

Притяжение

Ежедневное наблюдение показывает, что различные части материальной системы влияют одна на движение другой. В некоторых случаях нам не удастся открыть никакой материальной связи, которая простиралась бы от одного тела к другому. Эти случаи мы называем действием на расстоянии, в отличие от тех случаев, где мы можем проследить существование между телами непрерывной материальной связи. Взаимное действие между телами называется напряжением. Когда взаимное действие стремится сблизить тела или помешать им отделиться друг от друга, оно называется натяжением или притяжением. Когда оно стремится отделить одно тело от другого или помешать их сближению, оно называется давлением или отталкиванием. Названия «натяжение» и «давление» употребляются, когда действие видимо совершается чрез некоторую среду. Названия «притяжение» и «отталкивание» применяются в случаях действия на расстоянии. Конфигурацию материальной системы всегда можно определить посредством взаимных расстояний частей системы. Всякое изменение конфигурации должно изменить одно или несколько из этих расстояний. Таким образом, сила, производящая подобное изменение или ему противодействующая, может быть разложена на притяжение или отталкивание между теми частями системы, расстояния между которыми изменилось.

Существует множество гипотез о причине таких сил, причем предполагается, что одна из них — давление между соприкасающимися телами — гораздо более понятна, нежели всякого рода иные напряжения. Поэтому сделано было немало попыток сведення случаев кажущегося притяжения и отталкивания на расстоянии к случаю давления. Одно время предполагалось, что возможность притяжения на расстоянии опровергается утверждением, что тело не может действовать там, где его нет, и что, следовательно, всякое действие между различными частями материи должно происходить посредством прямого прикосновения. На это возражали, что у нас нет никаких свидетельств, чтобы между двумя телами всегда имело место действительное соприкосновение и что на деле, когда тела давят друг на друга и, по-видимому, соприкасаются, мы можем иногда действительно измерить отделяющее их расстояние, как, например, в случае, когда один кусок стекла лежит на другом и когда нужно приложить значительное давление, чтобы поверхности их сблизить настолько, чтобы появилось черное пятно в ньютоновых кольцах, указывающее на то, что расстояние достигает почти одной десяти тысячной миллиметра. Если, желая освободиться от идеи действия на расстоянии, мы вообразим себе материальную среду, через которую действие передается, то все, что мы при этом делаем, есть не более как замена одного действия на большом расстоянии рядом действий на меньших расстояниях между частями среды, так что и таким путем мы не можем освободиться от действия на расстоянии.

В последнее время изучение взаимного действия между частями материальной системы было значительно упрощено введением понятия энергии системы. Энергия системы измеряется количеством работы, которую она может совершить, преодолевая внешние сопротивления. Эта энергия зависит от конфигурации в данный момент и от движения системы, а не от того способа, каким система приобрела данную конфигурацию и движение. Если мы вполне знаем, каким образом энергия системы зависит от ее конфигурации и движения, то этого достаточно для определения всех сил, действующих между частями системы. Например, если система состоит из двух тел и если энергия зависит от расстояния между ними, то если при увеличении расстояния энергия увеличивается, то между телами должно существовать притяжение, а если



Д. К. Максвелл

при увеличении расстояния энергия уменьшается, то между ними должно быть отталкивание. В случае двух тяготеющих масс m и m' , находящихся на расстоянии r , часть энергии, зависящая от r , есть $-\frac{mm'}{r}$. Тот факт, что между обоими телами существует притяжение, мы можем выразить, сказав, что энергия системы, состоящей из двух тел, увеличивается, когда их расстояние увеличивается. Следовательно, вопрос, почему два тела притягивают друг друга, можно выразить другим способом. Почему энергия системы увеличивается, когда расстояние увеличивается?

Но мы должны помнить, что научное или научно-плодотворное значение усилий, которые были сделаны, чтобы ответить на эти старые вопросы, должно измерять не надеждой получить окончательное решение, а тем, что они побуждают людей к тщательному изучению природы. Всякая постановка научных вопросов предполагает наличие научных познаний, и вопросы, которые занимают человеческий ум при современном состоянии науки, весьма вероятно, могут оказаться такими, что несколько большее развитие науки покажет нам, что ответ вообще невозможен. Научное значение вопроса, как действуют тела друг

на друга на расстоянии, нужно искать в стимуле, который этим вопросом был сообщен исследованиям о свойствах промежуточной среды.

Ньютон в своих «Principia» из наблюдаемых движений небесных тел выводит факт, что они притягивают друг друга по определенному закону. Он дает его как результат строго динамических умозаключений и при посредстве их показывает, каким образом не только более простые явления, но и все кажущиеся неправильности небесных движений могут быть предвычислены как следствия единого принципа. В своих «Principia» он ограничивается доказательством и развитием этого великого шага в науке о взаимодействии тел. Он ничего не говорит о том, почему именно тела тяготеют друг к другу. Но его ум на этом не успокаивается. Мы знаем, что он не верил в непосредственное действие тел на расстоянии.

«Непонятно, каким образом неодушевленная косная материя, без посредства чего-либо, что нематериально, могла бы действовать на другую материю без взаимного прикосновения, как это должно бы было иметь место, если бы тяготение в смысле Эпикура было присуще материи и с ней нераздельно... Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать с другим на расстоянии, через пустоту, без участия чего-то постороннего, при посредстве чего и через что их действие и сила могут быть передаваемы от одного к другому — это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому прийти». (Письмо к Бенгли). И мы знаем также, что он думал найти механизм тяготения в свойствах эфирной среды, наполняющей всю Вселенную.

«Из его писем к Бойлю явствует, что таково было его давнишнее мнение, и если он не обнаружил его раньше, то это произошло только вследствие того, что, как он надеялся, ему не удавалось из опыта и наблюдений дать удовлетворительных сведений об этой среде и о том, каким образом она действует, производя основные явления природы». *

* Сообщение Маклорена об открытиях сэра Исаака Ньютона.

В самом деле, в своих «Optical Queris» он показывает, что если давление этой среды меньше вблизи плотных тел, нежели на больших от них расстояниях, то эти плотные тела будут притягиваться друг к другу, и что если уменьшение давления обратно пропорционально расстоянию от плотного тела, то закон будет законом тяготения. Ближайший шаг, как он указывает, должен объяснить это неравенство давления в среде; и так как ему не удавалось сделать этого, то задачу объяснения причины тяготения он завещал следующему поколению. Что касается тяготения, то в решении этой задачи со времен Ньютона не сделано почти никаких успехов. Фарадей показал, что передача электрической и магнитной силы сопровождается явлениями, происходящими в каждой части промежуточной среды. Он проследил ход силовых линий в среде, и он приписал им стремление укорачиваться и отделяться от соседних с ними линий, вводя, таким образом, идею о напряжении в среде в иной форме, нежели предполагал Ньютон; ибо в то время как ньютоновское напряжение было гидростатическим давлением по всем направлениям, фарадеевское напряжение есть натяжение вдоль силовых линий, соединенное с давлением во всех направлениях, нормальных к ним. Показав, что плоскость поляризации светового луча, проходящего через прозрачную среду в направлении магнитной силы, испытывает вращение, Фарадей не только доказал действие магнетизма на свет, но, воспользовавшись светом для обнаружения состояния намагничивания среды, он, по его собственному выражению, «осветил линии магнитной силы».

Впоследствии Томсон, основываясь на этом явлении, чисто динамическим рассуждением доказал, что передача магнитной силы сопровождается вращательным движением малых участков среды. В то же время он показал, каким образом центробежная сила, производимая этим движением, может объяснить магнитное притяжение.

Подобного рода теория с большими подробностями разработана в «Трактате об электричестве и магнетизме» Клерка Максвелла. Там показано, что если допустить, что среда находится в состоянии напряжения, состоящего из натяжений вдоль силовых линий и из давлений во всех направлениях, перпендикулярных к силовым линиям, причем натяжение и давление равны по числовой величине и пропорциональны квадрату силы поля в данной точке, то

это дает полный отчет о наблюдаемых электростатических и электромагнитных действиях.

Ближайший шаг состоит в том, чтобы объяснить это состояние напряжения в среде. В случае электромагнитной силы мы воспользовались способом рассуждения Томсона, примененным им для объяснения указанного выше открытия Фарадея. Мы допускаем, что малые участки среды вращаются вокруг осей, параллельных силовым линиям. Центробежная сила, вызываемая этим вращением, производит избыток давления, перпендикулярного к силовым линиям. Объяснение электростатического напряжения менее удовлетворительно, но не может быть сомнения в том, что теперь открыт путь, посредством которого мы можем приписать воздействию среды все силы, которые, подобно электрическим и магнитным силам, изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния и являются силами притягательными между телами разноименными и отталкивательными между телами одноименными.

Сила тяготения также обратно пропорциональна квадрату расстояния, но она отличается от электрического и магнитного взаимодействий тем, что тела, между которыми она действует, нельзя разделить на два противоположные рода, один — положительный, другой — отрицательный. В отношении тяготения они все одного рода, и сила, с которой они действуют друг на друга, всегда притягательная. Чтобы объяснить такую силу посредством напряжения в промежуточной среде способом, принятым для электрического и магнитного взаимодействий, мы должны допустить существование напряжения противоположного рода, по сравнению с тем, о чем шла речь выше. Мы должны предположить существование давления в направлении силовых линий, соединенного с натяжением во всех направлениях, лежащих под прямым углом к силовым линиям. Такое состояние напряжения объяснило бы наблюдателю эффект тяготения. Однако до сих пор нам не удалось придумать никакой физической причины для такого состояния напряжения. Легко вычислить, какое напряжение потребовалось бы, чтобы объяснить действительные действия тяжести на поверхности Земли. Потребовалось бы давление в 37 000 тонн на кв. дюйм в вертикальном направлении, соединенное с натяжением такой же численной величины во всех горизонтальных направ-

лениях. Следовательно, состояние напряжения, существующее, как мы должны предположить, в невидимой среде, в 3000 раз больше напряжения, какое может выдержать самая прочная сталь.

Другая теория механизма тяготения, теория Лесажа, объясняющая его ударами «внемировых корпускул», была уже разобрана в статье «Атом».

Сэр Вильям Томсон * показал, что если предположить, что все пространство наполнено однообразной несжимаемой жидкостью, если, далее, предположить, что либо материальные тела всегда производят и испускают эту жидкость с постоянной скоростью, причем жидкость течет в бесконечность, либо что материальные тела всегда поглощают и уничтожают жидкость, причем недостающее количество пополняется притоком из бесконечного пространства, то в том и другом случаях имело бы место притяжение между всякими двумя телами, обратно пропорциональное квадрату расстояния. Напротив, если бы одно из тел испускало жидкости, а другое поглощало, то тела отталкивали бы друг друга.

Здесь, следовательно, мы имеем многообещающую гидродинамическую иллюстрацию действия на расстоянии, так как она позволяет показать нам, как тела одного и того же рода могут притягивать друг друга. Но эта концепция жидкости, постоянно вытекающей из тела без всякого пополнения откуда-либо извне или втекающей без всякого пути для выхода ее из тела, так противоречит всему нашему опыту, что гипотезу, существенной частью которой она является, нельзя назвать *объяснением* явления тяготения.

Роберт Гук, человек, одаренный необычайной изобретательностью, пытался в 1671 г. приписать причину тяготения волнам, распространяющимся в некоторой среде. Он нашел, что тела, плавающие на воде, приводимые в движение волнами, притягивались к центру возмущения **. Однако, кажется, он не исследовал этого наблюдения в такой мере, чтобы вполне определить действие волн на погруженное тело.

Профессор Чэллис исследовал математическую теорию действия волн сгущения и разрежения в упругой жидкости на погруженные в нее тела. Но трудности

исследования были так велики, что он не мог прийти ни к каким числовым результатам. Однако он приходит к заключению, что действием таких волн было бы притяжение тела к центру возмущения либо отталкивание его от этого центра, смотря по тому, будет ли длина волны весьма велика или она будет весьма мала сравнительно с размерами тела. Иллюстрации на практике действия таких волн были даны Гюйо, Шельбахом, Гютри и Томсоном *.

Приводят в колебание камертон и подносят к свободно подвешенному легкому телу. Тело тотчас же притягивается к камертону. Если подвесить сам камертон, то он, видимо, притягивается ко всякому соседнему телу.

Сэр В. Томсон показал, что это действие во всех случаях можно объяснить общим принципом, что в движущейся жидкости среднее давление имеет наименьшую величину там, где средняя энергия движения всего больше. Но волновое движение больше всего вблизи камертона, следовательно, давление здесь всего меньше; и так как давления на привешенное тело с противоположных сторон не равны, то оно и движется оттуда, где давление наибольшее, в сторону наименьшего давления, т. е. к камертону. Ему удалось также воспроизвести отталкивание в случае малого тела, которое легче окружающей среды.

Замечательно, что из трех гипотез, приводящих некоторым образом к физическому объяснению тяготения, каждая вводит постоянную затрату работы. Что так именно обстоит дело в случае лесажевской гипотезы внемировых корпускул, мы показали в статье «Атом». Гипотеза испускания или поглощения жидкости требует не только постоянной затраты работы на испускание жидкости под давлением, но и действительного сотворения и разрушения вещества. Гипотеза волн требует некоторого агента в отдаленных частях Вселенной, способного производить волны. Согласно подобным гипотезам, мы должны смотреть на процессы природы не как на иллюстрации великого принципа сохранения энергии, но как на примеры, в которых путем соответствующим образом подобранных мощных агентов, не подчиненных этому принципу, поддерживается кажущееся сохранение энергии. Отсюда мы вынуждены заключить, что объяснения причины тяготения нельзя найти ни в одной из этих гипотез.

* «Proceedings of the Royal Society of Edinburgh», 7 Febr., 1870.

** Posthumous Works, edited by R. Waller, p. XIV and 184.

* «Philosophical Magazine», June, 1871.