

**1 Постулаты Эйнштейна****1.1 Постулат относительности**

**Законы природы одинаковы во всех ИСО.** Другими словами, законы природы **ковариантны** по отношению к преобразованиям координат и времени от одной инерциальной СО к другой. Это значит, что уравнения, описывающие некоторый закон природы и выраженные через координаты и время различных ИСО, имеют один и тот же вид.

**1.2 Постулат постоянства скорости света**

**Скорость света не зависит от движения источника и равна во всех ИСО и по всем направлениям.**

**2 Каноническая форма уравнений Максвелла в вакууме: 4-потенциал и 4-плотность тока в 4-пространстве**

$$\bar{x} = (x, y, z, ict)$$

$$\square \bar{A} = -\frac{4\pi}{c} \bar{j}, \quad \text{div} \bar{A} = 0, \quad \text{div} \bar{J} = 0 \quad \left( \Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \sum_{s=1}^4 \frac{\partial^2}{\partial x_s^2} = \square \right)$$

$$\bar{A} = (A_x, A_y, A_z, i\phi) \text{ -четырёхпотенциал, } \bar{J} = (j_x, j_y, j_z, ic\rho) \text{ -четырёхплотность тока}$$

**3 Интервал между мировыми координатами двух событий в ИСО. Инвариантность интервала****4 Преобразования Лоренца**

(частный случай, движение только по z)

$$x = x', \quad y = y', \quad z = \frac{z' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t = \frac{t' + \frac{vz'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \Leftrightarrow z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad t' = \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

**5 Световой конус и мировые линии в 4-мерном пространстве****6 Относительность одновременности двух событий**

События, одновременные в ИСО К - разновременные в ИСО К'. Два одновременных события не могут быть причинно-следственно связаны.

**7 Собственное время объекта**

**Собственное время объекта** - время которое показывают часы двигающиеся вместе с объектом.

СО связанная с часами неинерциальная. Разбиваем траекторию на маленькие кусочки где СО будет инерциальной, тогда:

$$dt = \frac{dt'}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{dt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow dt' = dt \sqrt{1 - \beta^2} \Rightarrow t'_2 - t'_1 = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \beta^2} dt$$

(связь собственными ( $t'$ ) и неподвижными ( $t$ ) часами)

**8 Лоренцево сокращение длины движущегося масштаба**

$$z'_1 = \frac{z_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad z'_2 = \frac{z_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (t_1 = t_2) \text{ - концы движутся вместе}$$

$$z'_2 - z'_1 = \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \Rightarrow L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad L = L_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

**9 Закон сложения скоростей****10 Эффект Доплера**

$$\omega' = \frac{\omega - (k_z V)}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad k'_z = \frac{k_z - ((\omega V)/c^2)}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

**11 Действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО****12 Импульс и энергия свободной материальной частицы**

$$\vec{P} = \nabla_{\vec{v}} L = \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad L = T - U$$

$$W = (\vec{P} \vec{V}) - L = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

При  $V = 0$  получим конечную величину  $W_0 = m_0 c^2$  - энергия покоя

**13 Уравнение движения релятивистской частицы в 3-мерном пространстве**

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{m_0 \vec{V}}{c^2 (\sqrt{1 - \beta^2})^3} \vec{V} \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{f}$$

Первое слагаемое - перпендикулярная к скорости компонента силы, второе - продольная

**14 4-скорость и 4-импульс свободной материальной частицы**

4-х скорость - закон преобразования скорости при повороте системы координат:

$$\bar{U} = \left( \frac{V}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \frac{ic}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) = \frac{\bar{R}}{d\tau}, \quad \bar{U} \neq 0, \quad (\bar{U} \bar{U}) = -c^2$$

$$4\text{-х импульс - параллелен 4-х скорости: } \bar{P} = m_0 \bar{U} = \left( \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, i \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right)$$

$\tau$  - собственное время объекта

**15 Ковариантная форма уравнения движения частицы в ИСО и 4-сила Минковского**

$$\frac{\bar{P}}{d\tau} = \bar{F}, \quad \bar{F} = \left( \frac{\vec{f}}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \frac{i}{c} \frac{(\vec{f} \vec{V})}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right)$$

**16 Тензор электромагнитного поля и ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме****17 Форма и содержание закона преобразования полей****18 Инварианты тензора электромагнитного поля****19 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с тензором электромагнитного поля**

$$\vec{f} = \rho (\vec{E} = \frac{1}{c} [\vec{V} \vec{B}]) \text{ - плотность силы Лоренца}$$

$$\bar{f} = (\vec{f}, \frac{i}{c} (\vec{f} \vec{V})) \text{ - 4-х вектор плотности силы Лоренца}$$

$$\bar{f} = \frac{1}{c} (\hat{F} \vec{j}), \quad \hat{F} \text{ - тензор э/м поля, } f_i = \frac{1}{c} \sum_k F_{ik} j_k, \quad \vec{j} = \rho \vec{V}$$

**20 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса****21 Закон сохранения энергии в электродинамике**

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \text{div} \vec{S} + (\vec{j} E) = 0, \quad (\vec{j} E) \text{ - джоулевы потери}$$

$$\vec{S} = \frac{1}{4\pi} [\vec{E} \times \vec{B}] \text{ - вектор Пойтинга, } \omega = \frac{1}{8\pi} (\vec{E}^2 + \vec{B}^2) \text{ - плотность энергии}$$

**22 Закон сохранения импульса в электродинамике****23 Действие и функция Лагранжа заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**

$$dS_g = -mc^2 \sqrt{1 - \beta^2} dt + (q/c (\vec{A} \vec{V} - q\varphi) dt) \text{ - действие заряженной частицы}$$

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - \beta^2} + q/c (\vec{A} \vec{V} - q\varphi) \text{ - функция Лагранжа}$$

**24 Импульс заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**

$$\vec{P}_q = \left( \frac{\partial L}{\partial V_q} \right) = \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \beta^2}} + \frac{q}{c} \vec{A} \text{ - обобщенный импульс}$$

$$\vec{P} = \vec{P} + \frac{q}{c} \vec{A}, \quad \vec{P} \text{ - обычный импульс}$$

**25 Энергия заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**

$$W_q = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} + q\varphi = W + q\varphi$$

**26 Уравнение движения заряженной частицы в заданном электромагнитном поле**

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = -\frac{q}{c} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - q \nabla \varphi + \frac{q}{c} [\vec{V} \times \text{rot} \vec{A}], \quad \frac{d\vec{P}}{dt} = qE + \frac{q}{c} [\vec{V} \times \vec{B}]$$

**27 Поле равномерно движущегося заряда****28 Потенциалы Льенара-Вихерта неравномерно движущегося заряда. Выражение для поля излучения****29 Излучение неравномерно движущегося на малой скорости заряда (формула Лармора)****30 Тормозное излучение заряда****31 Синхротронное (магнитотормозное) излучение заряда****32 Излучение Вавилова-Черенкова**

- 33 Гипотезы теории электромагнитной массы и радиус электрона
- 34 Сила реакции излучения и уравнение Абрагама-Лоренца