ВоГУ

Лекция 03

Работа. Энергия

Кузина Л.А.,

к.ф.-м.н.,

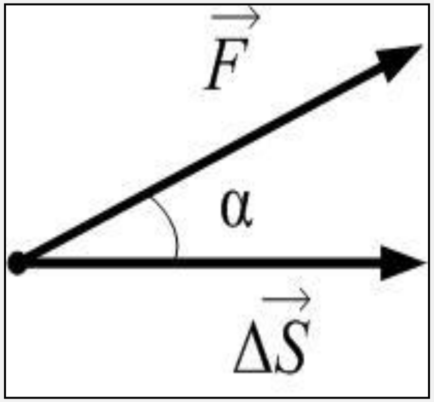
доцент

2020 г.

План

1. Работа
2. Мощность
3. Энергия. Закон сохранения энергии
4. Кинетическая энергия
5. Потенциальная энергия в поле тяготения
6. Потенциальная энергия упругой деформации
7. Графическое представление энергии
8. Признак потенциальности поля. Консервативные силы. Диссипативные силы
9. Связь между консервативной силой и потенциальной энергией

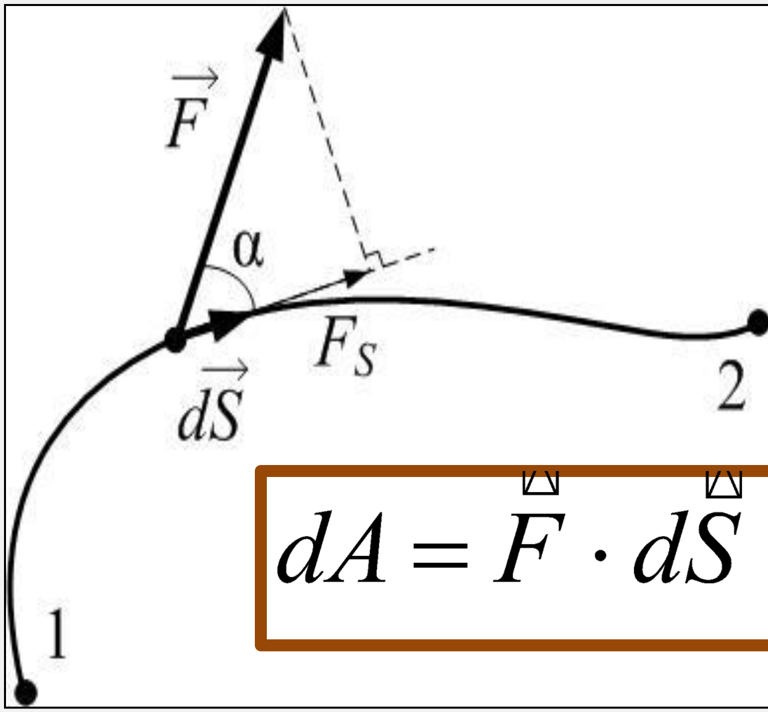
Работа



$$\vec{F} = const$$

$$\boxed{\Delta A = \vec{F} \cdot \Delta\vec{S} = F \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha}$$

$$[A] = Н \cdot м = Дж$$

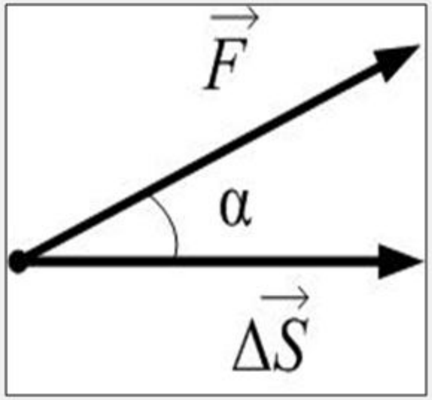


$$\vec{F} \neq const$$

$$\boxed{dA = \vec{F} \cdot d\vec{S} = F \cdot dS \cdot \cos\alpha = F_S \cdot dS}$$

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

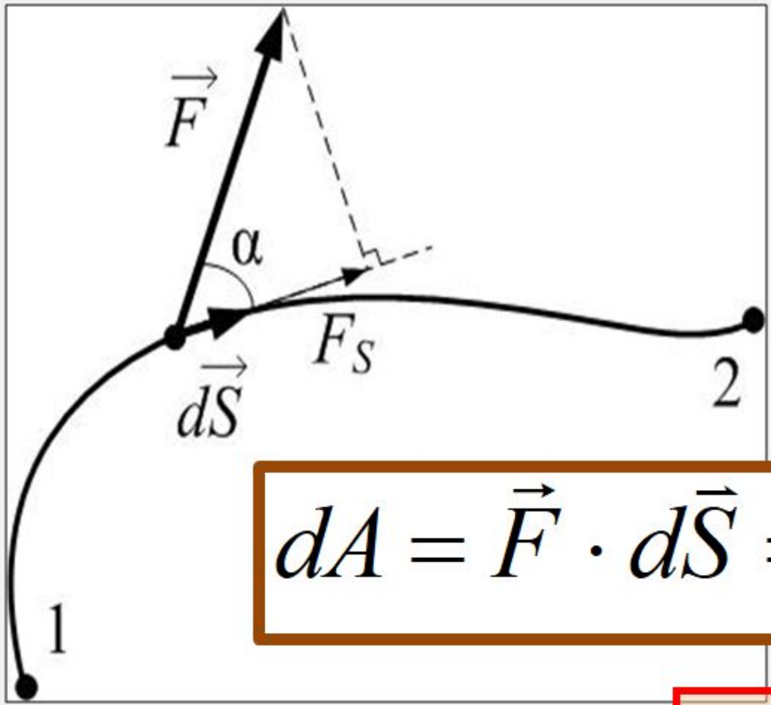
Работа



$$\vec{F} = const$$

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \Delta\vec{S} = F \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha$$

$$[A] = Н \cdot м = Дж$$

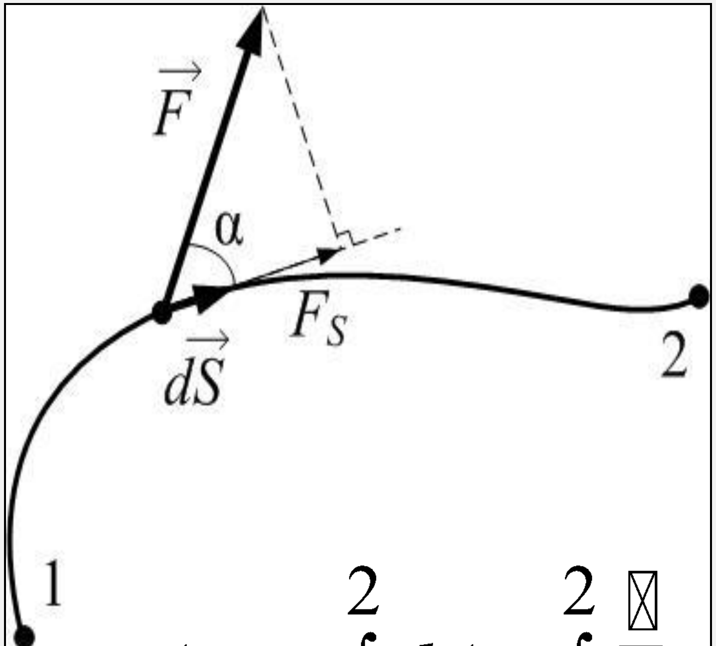


$$\vec{F} \neq const$$

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S} = F \cdot dS \cdot \cos\alpha = F_S \cdot dS$$

$$\boxed{dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}}$$

Работа

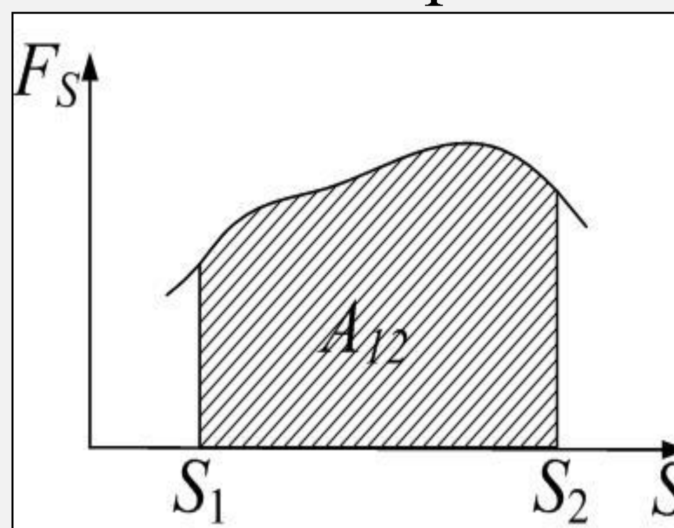


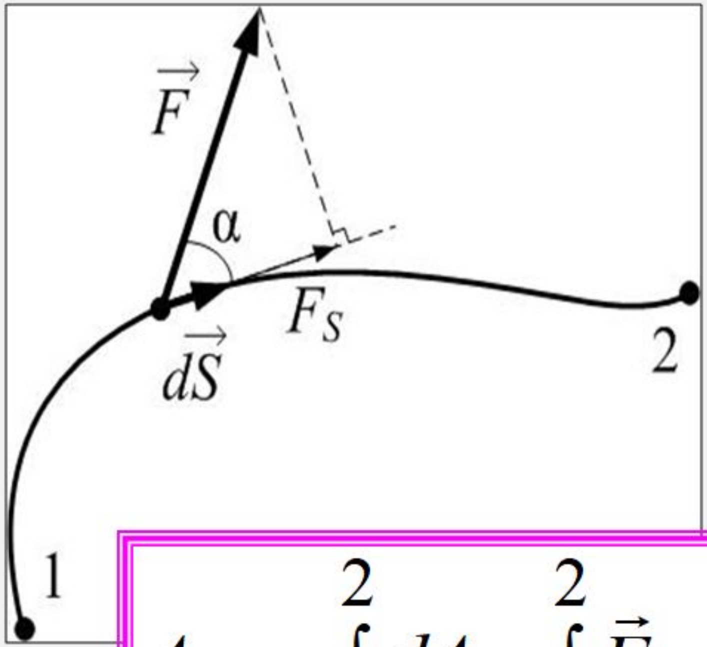
$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$\Downarrow$$

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 F \cdot \cos\alpha \cdot dS = \int_1^2 F_S \cdot dS$$

$$A_{12} = \int_1^2 F_S \cdot dS$$





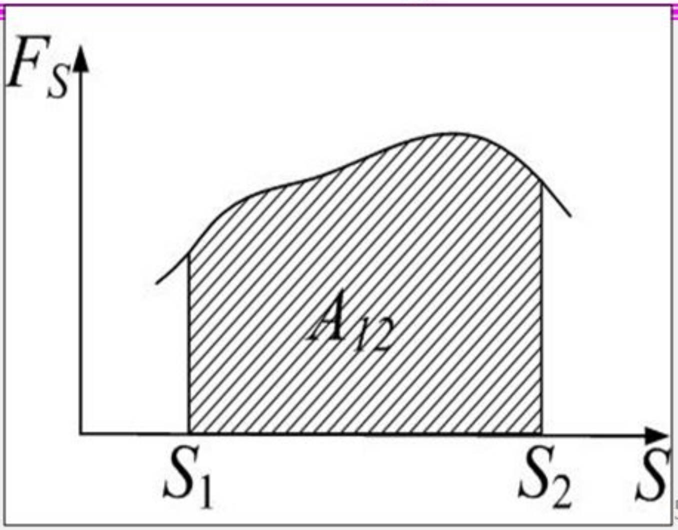
Работа

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$\Downarrow$$

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 F \cdot \cos\alpha \cdot dS = \int_1^2 F_S \cdot dS$$

$$A_{12} = \int_1^2 F_S \cdot dS$$



<u>***Мощность***</u> – быстрота совершения работы

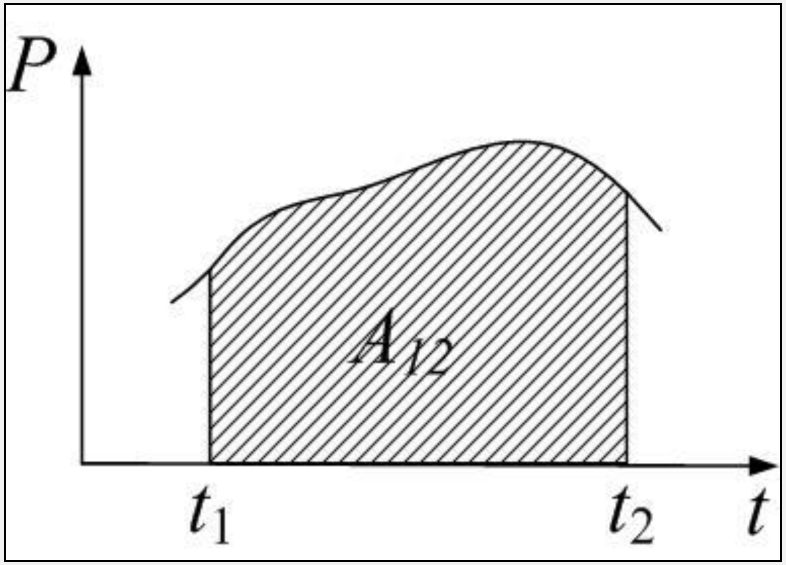
Средняя мощность $P_{ср.} = \dfrac{\Delta A}{\Delta t}$

$$[P] = \frac{Дж}{с} = Вт$$

Мгновенная мощность $P = \dfrac{dA}{dt}$

$$dA = P \cdot dt \quad \Rightarrow \quad A_{12} = \int_1^2 dA = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt$$

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$



Мощность – быстрота совершения работы

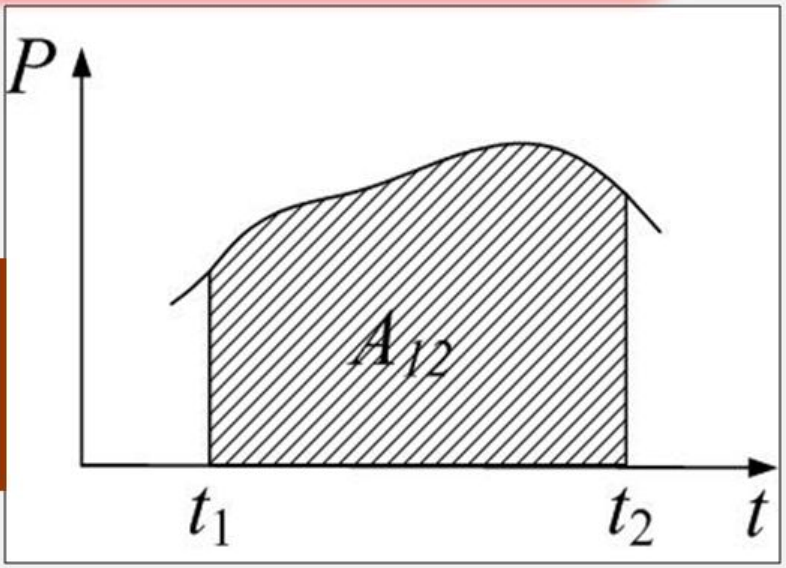
Средняя мощность $\boxed{P_{ср.} = \dfrac{\Delta A}{\Delta t}}$

$$[P] = \frac{Дж}{с} = Вт$$

Мгновенная мощность $\boxed{P = \dfrac{dA}{dt}}$

$$dA = P \cdot dt \quad \Rightarrow \quad A_{12} = \int_1^2 dA = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt$$

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$



Энергия

Энергия – мера взаимодействия и движения всех видов материи

Энергия – функция состояния,
однозначно определяется состоянием системы

Изменить энергию системы можно, совершив над системой работу

Изменение энергии системы равно работе внешних сил

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил}$$

$$[W] = [A] = Дж$$

Изменение энергии системы равно работе внешних сил

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил}$$

$$\Downarrow \qquad A = -A_{внешн.сил}$$

$$W_1 = W_2 + A$$

Если $\sum_i \vec{F}_i^{внеш.} = 0 \quad \Rightarrow \quad W_{полная} = const$

Полная энергия замкнутой системы сохраняется

Изменение энергии системы равно работе внешних сил

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил}$$

$$\Downarrow \qquad \boxed{A = -A_{внешн.сил}}$$

$$\boxed{W_1 = W_2 + A}$$

Если $\sum_i \vec{F}_i^{внеш.} = 0 \Rightarrow W_{полная} = const$

Полная энергия замкнутой системы сохраняется

Механическая энергия

Кинетическая
(энергия движения)

Потенциальная
(энергия взаимодействия; положения, поскольку величина взаимодействия зависит от положения тел)

Кинетическая энергия

Пусть под действием внешней силы скорость тела изменяется:
изменение энергии равно работе внешних сил

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$W_2 - W_1 = \int_1^2 m\vec{a} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 m\frac{d\vec{\mathrm{v}}}{dt} \cdot d\vec{S}$$

$$W_2 - W_1 = \int_1^2 m\frac{d\vec{S}}{dt} \cdot d\vec{\mathrm{v}}$$

$$W_2 - W_1 = \int_{\mathrm{v}_1}^{\mathrm{v}_2} m\vec{\mathrm{v}} \cdot d\vec{\mathrm{v}} = \frac{m \cdot \mathrm{v}_2^2}{2} - \frac{m \cdot \mathrm{v}_1^2}{2} \Longrightarrow W_{кин.} = \frac{m\mathrm{v}^2}{2}$$

Кинетическая энергия

Пусть под действием внешней силы скорость тела изменяется:
изменение энергии равно работе внешних сил

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

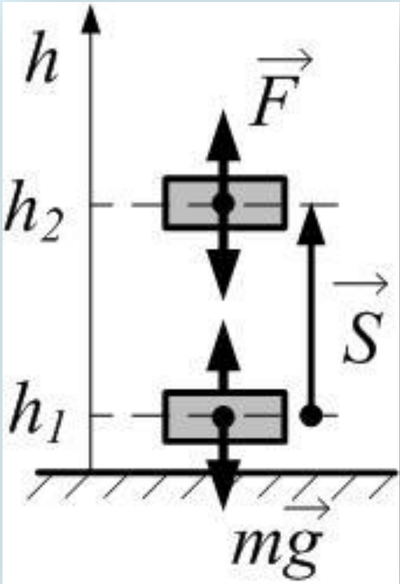
$$W_2 - W_1 = \int_1^2 m\vec{a} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{S}$$

$$W_2 - W_1 = \int_1^2 m \frac{d\vec{S}}{dt} \cdot d\vec{v}$$

$$W_2 - W_1 = \int_{v_1}^{v_2} m\vec{v} \cdot d\vec{v} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \boxed{W_{кин.} = \frac{m v^2}{2}}$$

Потенциальная энергия в однородном поле тяготения

Внешняя сила совершает работу, равную приращению потенциальной энергии:



$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 F \cdot dS =$$

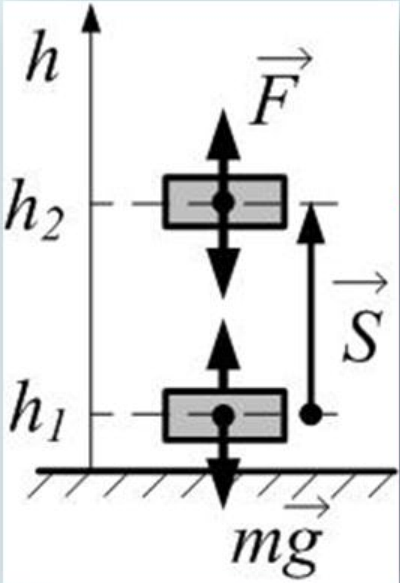
$$= F \int_1^2 dS = mg \cdot \int_{h_1}^{h_2} dh = mg \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Downarrow$$

$$W_{пот.} = mgh$$

Начало отсчёта энергии можно задавать произвольно

Потенциальная энергия в однородном поле тяготения



Внешняя сила совершает работу, равную приращению потенциальной энергии:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A_{внешн.сил} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_1^2 F \cdot dS =$$

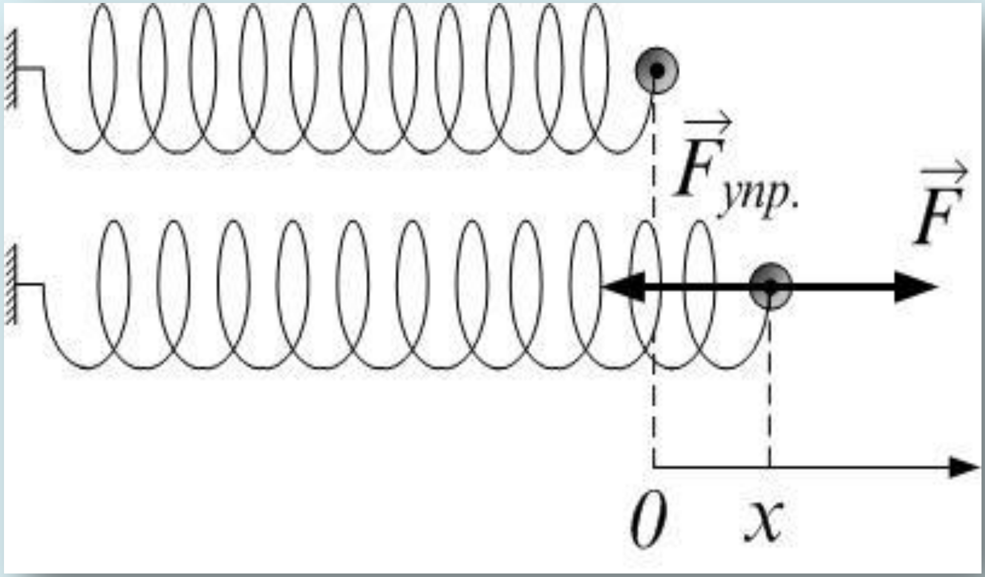
$$= F\int_1^2 dS = mg \cdot \int_{h_1}^{h_2} dh = mg \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{W_{пот.} = mgh}$$

Начало отсчёта энергии можно задавать произвольно

Потенциальная энергия упругой деформации



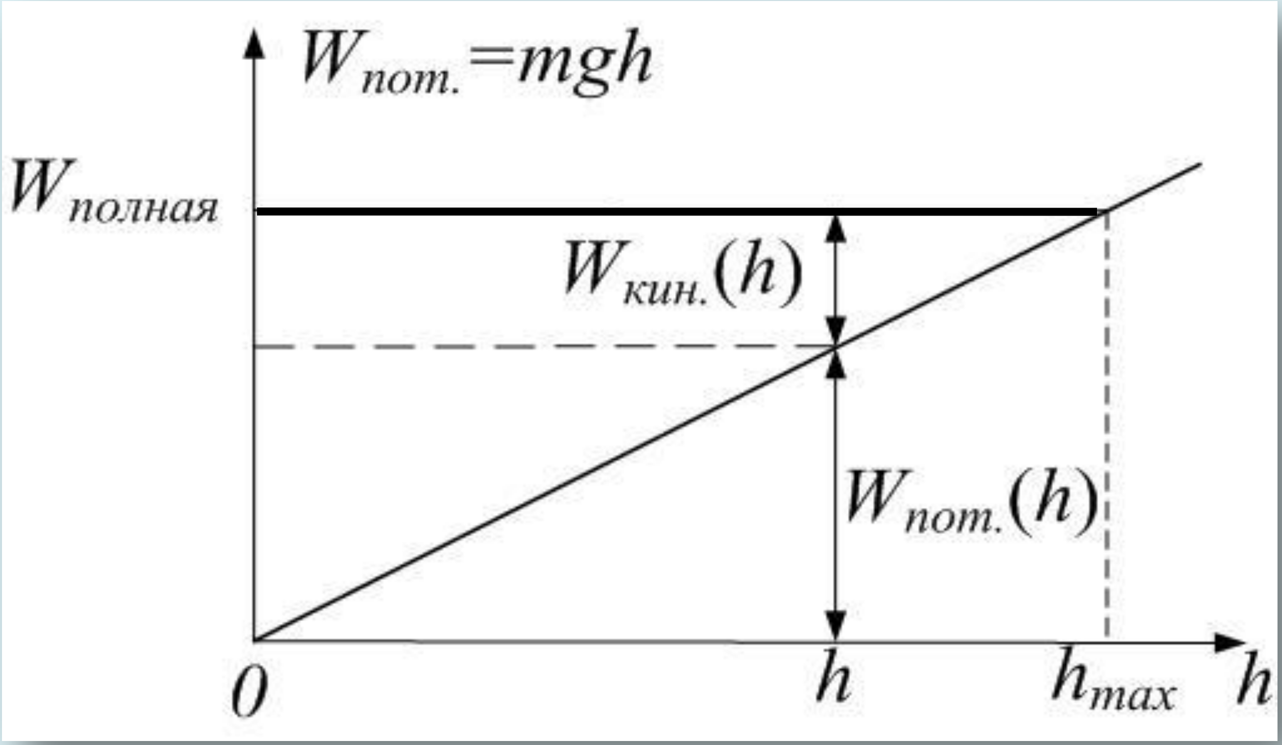
Внешняя сила совершает работу, равную приращению потенциальной энергии:

$$A_{внешн.сил} = \int_0^x F_{внеш.}dx = \int_0^x kx \cdot dx = \frac{kx^2}{2} - 0 = \Delta W_{пот.} = W_{пот.} - 0$$

$$\Downarrow$$

$$W_{пот.} = \frac{kx^2}{2}$$

Графическое представление энергии

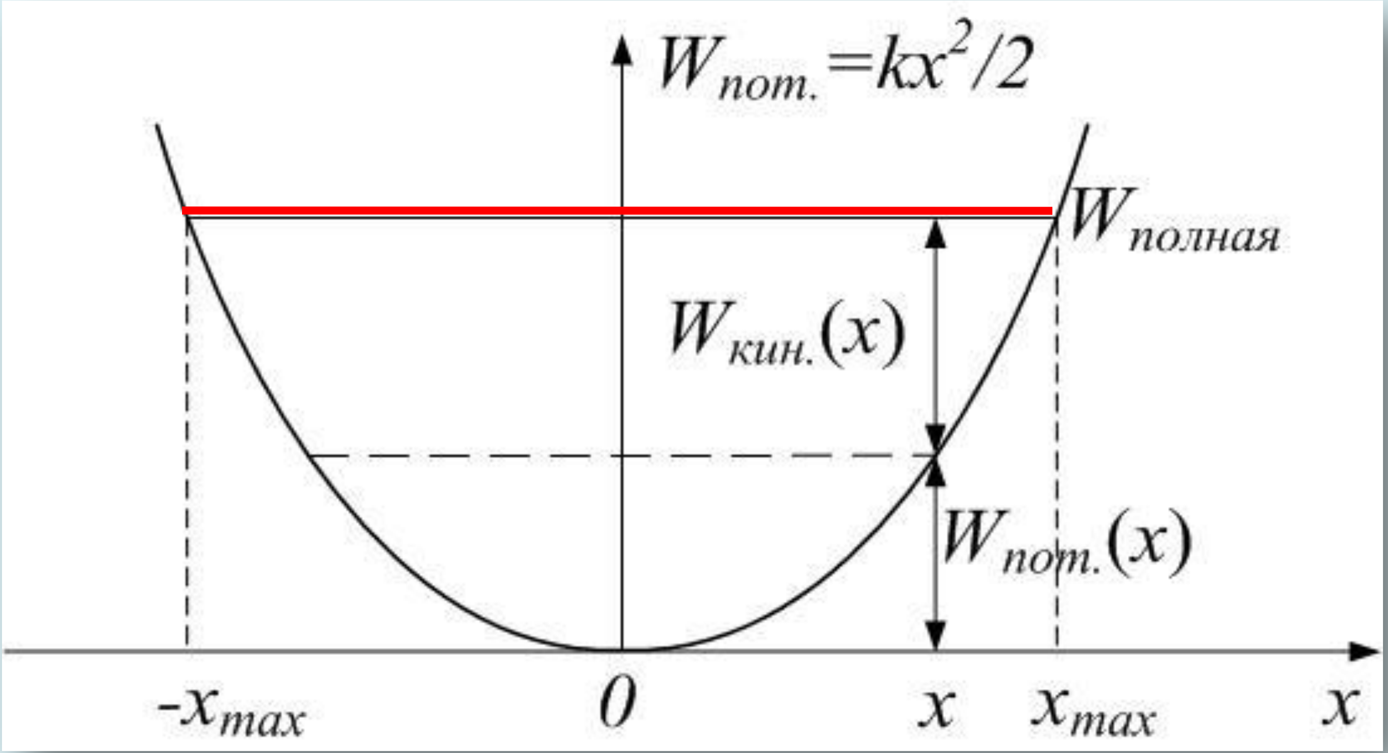


$$W_{полная} = W_{пот.} + W_{кин.}$$

$$\Downarrow$$

$$mgh_{\max} = mgh + W_{кин.}$$

Графическое представление энергии



$$W_{полная} = W_{пот.} + W_{кин.}$$

$$\Longrightarrow \quad \frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + W_{кин.}$$

Признак потенциальности поля
Консервативные силы
Диссипативные силы

Сила называется **консервативной**, если её работа не зависит от траектории, а только от начального и конечного положения тела

Поле таких сил называется **потенциальным**

Примеры: гравитационное поле; поле упругих сил

Если работа силы зависит от траектории, то силы называются **диссипативными**

Поле таких сил – **непотенциальное**

Примеры: силы трения; силы вязкости; силы неупругой деформации

При наличии диссипативных сил механическая энергия необратимо превращается в другие виды, например, в тепловую

Закон сохранения механической энергии

<ins>При наличии диссипативных сил</ins> закон сохранения (изменения) **<ins>механической</ins>** энергии системы при её переходе из состояния 1 в состояние 2:

$$W_{1\,мех.} = W_{2\,мех.} + A_{\substack{\text{против}\\ \text{диссипативных}\\ \text{сил}}} + A_{\substack{\text{против}\\ \text{внешних}\\ \text{сил}}}$$

В замкнутой системе механическая энергия сохраняется, если <ins>нет диссипативных</ins> сил, а есть только <ins>консервативные</ins>