

Часть III

СИЛА

Глава VI

КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Англичане преподают механику как науку экспериментальную; на континенте же ее всегда излагают как науку более или менее дедуктивную и априорную. Бесспорно, правы англичане; но как же оказалось возможным так долго держаться другого способа изложения? Почему ученые на континенте, старавшиеся избежать привычек своих предшественников, чаще всего оказывались не в состоянии полностью от них освободиться?

С другой стороны, если принципы механики не имеют иного источника, кроме опыта, не являются ли они в силу этого только приближенными и временными? Не могут ли новые опыты когда-нибудь заставить нас видоизменить эти принципы или даже совсем отказаться от них?

Трудность решения этих естественно возникающих вопросов происходит главным образом от того, что руководства по механике не вполне ясно различают, где опыт, где математическое суждение, где условное соглашение, где гипотеза.

Это еще не все:

1) Абсолютного пространства не существует; мы познаем только относительные движения; между тем механические факты чаще всего излагают так, как если бы существовало абсолютное пространство, к которому их можно было бы отнести.

2) Не существует абсолютного времени; утверждение, что два промежутка времени равны, само по себе не имеет смысла и можно принять его только *условно*.

3) Мы не способны к непосредственному восприятию не только равенства двух промежутков времени,

но даже простого факта одновременности двух событий, происходящих в различных местах; я разъяснил это в статье, озаглавленной «La mesure du temps»¹⁾.

4) Наконец, наша евклидова геометрия есть лишь род условного языка; мы могли бы изложить факты механики, относя их к неевклидову пространству, которое было бы основой, менее удобной, но столь же законной, как и наше обычное пространство; изложение слишком осложнилось бы, но осталось бы возможным.

Таким образом, абсолютное пространство, абсолютное время, даже сама геометрия не имеют характера вещей, обуславливающих собой механику; они так же мало предваряют существование механики, как мало французский язык логически предваряет существование истин, выражаемых по-французски.

Можно было бы попытаться изложить основные законы механики на языке, независимом от всех этих соглашений; тогда, без сомнения, можно было бы лучше отдать себе отчет в том, что представляют эти законы сами по себе; как раз это и попытался сделать (по крайней мере отчасти) Андрад в своих «Leçons de Mécanique physique».

Формулировка этих законов оказалась бы, конечно, гораздо более сложной, потому что все указанные выше соглашения и созданы именно для того, чтобы сократить и упростить эту формулировку.

Здесь я оставляю в стороне все эти трудности, за исключением вопроса об абсолютном пространстве. Я далек от мысли пренебрегать ими; но мы достаточно разобрали их в двух первых частях.

Итак, я допущу временно абсолютное время и евклидову геометрию.

Принцип инерции. Тело, на которое не действует никакая сила, может двигаться только прямолинейно и равномерно.

Есть ли это истина, присущая à priori нашему разуму? Если бы это было так, то как же не знали ее

¹⁾ Revue de Métaphysique et de Morale.—Janvier, 1898.—Т. 6.—Р. 1—13. Статья вошла в виде второй главы книги «Ценность науки», см. наст. изд., с. 218. Ранее перевод ее публиковался: Пуанкаре А. Избранные труды, т. III.—М.: Наука, 1974.—С. 419; Принцип относительности.—М.: Атомиздат, 1973.—С. 12.—Примеч. ред.

греки? Как могли они думать, что движение прекращается, как только перестает действовать вызвавшая его причина, или что всякое тело, не встречающее никаких препятствий со стороны, принимает круговое движение, как наиболее совершенное из всех движений?

Говорят, что скорость тела не может измениться, раз нет основания для ее изменения; но не можем ли мы с таким же правом утверждать, что не может измениться положение тела или кривизна его траектории, раз внешняя причина не вызывает их изменения?

Если принцип инерции не принадлежит к числу априорных истин, то не значит ли это, что мы имеем в нем экспериментальный факт? Но разве когда-нибудь экспериментировали над телами, на которые не действовала никакая сила? И как можно было бы получить уверенность, что на эти тела не действует никакая сила? Обыкновенно ссылаются на пример бильярдного шара, очень долгое время катящегося по мраморному столу; но на каком основании мы говорим, что на него не действует никакая сила? Не на том ли, что он слишком удален от всех других тел, чтобы испытывать от них сколько-нибудь заметное действие? Однако он не дальше от земли, чем в том случае, если бы был свободно брошен в воздухе; а всякий знает, что в таком случае он подвергся бы влиянию тяжести, обусловленному земным притяжением.

Преподаватели механики обычно быстро излагают пример с шаром; но они прибавляют, что принцип инерции проверяется косвенно в своих следствиях. Это — неправильное выражение; очевидно, они хотят сказать, что можно проверить различные следствия более общего принципа, по отношению к которому принцип инерции является только частным случаем.

Этот общий принцип я предложу сформулировать так:

Ускорение тела зависит только от положения этого тела и соседних тел и от их скоростей. Математик сказал бы, что движения всех материальных частиц Вселенной определяются дифференциальными уравнениями второго порядка.

Чтобы уяснить, что здесь мы имеем дело с естественным обобщением закона инерции, я позволю себе

привести один воображаемый случай. Выше я указывал, что закон инерции не присущ нам à priori; другие законы были бы столь же хорошо, как и он, совместимы с принципом достаточного основания. Когда на тело не действует никакая сила, то мы могли бы вообразить, что неизменным является не скорость его, а его положение или его ускорение.

Итак, представим себе на минуту, что один из этих двух гипотетических законов есть закон природы и заступает место нашего закона инерции. Каково было бы его естественное обобщение? Поразмыслив минуту, мы это уясним.

В первом случае пришлось бы допустить, что скорость тела зависит только от его положения и от положения соседних тел; во втором — что изменение ускорения тела зависит только от положения этого тела и соседних тел, от их скоростей и от их ускорений.

Или, говоря математическим языком, дифференциальные уравнения движения были бы в первом случае первого порядка, во втором — третьего.

Видоизменим несколько наш воображаемый пример. Представим себе мир, аналогичный нашей Солнечной системе, лишь с тем отличием, что здесь все орбиты планет благодаря чистой случайности не имеют эксцентриситетов и наклонов. Представим себе далее, что массы этих планет слишком ничтожны, чтобы их взаимные возмущения были ощутимы. Астрономы, населяющие одну из этих планет, не преминули бы заключить, что орбита светила может быть только круговой и параллельной определенной плоскости; тогда положения светила в данный момент было бы достаточно для определения его скорости и всей его траектории. Закон инерции, который они установили бы, был бы первый из двух гипотетических законов, о которых я только что говорил.

Вообразим теперь, что вдруг через эту систему проходит с огромной скоростью массивное тело, пришедшее из отдаленных созвездий. Все орбиты окажутся сильно возмущенными. Но это еще не очень смутило бы наших астрономов; они догадались бы, что это новое светило является единственным виновником всего зла. Стоит ему удалиться, — сказали бы они, — и порядок восстановится сам собой; конечно,

расстояния планет от Солнца уже не станут вновь такими же, какими они были до катастрофы, но когда не будет более возмущающего светила, орбиты снова станут круговыми. И только тогда, когда возмущающее тело было бы уже далеко, а орбиты, вместо того чтобы опять стать круговыми, превратились бы в эллиптические,— только тогда эти астрономы заметили бы свою ошибку и необходимость переделать всю свою механику.

Я несколько подробнее остановился на этих гипотезах, потому что, как мне думается, уяснить себе содержание нашего обобщенного закона инерции можно, только сопоставляя его с противоположным допущением.

Мы возвращаемся теперь к этому обобщенному закону инерции. Спрашивается, проверен ли он в настоящее время на опыте, и возможно ли это вообще? Когда Ньютон писал свои «Начала»¹⁾, он смотрел на эти истину как на выработанную и доказанную экспериментально. Таковой она была в его глазах не только благодаря антропоморфному представлению, о котором речь будет дальше, но благодаря трудам Галилея; она была таковой и в силу законов Кеплера; действительно, согласно этим законам траектория планеты полностью определяется ее начальными положением и скоростью; а это как раз то, чего требует наш обобщенный принцип инерции.

Чтобы этот принцип оказался истинным только по внешнему виду, чтобы можно было опасаться, что когда-нибудь он будет заменен одним из принципов, которые я сейчас противопоставлял ему, пришлось бы допустить, что мы введены в заблуждение какой-нибудь удивительной случайностью вроде той, которая в развитом мною выше примере ввела в заблуждение наших воображаемых астрономов.

Подобная гипотеза слишком неправдоподобна, чтобы на ней останавливаться. Никто не поверит в возможность таких случайностей. Конечно, вероятность того, чтобы два эксцентриситета были как раз

¹⁾ Newton I. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1686. Русский перевод: Ньютон И. Математические начала натуральной философии/Пер. А. Н. Крылова//Собрание трудов академика А. Н. Крылова, т. VII. — М.; Л.: Изд. АН СССР, 1936. — *Примеч. ред.*

равны нулю (в пределах погрешностей наблюдения), не меньше, чем вероятность того, чтобы один был равен, например, 0,1, а другой 0,2 (тоже в пределах погрешностей наблюдения). Вероятность простого события не меньше вероятности сложного; и тем не менее, когда такое простое событие наступает, мы не согласимся приписать его случайности; мы не захотим верить, что природа умышленно ввела нас в заблуждение. Устраняя гипотезу о возможности заблуждений такого рода, мы можем признать, что, поскольку дело касается астрономии, наш закон был проверен на опыте.

Но астрономия еще не составляет всей физики. Не можем ли мы опасаться, что какой-нибудь новый опыт когда-нибудь обнаружит несостоятельность закона в том или другом отделе физики? Экспериментальный закон всегда подвержен пересмотру; мы всегда должны быть готовы к тому, что он может быть заменен другим законом, более точным.

Однако никто не выражает серьезных опасений, что закон, о котором идет речь, когда-нибудь придется отклонить или исправить. Почему же? Именно потому, что его никогда нельзя будет подвергнуть решающему испытанию.

Прежде всего, для полноты такого испытания было бы необходимо, чтобы по истечении известного времени все тела Вселенной вернулись вновь к своим начальным положениям и к своим начальным скоростям. Тогда мы увидели бы, примут ли они с этого момента вновь те траектории, по которым они уже следовали один раз.

Но такое испытание невозможно: его можно осуществить только в отдельных частях и при этом всегда будут тела, которые не вернуться к своему начальному положению; таким образом, всякое нарушение этого закона легко найдет себе объяснение.

Но это не все: в астрономии мы *видим* тела, движения которых изучаем, и мы в большинстве случаев допускаем, что они не подвержены действию других тел, которых мы не видим. Таковы те условия, в которых проверяется наш закон.

В физике дело обстоит не совсем так: если в основе физических явлений и лежит движение, то это — движение молекул, которых мы не видим. В таком

случае, если ускорение одного из видимых тел представится нам зависящим от *чего-то иного*, кроме положений или скоростей других видимых тел или невидимых молекул, существование которых мы должны были допустить раньше, то ничто не помешает нам допустить, что это *что-то иное* есть положение или скорость других молекул, присутствия коих мы до сих пор не подозревали. Закон окажется спасенным.

Я позволю себе на минуту воспользоваться математическим языком, чтобы выразить ту же мысль в иной форме. Я допускаю, что мы наблюдаем n молекул и констатируем, что их $3n$ координат удовлетворяют системе $3n$ дифференциальных уравнений четвертого порядка (не второго, как того требовал бы закон инерции). Мы знаем, что, вводя $3n$ вспомогательных переменных, мы можем свести систему $3n$ уравнений четвертого порядка к системе $6n$ уравнений второго порядка. Тогда стоит допустить, что эти $3n$ вспомогательных переменных представляют координаты n невидимых молекул, и результат снова окажется в согласии с законом инерции.

Итак, этот закон, проверенный экспериментально в некоторых частных случаях, может быть без опасения распространен на самые общие случаи, так как мы знаем, что в этих общих случаях опыт уже не может ни подтвердить его, ни быть с ним в противоречии.

Закон ускорения. Ускорение тела равно действующей на него силе, деленной на его массу.

Можно ли проверить на опыте этот закон? Для этого нужно было бы измерить три величины, входящие в его выражение: ускорение, силу и массу.

Отвлекаясь от трудности, связанной с измерением времени, допустим, что возможно измерить ускорение. Но как измерить силу или массу? Мы не знаем даже, что это такое.

Что такое *масса*? Это, отвечает Ньютон, произведение объема на плотность. Лучше сказать, возражают Томсон и Тэт, что плотность есть частное от деления массы на объем. Что такое *сила*? Это, отвечает Лагранж, причина, производящая или стремящаяся произвести движение тела. Это, скажет Кирхгоф, произведение массы на *ускорение*. Но тогда почему не

сказать, что масса есть частное от деления силы на ускорение.

Эти трудности непреодолимы. Определяя силу как причину движения, мы становимся на почву метафизики, и если бы таким определением пришлось удовольствоваться, оно было бы абсолютно бесплодно. Чтобы определение могло быть к чему-нибудь пригодно, оно должно научить нас *измерению* силы; к тому же этого условия и достаточно; нет никакой необходимости, чтобы определение научило нас тому, что такое сила *сама по себе*, или тому, есть ли она причина или следствие движения.

Итак, прежде всего надо определить равенство двух сил. Когда говорят, что две силы равны? Тогда, отвечают нам, когда, будучи приложены к одной и той же массе, они сообщают ей одно и то же ускорение или когда, будучи прямо противоположно направлены, они взаимно уравниваются. Но это определение совершенно призрачно. Силу, приложенную к данному телу, нельзя отцепить от него и прицепить затем к другому телу вроде того, как отцепляют локомотив, чтобы сцепить его с другим поездом. Поэтому и нельзя знать, какое ускорение данная сила, приложенная к данному телу, сообщила бы другому телу, *если бы была* к нему приложена. Нельзя также знать, каково было бы действие двух сил, не прямо противоположных, в том случае, *если бы* они были прямо противоположны.

Это именно определение и стараются, так сказать, материализовать, когда измеряют силу динамометром или уравнивают ее грузом. Две силы F и F' , которые я для простоты предположу вертикальными и направленными снизу вверх, приложены соответственно к двум телам C и C' ; я подвешиваю одно и то же тело веса P сначала к телу C , потом к C' ; если в обоих случаях имеет место равновесие, то я заключаю, что две силы F и F' , будучи обе равны весу P , равны между собою.

Но уверен ли я, что тело P сохранило тот же вес, когда я перенес его от первого тела ко второму? Во все нет, *я уверен как раз в противном*; я знаю, что напряжение силы тяжести меняется при переходе от одной точки к другой и что оно, например, больше на полюсе, чем на экваторе. Бесспорно, эта разница

ничтожна, и на практике я не стал бы принимать ее в расчет; но правильное определение должно обладать математической точностью, а этой точности здесь нет. Сказанное относительно тяжести, очевидно, применимо и к упругой силе динамометра, которая может меняться в зависимости от температуры и от многих других обстоятельств.

Это не все: нельзя сказать, что вес тела P приложен к телу C и прямо уравнивает силу F . То, что приложено к телу C , есть действие A тела P на тело C ; тело P в свою очередь находится под действием, с одной стороны, своего собственного веса, с другой — противодействия R тела C на тело P . В результате сила F равна силе A , потому что уравнивает ее; сила A равна R в силу принципа равенства действия противодействию; наконец, сила R равна весу P , потому что его уравнивает. Уже как следствие этих трех равенств мы выводим равенство F и веса P .

Таким образом, при определении равенства двух сил нам приходится опираться на принцип равенства действия и противодействия; *значит, этот последний принцип мы должны считать уже не как экспериментальный закон, а как определение.*

Итак, устанавливая равенство двух сил, мы пользуемся двумя правилами: равенством двух взаимно уравнивающих сил и равенством действия противодействию. Но выше мы видели, что этих двух правил недостаточно; мы вынуждены прибегнуть к третьему правилу и допустить, что некоторые силы, как, например, вес тела, постоянны по величине и направлению. Но это третье правило, как я сказал, представляет собой экспериментальный закон и оно верно лишь приближенно; *опирающееся на него определение — плохое определение.*

Итак, нам приходится вернуться к определению Кирхгофа: *сила равна массе, умноженной на ускорение.* Теперь этот «закон Ньютона» выступает уже не как экспериментальный закон, а только как определение. Но это определение еще недостаточно, так как мы не знаем, что такое масса. Правда, он позволяет нам вычислить отношение двух сил, приложенных к одному и тому же телу в разные моменты, но он ничего не сообщает нам об отношении двух сил, приложенных к двум различным телам.

Для дополнения его придется снова прибегнуть к третьему закону Ньютона (равенство действия и противодействия), рассматривая последний опять-таки не как экспериментальный закон, а как определение. Два тела A и B действуют друг на друга; ускорение A , умноженное на массу A , равно действию B на A , таким же образом, произведение ускорения B на его массу равно противодействию A на B . И так как по определению действие равно противодействию, то массы A и B будут обратно пропорциональны ускорениям двух этих тел. Этим отношение наших двух масс определено, и дело опыта — проверить, что это отношение постоянно.

Все было бы хорошо, если бы два тела A и B были единственными, с которыми приходится считаться, и были изолированы от действия остального мира. Но этого нет; ускорение тела A зависит не только от действия тела B , но и от действия множества других тел: C , D и т. д. Поэтому, чтобы применить предыдущее правило, нужно было бы разложить ускорение тела A на несколько составляющих и выделить из них ту, которая обусловлена действием тела B .

Это разложение было бы еще возможно, если бы мы *допустили*, что действие C на A просто прикладывается к действию B на A , так что присутствие тела C не изменяет действия B на A и присутствие B не изменяет действия C на A ; следовательно, если бы мы допустили, что любые два тела притягиваются, что их взаимное действие направлено по соединяющей их прямой и зависит только от их расстояния, словом — если бы мы допустили *гипотезу центральных сил*.

Известно, что для определения масс небесных тел пользуются совершенно иным принципом. Закон тяготения учит нас, что притяжение двух тел пропорционально их массам; если r есть расстояние между ними, m и m' — их массы, K — некоторая постоянная, то притяжение их будет равно

$$\frac{Kmm'}{r^2}.$$

То, что измеряют в этом случае, не есть масса как отношение силы к ускорению — это есть масса притя-

гивающая; это — не инерция тела, а его притягательная способность.

Применение такого косвенного приема не является теоретически необходимым. Легко могло бы случиться, что притяжение было бы обратно пропорционально квадрату расстояния, не будучи пропорционально произведению масс; оно равнялось бы

$$\frac{f}{r^2},$$

но равенство

$$f = Kmm'$$

не имело бы места.

При таких условиях все-таки было бы возможно на основании наблюдений над *относительными* движениями небесных тел измерять их массы.

Но имеем ли мы право допускать гипотезу центральных сил? Верна ли она в точности? Можно ли быть уверенным, что она никогда не окажется в противоречии с опытом? Кто взял бы на себя смелость утверждать это? А ведь если нам придется оставить эту гипотезу, то рухнет и все здание, воздвигнутое с таким трудом. И тогда мы уже не имеем более права говорить о составляющей ускорения A , зависящей от действия B . Мы не имеем никакого средства отличить ее от той, которая обусловлена действием C или другого тела. Правило для измерения масс становится неприложимым.

Что же тогда остается от принципа равенства действия и противодействия? Если гипотеза центральных сил отброшена, то этот принцип, очевидно, должен быть сформулирован так: геометрическая равнодействующая всех сил, приложенных к различным телам системы, изолированной от всякого внешнего воздействия, равна нулю. Или, иными словами: *движение центра тяжести этой системы является прямолинейным и равномерным.*

Здесь-то, казалось бы, мы имеем средство определить массу: положение центра тяжести зависит, очевидно, от значений, какие мы припишем массам; надо распределить эти значения таким образом, чтобы движение центра тяжести было прямолинейно и равномерно; если третий закон Ньютона верен, это всегда возможно и может быть выполнено вообще только одним способом.

Однако дело в том, что не существует системы, которая была бы изолирована от всякого внешнего воздействия; все части Вселенной подвержены более или менее сильному воздействию со стороны всех других частей. *Закон движения центра тяжести строго верен только в применении ко всей Вселенной в целом.*

Но в таком случае, чтобы извлечь из него значения масс, нужно было бы наблюдать движение центра тяжести Вселенной. Нелепость этого следствия очевидна; мы знаем только относительные движения; движение центра тяжести Вселенной навсегда останется для нас неизвестным.

Итак, у нас не остается ничего, и все наши усилия были напрасны; нет иного выхода, как остановиться на следующем определении, которое является только признанием нашего бессилия: *массы суть коэффициенты, которые удобно ввести в вычисления.*

Мы могли бы перестроить всю механику, приписывая всем массам другие значения. Эта новая механика не была бы в противоречии ни с опытом, ни с общими принципами динамики (принципом инерции, пропорциональностью сил массам и ускорениям, равенством действия и противодействия, прямолинейным и равномерным движением центра тяжести, законом площадей). Только уравнения этой новой механики были бы *менее просты*. Говоря точнее, менее просты были бы только первые члены, т. е. те, которые нам уже открыл опыт. Быть может, удалось бы изменять массы в пределах малых величин так, чтобы простота *полных* уравнений ничего бы не теряла и не приобретала.

Герц задался вопросом, строго ли верны принципы динамики. «Многим физикам, — говорит он, — покажется немислимым, чтобы самый отдаленный опыт мог когда-нибудь что-нибудь изменить в незыблемых принципах механики; однако же то, что исходит из опыта, всегда может быть и поправлено опытом».

После того, что мы сейчас говорили, все эти опасения являются излишними. Принципы динамики выступали перед нами сначала как опытные истины; но мы вынуждены были пользоваться ими как определениями. Только *по определению* сила равна произведению массы на ускорение; вот принцип, который

отныне поставлен вне пределов досягаемости любого будущего опыта. Точно так же и действие равно противодействию только по определению. Но тогда, скажут, эти недоступные проверке принципы абсолютно лишены всякого значения; опыт не может им противоречить; но они не могут и научить нас ничему полезному; зачем же тогда изучать динамику?

Такой слишком поспешный приговор был бы несправедлив. Правда, в природе нет системы, *совершенно* изолированной, совершенно изъятой от всякого внешнего воздействия; но есть системы *почти* изолированные.

Наблюдая подобную систему, можно изучать не только относительное движение ее различных частей — одних по сравнению с другими, — но и движение ее центра тяжести относительно других частей Вселенной. Тогда мы убеждаемся, что движение этого центра тяжести *почти* прямолинейно и равномерно сообразно с третьим законом Ньютона.

Это — опытная истина; но она не может быть поколеблена опытом. В самом деле, что мог бы открыть нам более точный опыт? Он открыл бы, что закон только приближенно верен; но это мы уже знаем.

Теперь выясняется, каким образом опыт, с одной стороны, мог служить основанием для принципов механики, а с другой — никогда не будет в состоянии стать с ними в противоречие.

Антропоморфная механика. Кое-кто скажет: Кирхгоф только поддался общей склонности математиков к номинализму; талант, присущий ему как физику, не предохранил его от этого. Он сделал попытку дать определение силы и взял для этого первое попавшееся предложение; но в определении силы мы и не нуждаемся: идея силы есть понятие первичное, которое ни к чему не сводится и через что-либо не определяется, мы все знаем, что это такое, — мы имеем его в прямой интуиции. Эта прямая интуиция проистекает из понятия усилия (*de la notion d'effort*), хорошо знакомого нам с детства.

Но если бы даже эта прямая интуиция и открывала нам истинную природу силы самой по себе, она была бы недостаточна для обоснования механики; мало того, она была бы совсем бесполезна. Не важно знать, что такое сила, а важно знать, как ее измерить.

Все, что не научает нас измерять силу, так же бесполезно механику, как было бы, например, бесполезно субъективное понятие теплого и холодного для физика, изучающего теплоту. Это субъективное понятие не может быть переведено на язык чисел; значит, оно бесполезно: ученый, у которого кожа была бы абсолютно дурным проводником тепла и который, следовательно, никогда не испытывал бы ощущений ни холода, ни тепла, мог бы не хуже других наблюдать термометр, и этого ему было бы достаточно, чтобы построить всю теорию тепла.

Так и непосредственное понятие усилия не может служить нам для измерения силы; ясно, например, что, поднимая тяжесть в пятьдесят килограммов, я утомился бы сильнее, чем человек, привыкший тащить тяжести. Более того: это понятие усилия не открывает нам истинной природы силы; оно сводится в конце концов к воспоминанию мускульных ощущений; но никто не стал бы утверждать, что Солнце испытывает мускульное ощущение, притягивая Землю.

Все, что можно найти в нем, есть символ, менее точный и менее удобный, чем стрелки, которыми пользуются геометры, но столь же далекий от действительности.

Антропоморфизм сыграл важную историческую роль в происхождении механики; быть может, он доставит иной раз символ, который покажется некоторым умам удобным; но он не может обосновать ничего, что имело бы истинно научный или истинно философский характер.

«Школа нити». Андрад в своих «Лекциях по физической механике» возродил антропоморфную механику. Школе механиков, к которой принадлежит Кирхгоф, он противопоставляет ту, которую он довольно своеобразно называет школой нити.

Эта школа стремится свести все к «рассмотрению некоторых материальных систем с ничтожно малой массой, находящихся в состоянии напряжения и способных передавать значительные силы отдаленным телам, — систем, идеальным типом которых является *нить*».

Нить, передающая какую-нибудь силу, под действием ее слегка удлиняется; направление нити ука-

зывает нам направление силы, а величина последней измеряется удлинением нити.

Поэтому можно предпринять, например, такой опыт. Тело A прикреплено к нити; к другому ее концу прилагают силу, величину которой изменяют до тех пор, пока нить не получит удлинения α ; замечают ускорение тела A ; затем отвязывают A и прикрепляют тело B ; снова прилагают ту же или другую силу и изменяют ее до тех пор, пока нить снова получит удлинение α ; замечают ускорение тела B . Затем опыт повторяют как с телом A , так и с телом B , но уже таким образом, чтобы нить получала удлинение β . Четыре отмеченных ускорения должны быть пропорциональными. Таким образом получается опытная проверка сформулированного выше закона ускорения.

Далее подвергают тело совместному действию нескольких тождественных нитей, равно натянутых, и исследуют на опыте, как должны быть расположены все эти нити, чтобы тело оставалось в равновесии. Получается опытная проверка правила сложения сил.

Однако чего же мы достигли в конце концов? Мы определили силу, приложенную к нити, деформацией, испытываемой этой нитью, — это довольно основательно; мы допустили затем, что если тело привязано к нити, то сила, передаваемая ему этой нитью, равна действию, которое это тело оказывает на нить; в конце концов мы воспользовались принципом равенства действия противодействию, рассматривая его не как опытную истину, но как само определение силы.

Это определение совершенно так же условно, как и определение Кирхгофа, но оно гораздо менее общо. Не все силы могут быть передаваемы при помощи нитей (к тому же для возможности сравнивать их необходимо было бы, чтобы все они передавались совершенно одинаковыми нитями). Если бы даже допустить, что Земля привязана к Солнцу какой-нибудь невидимой нитью, то по меньшей мере надо согласиться с тем, что мы не имеем никакого средства измерить ее удлинение.

Следовательно, в девяти случаях из десяти наше определение было бы недостаточно; ему нельзя было бы придать никакого смысла и пришлось бы вернуться к определению Кирхгофа.

Но тогда к чему же весь этот окольный путь? Вы допускаете известное определение силы, которое имеет смысл только в некоторых частных случаях. В этих случаях вы убеждаетесь при помощи опыта, что оно приводит к закону ускорения. Опираясь на этот опыт, вы принимаете затем закон ускорения за определение силы во всех других случаях.

Не проще ли было бы смотреть на закон ускорения как на определение во всех случаях и рассматривать перечисленные опыты не как подтверждение этого закона, а как проверку принципа противодействия или как доказательство того, что деформации упругого тела зависят только от сил, действующих на это тело? Мы не говорим уже о том, что условия, в которых ваше определение могло бы быть принято, никогда не выполняются в совершенстве — что нить никогда не бывает лишена массы, что она никогда не бывает изолирована от действия других сил, кроме противодействия тел, привязанных к ее концам.

Тем не менее идеи Андрада очень интересны; хотя они не удовлетворяют нашей логической потребности, зато они позволяют лучше понять историческое происхождение основных механических понятий. Размышления, которые они вызывают у нас, показывают нам, как человеческий ум поднимался от наивного антропоморфизма к современным научным идеям.

В точке отправления мы видим опыт, имеющий весьма частное значение и вообще довольно грубый; в конечной точке имеем совершенно точный закон, достоверность коего мы принимаем за абсолютную. Этой достоверностью наделили его мы сами, — так сказать, по доброй воле, — рассматривая его как результат соглашения.

Значит, закон ускорения, правило сложения сил — только произвольные соглашения? Да, это соглашения, но не произвольные. Они были бы произвольными, если бы мы потеряли из виду те опыты, которые привели основателей науки к их принятию и которые, как бы несовершенны они ни были, достаточны для их оправдания. Хорошо, если время от времени наше внимание бывает обращено на опытное происхождение этих соглашений.