

---

ОБЩАЯ ФИЗИКА.  
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

Лекция №11

---

***ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ  
ДИНАМИКИ***

- 
- 1. Элементы релятивистской динамики. Опыт Бертоцци. Релятивистский импульс. Законы Ньютона в релятивистской механике**
  - 2. Закон взаимосвязи массы и энергии. Кинетическая энергия в релятивистской механике**
  - 3. Частицы с нулевой массой покоя**
  - 4. Четырехмерный вектор энергии-импульса частицы.**
  - 5. Система релятивистских частиц**
  - 6. Понятие об интервале между событиями. Типы интервалов**
-

---

## *Понятие о интервале между событиями*

1. В СТО первая инвариантная величина скорость света в вакууме
2. Вторая инвариантная величина - интервал между событиями 1 и 2 , квадрат которого находится как

$$s_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - (x_{12})^2 - (y_{12})^2 - (z_{12})^2$$

---

- Инвариантность интервала следует из преобразований Лоренца

$$y_{12} = y'_{12}; \quad z_{12} = z'_{12} \quad t'_{12} = \frac{t_{12} - \frac{Vx_{12}}{c^2}}{\sqrt{1-\beta^2}}; \quad x'_{12} = \frac{x_{12} - Vt_{12}}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

$$s'^2_{12} = c^2 t'^2_{12} - l'^2_{12} = \frac{c^2 - 2Vt_{12}x_{12} + \frac{V^2 x_{12}^2}{c^2} - x_{12}^2 + 2Vx_{12}t_{12} - V^2 t_{12}^2}{1-\beta^2} = \frac{(c^2 - V^2)t_{12}^2 - x_{12}^2(1-\beta^2)}{1-\beta^2} =$$

$$\frac{(c^2 - V^2)t_{12}^2}{1-\beta^2} - x_{12}^2 = c^2 t_{12}^2 - x_{12}^2.$$

---

## *Типы интервалов*

1. Если  $l_{12} > ct_{12}$ , то пространственно-подобные – можно найти такую систему, в которой оба события происходят одновременно  $c^2t_{12}^2 - l_{12}^2 = -l_{12}'^2 < 0$
  2. Если  $ct_{12} > l_{12}$ , то времениподобные - всегда можно найти такую систему, в которой оба события происходят в одной точке  $c^2t_{12}^2 - l_{12}^2 = c^2t_{12}'^2 > 0$ ,
  3. Если  $ct_{12} = l_{12}$ , то светоподобные
-

# *Элементы релятивистской динамики*

Первый закон Ньютона остается постулатом существования инерциальных систем отсчета:

**Существуют такие системы отсчета, в которых свободная материальная точка движется равномерно и прямолинейно из любого начального положения в любом направлении скорости**

Второй закон Ньютона: 
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right).$$

Третий закон Ньютона в релятивистской механике не работает, т.к. скорость передачи взаимодействий конечна

## ***ЗАКОН ВЗАИМОСВЯЗИ МАССЫ И ЭНЕРГИИ. КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ В РЕЛЯТИВИСТСКОЙ МЕХАНИКЕ***

**По А. Эйнштейну: Полная энергия тела, из каких бы видов энергии она не состояла (механической, электрической, химической) связана с массой тела соотношением**

$$E = mc^2, \text{ где}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ тогда} \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

---

Изменение энергии:  $\Delta E = c^2 \Delta m.$

Энергия покоя:  $E_0 = m_0 c^2.$

Энергия покоя – гигантский источник энергии. Примеры

---



---

## Кинетическая энергия тела

$$T = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

Четырехмерный вектор энергии-импульса

$$\left( \frac{E}{c} \right)^2 - p^2 = (m_0 c)^2 = \text{inv} \quad E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4 = \text{inv}$$

$$(T + E_0)^2 - p^2 c^2 = E_0^2. \quad p = \frac{1}{c} \sqrt{T(2E_0 + T)}.$$

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{E}{c^2} \vec{v}.$$

---

# *Система релятивистских частиц*

Систему взаимодействующих частиц в СТО построить нельзя

**Система невзаимодействующих частиц: энергия и импульс аддитивны**

$$E = \sum m_i c^2, \quad \vec{P} = \sum \vec{p}_i$$

*Масса покоя системы невзаимодействующих частиц:*

$$M_0 = \frac{E_0}{c^2} = \frac{\sum m_{0i} c^2 + \tilde{T}_i}{c^2} > \sum m_{0i}$$

*Скорость центра масс системы:*

$$\vec{V}_c = \frac{\sum \vec{p}_i}{\sum m_i},$$

## ***Столкновение двух частиц:***

Динамику системы нельзя построить, если тела взаимодействуют на расстоянии. Для столкновений можно. Релятивистская масса сохраняется как при абсолютно упругом, так и неупругом ударе. При упругом ударе сохраняются масса покоя и масса, обусловленная кинетической энергией. При неупругом ударе уменьшение кинетической энергии приводит к эквивалентному увеличению массы покоя.

$$(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)c^2 = (M_0c^2)^2$$