

Об инвариантности формулы закона сохранения механической энергии

Асиф Гусейнов Камиль-оглы
Азербайджанская Республика, г. Ленкорань
akhuseynov@mail.ru
Февраль 29.2016

Аннотация

Доказано, что формула закона сохранения полной механической энергии принятой в современном физике не инвариантна относительно преобразования Галилея.

Выведена новая формула выражающая закон сохранения полной механической энергии.

1. Принятые термины и определения

Механическое движение – это изменение положения тел в пространстве относительно друг друга с течением времени.

Механическая система – это совокупность тел, движение которой подлежит исследованию.

Механическая энергия – энергия механического движения и взаимодействия тел или их частей. Механическая энергия системы тел равна сумме кинетической энергии и потенциальной энергии этой системы. Это физическая величина, являющаяся функцией состояния системы и характеризующая способность системы совершать работу.

Потенциальная энергия – механическая энергия системы тел, которая определяется характером сил взаимодействия между ними и их взаимным расположением.

Полной механической энергией системы тел называется сумма потенциальной и кинетической энергий данной системы тел.

Замкнутая система тел – совокупность физических тел, у которых взаимодействия с внешними телами отсутствуют.

Консервативные силы (потенциальные силы) – это силы, работа которых не зависит от вида траектории, точки приложения этих сил и закона их движения, и определяется только начальным и конечным положением этой точки. Равносильным определением является и следующее: консервативные силы — это такие силы, работа которых по любой замкнутой траектории равна нулю.

Консервативная система – механическая система, работа неконсервативных сил которой равна нулю и действуют только консервативные силы.

Теорема о потенциальной энергии – работа консервативных сил, действующих на тело, равна изменению его потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком.

Кинетическая энергия – энергия, которая обладает тело вследствие своего механического движения. Кинетическая энергия зависит только от массы и скорости тела.

Теорема о кинетической энергии – изменение кинетической энергии тела равно работе действующей на нее силы.

Пружинный маятник – это колебательная система, состоящая из груза, закрепленный на пружине, совершающая гармонические колебания под действием упругой силы, зависящей от величины линейной деформации по закону Гука.

Принцип относительности Галилея – требование независимости законов классической механики от выбора *инерциальной системы отсчёта* (ИСО), понимаемое как *инвариантность* (неизменность) уравнений механики относительно *преобразований Галилея*, т. е. преобразований координат и времени движущейся материальной точки при переходе от одной ИСО к другой.

2. Вывод формулы закона сохранения полной механической энергии в современном физике

Закон сохранения полной механической энергии в процессах с участием сил упругости и гравитационных сил является одним из основных законов механики и в современном физике формула этого закона выводится следующим образом:

Если тела, составляющие замкнутую механическую систему, взаимодействуют между собой только посредством консервативных сил, например, силой тяготения или силой упругости, то работа этих сил A равна:

- по *теореме о потенциальной энергии* изменению *потенциальной энергии тел* ΔP взятому с противоположным знаком:

$$A = -\Delta P = -(P_2 - P_1) \quad (1)$$

- по *теореме о кинетической энергии* изменению кинетической энергии тел ΔK :

$$A = \Delta K = K_2 - K_1 \quad (2)$$

Здесь, *работа консервативных сил* равна энергии, превратившейся из одного вида в другой.

Следовательно:

$$-\Delta P = \Delta K = -(P_2 - P_1) = K_2 - K_1 \Rightarrow P_1 + K_1 = P_2 + K_2 \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой силами тяготения и силами упругости, остается постоянной. Это утверждение называется *законом сохранения энергии в механических процессах*.

3. Серьезные ошибки, пропущенные при выводе формулу закона сохранения полной механической энергии в современном физике

Ошибка 1. Значения изменения потенциальной энергии взятого с противоположным знаком в случаях $P_1 > P_2$ имеет положительный знак, а в случаях $P_1 < P_2$ (например, когда в поле тяготения тело брошено вверх) отрицательный знак.

В каждом отдельно взятом случае (в случаях $P_1 > P_2$ и $P_1 < P_2$) изменения потенциальной энергии, изменение кинетической энергии ΔK может иметь как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от выбора ИСО. Поэтому в случае $P_1 > P_2$ равенства между (1) и (2) получается только при $\Delta K > 0$, в других случаях $-\Delta P \neq \Delta K$, а в случае $P_1 < P_2$ равенства между (1) и (2) получается только при $\Delta K < 0$ и в других случаях тоже $-\Delta P \neq \Delta K$. Это означает: *Изменение потенциальной энергии взятого с противоположным знаком не всегда равно изменению кинетической энергии, поэтому равенства (3) не всегда выполняется.*

Для вывода формулы закона сохранения энергии в механических процессах нужно учитывать особенности (Правила) между зависимости совершенной работой A и потребляемой энергии ΔE . Надо учитывать, что механическая работа A совершенная над телом не всегда равно на потребляемой энергии ΔE . Только в случаях $A > 0$ имеется место равенство $\Delta E = A$, в других случаях всегда $\Delta E \neq A$. (Гусейнов А.К. Правила расчета потребляемой энергии телом на совершение механической работы. http://www.russika.ru/userfiles/adm_1454262041.pdf).

Абсолютная значения изменения потенциальной энергии – это затраченная энергия источником силы на совершение работу, равная потребляемой энергии ΔE телом при любом изменении кинетической энергии и всегда и во всех инерциальных системах отсчета (ИСО) имеет положительную значению: $|\Delta P| = \Delta E > 0$.

$$|\Delta P| = \Delta E = \begin{cases} A_+ = K_2 - K_1, \text{ если работа положительная} \\ |A_-| = |K_2 - K_1|, \text{ если работа отрицательная} \\ |A_-| + (A_+) = K_1 + K_2, \text{ если работа изменяет знак} \end{cases} \quad (4)$$

Посмотрим в сущность **Ошибки 1** в следующем примере:

Допустим, тело массой m в поле тяготения вблизи поверхности Земли, где ускорение g принимается приближённо постоянной, свободно падает с высоты относительно нулевого уровня от h_1 до h_2 . Скорость этого тела изменяется соответственно от $v_1=0$ до $v_2=10$ м/сек..

Ведём наблюдение над этим механическим событием от трех ИСО у которых, ось абсцисса перпендикулярно направлена к поверхности Земли. Во всех ИСО сила тяжести будет совершать положительную работу и равную изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком: $P_1 > P_2 \Rightarrow |\Delta P| = -\Delta P = -(P_2 - P_1) > 0$.

1) В ИСО связанной с Земли изменение кинетической энергии будут иметь положительный знак: $|v_2=10 \text{ м/сек}| > |v_1=0 \text{ м/сек}| \Rightarrow K_2 > K_1 \Rightarrow \Delta K > 0$, будет выполняться равенства (3) или $-\Delta P = \Delta K$, а в формуле (4) выполняется условия «если работа положительная»:

$$|\Delta P| = -\Delta P = \Delta E = A_+ = K_2 - K_1$$

2) В ИСО движущейся по направлению оси абсцисса со скоростью $v_s = 12$ м/сек., скоростей v'_2 и v'_1 будет определяться по преобразование Галилея:

$$v'_1 = v_1 - v_s = 0 - 12 \text{ м/сек.} = -12 \text{ м/сек.} \text{ и } v'_2 = v_2 - v_s = 10 \text{ м/сек.} - 12 \text{ м/сек.} = -2 \text{ м/сек.}$$

В этой ИСО получается:

$|v'_2 = -2 \text{ м/сек.}| < |v'_1 = -12 \text{ м/сек.}| \Rightarrow K_2 < K_1 \Rightarrow \Delta K < 0 \Rightarrow -\Delta P \neq \Delta K$, равенства (3) не выполняется.

В формуле (4) выполняется условия «если работа отрицательная»:

$$|\Delta P| = -\Delta P = \Delta E = A_- = |K_2 - K_1|$$

3) В ИСО движущейся по направлению оси абсцисса со скоростью $v_s = 5$ м/сек., скоростей v'_2 и v'_1 будет определяться по преобразование Галилея:

$$v'_1 = v_1 - v_s = 0 - 5 \text{ м/сек.} = -5 \text{ м/сек.} \text{ и } v'_2 = v_2 - v_s = 10 \text{ м/сек.} - 5 \text{ м/сек.} = 5 \text{ м/сек.}$$

В этой ИСО получается:

$|v'_2 = 5 \text{ м/сек.}| = |v'_1 = -5 \text{ м/сек.}| \Rightarrow K_2 = K_1 \Rightarrow \Delta K = 0 \Rightarrow -\Delta P \neq \Delta K$, равенства (3) не выполняется.

В формуле (4) выполняется условия «если работа изменяет знак»:

$$|\Delta P| = -\Delta P = \Delta E = |A_-| + (A_+) = K_1 + K_2$$

В этом примере ясно видно, что в 2-ом и 3-ем ИСО формула (3) закона сохранения полной механической энергии представленной в сегодняшнем физике не отвечает требованиям инвариантности и поэтому неправильно.

Формулы (3) можно использовать только в частных случаях, когда $P_1 > P_2$ и $\Delta K > 0$ или когда $P_1 < P_2$ и $\Delta K < 0$. Эти условия выполняются только в ИСО связанной с взаимодействующими телами (Землей, пружиной и т.д.).

Ошибка 2. Эта ошибка обусловлена использованием ошибочными формулами механической работы $A=FS$ и кинетической энергии $K=mv^2/2$.

Только при использовании правильных формулы работы в форме $A=F\Delta t$ (здесь, F - модуль силы) и кинетической энергии в форме $K=mv^2/2$ (Гусейнов А.К. Аристотелевская формула механической работы в физике. http://www.russika.ru/userfiles/adm_1442348177.pdf) формула (4) становится инвариантным по отношению преобразования Галилея:

$$|\Delta P| = \Delta E = \begin{cases} |mv_2| - |mv_1|, & \text{если работа положительная} \\ ||mv_2| - |mv_1||, & \text{если работа отрицательная} \\ |mv_1| + |mv_2|, & \text{если работа изменяет знак} \end{cases} \quad (5)$$

Ошибка 3. Эта ошибка обусловлена использованием ошибочными формулами потенциальной энергии в поле тяготения вблизи поверхности Земли $P=mgh$ (h – расстояние от поверхности Земли) и потенциальной энергии в поле силы упругости $P=kx^2/2$ (x – длина деформации).

Потенциальная энергия по физической сущности не относительная величина по отношению инерциальных систем отсчета (ИСО). В формулах $P=mgh$ и $P=kx^2/2$ величины h – расстояние от поверхности Земли и x – длина деформации являются **отрезками линии** с фиксированными начальными и конечными координатами, а длина этих отрезков не зависит от выбора ИСО. Но, несмотря на имеющиеся характеристики как **не относительность**, величины h – расстояние и x – длина деформации в современном физике, к сожалению, приравнивают на относительной величине *перемещение* или *пройденный путь*, это происходит при определении формулы $P=mgh$ и $P=kx^2/2$ с помощью относительной формулы работы $A=FS$. Такое определение изменяет физическую сущность потенциальной энергии. Поэтому формула потенциальной энергии должна определяться только с помощью формулы механической работы $A=F\Delta t$.

3.1. Закон сохранения полной механической энергии в поле тяготения вблизи поверхности Земли

При перемещении (свободном падении) тела массой m в поле тяготения вблизи поверхности Земли, где ускорение свободного падения g принимается приближённо постоянной, с высоты h_1 относительно нулевого уровня до высоты h_2 сила тяжести совершает работу равную изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком:

$$A = F\Delta t = mg(t_1 - t_2) = m(\sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_2}) = |\Delta P| = -\Delta P = -(P_2 - P_1) \quad (6)$$

где $t_1 = \sqrt{2h_1/g}$ и $t_2 = \sqrt{2h_2/g}$ - времени свободного падения (без начальной скорости) соответственно с высоты h_1 и h_2 . Отсюда получается выражения для потенциальной энергии тело m относительно поверхности Земли на высоте h :

$$P = m\sqrt{2gh} \quad (7)$$

Для закона сохранения полной механической энергии в поле тяготения вблизи поверхности Земли получается следующая формула :

$$|m(\sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_2})| = \begin{cases} |mv_2| - |mv_1|, & \text{если работа положительная} \\ ||mv_2| - |mv_1||, & \text{если работа отрицательная} \\ |mv_1| + |mv_2|, & \text{если работа изменяет знак} \end{cases} \quad (8)$$

3.2. Закон сохранения полной механической энергии в поле силы упругости

В отличие от перемещения тела в поле тяготения вблизи поверхности Земли, при которой сила тяжести приближенно постоянно и не зависит от времени, при перемещении в поле силы упругости сила зависит от времени. Поэтому работа силы на конечном перемещении должно определяться интегрированием элементарных работ $dA=F(t)dt$. Для этого интегрирования нужно знать формулы зависимости силы упругости от времени.

Такая зависимость ярка выражена в уравнение свободного механического колебания горизонтального пружинного маятника.

(<http://multiring.ru/course/physicspart1/content/chapter2/section/paragraph2/theory.html#.Vr2oLm0XfIV>. Механические колебания и волны)

Груз некоторой массы m , прикрепленный к пружине жесткостью k , второй конец которой закреплен неподвижно, составляют систему, способную в отсутствие трения совершать свободные гармонические колебания. Свободные колебания совершаются под действием внутренних сил замкнутой системы после того, как система была выведена из положения равновесия.

Гармонические колебания пружинного маятника описываются уравнением:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (9)$$

Здесь x – смещение тела от положения равновесия – деформация пружина, x_m – амплитуда колебаний, т. е. максимальное смещение от положения равновесия – максимальная деформация пружина, ω – циклическая или круговая частота колебаний груза на пружине:

$$\omega = \sqrt{k/m}, \quad (10)$$

t – время, $\varphi = \omega t + \varphi_0$ – фаза гармонического процесса, φ_0 – начальная фаза.

Период T гармонических колебаний груза на пружине равен :

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{m/k} \quad (11)$$

Зависимости силы упругости от времени:

$$F(t) = kx(t) = kx_m \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (12)$$

Потенциальная энергия упруго деформированного тела равна работе силы упругости при переходе из данного состояния в состояние с нулевой деформацией.

В процессе возвращения пружинного маятника к первоначальному положению, сила упругости за время

$$t = T/4 = \pi/2\omega \Rightarrow \omega t = \pi/2 \quad (13)$$

совершает работу, которой потенциальная энергия пружина полностью переходит в кинетическую энергию тела. Эта работа равно на потенциальную энергию пружинного маятника.

Элементарная работа за время dt :

$$dA = F(t)dt = kx(t)dt = kx_m \cos(\omega t + \varphi_0)dt \quad (14)$$

Учитывая $\varphi_0 = 0$, $t = T/4 = \pi/2\omega$, $\omega = \sqrt{k/m}$ и

$\int \cos\omega t dt = \frac{\sin\omega t}{\omega} = \sqrt{k/m} \sin\omega t$ интегрируем выражение (14):

$$A = \int_0^{T/4} kx_m \cos \omega t dt = kx_m \sqrt{m/k} (\sin(\pi/2) - \sin(0)) = x_m \sqrt{mk} \quad (15)$$

Из (15) получаем формулы для потенциальной энергии тела m в поле силы упругости:

$$P = x_m \sqrt{mk} \quad (16)$$

Если в начальном состоянии пружина уже была деформирована, а ее удлинение было равно x_{1m} , тогда при переходе в новое состояние с удлинением x_{2m} сила упругости затрачивает энергию $|\Delta P|$ и совершает работу, равную изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком:

$$A = |\Delta P| = -\Delta P = -(P_2 - P_1) = \Delta E = (x_1 - x_2) \sqrt{mk} \quad (17)$$

Для закона сохранения полной механической энергии в поле силы упругости получается следующая формула :

$$|(x_1 - x_2) \sqrt{mk}| = \begin{cases} |mv_2| - |mv_1|, & \text{если работа положительная} \\ ||mv_2| - |mv_1||, & \text{если работа отрицательная} \\ |mv_1| + |mv_2|, & \text{если работа изменяет знак} \end{cases} \quad (18)$$

4. Выводы

1. Сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой силами тяготения и силами упругости, в общем случае **не** остается постоянной:

$$P_1 + K_1 \neq P_2 + K_2$$

2. Обобщение выражений (4), (5), (8) и (18), для закона сохранения полной механической энергии в замкнутой системе дает следующей простой формулировки удовлетворяющий Закон сохранения и превращения энергии и Принципу относительности механики:

В замкнутой системе тел затраченная потенциальная энергия всегда равно потребляемой энергии тела при любом изменении кинетической энергии:

$$|\Delta P| = \Delta E$$

где, $|\Delta P| = |m(\sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_2})|$ – в поле тяготения вблизи поверхности Земли,

$|\Delta P| = |(x_1 - x_2) \sqrt{mk}|$ – в поле силы упругости ,

$$\Delta E = \begin{cases} |mv_2| - |mv_1|, & \text{если работа положительная} \\ ||mv_2| - |mv_1||, & \text{если работа отрицательная} \\ |mv_1| + |mv_2|, & \text{если работа изменяет знак} \end{cases}$$