Лекция № 8, 9

Релятивистская механика

Принцип относительности в физике

Выбор ~~ИСО~~ ИСО не зависит от законов физики.

• Инерциальная система отсчета – система отсчета, которые покоятся или движутся с постоянной скоростью.

• Принцип относительности – фундаментальный физ. закон, согласно котор. любой физ. процесс протекает одинаково в любой инерциальн. ИСО, находящ. в состоянии покоя или движущаяся равномерно и прямолинейно.

Принцип относительностальности Галилея (классический принцип от относительности)

! Законы классической механики одинаковы для всех ИСО

При этом:

1) Время – абсолют. величина (не зависит от ИСО)

2) Окруж. среда однородна и изотропна (т.е. евклидово пр-во). Ур-е динамики не изменяются при переходе от одной ИСО к другой.

Преобразование Галилея

Связь координат точки в 2 разных СО:

$$\begin{cases} x = x' + v_0 t \\ y = y' \\ z = z' \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} x' = x - v_0 t \\ y' = y \\ z' = z \end{cases}$$

прямые преобразов. Галилея

обратные преобразования Галилея

Специальная теория относительности

СТО – физич. теория, рассматривающая пространств.-временные закономерности, справедливые для любых физ. процессов, протекающ. в различных ИСО.

Общая теория относит. (ОТО или теория тяготения Эйнштейна) – теория пространства-времени.

Экспериментальные основания СТО

Опыт показал, что скорость света – величина постоянная, что противоречило принципам Галилея => А. Эйнштейн составил новую теорию, связав классические представления и результаты опытов.

Постулаты Эйнштейна

1) Все физ. законы и физ. процессы одинаковы во всех ИСО, т.е. все физич. законы и процессы инвариантны по отношен. к ИСО.
2) Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО и не зависит от движения источника и приемника света, т.е. константа.

Релятивистская механика

Преобразование Лоренца

$$\begin{cases} x = \gamma(x' + vt') \\ y = \alpha y' \\ z = \delta z' \end{cases}$$

прямой преобраз

или

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = \alpha y \\ z' = \delta z \end{cases}$$

обратные преобраз.

Выбор знаков определяется ориентацией в пространстве.

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$; $\frac{v}{c} = \beta$ $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$ – релятивистский множитель

Окончательный вид преобразования Лоренца:

$x = \gamma(x' + vt')$ $\qquad$ $x' = \gamma(x - vt)$

$y = y'$ $\qquad$ $y' = y$

$z = z'$ $\qquad$ $z' = z$

$t = \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right)$ $\qquad$ $t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

Релятивистское сложение скоростей

В СТО все события, явления и процессы происходят в какой-либо области пространства в течении определен. интервала времени. Пространств. и временные коорд. связаны

Пространственно-временной интервал (интервал событий):

$S = \sqrt{(c\Delta t)^2 - l^2}$

$S' = \sqrt{(c\Delta t')^2 - (l')^2}$

$S = S' = inv$

Релятивистская динамика

Определение релятивистской массы

При увеличении скорости частиц возрастает их инертность.

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

m_0 – масса покоя

m – релятивистская

v – скор. движ. тела

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ – скорость света

Закон сохранения энергии в СТО $E = E_0 + T$

$E = mc^2$; $E_0 = m_0c^2$; $T = \frac{m_0v^2}{2}$

кин. энерг. частицы

Релятивистский вектор импульса:

$\bar{p} = m\bar{v}$

$\frac{d\bar{p}}{dt} = \bar{F}$; $\frac{d(m\bar{v})}{dt} = \bar{F}$

$\Downarrow$

$m\bar{a} = \bar{F}$; где $\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$ и $\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt} = v_x\bar{i} + v_y\bar{j} + v_z\bar{k}$

$v' = \frac{d\bar{r}'}{dt} = v_x'\bar{i}' + v_y'\bar{j}' + v_z'\bar{k}'$

$i; j; k; i'; j'; k'$ – единич. векторы прямоуголн. сист. координ.

$E = c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2}$

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

$E_0 = \sum_{i=1}^{n} m_{0i}c^2 - E_{св}$ $\quad$ n – число частиц

$m_{0i}c^2$ – энергия покоя $i^{ой}$ частицы

$E_{св}$ – энергия связи частиц тела

Импульс релятивистской частицы: $\bar{p} = m\bar{v} = \frac{m_0\bar{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Энергия —"— : $E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

$\bar{v} = \frac{c^2}{E}p$

$\bar{v} = \frac{c\bar{F}t}{\sqrt{(Ft)^2 + m_0^2c^2}}$

Энергия фотона: $E_ф = h\nu$, $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка

ν – частота экв. свет. волны

Импульс фотона: $p_ф = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$; λ – длина соотв. свет. волны

$\bar{p}_ф = \hbar\bar{k}$ $\quad$ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – пост. Планка

$\bar{k}$ – волн. вектор ; $|\bar{k}| = k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Ответы на вопросы:

1) Инерциальная система отсчета — система отсчета, которая покоится или движутся с постоянной скоростью

2) а) Все законы и физ. процессы одинаковы во всех ИСО, т.е. все физ. законы и процессы инвариантны по отн. к ИСО.

б) Скорость света в вакууме одинакова для всех ИСО и не зависит от движения источника и приемника света, т.е явл. велич. постоянной

3) Лоренцево сокращение длины: $l_0 = \frac{l}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $l_0 = l\sqrt{1-\beta^2}$

4) Преобразов. Галилея: $\begin{cases} x = x' + v_0 t \\ y = y' \\ z = z' \end{cases}$ Преобр. Лоренца: $x = \gamma(x' + v t')$, $y = y'$, $z = z'$, $t = \gamma(t' + \frac{v}{c^2}x')$

5) Время в классической механике явл. общим для всех СО. В СТО единое время можно ввести только в рамках данной СО.

6) Инвариантная величина — величина не зависящая от выбора ИСО. Примеры:
- масса
- скор. света
- интервал событий

7) $S = \sqrt{(c\Delta t)^2 - l^2}$

$S' = \sqrt{(c\Delta t')^2 - (l')^2}$

$S = S' = inv$

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

m_0 — масса покоя тела
m — релятивистская масса
v — скор. движ. тела
c — скор. света

9) $E = E_0 + T$; $E = mc^2$; $E_0 = m_0c^2$; $T = \frac{m_0 v^2}{2}$

10) $E = c\sqrt{p^2 + m_0^2c^2}$