

## Потенциальная энергия

Потенциальная энергия системы – это функция механического состояния системы, зависящая от взаимного расположения всех тел системы и от их положения во внешнем потенциальном поле сил.

Убыль потенциальной энергии равна работе, которую совершают все консервативные силы (внутренние и внешние) при переходе системы из начального положения в конечное.

$$E_{\Pi 1} - E_{\Pi 2} = -\Delta E_{\Pi} = A_{12\text{конс}}, \quad -dE_{\Pi} = \delta A_{\text{конс}}.$$

Из определения потенциальной энергии следует, что она может быть определена по консервативной силе, причём с точностью до произвольной постоянной, значение которой определяется выбором нулевого уровня потенциальной энергии.

$$E_{\text{п}} = -\int \vec{F}_{\text{конс}} \cdot d\vec{r} + E_0.$$

Таким образом, потенциальная энергия системы в данном состоянии равна работе, совершаемой консервативной силой при переводе системы из данного состояния на нулевой уровень.

### Свойства потенциальной энергии.

1. Потенциальная энергия является конечной, однозначной, непрерывной функцией механического состояния системы.
2. Численное значение потенциальной энергии зависит от выбора уровня с нулевой потенциальной энергией.

Как потенциальная энергия может быть найдена по известной консервативной силе, так и консервативная сила может быть найдена по потенциальной энергии:

$$\vec{F} = -\text{grad } E_{\text{п}} = -\left( \frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial z} \cdot \vec{k} \right),$$

причем  $F_x = -\frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial x}$ ,  $F_y = -\frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial y}$ ,  $F_z = -\frac{\partial E_{\text{п}}}{\partial z}$ .

Примеры потенциальной энергии:

1)  $E_{\text{п}} = mgh$  – потенциальная энергия тела массой  $m$ , поднятого на высоту  $h$  относительно нулевого уровня энергии в поле силы тяжести;

$$E_{\text{п}} = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2} \text{ – потенциальная энергия упругого деформированного тела, } \Delta x \text{ –}$$

деформация тела.

## Закон сохранения механической энергии

Механическая энергия системы тел равна сумме их кинетических энергий и потенциальной энергии взаимодействия этих тел друг с другом и с внешними телами:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п.}}$$

Приращение механической энергии системы определяется работой всех неконсервативных сил (внешних и внутренних):

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \sum A_{i, \text{н.конс.}}$$

Закон сохранения механической энергии: механическая энергия системы тел, на которые действуют только консервативные силы, остается постоянной.

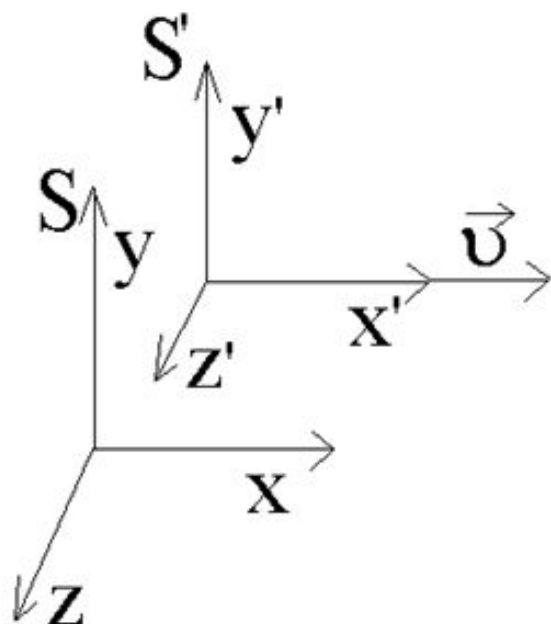
## Элементы специальной теории относительности

### Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца

**Первый постулат Эйнштейна:** никакими физическими опытами, производимыми внутри инерциальной системы отсчета, невозможно установить, покоится эта система или движется прямолинейно и равномерно.

**Второй постулат Эйнштейна:** скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света.

Рассмотрим две системы отсчета  $S$  и  $S'$ . Систему  $S$  будем считать условно неподвижной. Система  $S'$  движется относительно  $S$  со скоростью  $\vec{U}$  вдоль оси  $X$  системы  $S$ .



Для перехода от одной системы отсчета в другую в специальной теории относительности используются преобразования Лоренца.

Пусть в начальный момент времени начала координат обеих систем и направления соответствующих осей совпадают.

$$\text{Тогда: } \left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array} \right.$$

Здесь  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме.



## Следствия из преобразований Лоренца

Рассмотрим системы  $S$  и  $S'$ .

Относительность промежутков времени между событиями:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где  $\Delta t'$  – промежуток времени между событиями, произошедшими в системе отсчета  $S'$  ( $\Delta t'$  отсчитывается по часам, находящимся в системе  $S'$ );  $\Delta t$  – промежуток времени между этими событиями, отсчитанный по часам, находящимся в системе  $S$ .

## Изменение размеров движущихся тел

$$L' = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где  $L'$  – длина стержня, расположенного вдоль оси  $x'$  и покоящегося в системе  $S'$  (отсчитывается в системе отсчета  $S'$ );  $L$  – длина этого же стержня, измеренная в системе отсчета  $S$  .

### Релятивистский закон сложения скоростей:

Пусть некоторое тело движется вдоль оси  $\underline{x}'$  в системе отсчета  $S'$  со скоростью  $\vec{u}'$  относительно последней. Найдем проекцию скорости  $\vec{u}$  этого тела в системе отсчета  $S$  на ось  $\underline{x}$  этой системы:

$$u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{v \cdot u'_x}{c^2}}.$$

## Релятивистские масса и импульс. Взаимосвязь массы и энергии

Эйнштейн показал, что масса тела зависит от его скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

где  $m_0$  – масса тела в той системе отсчета, где тело покоится (масса покоя);  $m$  – масса тела в той системе, относительно которой тело движется (релятивистская масса);  $v$  – скорость тела относительно системы отсчета, в которой определяется масса  $m$ .

## Релятивистский импульс

$$\vec{p} = m\vec{v},$$

где  $m$  – релятивистская масса.

Закон взаимосвязи массы и энергии:

$$E = mc^2,$$

где  $m$  – релятивистская масса;  $E$  – полная энергия материального объекта.

Кинетическая энергия объекта

$$E_{\text{к}} = E - E_0,$$

где  $E = mc^2$  – полная энергия;  $E_0 = m_0c^2$  – энергия покоя.

Из закона взаимосвязи массы и энергии следует, что всякое изменение массы тела на  $\Delta m$  сопровождается изменением его энергии на  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2.$$