

Лекция 4-5

Энергия. Закон сохранения энергии

Музыченко Яна Борисовна

muzychenko@itmo.ru



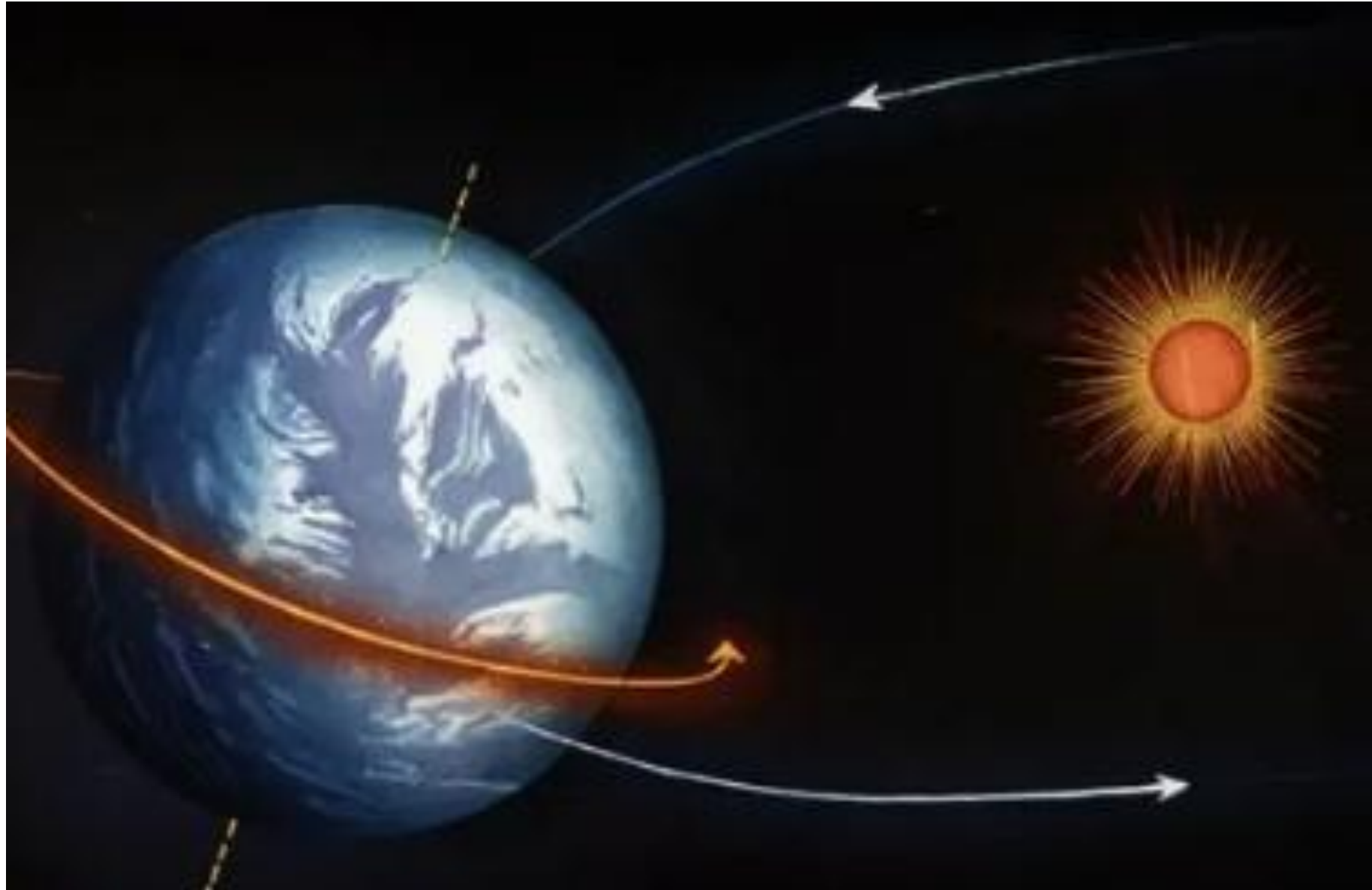
- Динамика. Повторение
- Что такое акселерометр и как он работает?
- Механическая работа
- Потенциальная и кинетическая энергия

Земля является инерциальной
системой отсчета?

Что такое акселерометр и как он
работает?

Как найти работу любой силы?

Почему законы сохранения являются
самыми фундаментальными в природе?



Земля $a_n = 3,4 \text{ см/с}^2$

Центр Земли $a_n = 0,6 \text{ см/с}^2$

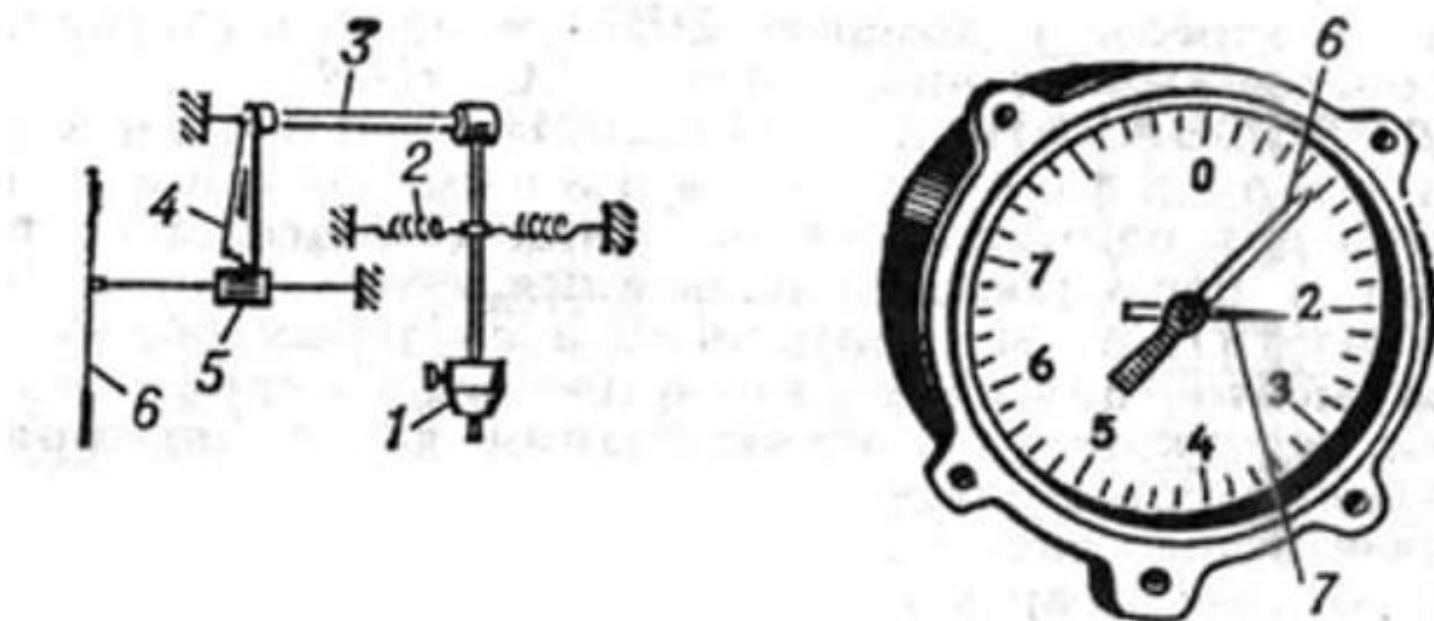
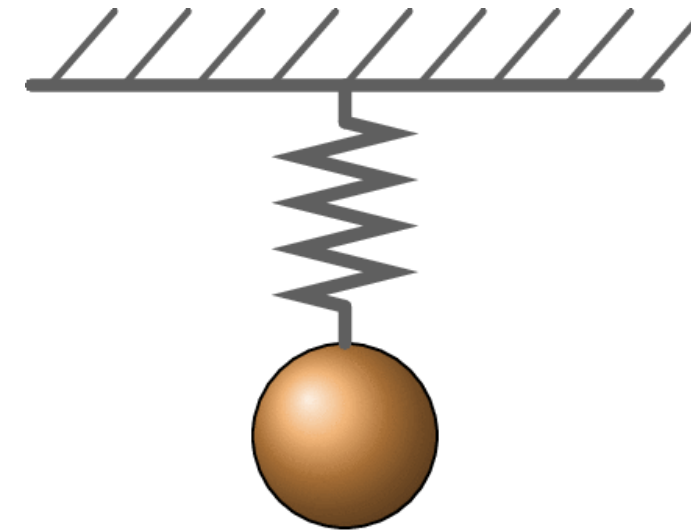
Солнце $a_n = 3 \cdot 10^{-8} \text{ см/с}^2$

Закон Гука:

$$F = k|\Delta l|$$

Акселерометр – прибор, измеряющий ускорение, точнее проекцию кажущегося ускорения. Возможно измерение трех проекций на оси координат.

$$mg - k\Delta l = ma$$



Авиационный механический акселерометр

- Механические
- Емкостные, электронные
- Пьезоэлектрические
- Термические
- Оптические



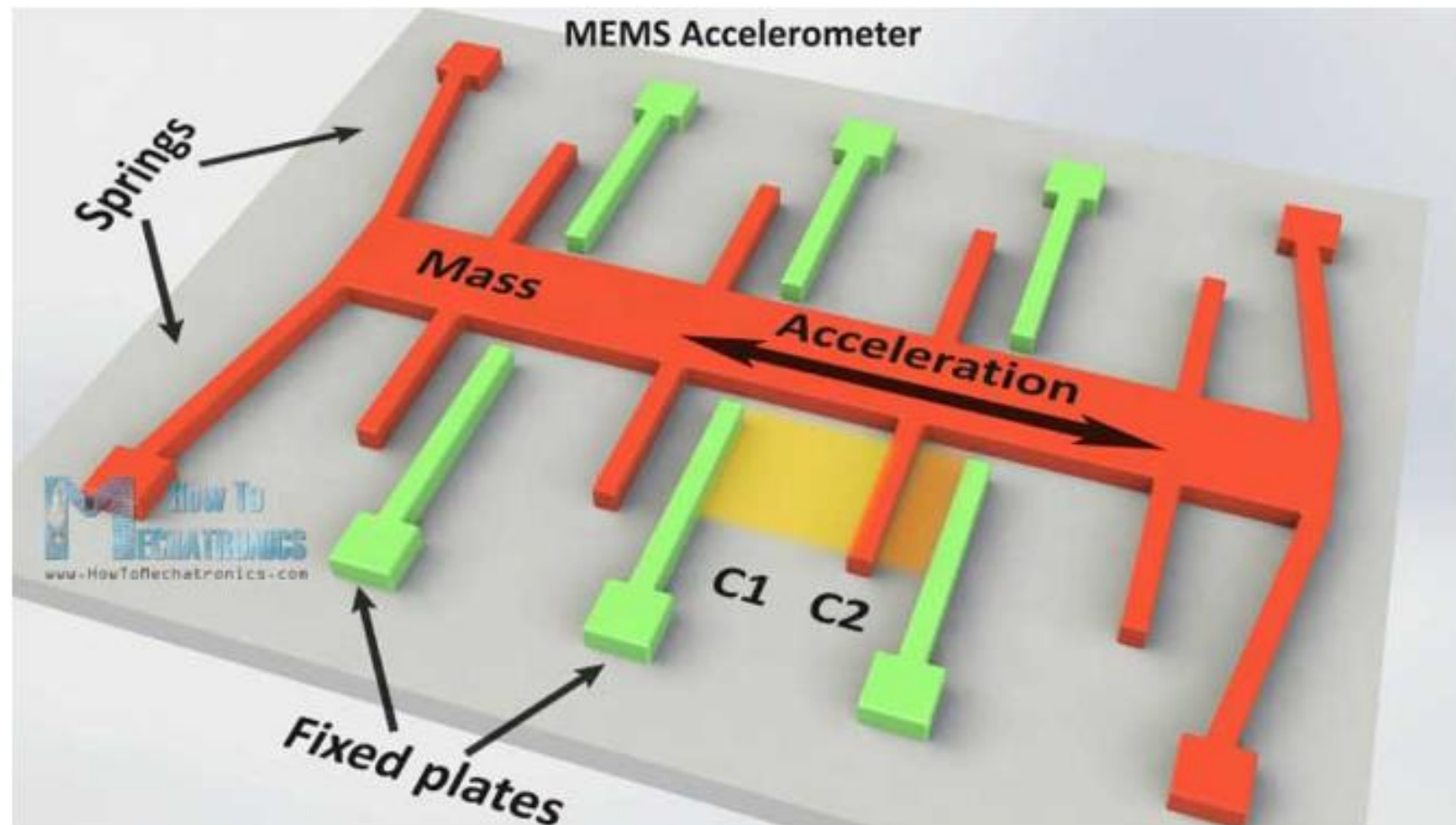
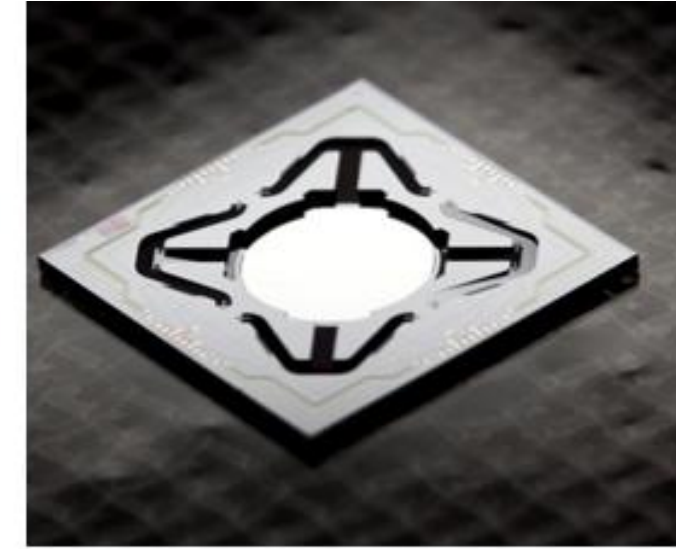
Область применения:

- Автомобиль (подушка безопасности, круиз-контроль, видеорегистратор);
- Авиация;
- Телефон (поворот экрана, игры и т.д.);
- Ноутбук (защита от удара);
- Фитнес-браслеты и др.

МЭМС (микроэлектромеханические системы) – устройства, объединяющие в себе микромеханические и микроэлектронные элементы.

Размеры схем – от 20 мкм до 1 мм

Основной материал изготовления – кремний (соответствие закону Гука), используются методы фотолитографии и травления.



Любое тело можно представить в виде системы материальных точек. Если система с течением времени изменяется, то говорят, что система изменила свое состояние. Состояние системы характеризуется одновременным заданием координат и скоростей всех ее частиц.

Можно ли решить задачу, записав для каждой точки, входящую в систему законы Ньютона?

Есть ли более простые и универсальные законы, позволяющие решить ту же задачу?

При изменении состояния системы всегда существуют такие величины, которые сохраняются с течением времени. Среди этих величин наиболее важное значение имеют **импульс, энергия и момент импульса**.

Эти величины обладают **свойством аддитивности** – значение величин для системы, состоящей из частей, равно сумме значений для каждой из частей в отдельности.

Законы сохранения – универсальные законы природы, связаны с фундаментальными свойствами **пространства и времени**.

Закон сохранения импульса – однородность пространства

Закон сохранения энергии – однородность времени

Закон сохранения момента импульса – изотропность пространства

Есть ли случаи нарушения законов сохранения?

Пока не известны!

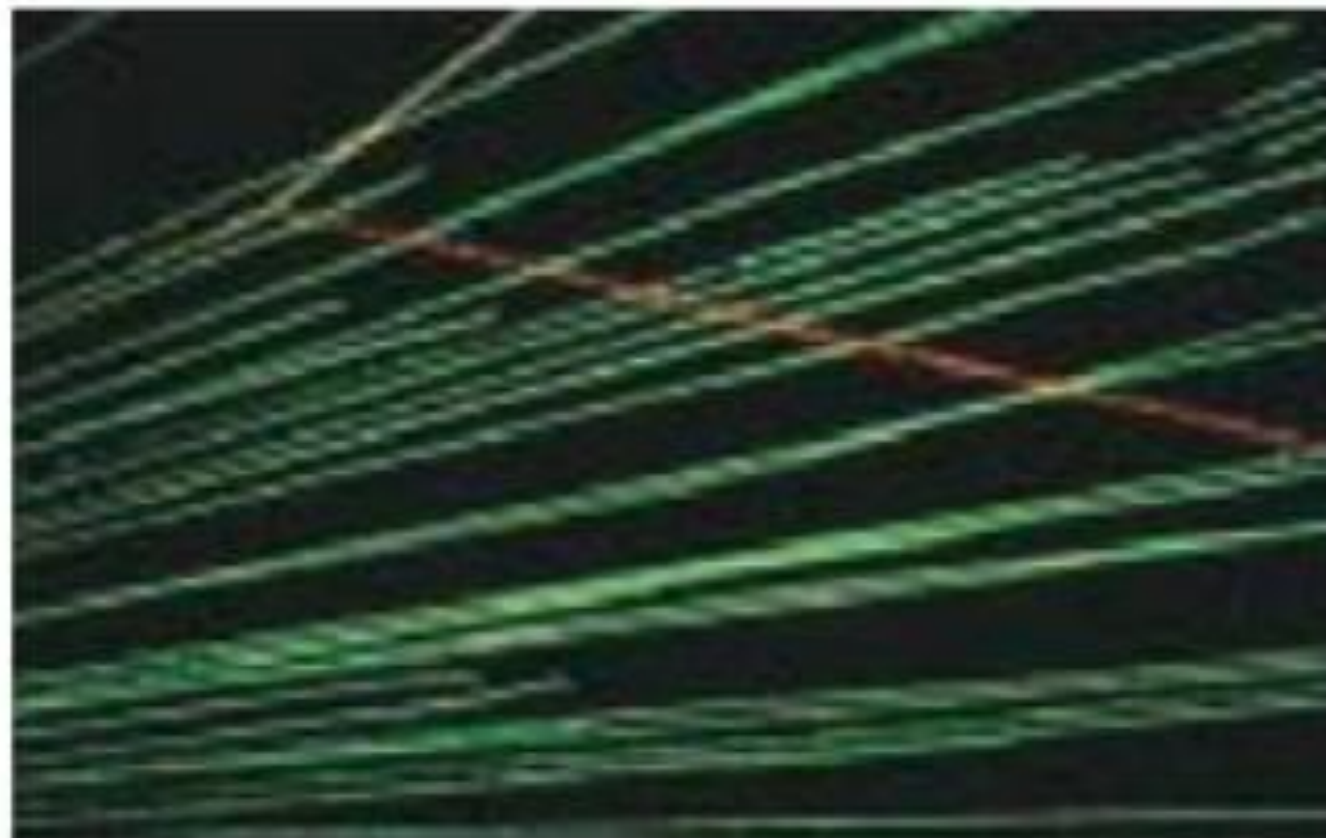
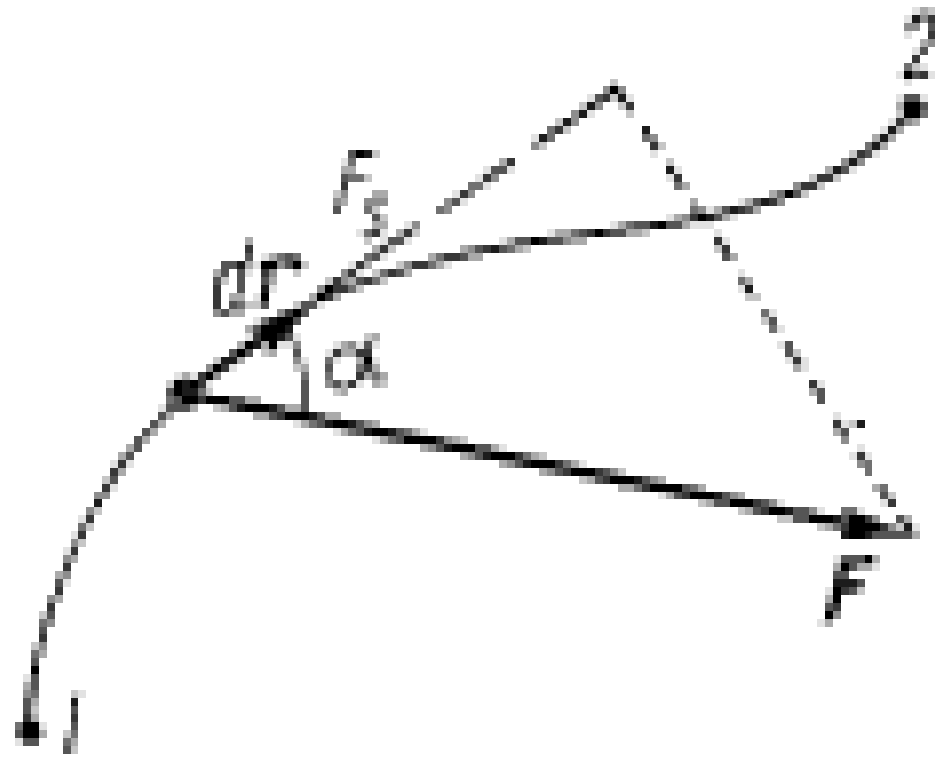


FIGURE 9–17 A recent color-enhanced version of a cloud-chamber photograph made in the early days (1920s) of nuclear physics. Green lines are paths of helium nuclei (He) coming from the left. One He, highlighted in yellow, strikes a proton of the hydrogen gas in the chamber, and both scatter at an angle; the scattered proton's path is shown in red.



$d\vec{r}$ – элементарное перемещение, в пределах которого сила $\vec{F}$ постоянна
 F_s – проекция силы на направление перемещения

$$|d\vec{r}| = ds$$

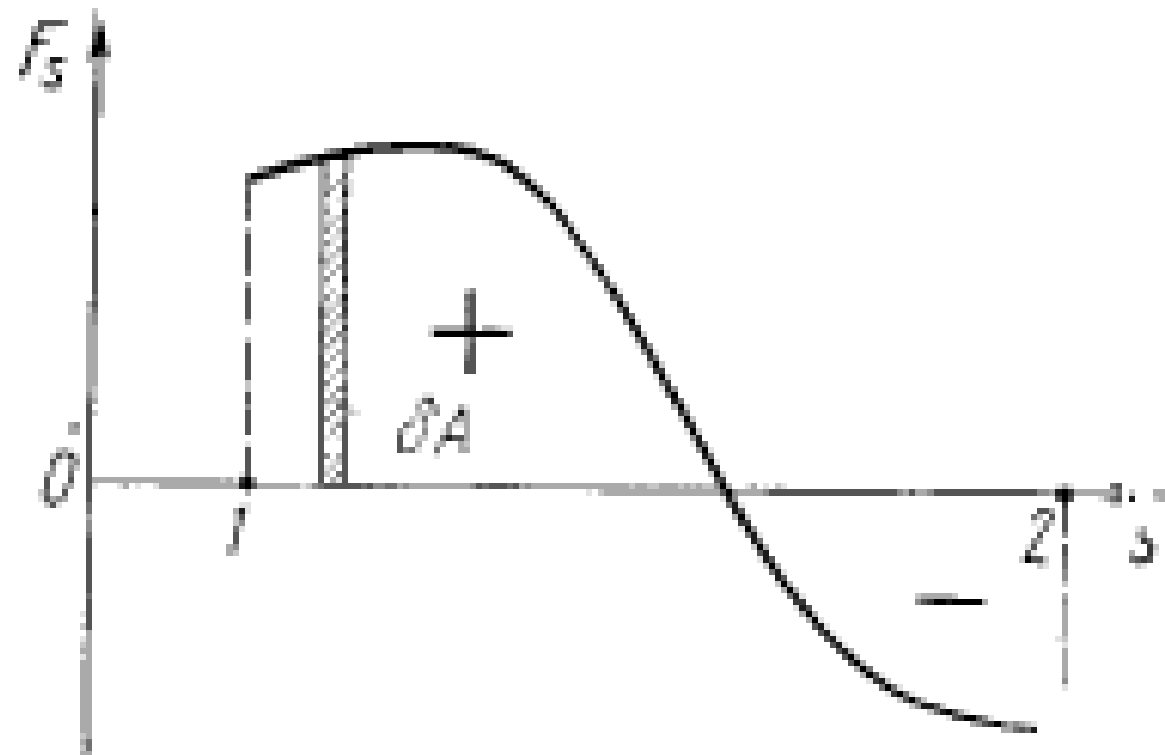
Элементарная работа силы $\vec{F}$ на перемещении $d\vec{r}$

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

Механическая работа A силы $\vec{F}$ на конечном участке траектории 1-2:

$$A = \sum dA = \int dA$$

$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 F_s ds$$



Допустим на тело действует несколько сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

Работа результирующей силы, действующей на тело, равна сумме работ всех сил:

$$\begin{aligned} A &= \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots) d\vec{r} = \\ &= A_1 + A_2 + A_3 + \dots \end{aligned}$$

Мощность – скалярная величина, равная работе силы, совершаемой за единицу времени. Характеризует скорость, с которой совершается работа.

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

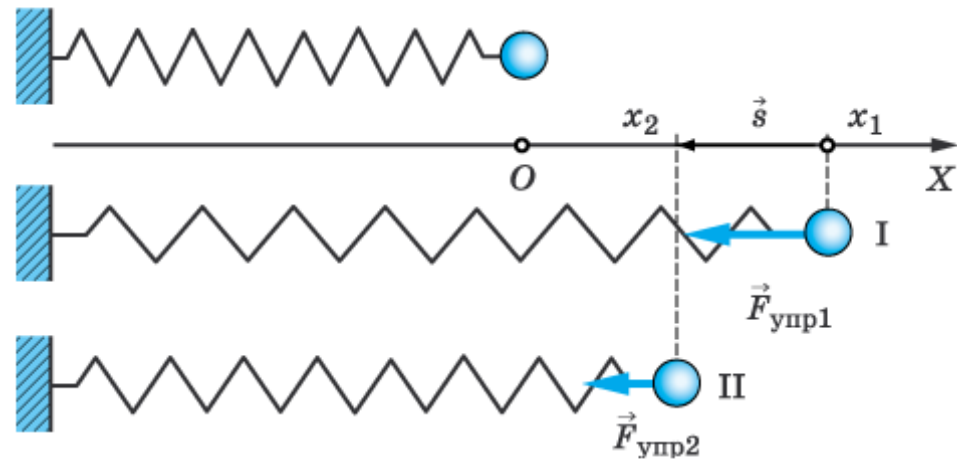
$$A = \int_{t_1}^{t_2} N dt$$

Средняя мощность:

$$N = \vec{F} \cdot \vec{v}_{\text{ср}}$$

$$[N] = \text{Дж/с} = \text{Вт (СИ)}$$

$$1 \text{ л.с.} = 735 \text{ Вт}$$

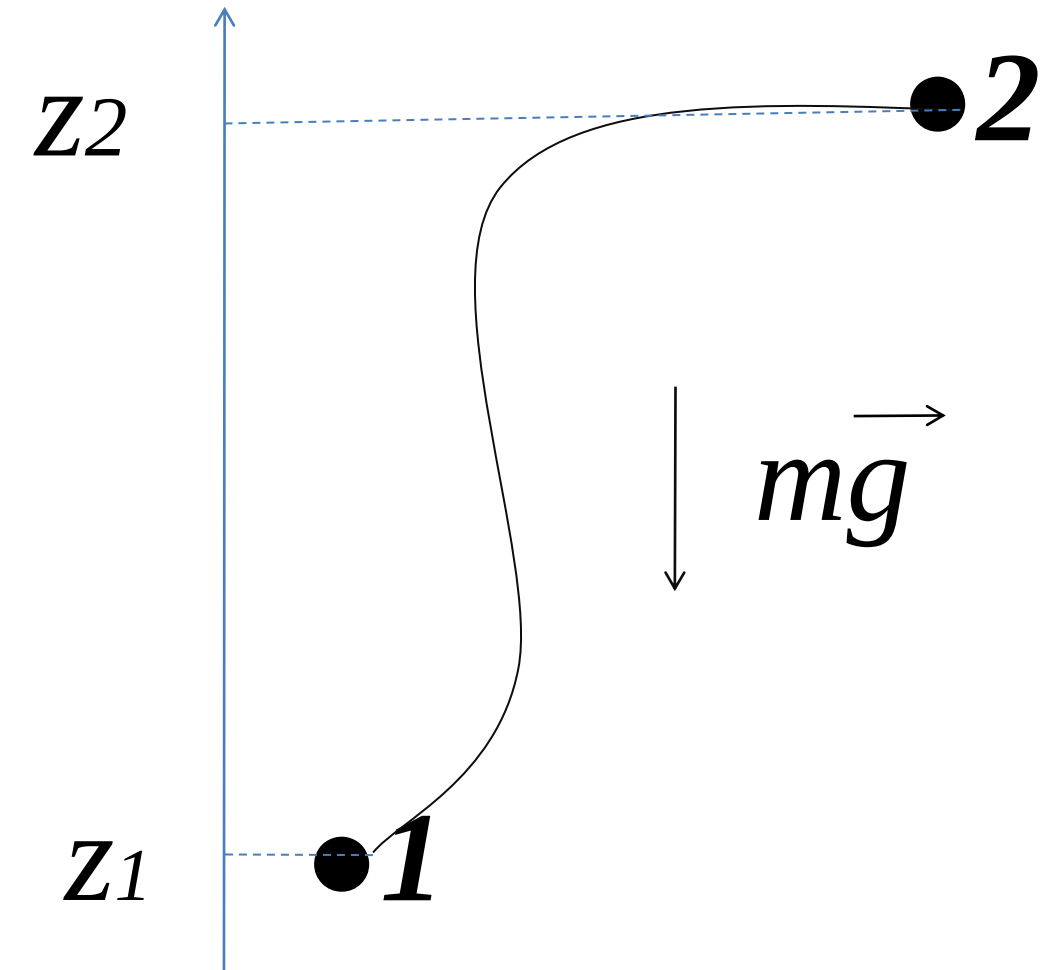


$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 F_x dx = \int_{x_1}^{x_2} (-kx) dx = \dots$$

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$



$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 m\vec{g} d\vec{r} \dots$$

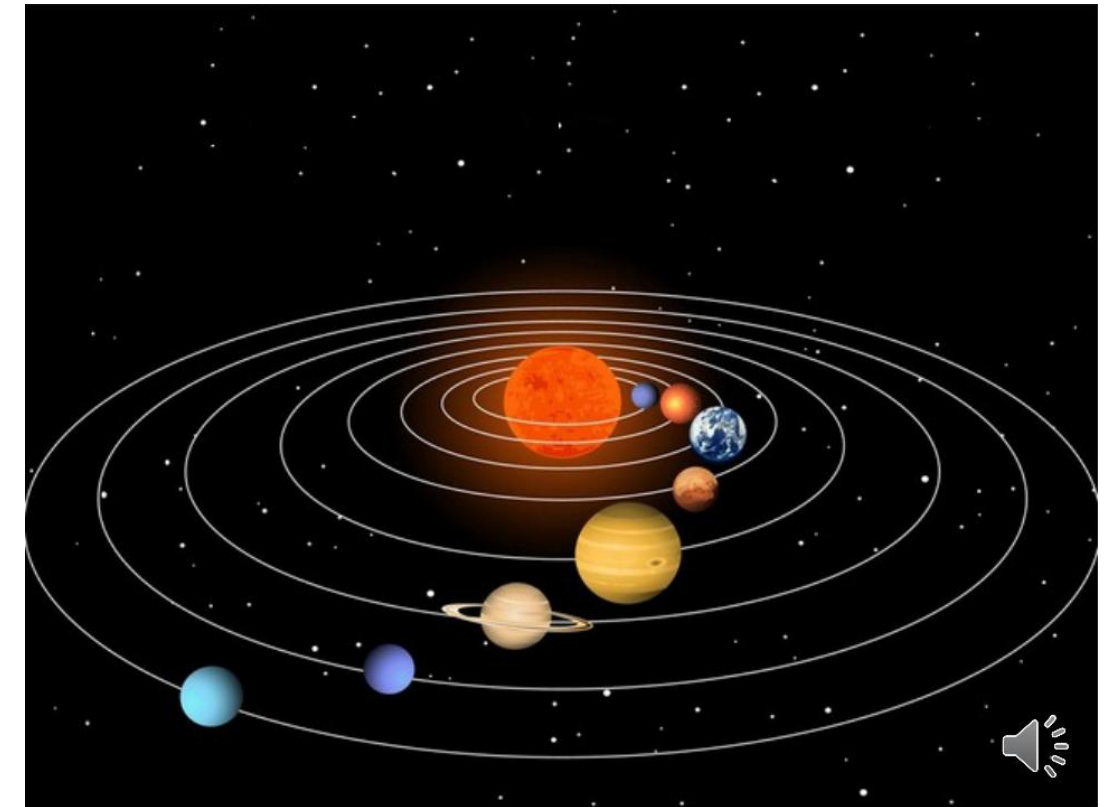


$$A = mgh_1 - mgh_2$$



$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Gm_1m_2}{r^2} dr = \dots$$

$$A = \frac{Gm_1m_2}{r_1} - \frac{Gm_1m_2}{r_2}$$



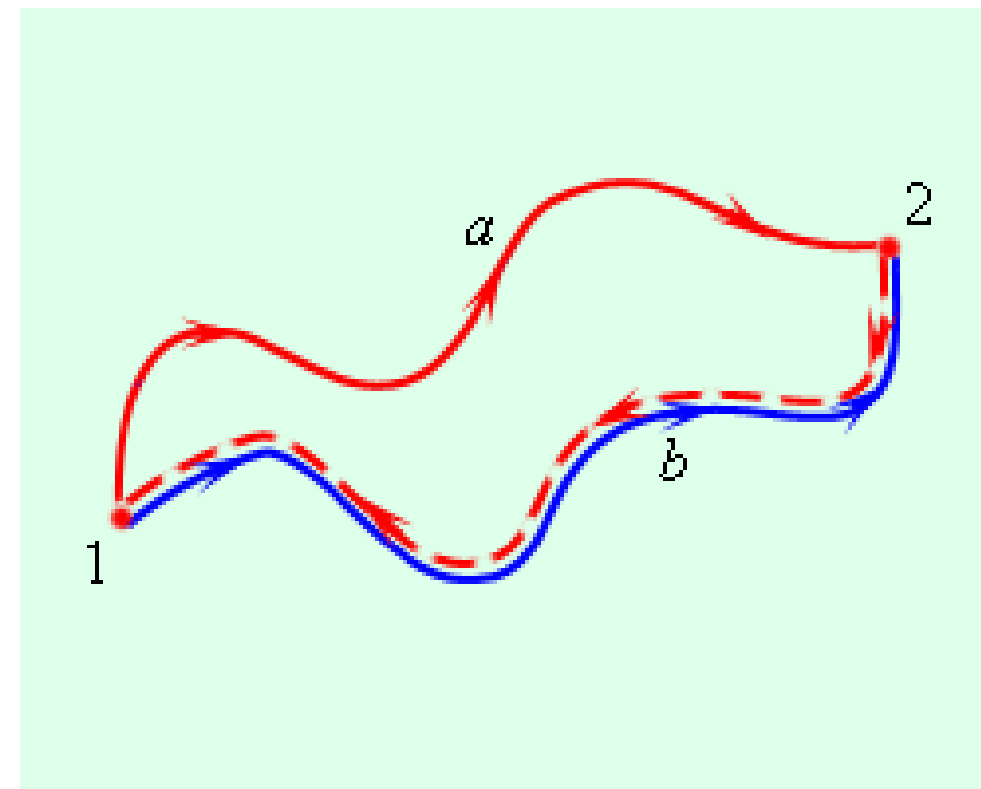
Работа приведенных сил не зависит от формы пути между точками **1** и **2**, а зависит только от начального и конечного положения тела.

Консервативные силы – силы, работа которых не зависит от формы пути, по которому перемещается тело, а определяется только начальным или конечным положением тела 1 и 2 .

Потенциальное поле – поле, в котором действуют консервативные силы

Работа консервативных сил на замкнутом контуре равна нулю!

$$\begin{aligned} A_{12a} &= A_{12b} \\ A_{12a} &= -A_{21a} \\ A_{\text{замкн}} &= 0 \end{aligned}$$



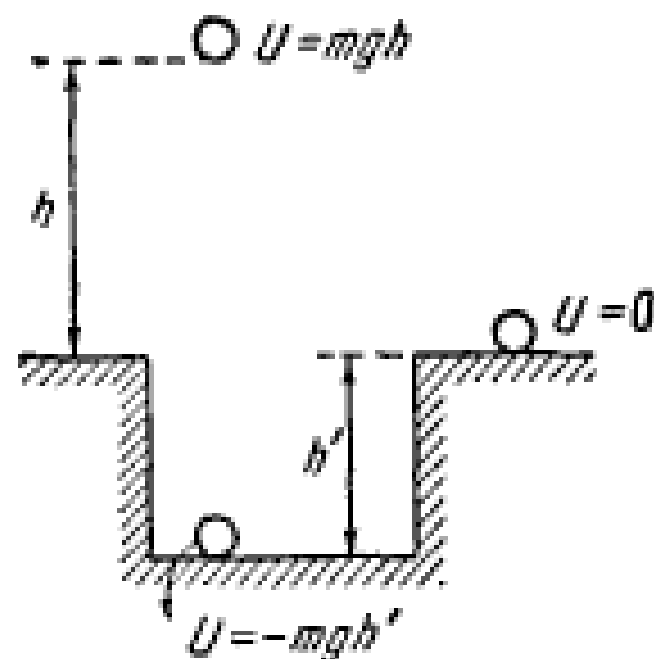
Так как работа консервативных сил зависит только от начального и конечного положений тела, то существует скалярная величина, определяющая положение тел, убыль которой равна работе.

$$A = U_1 - U_2 = -\Delta U$$

где U – потенциальная энергия.

1. В поле однородной силы тяжести:

$$U = mgh$$



2. В поле упругой силы:

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

3. В гравитационном поле :

$$U = \frac{Gm_1m_2}{r}$$

$$A = -\Delta U \Rightarrow dA = -dU = F_s ds$$

$$F_s = -\frac{\partial U}{\partial s} \qquad F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right)$$

$$\vec{F} = -gradU = -\nabla U$$

$$A = -\Delta U \Rightarrow dA = -dU = F_s ds$$

$$F_s = -\frac{\partial U}{\partial s} \qquad F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}$$

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right)$$

$$\vec{F} = -gradU = -\nabla U$$

Пусть частица массой m движется под действием силы $\vec{F}$

$$dA = \vec{F} d\vec{r} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \vec{v} dt = mv dv$$

Работа результирующей силы равна приращению кинетической энергии тела:

$$A = \Delta E_{\text{к}} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

– скалярная физическая величина, характеризующая способность тел совершать работу

Кинетическая энергия – энергия механического движения тела



Потенциальная энергия – энергия, зависящая от положения тела в потенциальном поле сил



Механическая энергия = кинетическая энергия + потенциальная энергия

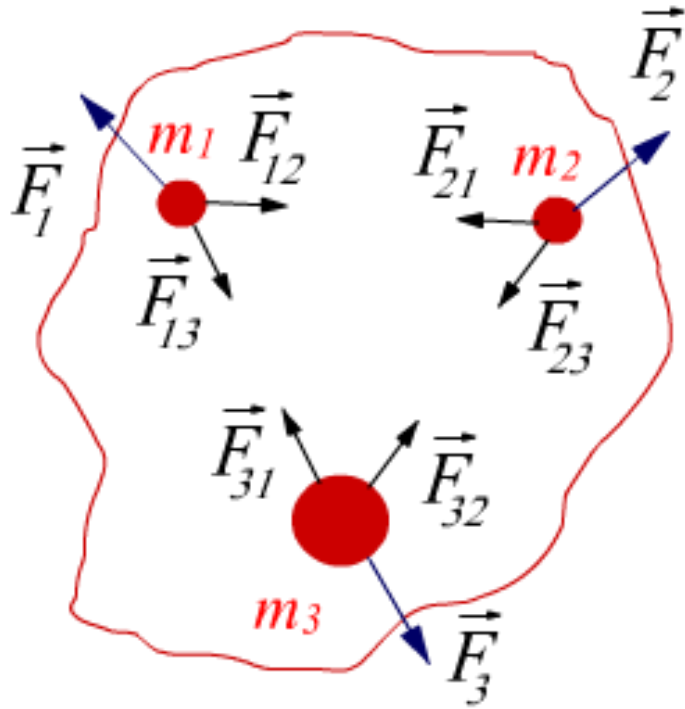
$$E_{\text{мех}} = E_k + U$$

Кинетическая энергия – функция состояния движения системы (зависит от скорости движения тел, входящих в систему):

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$$

Потенциальная энергия – функция состояния системы, (зависит только от координат тел, входящих в систему)

$$U(x, y, z)$$



Рассмотрим систему из N тел (внутренние силы - консервативные):

Конфигурации 1 (взаимному расположению тел в системе) соответствует потенциальная энергия U_1

Конфигурации 2 соответствует потенциальная энергия U_2

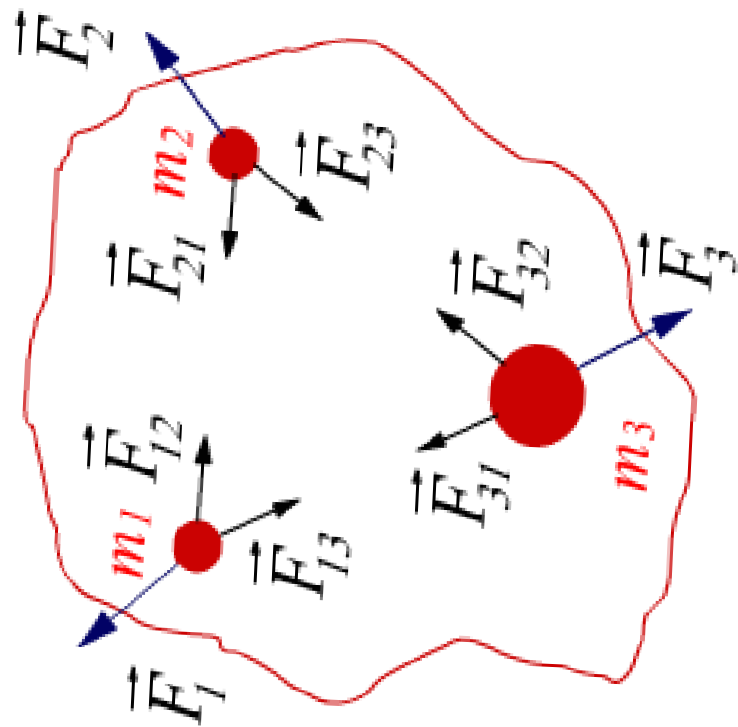
Работа консервативных сил:

$$A_{12} = U_1 - U_2$$

Работа всех сил:

$$A_{12} + A_{\text{внешн}} = E_{\text{к2}} - E_{\text{к1}}$$

$$A_{\text{внешн}} = (E_{\text{к2}} + U_2) - (E_{\text{к1}} + U_1) = \Delta E$$



Полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, остается постоянной

$$\Delta E = 0$$

$$E_K + U = \text{const}$$

Если в системе действуют неконсервативные силы:

$$\Delta E = A_{\text{неконс}}$$

$$E_2 - E_1 = A_{\text{стор}}$$

Приращение полной механической энергии частица на некотором участке пути равно алгебраической сумме работ всех сторонних сил, действующих на частицу.

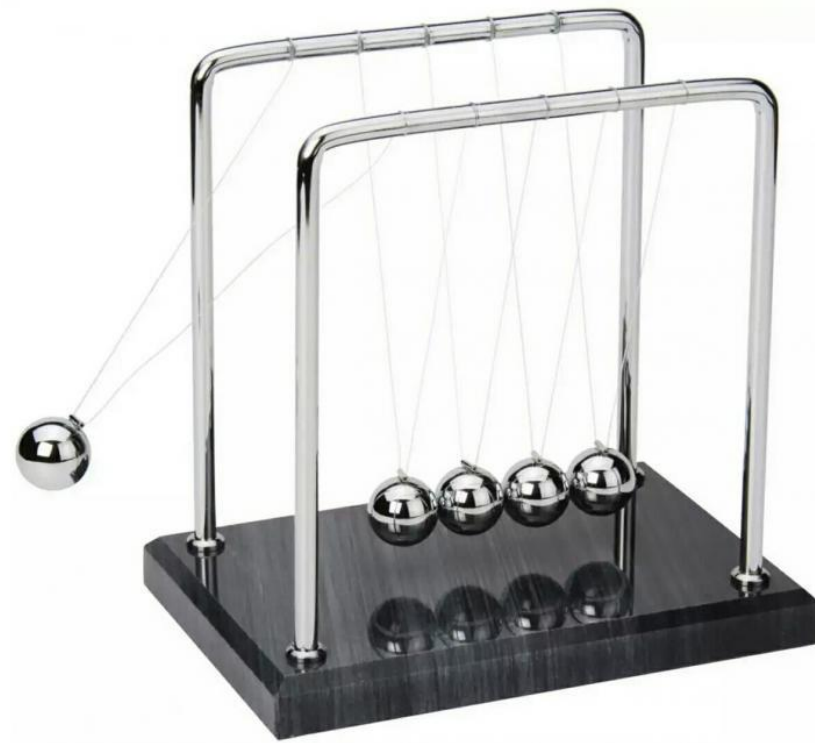
Закон сохранения полной механической энергии частицы:

$$E = E_k + U = \text{const}$$

Если сторонние силы отсутствуют или таковы, что не совершают работы в течение некоторого промежутка времени, то полная механическая энергия частицы в стационарном поле консервативных сил остается постоянной за это время.

Если в системе действуют неконсервативные силы, из-за действия которых механическая энергия системы уменьшается, то такие силы называют **диссипативными**.

При этом выполняется общий закон сохранения энергии. Механическая энергия системы переходит в другие виды энергий (например, тепловую).



Энергия никогда не создается и не уничтожается, она может переходить только из одной формы в другую или обмениваться между отдельными частями материи.

Универсальный закон сохранения энергии (охватывает все типы энергии).

Спасибо за внимание!