

# Работа и механическая энергия

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

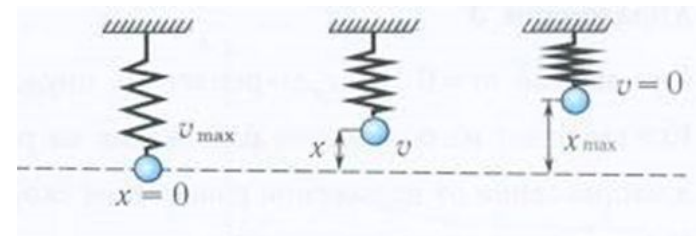
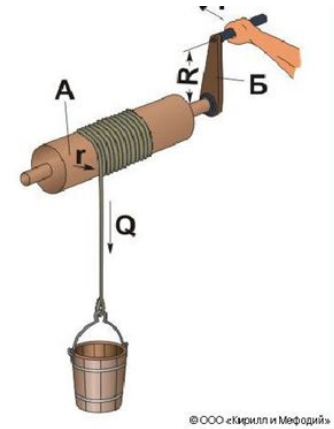
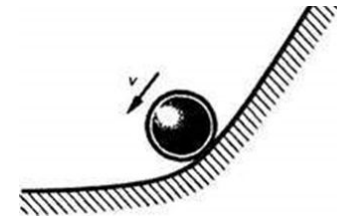
# Работа и механическая энергия

**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).

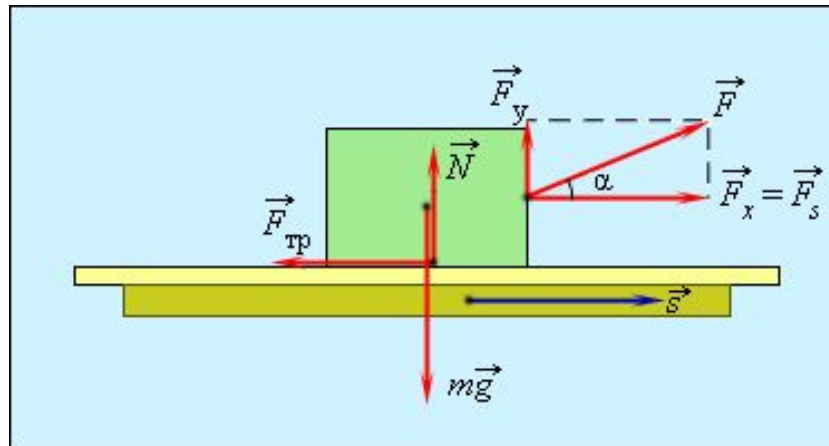


# Работа силы

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

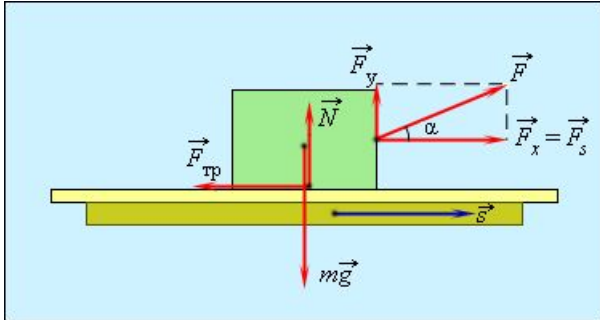
Если тело движется **прямолинейно** и на него действует постоянная сила  $\vec{F}$ , которая составляет некоторый угол  $\alpha$  с направлением перемещения, то **работа этой силы равна произведению проекции силы  $F_s$  на направление  $s$  ( $F_s = F \cos \alpha$ ), умноженной на перемещение :**

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



#

# 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).



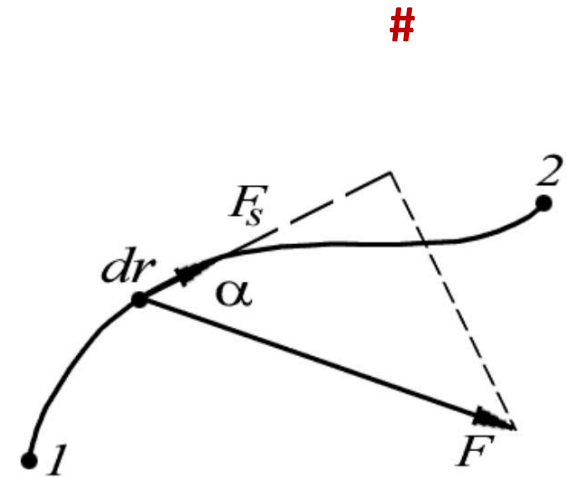
Джеймс Джоуль (1818 – 1889)

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

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

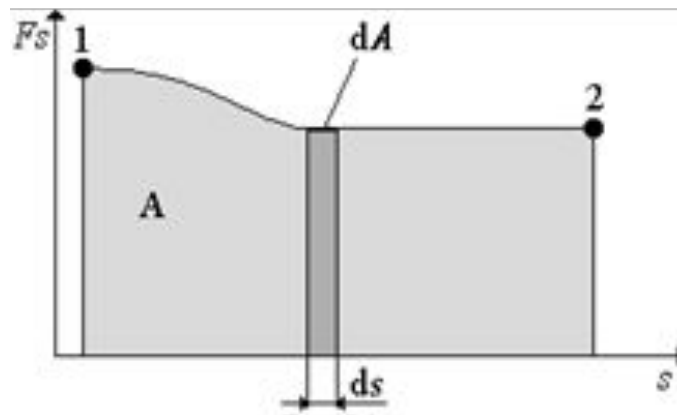
где  $\alpha$  – угол между векторами  $F$  и  $dr$ ;  
 $ds = |d\mathbf{r}|$  - элементарный путь;  
 $F_s$  – проекция вектора  $F$  на вектор  $dr$ .



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

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

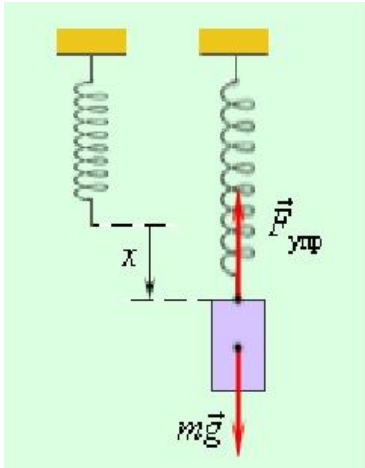
Пусть зависимость силы  $F_s$  от пути  $s$  представлена графически, тогда работа  $A$  определяется на графике площадью закрашенной фигуры.



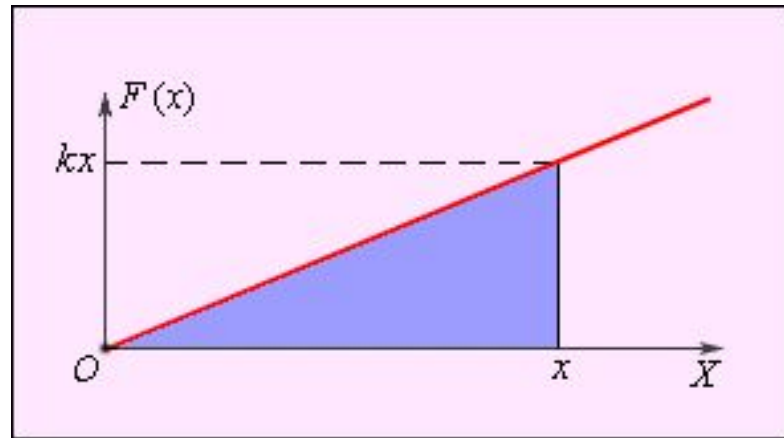
Пример: Для растянутой пружины зависимость внешней силы от координаты  $x$  изображается на графике прямой линией (закон Гука  $F = kx$ ).

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**:

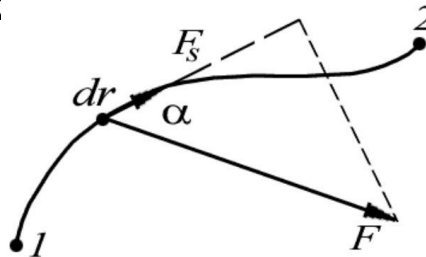
$$N = \frac{dA}{dt}.$$

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

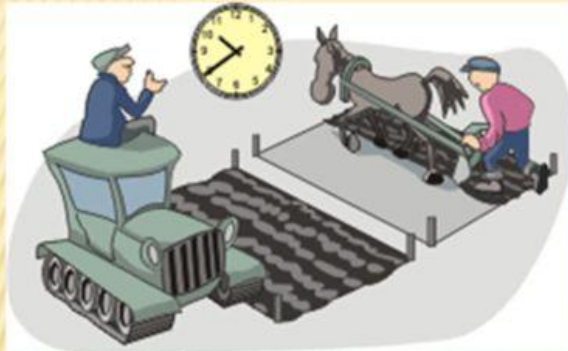
$$N = \frac{\mathbf{F}d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{F}\mathbf{v},$$

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.



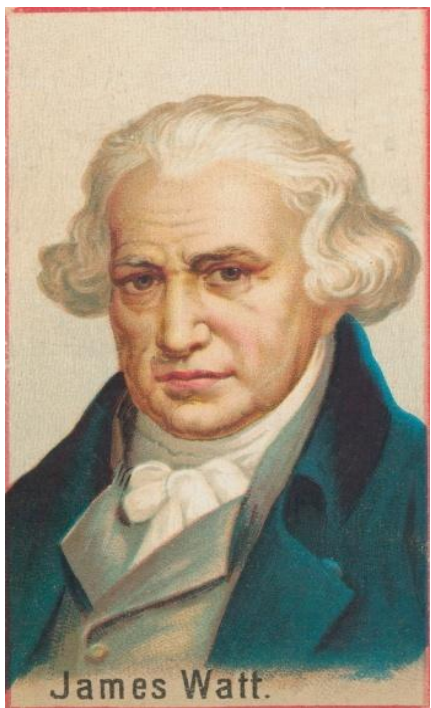
# МЕХАНИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ



Кто быстрее совершает работу ?



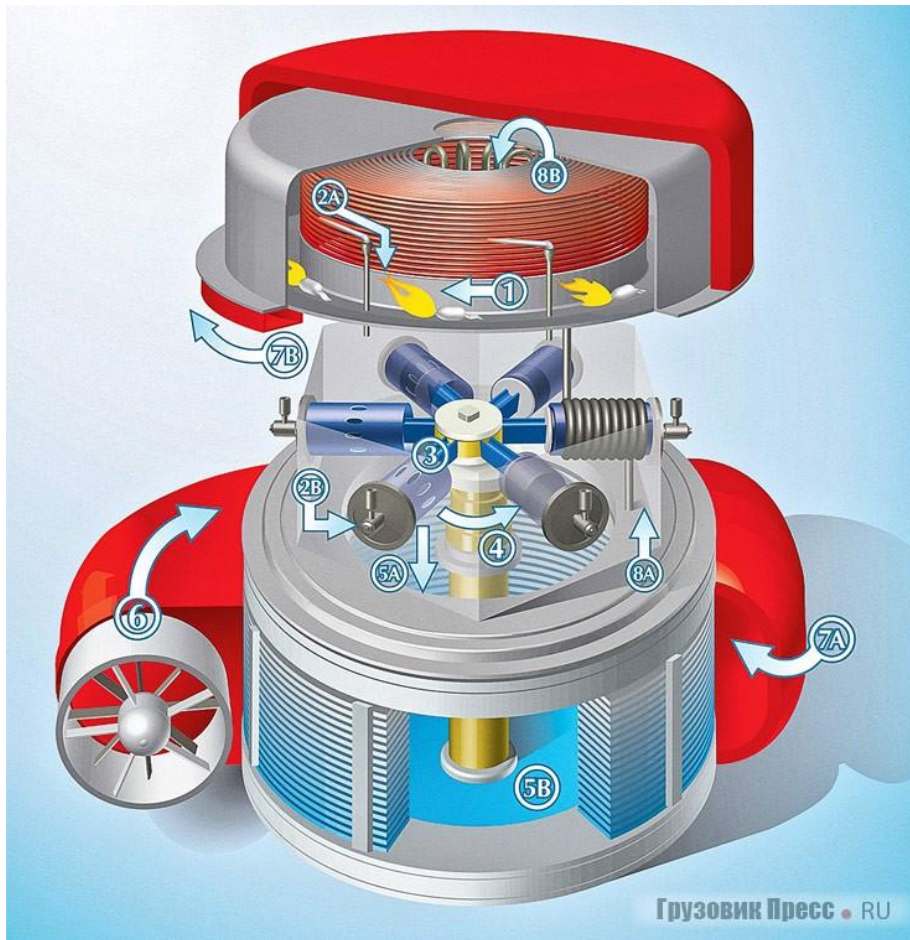
Мощность характеризует быстроту совершения работы.



## 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.

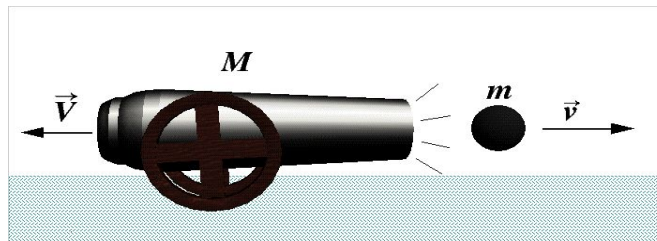
Уже к началу 1970-х были отработаны конструкции паровых моторов, способных переходить от холодного состояния до момента трогания с места транспортного средства всего за 30–35 с.

# Кинетическая энергия

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

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

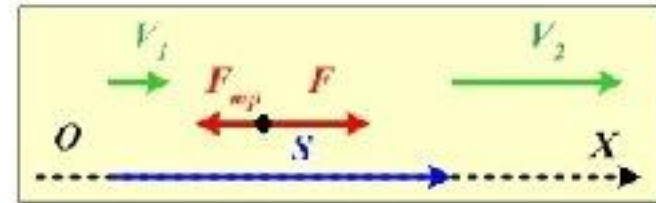
$$T = \frac{mv^2}{2}$$



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.

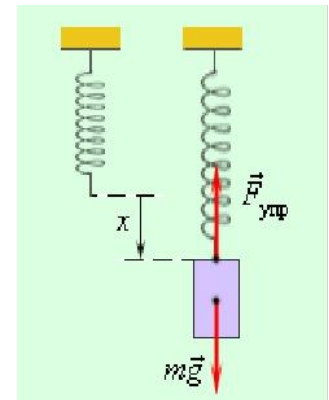
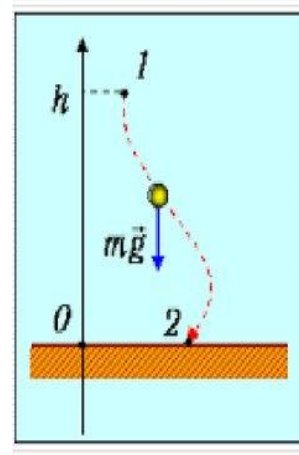
Конкретный вид функции  $\Pi$  зависит от характера силового поля. Например, потенциальная энергия тела массой  $m$ , поднятого на высоту  $h$  над поверхностью земли, равна

$$\Pi = mgh,$$

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

Потенциальная энергия упругодеформированного тела

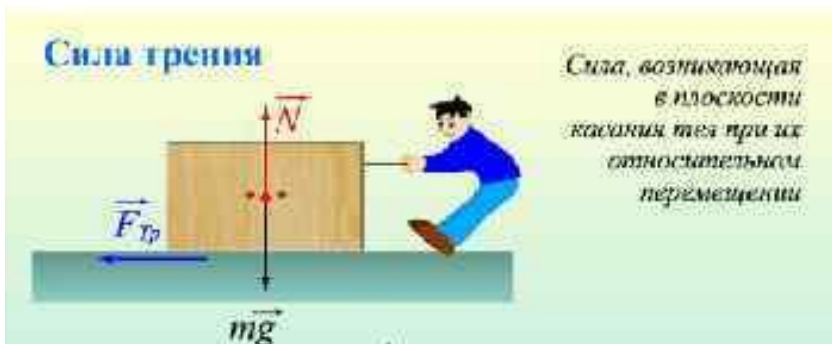
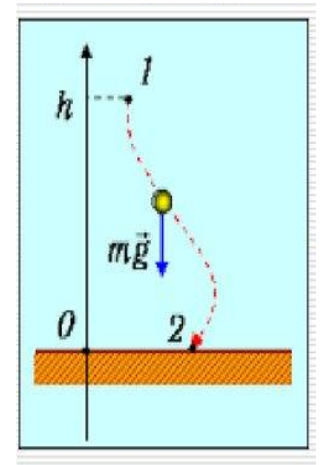
$$\Pi = \frac{kx^2}{2}$$



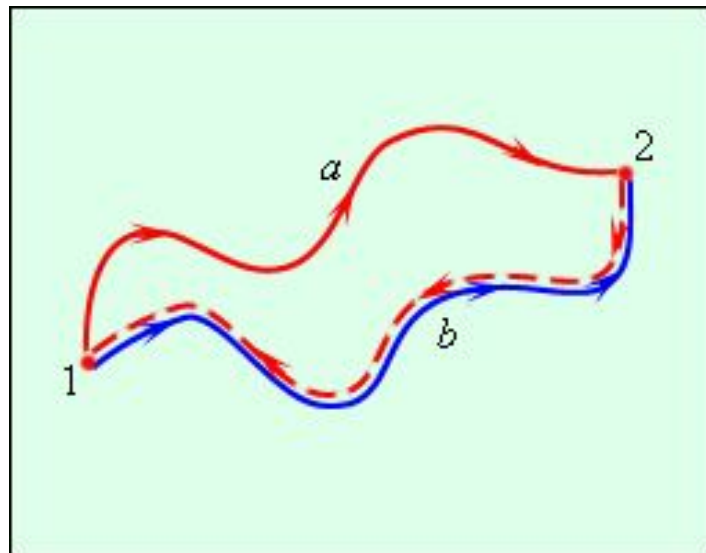


Все силы в механике делятся на:

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

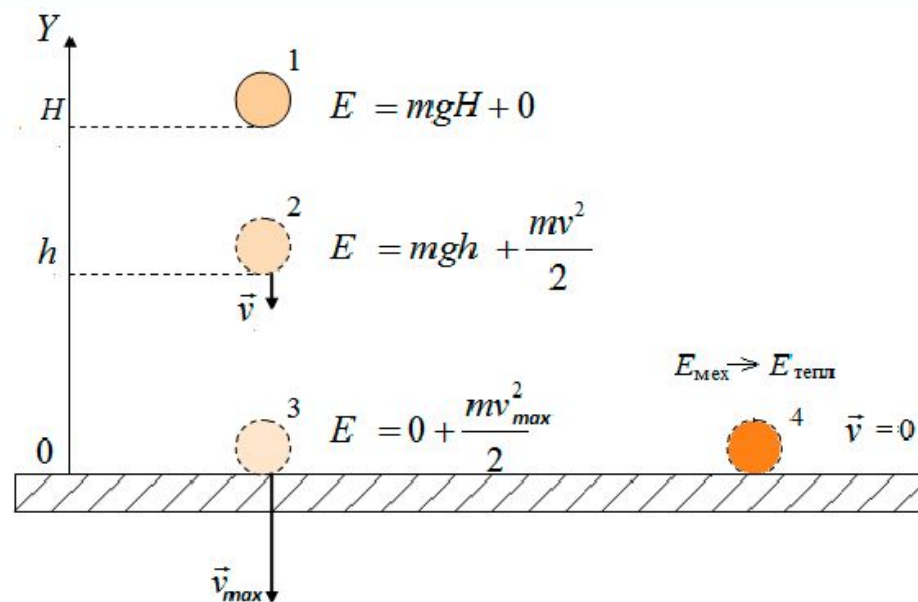
$$d(T+\Pi)=0,$$

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.