

## Тема 6. Работа, мощность, энергия и законы сохранения

### 1. Работа, мощность, энергия - механическая трактовка понятий

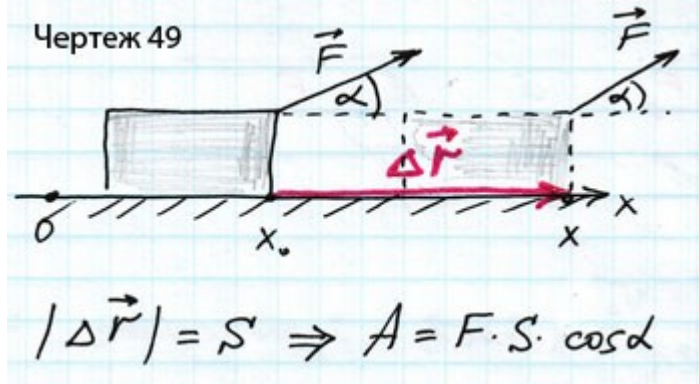
Вот несколько основополагающих принципов:

а) Тело может совершить механическую работу, если оно обладает запасом механической энергии – кинетической  $E_k$  или потенциальной  $E_p$ ;

**[ $E_k$ ] - 1 Дж, [ $E_p$ ] - 1 Дж**

б) Механическая работа совершается только в процессе движения;

в) работу можно совершить над телом, если приложить силу, чтобы оно двигалось



г) Мощность показывает, как быстро совершается работа, т.е. мощность равна отношению работы к промежутку времени, в течение которого она совершалась

$$N = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F S \cos \alpha}{\Delta t}, \text{ но } \frac{S}{\Delta t} = v \Rightarrow$$
$$\Rightarrow N = F v \cos \alpha$$

если  $\alpha = 0$ , то  $A = FS$  и  $N = Fv$

**[N] - 1 Вт**

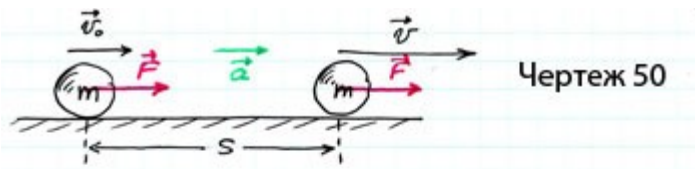
д) Механическая работа может совершаться не только за счет  $E_k$  или  $E_p$ , но и за счет других видов энергии, например тепловой (двигатель внутреннего сгорания) или электрической (электродвигатель). Однако, в любом случае, этот иной вид энергии сначала преобразуется в механическую, чаще всего в  $E_k$ , а потом уже совершается механическая работа.

е) Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что **ЭНЕРГИЯ<sup>1</sup> - это способность физического тела совершить работу**. Это утверждение справедливо не только для механических видов энергии.

### 2. Механическая работа и кинетическая энергия

Пусть тело движется равноускоренно и за промежуток времени  $\Delta t$  проходит расстояние  $S$  под действием силы  $F$  :

<sup>1</sup> Люди, совершенно не разбирающиеся в физике, могут рассуждать о различных видах энергии: психической, положительной, отрицательной, светлой, доброй, злой, колдовской и т.п. Они могут даже «видеть» энергию. Все это безграмотная чушь.



Чертеж 50

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \text{ (Тема 2, п. 3, примечание)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2as = v^2 - v_0^2 \Rightarrow as = \frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} \quad | \times m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{mas}{F} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow \frac{F \cdot s}{A (\alpha=0)} = E_k - E_{k0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = E_k - E_{k0} \text{ или } A = \Delta E_k$$

Вывод: **работа равна изменению кинетической энергии.**

Но  $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$ , значит:

если  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  то  $A > 0$  и  $\Delta E_k > 0$

если  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  то  $A < 0$  и  $\Delta E_k < 0$

**Ek** называют также энергией движения, т.к. она связана со скоростью.

### 3. Работа силы тяжести и потенциальная энергия

Пусть тело свободно падает (См. Тема 2, п. 4) с некоторой высоты  $h_1$  до высоты  $h_2$ :

$|\Delta r| = h_1 - h_2$   
 $F = mg$   
 $A = F \cdot |\Delta r| = mg(h_1 - h_2)$   
 $A = \underbrace{mgh_1}_{E_{n1}} - \underbrace{mgh_2}_{E_{n2}}$   
 $A = -(E_{n2} - E_{n1})$   
 $A = -\Delta E_n$

Чертеж 51

Вывод: работа равна изменению потенциальной энергии с обратным знаком.

Поскольку угол  $\alpha = 0$ , то:

если  $A > 0$  то  $\Delta E_n < 0$  – тело падает (движется вертикально вниз)

если  $A < 0$  то  $\Delta E_n > 0$  – тело взлетает (движется вертикально вверх)

Если тело падает по параболической траектории, то такую траекторию можно представить в виде ступенчатой. На каждой ступеньке работа совершается только при движении по горизонтальному участку

$A = mgh_1 + mgh_2 + \dots + mgh_n =$   
 $= mg(h_1 + h_2 + \dots + h_n) =$   
 $= mgh$

Чертеж 52

(угол  $\alpha = 0^\circ$  или  $\alpha = 180^\circ$ ).

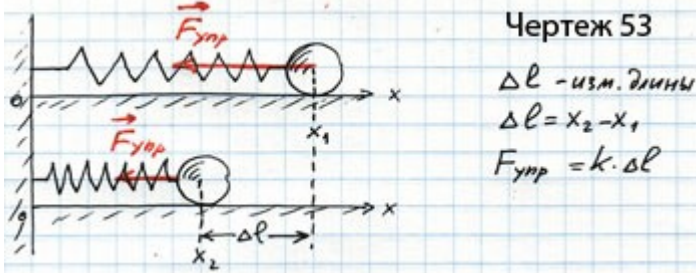
На вертикальных участках ступенек  $A = 0$  поскольку угол  $\alpha = 90^\circ$  и  $\cos 90^\circ = 0$ . Отсюда следует парадоксальный, на первый взгляд, вывод: работа силы тяжести не зависит от формы траектории

падающего тела, а зависит только от разности высот!

$E_n$  называют также энергией взаимодействия, т.к. она связана с силами взаимодействия (между телами и/или частями тел).

#### 4. Работа силы упругости и потенциальная энергия

Пусть пружина сначала растянута (положение  $x_1$ ), а затем сжата (положение  $x_2$ ). Под действием силы упругости  $F_{упр}$  тело, переместилось на расстояние  $x_2 - x_1$ :



Вычислим работу  $F_{упр}$ . Для этого нужно построить график зависимости  $F_{упр}(x)$ . Работа на нем будет равна площади треугольника.



Работа силы упругости  $A = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2}$  совершается за счет запаса потенциальной энергии в

деформированном теле  $\rightarrow$  потенциальная энергия деформированного тела  $E_n = \frac{k \cdot (\Delta l)^2}{2}$ .

#### 5. Закон сохранения механической энергии

Тело массой  $m$  падает с высоты  $h_1$  до высоты  $h_2$ , следовательно силой тяжести совершается некая работа. Но одновременно меняется его скорость, следовательно работа совершается и за счет изменения кинетической энергии. В момент, когда тело касается поверхности земли  $h=0$ , а скорость - максимальна. Значит его  $E_n=0$ , а  $E_k=\max$ . В верхней точке все было наоборот: тело покоилось, значит его  $E_k=0$ , а высота была наибольшей, т.е.  $E_n=\max$ .

$$A = mgh_2 - mgh_1 = -\Delta E_n$$

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k$$

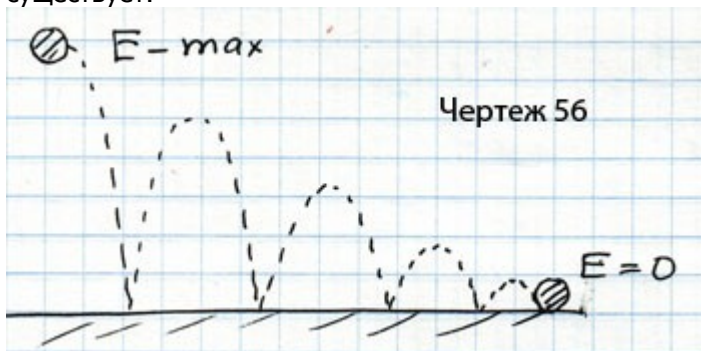


Таким образом, в процессе падения происходит постепенный переход одного вида  $E_n$  механической энергии в другой  $E_k$ . Но ведь работа совершается одна и та же! Следовательно, изменение потенциальной энергии равно изменению кинетической энергии (с обратным знаком):  $\Delta E_k = -\Delta E_n$ . Знак "-" показывает, что один вид энергии уменьшается, а другой - возрастает. При этом сумма  $E_n$  и  $E_k$  остается постоянной в любой точке траектории. Это и есть закон сохранения механической энергии:

**В замкнутых системах полная механическая энергия сохраняется.**

$E$  – полная механическая энергия:  **$E = \text{const}$**

Выполнение этого закона возможно только тогда, когда в системе действуют внутренние силы (их называют - консервативные силы). Если же в действие вступят внешние силы (сопротивление воздуха, сила реакции опоры), то закон выполняться не будет. Дело в том, что замкнутых систем в чистом виде в природе не существует.



Пример: если бросить на твердую поверхность теннисный шарик, то он будет отскакивать каждый раз на все меньшую высоту и, в конце-концов, перестанет подскакивать вообще. Почему? Неужели его механическая энергия не сохраняется и закон нарушается? Реальную физическую систему (шарик - поверхность - воздух) нельзя считать замкнутой. При движении шарика часть его механической энергии расходуется на преодоление сопротивления воздуха, а другая часть - на деформацию шарика и поверхности в момент удара. Поэтому его полная механическая энергия с каждым ударом о поверхность уменьшается, пока не становится равной нулю. Это значит, что механическая энергия не исчезла, а перешла в другие виды энергии - немеханические.

Следует иметь в виду, что любая физическая система (она может состоять из одного тела или из многих тел) стремится занять положение с минимальной энергией (вспомним виды равновесия - тема 5, п. 1).

## 6. Импульс. Закон сохранения импульса

Пусть тело под действием силы  $F$  движется равноускоренно с ускорением  $a$ . Посмотрим, как связана сила, действующая на тело, с изменением его скорости:

Чертеж 57

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}, \text{ но } \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = \frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

Обозначим  $\vec{p} = m\vec{v}$  - импульс тела  
 $\vec{F} \cdot \Delta t$  - импульс силы

тогда:  $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$

импульс силы равен изменению импульса тела.

[p] - 1 кг м/с

[F·Δt] - 1 Н·с

Рассмотрим два абсолютно твердых тела, которые сталкиваются на абсолютно твердой поверхности, воздух отсутствует - это замкнутая система, поскольку тела могут лишь действовать друг на друга с некоторыми силами в момент удара - взаимодействия.

Чертеж 58

до удара

после удара

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

Суммы импульсов тел до удара и после него равны, система замкнутая, следовательно:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \text{const}$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

Это и есть закон сохранения импульса, который читается так:

**сумма импульсов тел в замкнутой системе остается величиной постоянной при любых взаимодействиях этих тел между собой.**

Контрольные вопросы:

1. Когда тело может совершить механическую работу?
2. Может ли механическая работа совершаться, если сила действует, но тело неподвижно?
3. Когда приложенная к телу сила совершает работу?
4. Запишите формулу вычисления работы?
5. Может ли механическая работа быть равна нулю, если на движущееся тело действует сила?
6. Дайте определение мощности как физической величины.
7. Запишите формулу мощности по определению.
8. Запишите формулу мощности через силу и скорость.
9. В каких единицах измеряется работа и мощность?
10. Каким образом механическая работа совершается за счет немеханических видов энергии?
11. Что такое ЭНЕРГИЯ?
12. Запишите формулу для кинетической энергии движущегося тела?

13. Как связана механическая работа с изменением кинетической энергии?
14. Запишите формулу для потенциальной энергии тела, на которое действует сила тяжести.
15. Как связана механическая работа с изменением потенциальной энергии?
16. Почему  $E_k$  – это энергия движения?
17. Почему  $E_n$  – это энергия взаимодействия?
18. В чем особенность силы упругости, под действием которой движется тело?
19. Запишите формулу для  $E_n$  силы упругости.
20. Как меняется  $E_n$  тела в свободном падении при движении вниз?
21. Как меняется  $E_k$  тела в свободном падении при движении вниз?
22. Как меняется  $E_n + E_k$  тела в свободном падении при движении вниз?
23. Сформулируйте и запишите закон сохранения полной механической энергии.
24. Почему маятник, отклоненный от положения равновесия, постепенно останавливается?
25. Что такое «импульс тела»?
26. Что такое «импульс силы»?
27. Как связаны между собой импульс силы и импульс тела? Формула?
28. В каких единицах измеряются импульс силы и импульс тела?
29. Как связаны между собой импульсы двух тел до и после взаимодействия в замкнутой системе?
30. Сформулируйте и запишите закон сохранения импульса.