

Область применимости закона сохранения энергии в классической механике

Зафар Туракулов

12 апреля 2025 г.

Аннотация

Показано, что закон сохранения энергии, считающийся фундаментальным законом природы, справедливым для всех видов материи и во всех масштабах, в действительности, имеет ограниченную область применимости. В рамках нерелятивистской классической механики показано также, что однородность времени сама по себе никак не влечет сохранения полной энергии системы. Найден критерий, по которому все физические и, в частности, механические системы делятся на два основных типа: простые, для которых понятие полной энергии определено как понятие, может быть измерено или вычислено, и сложные, для которых все это невозможно. Формулировка закона сохранения энергии имеет смысл только для простых систем и для них же он выполняется, тогда как доказательство или вывод этого закона для сложных систем невозможно. Этот критерий задает границу применимости закона сохранения энергии.

1 Введение

Закон сохранения энергии считается одним из фундаментальных законов природы, справедливых для всех видов материи и во всех масштабах. Сама мысль о том, что он может иметь какие-то границы применимости, уже на протяжении полутора столетий считается совершенно недопустимой и, возможно, даже кощунственной. Недопустимой считается не только возможная критика этого закона, но даже и малейшее сомнение в его абсолютной истинности. При этом не вполне ясно, каким образом настолько общий закон мог быть установлен. Рассуждения на эту тему поднимают множество других вопросов: “Как вообще устанавливаются физические законы”, “Какую роль в этом играют догадки, обобщения и прочие убеждения”, “Насколько они обоснованы” итд. Ответы на них оказываются важны не только применительно к закону сохранения энергии, но и в гораздо более общем контексте. В настоящей работе все эти вопросы обсуждаются с конечной целью установить, насколько обосновано утверждение закона

сохранения энергии как абсолютного закона природы. Затем будет рассмотрен более частный вопрос о том, насколько он справедлив в классической механике. Будет показано, что, вопреки всеобщему убеждению, между ним и теоремой Нетер никакой связи нет. Далее будет установлено, откуда и для каких именно механических систем он следует и установлены границы его применимости в классической механике.

Физические законы, даже гораздо менее общие, чем закон сохранения энергии, имеют статус каких-то глубоких истин, лежащих в основах мироздания, и сохраняют его даже после того, как обнаруживается, что какой-либо из них имеет ограниченную область применимости. В таких случаях к формулировке закона при необходимости добавляется оговорка, указывающая эти границы. Пути, на которых устанавливаются физические законы, разнообразны. Какие-то считаются следствием опыта, какие-то выражают математические факты, и кроме них существуют утверждения, выдаваемые за законы природы, которые, в действительности, не следуют ни из того, ни из другого. Они выражают какие-то философские убеждения и выдаются за нечно очевидное, не требующее ни опытной проверки, ни каких-либо теоретических обоснований. С этой точки зрения интересно увидеть, какое место среди них занимает тот путь, на котором был установлен закон сохранения энергии.

2 Опыт, философия, предубеждения

Опыт считается одним из основных, а в Англии – основным, или, возможно, даже единственным источником знаний о физическом мире. Рассмотрим, насколько это так. В настоящее время результат физического эксперимента отождествляется с результатом измерения чего-либо, имеющим численный вид. Но таким он был не всегда. Почти до конца XIX в. результаты физических экспериментов были в основном наблюдениями качественного характера типа “параллельные токи притягиваются, а антипараллельные – отталкиваются”, “пушечное ядро и мушкетная пуля падают одинаково”.

Толкование наблюдений такого рода в значительной мере субъективно и может отражать не столько реальность, сколько желание наблюдателя. Таким было, например, толкование большого количества наблюдений, положенное в основу механики Аристотеля, согласно которому тело движется только тогда, когда на него действует сила. Неадекватность этого “физического закона” не могла не быть совершенно очевидной для лучников, копьеметателей и дискоболов того времени, как и для Галилея позже, однако именно на его примере особенно хорошо видны возможные последствия возражения научному авторитету как тогда, так и в настоящее время. Стремление подтвердить желаемое опытным путем наблюдалось на протя-

жении всей истории физики. Таким было и утверждение Нильса Бора о том, что в микромире нарушаются законы сохранения энергии и импульса, которое он сделал на основании данных β -распада нейтрона. Важнейшая тенденция начала XX в. объявлять гениальным любое предположение, что какая-нибудь непрерывная величина в микромире оказывается дискретной, правила физиками того времени, и Бор уже и до этого высказал подобное в отношении интеграла действия электрона в атоме водорода.

Законы, считающиеся установленными в физических опытах, в действительности, продиктованы спекуляциями, построенными на данных наблюдений. аже в тех случаях, когда в опыте измерялись какие-то величины, результаты этих измерений не всегда позволяли установить ту функциональную зависимость, которая потом подтверждалась из каких-то других соображений. Это особенно отчетливо видно на примере закона Кулона. Официальная идеология утверждает, что этот закон был установлен в опыте Кулона с крутильными весами. Этот опыт довольно подробно описан в литературе, и достаточно поверхностного взгляда на его описание для того, чтобы установить, что единственное, что из него могло следовать, это то, что сила взаимодействия между зарядами как-то спадает с расстоянием в диапазоне нескольких сантиметров, но никак не закон обратных квадратов в диапазоне от нуля до бесконечности. Вопрос о том, как он в действительности, был установлен, будет рассмотрен в следующем разделе.

Наглядный пример того, как философские убеждения могут продиктовать утверждение, которое впоследствии кем-то признается физическим законом, дает следующее рассуждение Рене Декарта. Как известно, он определил понятие субъекта, познающего божественные законы природы, ставшее источником по крайней мере двух утверждений такого рода. Дело в том, что среди этих божественных законов субъект должен познать законы Кеплера, но это возможно только при условии, что распространение света – это явление, подчиняющееся двум законам: свет распространяется мгновенно и по прямой. Наверное, для самого Декарта было особенно важно то, что он открыл эти законы чисто умственным путем, что подтверждало его философию рационализма. В Нидерландах и Швеции, где он создал свои научные школы, эти его законы были канонизированы, но лишь до тех пор, пока в той же Швеции не произошло следующее.

Олаф Ремер, наблюдая затмение спутников Юпитера, обнаружил нарушение либо «законов» Декарта, либо законов Кеплера. Это открытие подробно описано в литературе, поэтому приводить детали никакой необходимости нет. Главное, ему пришлось выбирать между божественными законами Кеплера и “законами” Декарта, и он сделал выбор в пользу первых. Допустив, что све распространяется с конечной скоростью, он смог получить довольно точное значение скорости распространения света. Это был, возможно, второй случай после Аристотеля, когда законы, продиктованные философскими убеждениями, оказались ошибочными. Как будет

показано в следующем разделе, этот фактне означает, что чисто умственный подход бесполезен и кроме опыта никаких иных источников знаний о физическом мире не существует. Для этого вернемся к закону Кулона и попробуем установить, как он был открыт на самом деле.

3 Математика

Еще один важный путь, на котором устанавливались физические законы, составляют математические рассуждения. Сами по себе математические рассуждения никаких физических законов не устанавливают, однако могут играть решающую роль в этом процессе. Кроме них какую-то свою роль играют наблюдения, предположения, предубеждения и какие-нибудь ассоциации. Хотя какие-то из них очевидны, какие-то ни на чем не основаны и никакой самостоятельной ценности не представляют, они могут использоваться как исходные пункты математических рассуждений, в результате которых устанавливается физический закон. Этот путь нам представляется единственным возможным, на котором был установлен закон Кулона. Наиболее вероятно, по нашему мнению, это произошло следующим образом.

Прежде всего, были сделаны предположения, считавшиеся, скорее всего, очевидными и не подлежавшими проверки. Согласно одному из них, заряд не имеет сторон и его воздействие на другой заряд не зависит от направления, в котором тот находится. Другое утверждает, что сила, с которой он воздействует на другой заряд, не зависит от возможного присутствия вблизи них какого-либо третьего заряда. Хотя никаких оснований принимать их ни у кого не было, оба оказались верными и сыграли важную роль в установлении закона Кулона. Благодаря им был сделан вывод о существовании поля электрической напряженности $\vec{E}$ такого, что где бы ни находился какой-либо заряд q , на него действует сила, равная $q\vec{E}$ и определены его основные свойства. Эти свойства состоят в том, что поле напряженности всюду направлено строго радиально и обладает сферической симметрией. Они же означали, что поле напряженности точечного заряда имеет потенциал, зависящий только от расстояния от него.

После этого было сделано еще одно предположение о существовании какого-то универсального уравнения, которому подчиняется этот потенциал в общем случае, т.е. когда он соответствует произвольному распределению электрических зарядов в пространстве. Относительно этого уравнения можно было утверждать, что оно не содержит никаких сведений ни о месте ни о направлении в пространстве, т.е. не изменяется ни при переносах, ни при поворотах. Одно уравнение, обладающее этими свойствами, математикам было известно благодаря исследованию функций комплексной переменной – это уравнение Лапласа, правда, на плоскости. Распространить

его на три измерения было делом техники, но главное – оно удовлетворяло требованиям неизменности при переносах и поворотах. Его решение для потенциала точечного заряда легко строилось и приводило к закону обратных квадратов, называемому законом Кулона. Этот же закон обратных квадратов ассоциировался с сохраняющимся потоком силовых линий, возможно, сыгравшим свою роль в установлении закона Кулона без рассмотрения всех возможных сходных вариантов. Этот путь установления закона Кулона нам представляется единственным возможным. Следует отметить, что он не был абсолютно строгим и полностью обоснованным, он опирается на целый ряд ниоткуда не следующих предположений и догадок, и тем не менее, он привел к успеху. Установление закона Кулона – это важный пример того, как физический закон может быть установлен в основном благодаря математическим рассуждениям. То, что в опыте Кулона он, в действительности, установлен не был, в Англии прекрасно понимали, и то, что он должен быть все же установлен опытным путем, потребовало поставить новый эксперимент, в котором это могло быть сделано. Такой эксперимент был поставлен только в середине XIX в., когда никакой необходимости в этом с точки зрения науки уже не было.

4 Закон сохранения энергии в классической механике

Закон сохранения энергии в современном понимании как фундаментальный закон природы, представляет собой сложную концепцию, обобщающую множество законов такого рода, считающихся установленными в различных областях физики, одной из которых является классическая механика. В ней он также имеет сложную структуру. Ее составляют законы сохранения энергии для различных объектов и их классов от материальной точки, движущейся в каком-нибудь поле до до разного рода механических систем, имеющих разное количество степеней свободы и разного рода связей. Механические системы могут содержать как твердые, так и упругие компоненты, например, пружины. Количество степеней свободы в упругом теле, строго говоря, бесконечно, поэтому измерить количество энергии в нем невозможно, а без этого невозможно установить закон сохранения энергии в такой системе опытным путем. Установить его в классической механике опытным путем невозможно еще и потому, что невозможно создать и проверить все возможные механические системы. Но, поскольку он, тем не менее, считается установленным, это должно было быть сделано теоретически. Рассмотрим, как это могло произойти.

Прежде всего, он был установлен для материальной точки, движущейся в каком-либо потенциале в инерциальной системе отсчета. Для нее постоянство энергии следует прямо из уравнений движения, однако это, строго

говоря, не подтверждает закон сохранения энергии поскольку материальная точка и потенциал, в котором она движется, не составляют какой-то замкнутой системы, как это требует формулировка закона. Сохранение энергии материальной точки играет вспомогательную роль, позволяя установить закон для некоторых замкнутых механических систем. Минимальную замкнутую систему составляют две взаимодействующие материальные точки. Постоянство энергии такой системы доказывается, и интересно увидеть, на чем основано это доказательство. Оказывается, в основе этого доказательства лежит закон сохранения импульса, позволяющий выбрать такую систему отсчета, в которой покоится ее центр масс. В ней можно исключить половину координат и скоростей, после чего задача движения двух взаимодействующих материальных точек сводится к задаче о движении одной точки в некотором потенциале, для которой постоянство энергии следует из уравнений движения. Таким образом, для системы двух взаимодействующих материальных точек постоянство энергии следует из закона сохранения импульса, который, в свою очередь, следует из одного из законов Ньютона и принципа относительности движения. Если принцип относительности движения был известен еще в далекой древности, то откуда взялось убеждение, что “сила действия равна силе взаимодействия”, не вполне ясно, т.к., с одной стороны, его провозгласил Ньютон, утверждавший, что он гипотез не строил, с другой – силы действия и противодействия никто на опыте не измерял, и следовательно, этот его “закон” в действительности является постулатом, введенным с целью подогнать его теорию под другой постулат, утверждающий постоянство энергии. В результате закон сохранения энергии выведен из самого себя, но это позволило построить классическую механику в ее нынешнем понимании.

Если закон сохранения энергии – это фундаментальный закон природы, то он выполняется для всех замкнутых физических систем. Как бы то ни было, для систем, состоящих из двух взаимодействующих частиц он был установлен и после этого легко распространялся на системы нескольких и даже многих частиц, для которых он также следует из уравнений движения. С атомистической точки зрения этого достаточно для того, чтобы утверждать постоянство энергии для любой механической системы, т.к. любая такая система в конечном счете состоит из частиц и в этом смысле составляет систему многих частиц, следовательно, ее полная энергия постоянна. С другой стороны, выводить законы движения произвольной механической системы, скажем, пружинного механизма, из атомного строения материи – это большое преувеличение возможностей такого подхода. Единственную надежду обосновать закон появилась с открытием теоремы Нетер.

5 Однородность времени

Формулировка и доказательство теоремы Нетер общеизвестны; они представляют собой строгий математический факт и в физике считаются абсолютными истинами, также, как и все их следствия. Такой же абсолютной истиной стало считаться обобщение одного из этих следствий, а именно, закон сохранения энергии в классической механике. Оно поддается полному анализу. Такой анализ проводится ниже и его результат показывает, что он не следует из теоремы Нетер. Напротив, он является очень сильным обобщением некоторых следствий этой теоремы, впрочем, звучащим очень правдоподобно и гармонично вписывающимся в общую картины механики и физики в целом, построенную к настоящему времени.

Для проведения этого анализа необходимо вспомнить некоторые определения. Математически, механическая система может быть представлена как ее конфигурационное многообразие с введенными на нем координатами $\{q^i\}$ каждой из которых соответствует одна из степеней свободы системы. Состояния системы изображаются точками в этом многообразии; ее движения траекториями $q^i(t)$ этих точек, где t – это время, выступающее в роли независимой переменной. Траектории системы задаются решениями системы обыкновенных дифференциальных уравнений, называемых уравнениями движения данной механической системы. Механическая система называется лагранжевой, если для нее существует функция $L(q^i, \dot{q}^i)$, называемая лагранжианом, такая, что интеграл действия

$$S = \int_{t_1}^{t_2} dt L(q^i, \dot{q}^i)$$

принимает на ее траекториях минимальные значения. Всегда подчеркивается, что лагранжиан не зависит от времени t в явном виде. Рассмотрим, насколько важным является это свойство этой функции.

Это свойство прямо связано с постановкой задачи, состоящей в том, чтобы найти траектории системы $q^i(t)$ при том, что сама она не изменяется со временем. Это означает, что ее уравнения движения не содержат времени в явном виде. С другой стороны, минимизация интеграла движения на траекториях обеспечивается тем, что уравнения Эйлера-Лагранжа для соответствующей вариационной задачи совпадают с уравнениями движения системы. Следовательно, время в явном виде не входит в уравнения Эйлера-Лагранжа, и значит, оно не входит и в саму функцию Лагранжа. И наоборот, если допустить, что эта функция содержит время в качестве аргумента, то оно появится и в уравнениях движения. Но в таком случае форма ее траекторий окажется зависящей от времени, что возможно только, если система сама изменяется со временем. Поскольку такое изменение самой системы противоречит начальной постановке задачи, рассматривае-

мое свойство функции Лагранжа представляет собой условие, при котором сама постановка задачи имеет смысл. Иными словами, обобщение постановки задачи, при котором время становится одним из аргументов функции Лагранжа невозможно, поскольку делает постановку задачи бессмысленной.

Рассмотрим теперь вопрос об ограничениях на выбор параметризации траекторий. Для этого необходимо немного выйти за пределы классической механики и рассмотреть сначала пример, в котором выбор параметризации не имеет значения. Выбор параметризации кривой не имеет значения только тогда, когда интересна только ее форма. Если, скажем, ищется кривая, минимизирующая функционал длины

$$S = \int dt \sqrt{g_{ij} \dot{q}^i \dot{q}^j},$$

то легко убедиться в том, что при замене параметра t на любую гладкую монотонную функцию, зависящую только от нее и пробегающую те же значения, значение этого функционала не меняется и он минимизируется на тех же кривых. В классической механике искомая траектория $q^i(t)$ – это не только форма кривой, но значение скорости $\dot{q}^i$ в каждой ее точке. Если в интеграле действия заменить время t на любую гладкую монотонную функцию $\tau(t)$, зависящую только от нее и пробегающую те же значения, то вектор скорости и каждая его компонента

$$\dot{q}^i \rightarrow \frac{1}{\dot{\tau}(t)} \frac{\partial q^i}{\partial \tau},$$

в котором множитель $\frac{1}{\dot{\tau}(t)}$ зависит от независимого параметра. Это делает независимый параметр τ одним из аргументов функции Лагранжа и тем самым бессмысленной саму постановку задачи. Этого не происходит только в том случае, если этот множитель представляет собой постоянную величину, т.е. замена параметра имеет вид $\tau(t) = at + b$. Здесь коэффициент a – это только указание на то, какая единица измерения времени используется, а $-b$ – начало его отсчета. Очевидно, ни одна из этих величин никак не связана со свойствами рассматриваемой механической системы. Поэтому с физической точки зрения все возможные параметры этого вида представляют собой один и тот же независимый параметр, называемый однородным временем. Это единственный возможный параметр, при котором принцип наименьшего действия имеет смысл. И наоборот, сама формулировка этого принципа предполагает использование именно этого параметра. Таким образом, единственное следствие однородности времени является существование механических систем, для которых принцип наименьшего действия имеет смысл. Однако считается, что из него следует закон сохранения энергии. Попробуем теперь установить, так ли это.

6 Теорема Нетер и закон сохранения энергии в классической механике

Однородность времени является необходимым условием сохранения энергии, поэтому остается установить, является ли оно также и достаточным. Принято считать, что закон сохранения энергии является таким же следствием теоремы Нетер, как законы сохранения импульса и углового момента. Следует, однако, принять во внимание то, что в отличие от какой-либо циклической переменной, такой как декартова координата, время в классической механике – это не координата, а независимая переменная, тогда как в формулировке теоремы рассматриваются только координатные преобразования. Иными словами, следствия однородности независимой переменной в ней не рассматриваются. Следовательно, закон сохранения энергии из нее следовать не может. Для того, чтобы убедиться в этом, установим, что конкретно следует из неизменности интеграла действия при временных сдвигах.

Рассмотрим временной сдвиг $t \rightarrow \tau = t + \delta t$, при котором границы области интегрирования (t_1, t_2) перемещаются вместе со всеми их точками, так что эта область приобретает новые границы $(\tau_1, \tau_2) = (t_1 + \delta t, t_2 + \delta t)$. Далее, введем функции $Q^i(\tau) \equiv q^i(t)$, принимающие на смещенном интервале те же значения, что и функции $q^i(t)$ на исходном, и то же касается их производных $\dot{Q}^i(\tau) \equiv \dot{q}^i(t)$. Функция Лагранжа $L(q^i, \dot{q}^i)$ после смещения остается в точности той же функцией своих аргументов, т.е. в ней изменяются только обозначения ее аргументов. Это означает, что она принимает вид $L(Q^i, \dot{Q}^i)$ т.е. на интервале (τ_1, τ_2) она принимает в точности те же значения, что и на интервале (t_1, t_2) . Найдём теперь выражение, которое принимает интеграл действия

$$S = \int_{t_1}^{t_2} dt L(q^i, \dot{q}^i)$$

в результате временного сдвига. Проведя в нем все изменения, рассмотренные выше, находим, что он принимает вид

$$S = \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau L(Q^i, \dot{Q}^i),$$

но, поскольку подынтегральные на своих областях интегрирования выражения совпадают, эти интегралы тождественно равны и их равенство не является источником каких-либо других соотношений, в том числе и равенства энергии системы какой-либо постоянной величине. Иными словами, закон сохранения энергии из него не следует. Он может выполняться

для каких-то систем и нарушаться в других, но с однородностью времени, как и с теоремой Нетер, это никак не связано.

7 Существование механических систем с переменной энергией

Типичная механическая система эквивалентна материальной точке, движущейся в конфигурационном пространстве этой системы под действием сил, действующих в этой системе. Потенциальная энергия типичной системы хорошо определена, и это означает, что силы, действующие в ней, потенциальны, т.е. могут быть представлены как градиент некоторого потенциала в конфигурационном пространстве. Полная энергия системы известна как первый интеграл уравнений движения точки в заданном потенциале, следовательно, закон сохранения энергии выполняется для всех типичных механических систем. Однако назвать его законом в полном смысле этого слова можно, только показав, что никаких других механических систем не существует. Поэтому вопрос о существовании других, т.е. атипичных систем, приобретает принципиальное значение. Для того, чтобы найти ответ на него, рассмотрим сначала, какими они могли бы быть. Ниже будет показано, что эти атипичные механические системы существуют, но имеют несколько более сложное строение, поэтому в дальнейшем они будут именоваться соответственно “простыми” и “сложными”.

Будем исходить из того, что любая механическая система эквивалентна материальной точке, движущейся в некотором поле сил в некотором конфигурационном многообразии. Очевидно, энергия этой точки постоянна, если поле сил, в котором она движется, постоянно во времени и потенциально в конфигурационном пространстве. Обязательная потенциальность стационарности поля сил в любой механической системе считается принципом, поскольку он находится в полном согласии с законом сохранения энергии, который, в свою очередь может выводиться из него, тем самым подтверждая этот принцип. Таким образом, ее энергия может не сохраняться, если эти два условия не выполнены явно. Они могут нарушаться явно или неявно.

Пример явного нарушения этого принципа дает реальная задача двух тел. Во всей литературе по классической механике эта задача рассматривается в ньютоновской постановке, в которой оба условия выполнены явно, однако сама эта постановка идеализирована. Действительно, развитие физики в XIX в. показало, что в реальности не существует ничего мгновенного и одновременного, и, в частности, притяжение тел также происходит с некоторым запаздыванием. Насколько оно велико, значения не имеет, т.к. его существование нарушает оба условия и вместе с ними – закон сохранения энергии. Так, если тела движутся навстречу друг другу, то сила

притяжения между ними меньше, а если в противоположных направлениях, то больше, чем в ньютоновской постановке. Если же они находятся на орбитах, близких к круговым, то силы их взаимного притяжения имеют не центральное направление и составляют крутящий момент. К тому же они не ортогональны к скоростям тел, что означает рост кинетической энергии каждого из них, не связанный с изменением потенциальной энергии системы. Возможно, именно это является причиной роста радиуса орбиты Луны. Система двух тел с запаздыванием, строго говоря, не является простой. Действительно, запаздывание взаимодействия указывает на то, что агент, посредством которого тела взаимодействуют, также обладает какой-то энергией, которую следует учесть. Чем именно этот агент бы ни был, полем или пружиной, количество его степеней свободы заведомо бесконечно велико.

Для получения строгого доказательства сохранения или несохранения энергии этой системы необходимая строгая постановка задачи двух тел в какой-либо теории взаимодействия, например, электродинамики или ОТО. Это позволило бы найти явный вид уравнений движения системы. Исходя из них можно было бы найти производную по времени полной энергии системы и тем самым доказать ее сохранение или несохранение. Однако все это неосуществимо хотя бы потому, что для этого требуется знать явный вид поля произвольно движущегося тела, что ни в одной из этих теорий не достигнуто. Поэтому приведенные выше спекуляции дают единственную возможность судить о поведении полной энергии системы. Принимать или не принимать их – личное дело каждого, но это не тот случай, когда все сообщество физиков-теоретиков может прийти к полному согласию.

Системами, в которых этот принцип может быть нарушенным неявно, являются системы, обладающие бесконечным числом степеней свободы и соответственно бесконечномерным конфигурационным пространством. Решить задачу о движении такой системы не представляется возможным и то же касается описания свойств поля сил, действующих в ней. Действительно, это поле имеет бесконечно много компонент, установить его возможную зависимость от времени или непотенциальность не проще, чем решить задачу движения системы. Такими системами могут быть пружинные механизмы, поскольку пружина обладает бесконечным числом внутренних степеней свободы, а именно волн, свободно распространяющихся в ней и обменивающихся энергией с другими степенями свободы. Следовательно, пружинные механизмы подозрительны как возможные нарушители этого принципа и вместе с ним – закона сохранения энергии. Это делает их предметом актуальных исследований.

8 Заключение

Итак, ставить вопрос о сохранении полной энергии замкнутой физической системы имеет смысл, только если она проста и, если это так, то всегда оказывается, что ее полная энергия сохраняется. Таким образом, понятие полной энергии замкнутой механической системы хорошо определено во всех смыслах только для простых систем. Для сложной системы оно не поддается определению ни как понятие, ни как измеримая, ни как вычислимая величина. Следовательно, для нее даже сама формулировка закона сохранения энергии не имеет смысла. Установленным этот закон для сложных систем тем более быть не мог. Тем не менее, он был утвержден как фундаментальный закон не только механики, но и физики в целом и стал трактоваться как фундаментальный закон природы.

Это могло быть сделано только на тех же основаниях, на которых когда-то Рене Декарт установил свой постулат, утверждавший, что свет распространяется мгновенно и по прямой – и в том и в другом случае это упрощало физическую картину мира. Все это означает, что законом сохранения энергии в действительности называется постулат. Постулат, в отличие от закона, не обязателен к принятию. Если, например, кто-то не принимает V постулат Евклида, то это означает только, что ему более интересна неевклидова геометрия. Точно также, в физике никто не обязан принимать закон сохранения энергии как фундаментальный закон природы. В механике для простых систем он следует из их уравнений движения и имеет ограниченную область применимости. В тех случаях, когда этот закон не следует прямо из уравнений движения системы, и, тем более, если эти уравнения невозможно построить, система может ему не подчиняться. Он справедлив только для простых систем и ими ограничена область его применимости.