

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

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

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

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

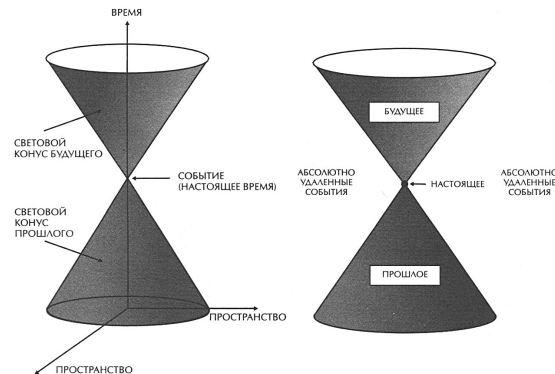
3 Интервал между мировыми координатами двух событий в ИСО. Инвариантность интервала

Не

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

$$V_{\text{отн}} = \frac{V + V'}{1 + \frac{VV'}{c^2}}$$

10 Эффект Допплера

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

11 Действие и функция Лагранжа свободной материальной частицы в ИСО

$$L = -m_0 c^2 \sqrt{1 - \beta^2}, \quad S_d = \int_{t_1}^{t_2} L(U^2) dt, \quad L = L(\vec{U}^2) = T - U - \text{функция Лагранжа}$$

U не зависит от \vec{r} , так как пространство однородное, U и T не зависят от времени, так как оно однородно, L и T зависят только от \vec{V} , L зависит только от направления \vec{V} . Действие S_d - инвариант, так как во всех СО все явления должны происходить одинаково, и не существует какой-либо выделенной СО

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:

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

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

τ - собственное время объекта

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

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

16 Тензор электромагнитного поля и ковариантная форма уравнений электродинамики в вакууме**17 Форма и содержание закона преобразования полей**

$$\vec{B}'_{\parallel} = \vec{B}_{\parallel}, \quad \vec{B}'_{\perp} = \frac{B_{\perp} - \frac{[\vec{V} \times \vec{E}]}{c}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\vec{E}'_{\parallel} = \vec{E}_{\parallel}, \quad \vec{E}'_{\perp} = \frac{\vec{E}_{\perp} + \frac{1}{c} [\vec{V} \times \vec{B}]}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

18 Инварианты тензора электромагнитного поля**19 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с тензором электромагнитного поля**

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

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

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

20 4-вектор плотности силы Лоренца и его связь с электромагнитным тензором энергии-импульса

21 Закон сохранения энергии в электродинамике

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

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

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

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

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

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

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

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