

Работа и механическая энергия

1. Работа силы.
2. Мощность.
3. Кинетическая энергия.
4. Потенциальная энергия.
5. Закон сохранения механической энергии

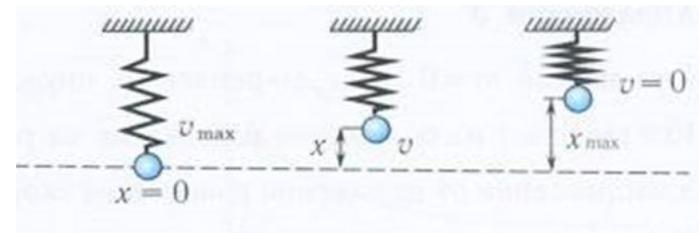
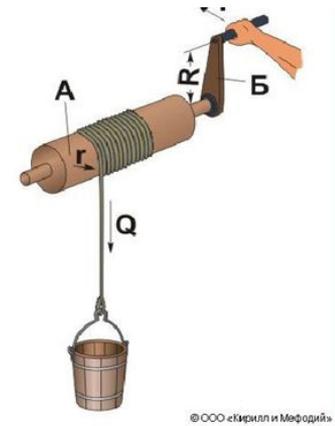
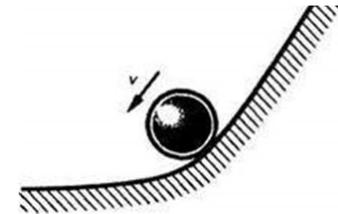
Работа и механическая энергия

Энергия – универсальная мера различных форм движения и взаимодействия.

В основе механических, тепловых, электрических, ядерных и др. процессов лежат превращения различных форм энергии.

Энергия характеризует способность тела совершать работу.

Она измеряется максимальной работой, которую может совершить это тело (например, катящийся шар, растянутая пружина или тело, поднятое над землей).

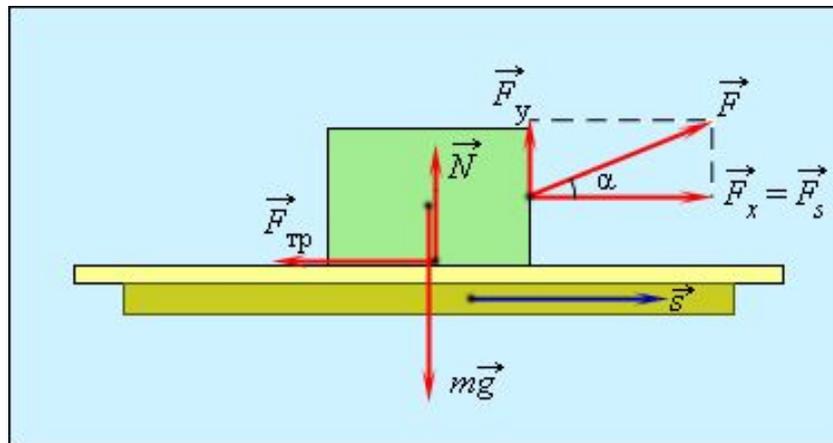


Работа силы

Энергетические характеристики движения вводятся на основе понятия механической работы или работы силы.

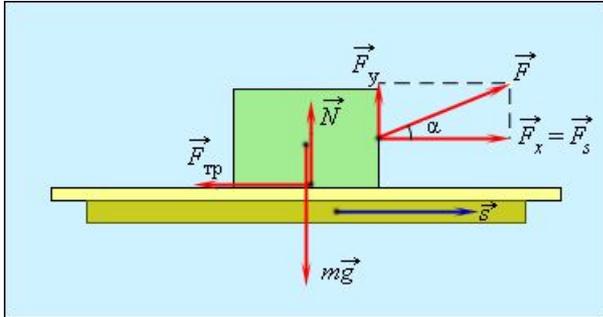
Если тело движется **прямолинейно** и на него действует постоянная сила \vec{F} , которая составляет некоторый угол α с направлением перемещения, то **работа этой силы равна произведению проекции силы F_s на направление s ($F_s = F \cos \alpha$), умноженной на перемещение :**

$$A = F_s s = F s \cos \alpha.$$



#

Работа силы



$$A = F_s s = F s \cos \alpha.$$

1. Сила F может быть равнодействующей нескольких сил.
2. Работа равна скалярному произведению F на вектор перемещения S

$$A = FS.$$

Работа – скалярная величина!

3. Нормальная составляющая силы $F \sin \alpha$ работы не производит.
4. Единица работы (как и энергии) – джоуль (Дж): (1 Дж = 1 Н×м).



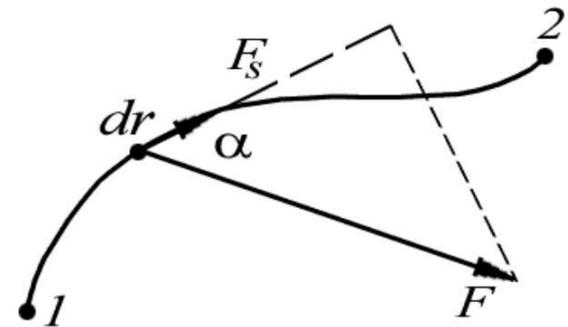
Джеймс Джоуль (1818 – 1889)

Установил эквивалентность теплоты и работы.
Один из первооткрывателей закона сохранения
энергии.

В случае переменной силы и криволинейного пути надо весь путь разбить на очень малые (элементарные) отрезки. Тогда следует рассмотреть элементарное перемещение dr , где силу F можно считать постоянной, а движение точки – прямолинейным. **Элементарной работой** силы F на перемещении dr называется *скалярная* величина

$$dA = \mathbf{F}d\mathbf{r} = F\cos\alpha \cdot ds = F_s ds,$$

где α – угол между векторами F и dr ;
 $ds = |d\mathbf{r}|$ - элементарный путь;
 F_s – проекция вектора F на вектор dr .

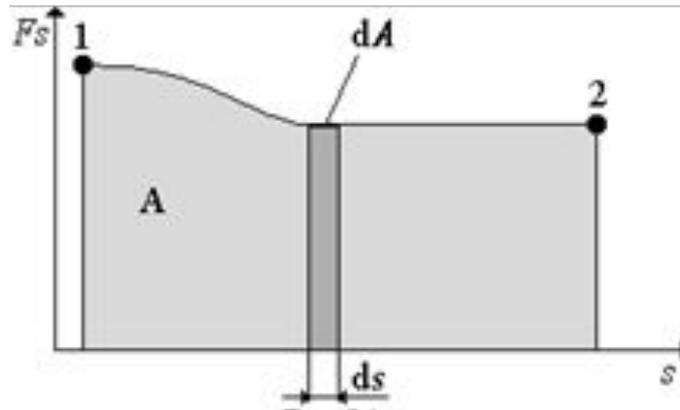


#

Работа силы на участке траектории от точки 1 до точки 2 равна алгебраической сумме элементарных работ на элементарных участках пути. Эта сумма есть интеграл

$$A = \int_1^2 F ds \cos \alpha = \int_1^2 F_s ds$$

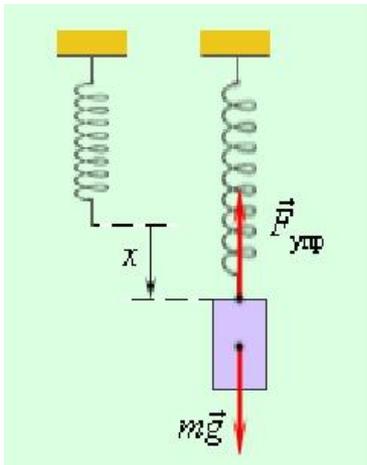
Пусть зависимость силы F_s от пути s представлена графически, тогда работа A определяется на графике площадью закрашенной фигуры.



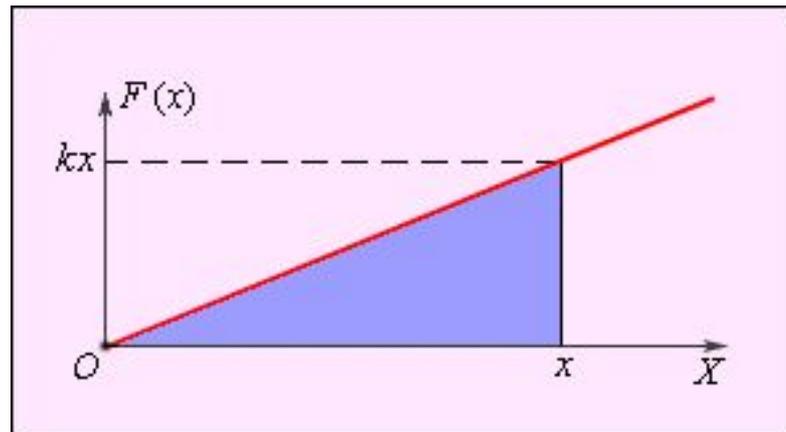
Пример: Для растянутой пружины зависимость внешней силы от координаты x изображается на графике прямой линией (закон Гука $F = kx$).

По площади треугольника на рис. можно определить работу, совершенную внешней силой, приложенной к свободному концу пружины:

$$A = \frac{kx^2}{2}$$



$$F_s = kx$$



$$F(x) = kx$$

Мощность.

Чтобы охарактеризовать скорость совершения работы (например, для оценки эффективности устройства) вводят понятие **мощности**:

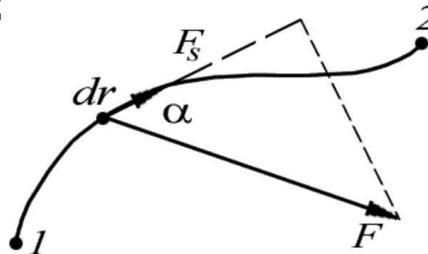
$$N = \frac{dA}{dt}.$$

За время dt сила \mathbf{F} совершает работу $\mathbf{F}d\mathbf{r}$, и мощность, развиваемая этой силой, в данный момент времени

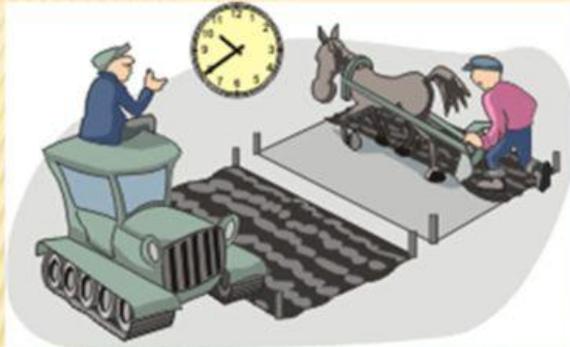
$$N = \frac{\mathbf{F}d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{F}\mathbf{v},$$

т.е. равна скалярному произведению вектора силы на вектор скорости, с которой движется точка приложения этой силы; N – величина *скалярная*.

Единица мощности – **ватт** (Вт): 1 Вт – мощность, при которой за время 1 с совершается работа в 1 Дж (1 Вт = 1 Дж/с).



МЕХАНИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ



Кто быстрее совершает работу ?



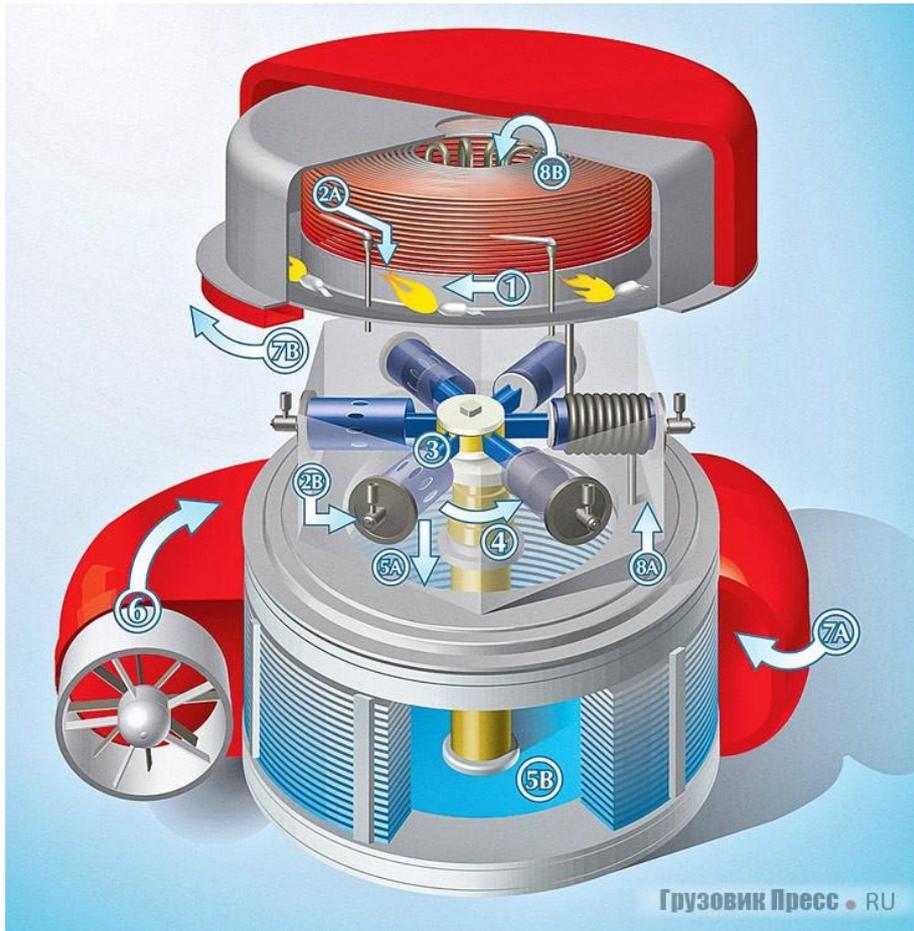
Мощность характеризует быстроту совершения работы.



Джеймс Уатт, 1736 - 1819

В качестве единицы мощности именно Уатт в своё время предложил такую единицу, как «лошадиная сила». В 1882 году Британская ассоциация инженеров решила присвоить его имя единице мощности. Это был первый в истории техники случай присвоения собственного имени единице измерения.

В большинстве европейских стран лошадиная сила определяется как $75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с}$, то есть как мощность, затрачиваемая при равномерном вертикальном поднимании груза массой в 75 кг со скоростью 1 метр в секунду.



Силовой агрегат «Циклон» работает при давлении водяного пара на уровне 20 МПа и его температуре порядка 650 °С. Он устроен и функционирует следующим образом.

Вода из бака (условно не показан) подаётся в парогенератор 1, который вырабатывает свежий пар 2А, 2В. В камеру сгорания парогенератора 1 подаётся топливо и воздух 7В. Свежий пар 2А, 2В поступает в клапанный паровой мотор 3 и срабатывает в нём. Отработавший пар 5А, 5В направляется в конденсатор 4. Для лучшей конденсации пара в конструкции конденсатора 4 предусмотрен охлаждающий вентилятор 6, создающий воздушный поток 7А. Конденсат 8А, 8В водяного пара подается обратно в парогенератор 1.

ДВС



1. Во-первых, выхлоп самой паровой машины экологически чистый – это водяной пар.
2. Под паровым котлом можно сжигать фактически любое углеводородное топливо.
3. Выхлоп от котла будет гораздо чище, чем от ДВС, поскольку топливо сгорает в топке или горелке при значительно более низких давлениях, чем в цилиндрах ДВС.
4. Компактная конструкция.
5. Плавность хода, практическая бесшумность при работе, большой крутящий момент на валу, отсутствие коробки передач, сложной трансмиссии, стартера, глушителя.
6. Отпадает потребность и в смазочном масле: вполне сгодится вода!

Опасность размораживания паросиловой установки в зимний период возможно свести на нет за счёт применения незамерзающих жидкостей.

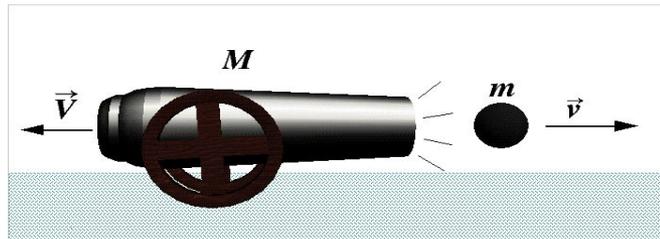
Уже к началу 1970-х были отработаны конструкции паровых моторов, способных переходить от холодного состояния до момента трогания с места транспортного средства всего за 30–35 с.

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия T механической системы – это энергия механического движения этой системы.

Тело массой m , движущееся со скоростью v , обладает кинетической энергией

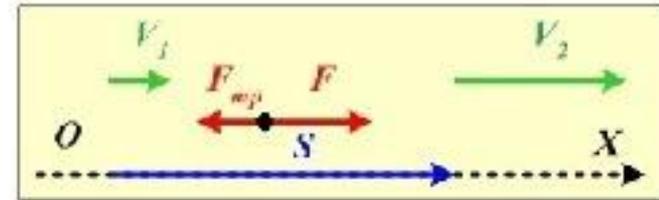
$$T = \frac{mv^2}{2}$$



Чему равна работа силы F при ускоренном движении тела?

В отсутствие силы трения :

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = mas = Fs$$



#

Может ли работа быть отрицательной?

Да, если сила мешает движению.

Сила трения всегда замедляет движение, т. е. производит отрицательную работу!

Потенциальная энергия

Потенциальная энергия – механическая энергия системы тел, определяемая их взаимным расположением и характером сил взаимодействия между ними. Это «энергия **положения и взаимодействия**».

Взаимодействие тел осуществляется посредством **силовых полей**, например, поля упругих сил, поля гравитационных сил.

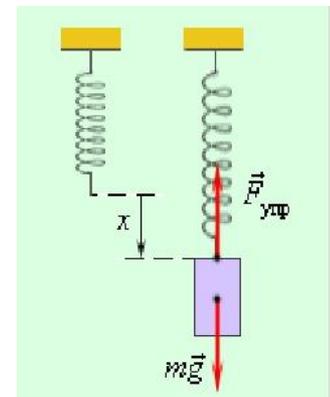
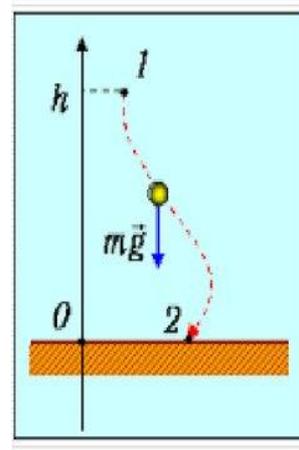
Конкретный вид функции Π зависит от характера силового поля. Например, потенциальная энергия тела массой m , поднятого на высоту h над поверхностью земли, равна

$$\Pi = mgh,$$

где высота h отсчитывается от нулевого уровня, для которого $\Pi_0 = 0$.

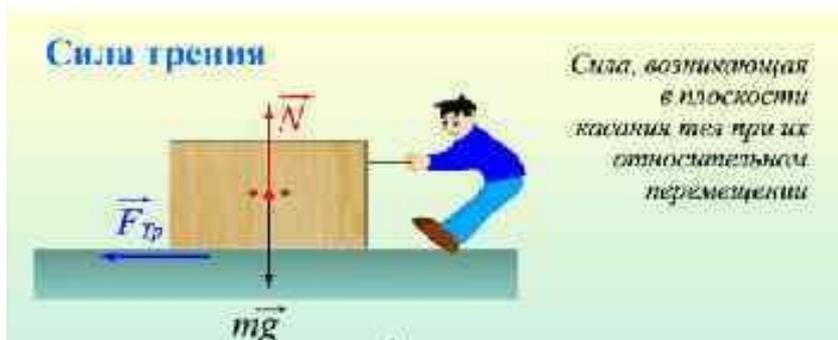
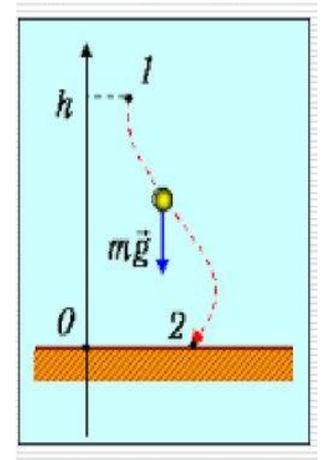
Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$\Pi = \frac{kx^2}{2}$$

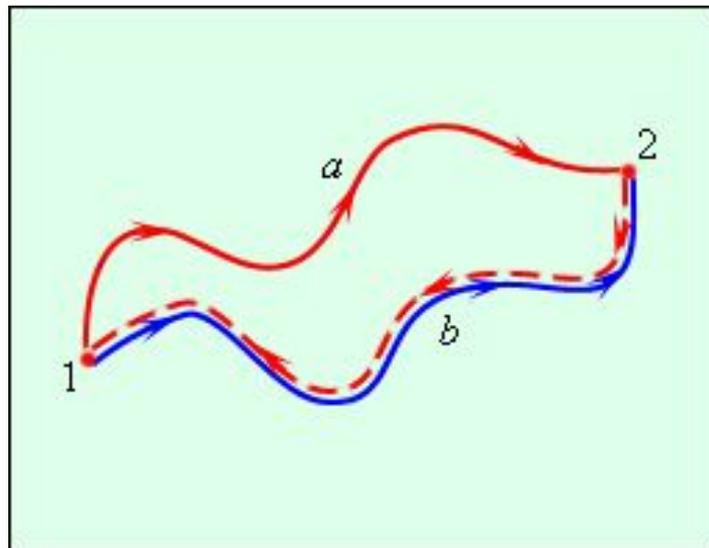


Все силы в механике делятся на:

1. **Консервативные силы** (работа которых не зависит от формы траектории, а только от начального и конечного положения тела).
Они действуют только в потенциальных полях (тяготения, упругости).
2. **Диссипативные силы** (их работа которых зависит от формы траектории движения тела). Например, силы трения.



Работа консервативных сил на замкнутой траектории равна нулю!



Работа консервативной силы $A_{1a2} = A_{1b2}$.

Работа на замкнутой траектории $A = A_{1a2} + A_{2b1} = A_{1a2} - A_{1b2} = 0$

Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия системы – энергия механического движения и взаимодействия:

$$E=T+\Pi,$$

т.е. равна сумме кинетической и потенциальной энергий.

Если внешние неконсервативные силы (силы трения) отсутствуют, то

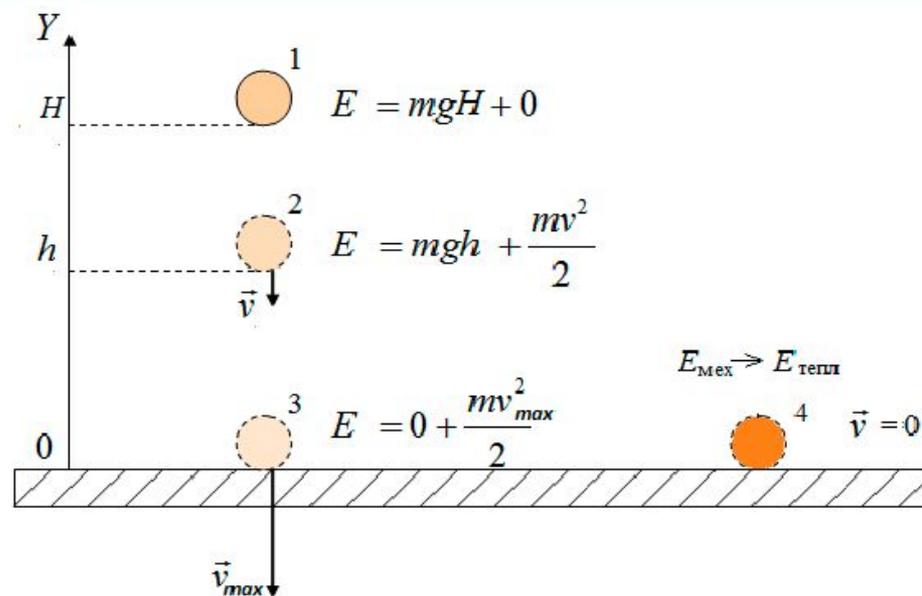
$$d(T+\Pi)=0,$$

откуда

$$T+\Pi=E=\text{const},$$

т.е. **полная механическая энергия системы сохраняется постоянной.**

Шарик упал в песок



В системе, в которой действуют также неконсервативные силы, например силы трения, полная механическая энергия системы **не сохраняется**. Однако при «исчезновении» механической энергии всегда возникает **эквивалентное количество энергии другого вида**.

Таким образом, *энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой*. В этом и заключается *физическая сущность* закона сохранения и превращения энергии – сущность неуничтожимости материи и ее движения.

Механическая энергия является лишь одним из многих видов энергии. Известны также электрическая, химическая, лучистая (энергия электромагнитных волн), ядерная и др. В природе и технике постоянно происходят переходы (превращения) энергии из одного вида в другой.

Процесс или прибор	Превращение энергии	
	из вида	в вид
электродвигатель	электрическая	
гальванический элемент	химическая	
зарядка аккумулятора	электрическая	
фотосинтез	лучистая	
фотоэффект	лучистая	
ядерный реактор	ядерная	

Не следует забывать, что при любых превращениях энергии некоторая ее часть непременно превращается в теплоту (энергию беспорядочного движения молекул); это обстоятельство в таблице не отражено.

Механическая энергия является лишь одним из многих видов энергии. Известны также электрическая, химическая, лучистая (энергия электромагнитных волн), ядерная и др. В природе и технике постоянно происходят переходы (превращения) энергии из одного вида в другой.

Процесс или прибор	Превращение энергии	
	из вида	в вид
электродвигатель	электрическая	механическая
гальванический элемент	химическая	электрическая
зарядка аккумулятора	электрическая	химическая
фотосинтез	лучистая	химическая
фотоэффект	лучистая	электрическая
ядерный реактор	ядерная	механическая, лучистая и др.

Не следует забывать, что при любых превращениях энергии некоторая ее часть непременно превращается в теплоту (энергию беспорядочного движения молекул); это обстоятельство в таблице не отражено.