образом, утверждение о равенстве инертной и тяготеющей масс следует рассматривать как точный закон природы. В ньютоновой механике равенство обеих масс принимается как экспериментальный факт.

Приняв точку зрения Ньютона-физика, мы, однако, отвергаем идеи Ньютона-философа; согласившись с разумностью определения понятий силы и массы на основе статического способа их измерения, приняв, таким образом, второй закон как опытный факт, а не как определение, мы вовсе не обязаны рассматривать силу как некую таинственную первопричину движений, к чему был склонен Ньютон в своих философских рассуждениях. Первопричиной движений является само движение; одна форма движения переходит в другие формы движения. Силы служат нам средством распознавания и средством исследования этих процессов перехода и преобразования движений. Силы существуют реально в своем проявлении как промежуточное звено этого перехода, но, когда их хотят рассматривать как первопричину движений, они становятся фикцией.

«Представление о силе заимствовано, как это признается всеми, ... из проявлений деятельности человеческого организма по отношению к окружающей его среде. Мы говорим о мускульной силе, ... о секреторной силе желез и т. д., ... сочиняем столько же сил, сколько существует различных явлений...» (Ф. Энгельс, Диалектика природы). По мере роста наших познаний относительно сущности изучаемых явлений, представление о силах отступает на второй план в сравнении со многими другими постепенно обнаруживаемыми величинами, которые более полно характеризуют какое-либо интересующее нас явление.

§ 14. Движение под действием постоянной силы

Чтобы показать, как применяются законы Ньютона для решения задач динамики, рассмотрим два примера: прямолинейное движение под действием постоянной силы и движение брошенного тела. Оба случая являются важными сами по себе.

Когда действующая на тело сила изменяется при движении тела и когда вследствие этого движение оказывается сложным, часто обнаруживается возмож-