



Р. Майер

1814—1878

О сохранении и превращении энергии

Открытие закона сохранения и превращения энергии, одно из величайших, по мнению Ф. Энгельса, достижений науки XIX в., явилось естественным следствием развития всех областей физики. Важную роль в истории этого открытия сыграли и запросы практики: в условиях все расширяющегося машинного производства особенно остро встал вопрос об эффективности различных машин и механизмов. Закономерность установления закона сохранения энергии подтверждается тем, что три исследователя: Р. Майер, Дж. Джоуль и Г. Гельмгольц — независимо друг от друга почти одновременно пришли к сходным выводам. Хронологически первыми были публикации немецкого врача и естествоиспытателя Р. Майера.

Юлиус Роберт Майер родился в Хейльбронне 25 ноября 1814 г. в семье аптекаря. Высшее медицинское образование он получил в Тюбингенском университете, который окончил в 1838 г. Решающее значение в научной карьере Майера имело его участие в качестве судебного врача в плавании на голландском судне на остров Яву в 1840—1841 гг., во время которого и были сделаны первые наблюдения, приведшие Майера к открытию закона сохранения энергии.

К идее превращения и сохранения различных форм энергии Майер пришел в 1841 г. Тогда же он отослал в редакцию журнала «Annalen der Physik» свою первую научную статью под названием «О количественном и качественном определении сил». Уже в этой статье можно найти общую формулировку закона: «Движение, теплота и, как мы намерены показать в дальнейшем, элетричество представляют собой явления, которые могут быть сведены к одной силе [надо читать — энергии; Майер и в дальнейшем энергию обозначает термином «сила»], которые изменяются друг другом и переходят друг в друга по определенным законам». Однако в статье было много неясных мест и ошибочных утверждений, противоречащих ньютоновской механике, и, возможно, поэтому редакция не напечатала статью начинающего исследователя и даже не ответила ему.

Не дождавшись ответа, Майер вскоре пишет вторую статью, которая появилась в мае 1842 г. под названием «Замечания о силах неживой природы» в специальном химико-фармацевтическом журнале «Annalen der Chemie und Pharmacie», куда физики заглядывали редко, и это обстоятельство сыграло в дальнейшем определяющую роль в творческой судьбе ученого. Статья содержала не только отчетливую формулировку закона сохранения и превращения энергии, но и глубокий анализ экспериментальных фактов, полученных предшественниками Майера англичанами Б. Румфордом и Х. Дэви, а также самим Майером, доказавшим несостоятельность представления о теплоте как особой невесомой материи. Вместе с тем, увлекшись чисто феноменологическим (термодинамическим) подходом к проблеме, Майер даже не пытался объяснить природу теплоты, вследствие чего Майер вынужден был обосновывать свое открытие методом аналогии, ссылаясь на закон сохранения материи (массы) в химии. В статье выдвигается в качестве конкретной физической проблемы опытное определение механического эквивалента теплоты и предлагается идея такого эксперимента. (Подобный эксперимент поставил в 1847 г. Дж. Джоуль, не знавший о работе Майера.) В этой же статье Майер изложил результаты своих вычислений (подробные расчеты он приводит в письмах к друзьям), основанных на подсчете работы, совершаемой газом при изобарическом расширении, которая оказывается равной разности теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме. Позднее уравнение $C_p - C_v = R$ — одно из основных термодинамических соотношений — было названо уравнением Майера.

Статья Майера не привлекла внимания ученых. Интерес к закону сохранения энергии возник у физиков лишь после публикации работ Джоуля и Гельмгольца. В связи с этим Майеру пришлось отстаивать свой приоритет. Однако немецкое научное сообщество не поддержало его в этом. Майер подвергается травле и насмешкам в родном Хейльбронне; родные относятся к нему без уважения и открыто считают его маньяком. В 1850 г. ученый в порыве отчаяния делает попытку покончить с собой, выбросившись из окна своего дома. Через год родственники помещают его в дом для душевнобольных, хотя сам Майер не считал себя таковым. Выходит он из больницы в 1853 г. физически и морально сломленным и вплоть до 1862 г. остается в полной неизвестности; в Германии его даже считают умершим. Лишь постепенно работы Майера начинают получать признание. Однако это признание не может вернуть Майеру здоровье и силы. Р. Майер умер 20 марта 1878 г.

Целью следующих строк является попытка ответить на вопрос о том, что мы должны понимать под «силами»¹ и как таковые относятся между собой. В то время как обозначением «материя» предмету приписываются очень определенные свойства, например свойство тяжести или способность заполнения пространства, с названием силы связывается преимущественно понятие чего-то неизвестного, непостижимого, гипотетического. Попытка уразуметь понятие силы столь же точно, как и понятие материи, и тем обозначить только объекты действительного исследования не может не приветствоваться, вместе с вытекающими отсюда последствиями, друзьями ясного, свободного от гипотез мировоззрения².

Силы суть причины; следовательно, к ним имеет полное применение аксиома: *causa aequat effectum* (причина равна действию)³. Если причина *c* вызывает действие *e*, то $c=e$; если *e* является снова причиной некоторого другого действия *f*, то $e=f$ и т. д.: $c=e=f=\dots=c$. В цепи причин и действий не может когда-либо один член или часть какого-либо члена сделаться нулем, как это вытекает из природы уравнения. Это первое свойство всех причин мы называем их *неразрушимостью*.

Если данная причина *c* вызвала равное ей действие *e*, то как раз вместе с тем *c* перестало существовать; превратилось в *e*; если бы после произведения *e* с целиком или частью еще осталось существовать, то этой остаточной причине должно было бы соответствовать еще дальнейшее действие; действие *c* вообще было бы более *e*, что противоречит предположению, что $c=e$. Так как *c* переходит в *e*, а *e* — в *f* и т. д., то мы должны рассматривать эти величины как различные формы проявления одного и того же объекта. Способность принимать различные формы есть существенное свойство всех причин. Принимая во внимание оба свойства вместе, мы говорим: причины суть (количественно) *неразрушимые* и (качественно) *способные к превращениям* объекты.

В природе имеется два рода причин, между которыми эмпирически не существует никакого перехода. Одну группу образуют причины, которым присуще свойство весомости и непроницаемости — материи; другая группа — это причины, у которых это свойство отсутствует, — силы, называемые благодаря этому характеристическому свойству также невесомыми. Силы суть неразрушимые, способные к превращениям, невесомые объекты⁴.

Мы используем прежде всего в качестве примера причин и действий вещества. Гремучий газ $H+O$ и вода HO относятся друг к другу, как причина и действие; следовательно, $H+O=HO$ ⁵. Если из $H+O$ происходит HO , то кроме воды образуется еще теплота *cal*. Эта теплота также должна иметь некоторую

причину x . Следовательно, $H+O+x=HO+cal$. Теперь спрашивается, действительно ли $H+O=HO$ и $x=cal$, а не $H+O=cal$ и $x=HO$, что можно было бы заключить из приведенного выше уравнения. Приверженцы теории флогистона⁶ установили уравнение между cal и x , которое они называли флогистоном, и это был большой шаг вперед. Но они, в свою очередь, запутались в системе ошибок вследствие того, что вместо O поставили $-x$, т. е. примерно получили $H=HO+x$.

Химия, предметом которой является установление уравнений, выражающих существующую между веществами причинную связь, учит нас, что некоторому веществу как причине соответствует некоторое (другое) вещество в качестве действия. Но с равным основанием можно также сказать, что некоторой силе как причине соответствует некоторая (другая) сила как действие. Так как $c=e$ и $e=c$, то будет противоестественным называть в уравнении один член силой, другой — действием или явлением силы и связывать с выражениями «сила» и «явление» различные понятия. Следовательно, если причиной является вещество, то и в качестве действия получается такое же; если же причиной является некоторая сила, то в качестве действия будет также некоторая сила.

Причина, которая обуславливает поднятие груза, есть сила; ее действие, *поднятый* груз, есть, следовательно, также *некоторая сила*. Это значит: *пространственная разность весомых объектов есть сила*. Так как эта сила обуславливает падение тел, то мы ее называем силой падения⁷. Сила падения и падение, а еще общее — сила падения и движение суть силы, которые относятся между собой как причины и действие, которые переходят друг в друга и являются двумя различными формами проявления одного и того же объекта. Пример: покоящийся на земле груз не есть сила; он не является причиной ни движения, ни поднятия другого груза и делается силой лишь в той мере, в какой он оказывается поднятым над землей. Причина — расстояние груза от земли — и действие — произведенное количество движения — находятся, как известно в механике, в постоянном равенстве.

Рассматривая тяжесть как причину падения, говорят о силе тяготения и спутывают, таким образом, понятия силы и свойства⁸. Как раз то, что должно быть существенно присуще каждой силе, — единство неразрушимости и способности к превращениям — отсутствует у всякого свойства. Между свойством и силой, между тяжестью и движением не может быть поэтому установлено также и необходимое при правильно понимаемом причинном отношении уравнение. Если же называют тяжесть силой, то вместе с тем представляют себе причину, которая, не убывая сама по себе, производит действие, и тем самым питают неправильные представления о причинной связи вещей. Для того чтобы тело могло падать, его поднятие необходимо не менее, чем его тяжесть, поэтому не следует только одной последней приписывать падение тел.

Предметом механики является установление уравнений, имеющих место между силой падения и движением, движением и силой падения и между самими движениями. Мы напомним здесь лишь об одном пункте. Величина силы падения находится, принимая поперечник Земли равным бесконечности, в прямом отношении к массе m и к ее понятию $d: v = md^9$. Если поднятие $d=1$ массы m переходит в движение этой массы с конечной скоростью $c=1$, то $v=mc$, но из известных, имеющих место между d и c отношений получается для других значений d или c в качестве меры силы величина mc^2 ; следовательно¹⁰, $v = md = mc^2$. Мы получаем закон сохранения живых сил на основе общего закона неразрушимости причин.

Мы видим в бесконечном числе случаев, как исчезает движение без того, чтобы им было произведено другое движение или поднятие груза. Но имеющаяся однажды налицо сила не может превратиться в нуль, она может только перейти в другую форму. Спрашивается: какую дальнейшую форму способна принять сила, которую мы познали как силу падения или движения? Разъяснение этого нам может дать только опыт. Чтобы целесообразно экспериментировать, мы должны избрать инструменты, которые приводили бы к уничтожению движения и по возможности мало изменялись бы подлежащими исследованию объектами. Если, например, тереть две металлические пластинки одна о другую, то мы будем наблюдать, как исчезает движение и, наоборот, возникает тепло, и вопрос теперь может быть только о том, является ли *движение* причиной тепла. Чтобы удостовериться в этом, мы должны обсудить вопрос: не имеет ли движение в бесчисленном числе случаев, в которых при применении движения налицо оказывается тепло, другое действие, чем тепло, и тепло — другую причину, чем движение?

Еще никогда не был поставлен серьезно опыт обнаружения действия прекращающегося движения; не опровергая заранее возможные гипотезы, мы обратим внимание лишь на то, что это действие не может быть, как правило, отнесено на счет изменения агрегатного состояния движущихся, трущихся тел. Если мы примем, что некоторое количество движения v применяется для того, чтобы трущееся вещество m превратилось в n , то должно было бы быть $m+v=n$ и $n=m+v$ и при обратном переведении в m , v должно было бы обнаружиться в какой-либо форме. При посредстве очень долго продолжавшегося трения двух металлических пластинок мы можем заставить исчезнуть мало-помалу огромное количество движения. Но пришло ли бы нам на ум снова найти в собранной металлической пыли хотя бы след исчезнувшей силы и стремиться ее из таковой восстановить? Мы повторяем, движение не может превратиться в ничто, и противоположные или положительные и отрицательные движения могут считаться равными нулю столь же мало, как могут возникнуть из нуля противоположно направленные движения или груз может сам себя поднять.

Сколь мало можно дать себе какой-либо отчет об исчезающем движении без признания причинной связи между движением и теплом, столь же мало без такого признания может быть объяснено и происхождение тепла от трения. Последнее не может быть выведено из уменьшения объема трущихся тел. Можно, как известно, расплавить посредством трения друг о друга в безвоздушном пространстве два куска льда; теперь делают попытки превратить в воду лед посредством неслыханно большого давления. Вода испытывает (как нашел автор) после сильного встряхивания повышение температуры. Нагретая вода (12°C и 13°C) занимает после встряхивания больший объем, чем до такового. Откуда же теперь получается это количество теплоты, которое может быть произведено посредством встряхивания в том же самом аппарате? Вибрационная гипотеза теплоты склоняется в пользу положения, что тепло есть действие движения, но не оценивает этого причинного отношения в полном объеме и переносит центр тяжести на однообразные колебания.

Но если теперь установлено, что для исчезающего движения во многих случаях (а «*exseptio confirmat regulam*» — исключение подтверждает правило) не может быть найдено никакого другого действия, кроме тепла, а для возникшего тепла — никакой другой причины, кроме движения, то мы предпочитаем допущению существования причины без действия и действия без причины допущение, что тепло возникает из движения, подобно тому как химик вместо не критического допущения исчезновения Н и О и возникновения необъяснимым образом воды устанавливают связь между Н и О, с одной стороны, и водой — с другой.

Естественную связь, существующую между силой падения, движением и теплом, мы можем представить следующим образом. Мы знаем, что тепло обнаруживается, если сближаются отдельные части массы какого-либо тела, например сгущение производит тепло. То, что справедливо теперь для мельчайших частиц массы и для их мельчайших пространственных промежутков, должно ведь найти свое применение также и к большим массам и измеримым пространствам. Отпускание груза есть действительное уменьшение объема Земли и, следовательно, должно безусловно стоять в связи с обнаруживающимся при этом теплом. Это тепло должно быть точно пропорционально массе груза и его (первоначальному) расстоянию. Эта точка зрения приводит к уравнению силы падения, движения и тепла.

Между тем сколь мало оснований из имеющейся связи между силой падения и движением делать вывод, что сущность силы падения есть движение, столь же малое значение этот вывод имеет и для тепла. Более того, мы могли бы сделать противоположное заключение, что, для того чтобы сделаться теплом, движение, будет ли оно простым или вибрирующим, как свет, лучистая теплота и т. д., должно перестать быть движением.

Если сила падения и движение равны теплу, то, естественно, и тепло должно быть равно движению и силе падения. Как воз-

никает тепло в качестве действия при уменьшении объема и прекращающемся движении, так же исчезает тепло в качестве причины при появлении его действий — движения, увеличения объема, поднятия груза.

В водяных силовых установках возникающее в результате уменьшения объема, которое постоянно испытывает Земля благодаря падению воды, и снова исчезающее движение непрерывно доставляет значительное количество теплоты; и наоборот, паровые машины служат снова для превращения тепла в движение или поднятие груза. Локомотив с его поездом может быть сравнен с перегонным аппаратом; тепло, разведенное под котлом, превращается в движение, а оно снова осаждается на осях колес в качестве тепла.

Мы заключим наши тезисы, которые следуют из аксиомы *causa aequat effectum* и находятся в совершенном соответствии со всеми явлениями природы, одним практическим выводом: для решения уравнений, существующих между силой падения и движением, посредством эксперимента должен быть определен путь, который приходится при падении в определенное время, например в первую секунду. Аналогично для решения уравнений, имеющих место между силой падения и движением, с одной стороны, и теплом — с другой, необходимо ответить на вопрос, как велико соответствующее определенному количеству силы падения или движения количество теплоты. Например, мы должны были бы определить, как высоко должен быть поднят определенный груз над поверхностью земли, чтобы его сила падения была эквивалентна нагреванию равного ему по весу количества воды от 0 до 1°C. То, что такое равенство действительно основывается на том, что существует в природе, может быть рассматриваемо как резюме всего сказанного выше.

Применяя установленные положения к тепловым и объемным отношениям разных газов, найдем, что опускание сжимающего газ столба ртути численно равно развиваемому в результате сжатия количеству теплоты. Отсюда получается, что если принять отношение коэффициентов теплоемкости атмосферного воздуха при постоянном давлении и при постоянном объеме равным 1,421, то опусканию единицы веса с высоты около 365 м соответствует нагревание равного веса воды от 0 до 1°C. Если с этим результатом сравнить полезное действие наших лучших паровых машин, то увидим, что лишь очень малая часть разводимого под котлом тепла действительно превращается в движение или поднятие груза. Это могло бы служить оправданием для попыток представить себе выгодный путь получения движения иным способом, чем посредством использования химической разности между С и О, а именно посредством превращения в движение электричества, полученного химическим путем.

Перевод с немецкого статьи Р. Майера «Замечания о силах неживой природы» выполнен А. А. Максимовым. Статья публикуется по изданию: Майер Р. Законы сохранения и превращения энергии. Четыре исследования 1841—1851. М., 1933.

- ¹ Вместо общепринятого в наши дни термина «энергия» Майер использует термин «сила».
- ² Под «гипотезой» автор подразумевает натурфилософские домыслы, противопоставляя последним «действительные исследования», т. е. физический эксперимент.
- ³ «Причины» и «действия» у Майера означают односмысловые объекты — материю или энергию. Поэтому приводимая аксиома означает следующее: если «причиной» является энергия, то и «действием» будет равное количество другого вида энергии. Аналогично, для понятия «материя» (массы) Майер выражает эту мысль цепочкой уравнений: $c = e = f = \dots = e$.
- ⁴ Понятию «весомой» материи Майер противопоставляет понятие «невесомой» энергии. Диалектика взаимосвязи таких понятий, как масса, энергия, материя, вещество и поле, получила правильную интерпретацию лишь в XX в.
- ⁵ Реакция соединения водорода и кислорода, записанная Майером в виде $H + O = HO$, в современной химии, как известно, имеет вид $2H_2 + O_2 = 2H_2O$. Не следует забывать, что во времена Майера не были известны ни точный состав молекул газа, ни правильная формула воды.
- ⁶ Странники флогистона (особой материи огня) полагали, что вода — это простое вещество, а водород — смесь воды с флогистоном.
- ⁷ В современной терминологии «сила падения» означает разность потенциальной энергии груза в начальной и конечной точках падения.
- ⁸ Майер указывает на отличие термина «сила» от ньютоновского (современного) понятия силы, называя последнюю «свойством».
- ⁹ Майер справедливо указывает на пропорциональность потенциальной энергии v массе m и высоте поднятия d , однако, не делая различия между весом и массой, дает формулу потенциальной энергии неверно: $v = md$.
- ¹⁰ Фактически здесь Майер пользуется мерой движения «живой силой», вдвое большей кинетической энергии тела.

Литература

- [1] Сочинения Р. Майера:
 - а) Mayer J. R. *Erhaltung der Energie. Briefe an Wilhelm Griessinger nebst dessen Antwortschriften aus den Jahren 1842—1845.* Berlin, 1889.
 - б) Mayer J. R. *Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften.* Stuttgart, 1893.
- [2] Schmolz H., Weckbach H. *Robert Mayer. Sein Leben und Werk in Dokumenten.* Wissenborn, 1964.
- [3] Франкфурт У. И. *Закон сохранения и превращения энергии.* М., 1978.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3