

Глава VII

**ДВИЖЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
И ДВИЖЕНИЕ АБСОЛЮТНОЕ**

Принцип относительного движения. Были попытки связать закон ускорения с некоторым более общим принципом. Движение всякой системы должно подчиняться одним и тем же законам независимо от того, относить ли его к неподвижным осям или к подвижным, перемещающимся прямолинейно и равномерно. Это — принцип относительного движения, который внушается нам двумя обстоятельствами: во-первых, его подтверждает самый обыденный опыт, и, во-вторых, противоположное допущение совершенно противоречило бы нашему разуму.

Итак, допустим его и рассмотрим тело, находящееся под действием силы. Относительное движение этого тела для наблюдателя, перемещающегося с постоянной скоростью, равной начальной скорости тела, должно быть таким же, каким было бы абсолютное движение этого тела, если бы оно выходило из состояния покоя. Из этого заключают, что ускорение тела не должно зависеть от его абсолютной скорости, и отсюда пытаются извлечь доказательство закона ускорения.

Долгое время следы этого доказательства сохранялись в экзаменационных программах на степень бакалавра философских наук. Но эта попытка, очевидно, безнадежна. Препятствие, мешавшее нам доказать закон ускорения, было обусловлено отсутствием определения силы, и оно нисколько не устраняется, так как приведенный принцип не дает требуемого определения.

Но принцип относительного движения от этого не делается менее интересным; он заслуживает изучения сам по себе. Постараемся прежде всего дать ему точную формулировку.

Выше мы сказали, что ускорения различных тел, входящих в состав изолированной системы, зависят только от их скоростей и положений (относительных, а не абсолютных), если только подвижные оси, к которым отнесено движение, перемещаются прямолинейно и равномерно. Или, если угодно, эти ускорения зависят только от разностей скоростей и разностей

координат тел, а не от абсолютных значений этих скоростей и координат.

Если этот принцип верен для относительных ускорений (или, лучше сказать, для разностей ускорений), то, сочетая его с законом противодействия, можно вывести, что он верен также и для абсолютных ускорений.

Остается, таким образом, рассмотреть, как можно доказать, что разности ускорений зависят только от разностей скоростей и координат или, говоря математическим языком, что эти разности координат удовлетворяют дифференциальным уравнениям второго порядка.

Можно ли это доказательство вывести из опытов или же из априорных соображений?

Припоминая сказанное выше, читатель сам даст на это ответ. В самом деле, в такой формулировке принцип относительного движения очень похож на то, что выше я назвал обобщенным принципом инерции. Это не совсем то же самое, потому что здесь речь идет о разностях координат, а не о самих координатах. Следовательно, новый принцип учит нас кое-чему большему сравнительно с прежним. Однако те же рассуждения приложимы и к нему, и они привели бы к тем же заключениям; возвращаться к этому было бы бесполезно.

Аргумент Ньютона. Здесь мы сталкиваемся с вопросом, крайне важным и в какой-то степени внушающим беспокойство. Я сказал, что принцип относительного движения не только был для нас результатом опыта, но и что à priori никакая иная гипотеза не допускается нашим разумом.

Но тогда почему принцип верен только в случае прямолинейного и равномерного движения подвижных осей? Казалось бы, он должен внушаться нам с той же силой и в случае, когда это движение переменено или, по крайней мере, когда оно сводится к равномерному вращению. Однако в этих двух случаях принцип неверен.

Я не стану подробно останавливаться на том случае, когда движение осей прямолинейно, но не равномерно; парадокс устраняется сейчас же при исследовании. Я нахожусь в вагоне, и если поезд, натолкнувшись на какое-нибудь препятствие, внезапно

останавливается, я буду отброшен на противоположную скамейку, хотя прямо на меня не действовала никакая сила. Здесь нет ничего загадочного: я не подвергся действию никакой внешней силы, зато поезд испытал внешний толчок. Нет ничего парадоксального в том, что относительное движение двух тел оказывается возмущенным, раз движение того или другого тела изменено внешней причиной.

Остановлюсь подробнее на случае относительных движений, относимых к равномерно вращающимся осям. Если бы небо было беспрестанно покрыто тучами, если бы мы не имели никакого средства наблюдать светила, мы все-таки могли бы заключить, что Земля вращается; мы узнали бы об этом по ее сжатию или — еще лучше — из опыта с маятником Фуко.

Однако имело ли бы смысл говорить в этом случае, что Земля вращается? Если нет абсолютного пространства, то как можно вращаться, не вращаясь по отношению к чему-либо, а с другой стороны, как могли бы мы принять заключение Ньютона и верить в абсолютное пространство?

Но недостаточно констатировать, что все возможные решения одинаково не удовлетворяют нас; надо для каждого из них проанализировать основания, по которым мы отвергаем его, чтобы сделать наш выбор сознательно. Да простятся мне поэтому последующие длинные рассуждения.

Вернемся к нашему воображаемому случаю: густые тучи скрывают звезды от людей, и те не могут наблюдать их и даже не знают об их существовании. Как эти люди узнают, что Земля вращается? Еще увереннее, чем наши предки, они будут считать Землю, которая носит их, неподвижной и непоколебимой; им придется слишком долго ждать появления Коперника. Но, наконец, этот Коперник все-таки явится. Почему же это должно случиться?

Механики воображаемого нами мира сначала не натолкнулись бы ни на какое безусловное противоречие. В теории относительного движения рассматривают, кроме реальных сил, две фиктивные силы, которые называются: одна — обыкновенной, а другая — сложной центробежной силой. Наши воображаемые ученые могли бы, следовательно, все объяснить,

рассматривая эти две силы как реальные, и они не увидели бы здесь противоречия с обобщенным принципом инерции, так как эти силы зависели бы: одна, подобно действительно существующему притяжению, от относительных положений различных частей системы; другая, подобно реальному трению, от их относительных скоростей.

Тем не менее некоторые трудности не замедлили бы пробудить их внимание. Если бы им удалось осуществить изолированную систему, то движение центра тяжести этой системы по траектории, почти прямолинейной, не имело бы места. Для объяснения этого факта они могли бы сослаться на центробежные силы, которые они рассматривали бы как реальные и которые они, несомненно, приписали бы взаимным действиям тел. Но они увидели бы, что эти силы не уничтожаются на значительных расстояниях, т. е. по мере того, как изоляция становилась бы совершенной: напротив, центробежная сила бесконечно возрастает с расстоянием.

Это затруднение казалось бы им уже довольно значительным; однако оно не остановило бы их надолго. Они не замедлили бы вообразить себе какую-нибудь среду, крайне тонкую, вроде нашего эфира, в которой плавали бы все тела и которая оказывала бы на них отталкивающее действие.

Но это не все. Пространство симметрично, а между тем законы движения не представляли бы симметрии; эти законы должны были бы отличать правую сторону от левой. Увидели бы, например, что циклоны вращаются всегда в одну и ту же сторону, между тем как по симметрии можно было бы ожидать этого вращения как в ту, так и в другую сторону, безразлично в какую. Если бы ценой труда наши ученые пришли к представлению о совершенной симметрии своей Вселенной, то эта симметрия не осуществлялась бы, хотя и не было бы никакого видимого основания для преимущественного нарушения ее в одну определенную сторону.

Без сомнения, они нашлись бы и здесь: они придумали бы что-нибудь, во всяком случае не более странное, чем хрустальные сферы Птолемея, и так нагромождали бы все более сложные построения, пока долгожданный Коперник не устранил бы одним

ударом все эти нагромождения, сказав: гораздо проще допустить, что Земля вращается.

И совершенно так же, как наш Коперник сказал нам: удобнее предположить, что Земля вращается, потому что тогда законы астрономии выражаются более простым языком, тот Коперник сказал бы: удобнее предположить, что Земля вращается, потому что тогда законы механики выражаются более простым языком.

Это не противоречит тому, что абсолютное пространство — та, так сказать, вежа, к которой надо было бы отнести Землю, чтобы знать, действительно ли она вращается, — объективно не существует. Ведь и утверждение: «Земля вращается» не имеет никакого смысла, ибо никакой опыт не позволит проверить его; ибо такой опыт не только не мог бы быть ни осуществлен, ни вызван смелой фантазией Жюль Верна, но даже не мог бы быть понят без противоречия! Или, лучше сказать, два положения: «Земля вращается» и «удобнее предположить, что Земля вращается» имеют один и тот же смысл; в одном ничуть не больше содержания, чем в другом.

Может быть, кто-нибудь останется еще недоволен этим и найдет даже что-то неприятно поражающее в том, что среди всех гипотез или — лучше — среди всех соглашений, которые мы можем сформулировать относительно этого предмета, есть одно, которое удобнее других.

Но если мы без труда допустили это, когда речь шла о законах астрономии, почему это должно смущать, если дело касается механики?

Мы видели, что координаты тел определяются дифференциальными уравнениями второго порядка, и то же самое имеет место для разностей этих координат. Это — то, что мы называли обобщенным принципом инерции и принципом относительного движения.

Если бы расстояния этих тел определялись также дифференциальными уравнениями второго порядка, то, кажется, ум должен бы быть вполне удовлетворен. В какой мере он получает это удовлетворение и почему он им не довольствуется?

Чтобы дать себе в этом отчет, лучше всего взять простой пример. Вообразим систему, аналогичную

нашей Солнечной системе, но такую, что из нее нельзя было бы видеть неподвижных звезд, не принадлежащих к этой системе, так что астрономы могли бы наблюдать только взаимные расстояния планет и Солнца, но не абсолютные долготы планет. Если мы выведем непосредственно из закона Ньютона дифференциальные уравнения, определяющие изменение этих расстояний, то эти уравнения не будут второго порядка. Я хочу сказать, что если бы, кроме закона Ньютона, были известны начальные значения этих расстояний и их производных по времени, то этого было бы достаточно для определения значений тех же расстояний для какого-нибудь последующего момента. Недоставало бы еще одного данного, и этим данным могло бы быть, например, то, что астрономы называют константой площадей.

Но здесь можно стать на две различные точки зрения; мы можем различать два рода констант. В глазах физика мир сводится к ряду явлений, зависящих единственно, с одной стороны, от начальных явлений, с другой — от законов, связывающих последующие явления с предыдущими. Если теперь наблюдение откроет нам, что некоторая величина есть константа, то нам представится выбор между двумя точками зрения.

Или мы допустим, что существует закон, требующий неизменяемости этой величины, но дело случая, что она в начальный момент имела именно такое значение, а не иное, — значение, которое она должна была потом сохранять. Такую величину можно было бы назвать тогда *случайной* константой.

Или, напротив, мы допустим, что существует закон природы, сообщающий этой величине именно такое значение, а не иное. Здесь мы будем иметь то, что можно назвать *существенной* константой.

Например, в силу законов Ньютона время обращения Земли должно быть постоянно. Но если оно равно 366 звездным суткам с дробью, а не 300 или 400, то это — результат какой-то неизвестной мне начальной случайности. Это — случайная константа. Если, напротив, показатель степени расстояния, входящий в выражение гравитационной силы, равен 2, а не 3, то это не случайно — этого требует закон Ньютона. Это — существенная константа.

Я не знаю, будет ли законно само по себе придавать какое-то значение случайности и не является ли такое разграничение искусственным; во всяком случае, пока в природе существуют тайны, оно будет применяться с широким произволом, всегда оставаясь ненадежным.

Что касается константы площадей, то мы привыкли рассматривать ее как случайную. Так ли поступили бы наши воображаемые астрономы? Если бы они имели возможность сравнивать две различные Солнечные системы, то у них появилась бы идея, что эта константа может иметь различные значения; но я как раз предположил вначале, что их система изолирована и они не могли наблюдать никакого светила, не принадлежащего к их системе. В этих условиях они могли бы знать единственную константу, которая имела бы единственное, абсолютно неизменяемое значение; без сомнения, они были бы склонны рассматривать ее как константу существенную.

Выскажу попутно несколько слов в предупреждение возражений: обитатели нашего воображаемого мира не могли бы ни наблюдать, ни определить константу площадей, как это делаем мы, потому что абсолютные долги были бы им недоступны; но это не помешало бы им скоро подметить определенную константу, которая естественно входила бы в их уравнения и которая была бы не чем иным, как тем, что мы называем константой площадей.

Но тогда бы имело место следующее. Если рассматривать константу площадей как существенную, как обусловленную законом природы, то для вычисления расстояний планет в любой момент достаточно знать начальные значения этих расстояний и их первых производных. С этой новой точки зрения расстояния будут определяться дифференциальными уравнениями второго порядка.

Однако был ли бы ум этих астрономов вполне удовлетворен? Я не думаю; прежде всего, они скоро заметили бы, что, продифференцировав свои уравнения и таким образом повысив их порядок, они привели бы их к более простой форме. В особенности они были бы поражены трудностью, связанной с симметрией. Пришлось бы допускать различные законы, смотря по тому, представляет ли совокупность планет

фигуру какого-либо определенного многогранника, в частности симметричного многогранника; этого следствия можно было бы избежать, только рассматривая константу площадей как случайную.

Я взял довольно частный пример, вообразив астрономов, которые совсем не занимаются земной механикой и кругозор которых ограничен Солнечной системой. Но наши заключения приложимы ко всем случаям. Наша Вселенная шире по сравнению с их миром, потому что у нас есть неподвижные звезды, но она все же ограничена, и поэтому мы могли бы так же рассуждать о нашей Вселенной, взятой в целом, как эти астрономы — о своей Солнечной системе.

В конце концов, как из всего этого видно, пришлось бы заключить, что порядок уравнений, определяющих расстояния, выше второго. Почему бы это могло смущать нас, почему мы находим вполне естественным, что ряд явлений зависит от начальных значений первых производных расстояний, и в то же время не решаемся допустить, что они могут зависеть от начальных значений вторых производных? Это может быть только следствием известных привычек, выработанных в нашем сознании постоянным изучением обобщенного принципа инерции и его следствий.

Значения расстояний во всякий момент зависят от их начальных значений, начальных значений их первых производных и еще от чего-то другого. Чем же является это *другое*?

Если не хотят признать в этом просто одну из вторых производных, то остается только выбор гипотез. Обыкновенно полагают, что это «другое» есть абсолютная ориентация Вселенной в пространстве или быстрота, с которой ориентация изменяется. Возможно и даже несомненно, что такая гипотеза является самой удобной для геометра; но она никак не самая удовлетворительная с точки зрения философа, потому что такой ориентации не существует.

Можно допустить, что это «другое» есть положение или скорость какого-нибудь невидимого тела: так и поступали те, которые даже дали этому телу название «альфа-тело», хотя нам и не суждено ничего знать об этом теле, кроме его названия. Это — уловка, совершенно аналогичная той, о которой я говорил

в конце параграфа, посвященного моим размышлениям о принципе инерции.

Однако в конечном счете указанные трудности имеют искусственный характер. Все, что необходимо, — это то, чтобы будущие показания наших инструментов определялись только теми показаниями, которые они нам дали или могли дать прежде. Но в этом отношении мы можем быть спокойны.

Глава VIII

ЭНЕРГИЯ И ТЕРМОДИНАМИКА

Энергетическая система. Трудности, возникшие в классической механике, побудили некоторые умы отдать предпочтение новой системе — так называемой *энергетике*. Энергетическая система получила свое начало вслед за открытием принципа сохранения энергии. Окончательная форма была ей дана Гельмгольцем.

Начнём с определения двух величин, которые играют фундаментальную роль в этой теории. Это следующие величины: во-первых, *кинетическая энергия*, или живая сила; во-вторых, *потенциальная энергия*.

Все перемены, какие могут происходить с телами природы, управляются двумя экспериментальными законами:

1) Сумма кинетической энергии и потенциальной энергии не меняется. Это — принцип сохранения энергии.

2) Если система тел в момент t_0 имеет конфигурацию A , а в момент t_1 — конфигурацию B , то переход от первой конфигурации ко второй всегда совершается таким путем, что *среднее* значение разности между двумя видами энергии за промежутки времени от t_0 до t_1 является величиной, самой малой из всех возможных. Это — принцип Гамильтона, представляющий одну из форм принципа наименьшего действия.

Энергетическая теория сравнительно с классической имеет следующие преимущества:

1) она является более полной, т. е. принцип сохранения энергии и принцип Гамильтона сообщают