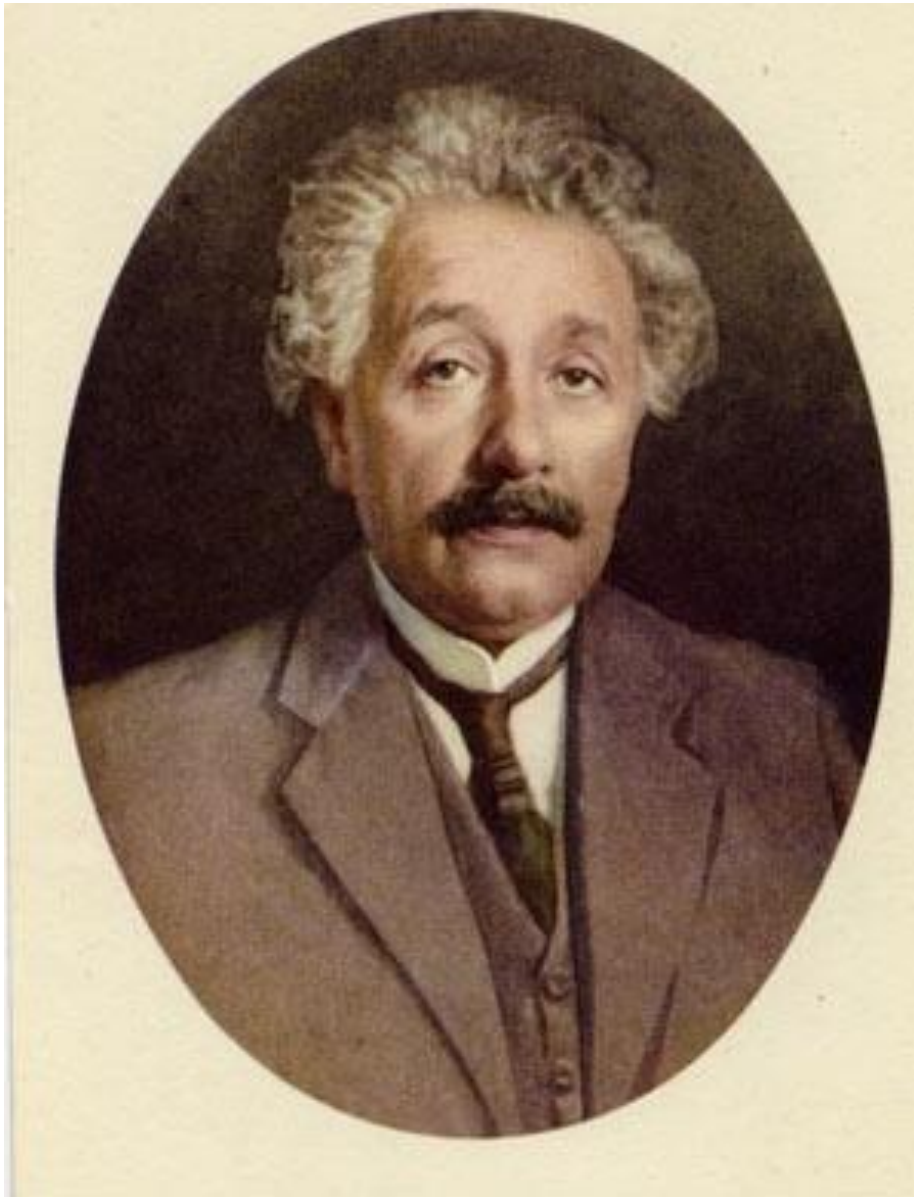


**Решение задач по теме:
«Релятивистская механика»**



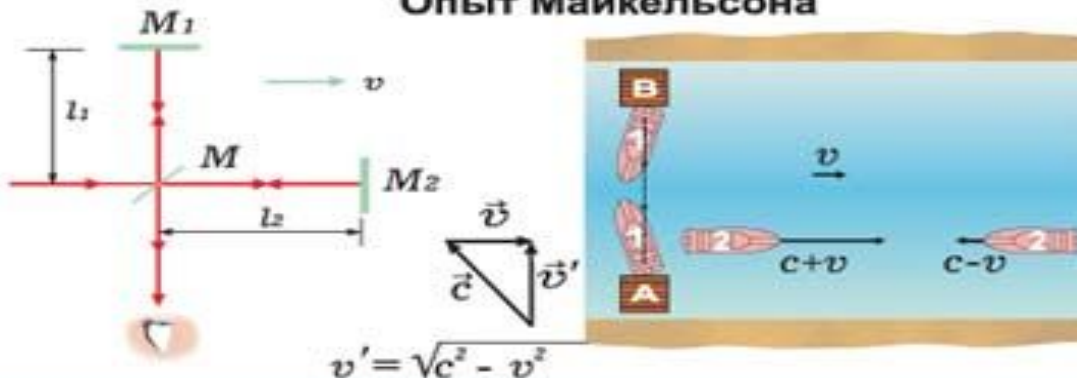
ЭЙНШТЕЙН, Альберт
(1879 - 1955)

- великий ученый-
физик, создал
теорию
относительности и
квантовую теорию
света.

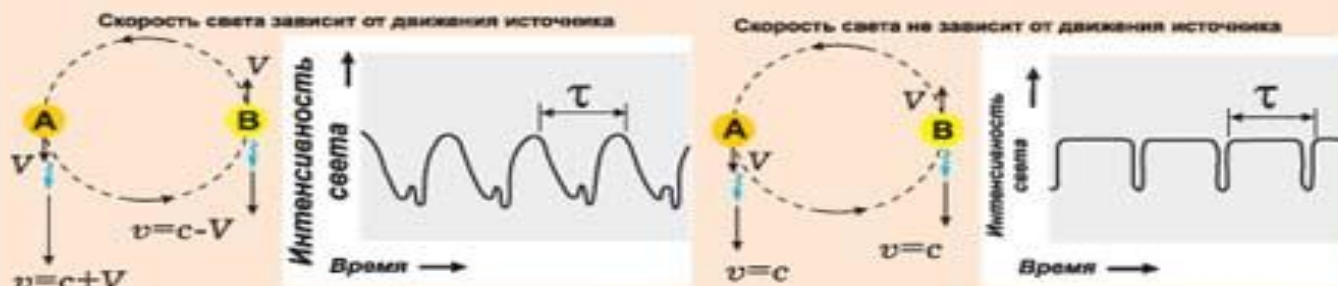


Альберт Эйнштейн

Опыт Майкельсона



Независимость скорости света от движения источника

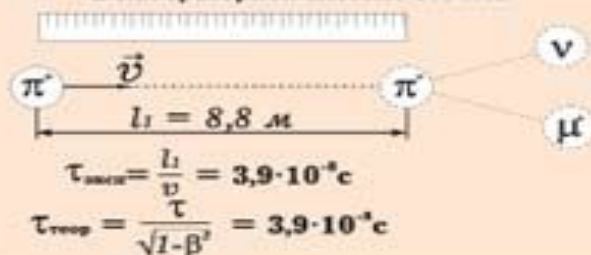


Принцип относительности

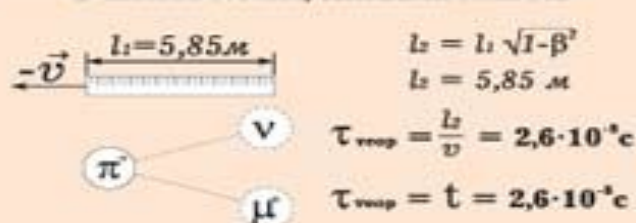
Эксперимент с движущимися пионами

Среднее время жизни неподвижного пиона $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$

В лабораторной системе отсчета



В системе отсчета, связанной с пионом



Связь изменений энергии и массы системы



Термоядерный синтез в звездах

$$\Delta E = \Delta mc^2$$



Взрыв атомной бомбы

Полная энергия тела

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

$m=0$

$$E = pc$$

$m \neq 0$

$$E = mc^2 \gamma$$

E - полная энергия

p - релятивистский импульс

m - масса тела

c - скорость света в вакууме

$$\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Энергия покоя

$$E_0 = mc^2$$

$m=0$

$$E_0 = 0$$

$m \neq 0$

$$E_0 \neq 0$$

E_0 - энергия покоя тела

Кинетическая энергия

$$E_k = E - E_0$$

$m=0$

$$E_k = E$$

$m \neq 0$

$$E_k = mc^2(\gamma - 1)$$

E_k - кинетическая энергия тела

Когда $v \ll c$, то $\gamma \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2}$, $E_k \approx \frac{mv^2}{2}$

Релятивистский импульс

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

$m=0$

$$\vec{p} = \frac{\vec{v}p}{c}$$

$v \equiv c$

$m \neq 0$

$$\vec{P} = m\vec{v}\gamma$$

\vec{p} - релятивистский импульс

\vec{v} - скорость частицы

E - полная энергия частицы

c - скорость света в вакууме

Закон сохранения релятивистского импульса

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \overrightarrow{const}$$

В замкнутой системе из n тел релятивистский импульс частиц остается неизменным при любых взаимодействиях частиц между собой

Закон сохранения энергии

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = const$$

В замкнутой системе из n тел полная энергия частиц остается неизменной при любых взаимодействиях частиц между собой

Неизменность массы

Масса m любой частицы или изолированной системы частиц не изменяется при любых взаимодействиях частиц между собой внутри системы и не зависит от выбора системы отсчета

Связь массы с энергией и импульсом

Движение двух одинаковых фотонов

в одном направлении



$$E_{\uparrow\uparrow} = 2h\nu$$

$$p_{\uparrow\uparrow} = 2 \frac{h\nu}{c}$$

$$m_{\uparrow\uparrow} = 0$$

в противоположных направлениях



$$E_{\uparrow\downarrow} = 2h\nu$$

$$p_{\uparrow\downarrow} = 0$$

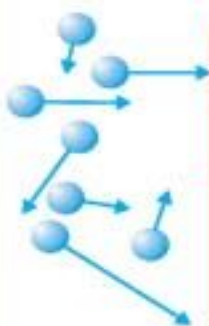
$$m_{\uparrow\downarrow} = 2 \frac{h\nu}{c^2}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

$$m = \sqrt{\frac{E^2}{c^4} - \frac{p^2}{c^2}}$$

Энергия и масса системы невзаимодействующих частиц

В системе отсчета центра масс системы частиц:



$$E = Mc^2$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n m_i c^2 + \sum_{i=1}^n E_{Ki}$$

$$M = \sum_{i=1}^n m_i + \frac{\sum_{i=1}^n E_{Ki}}{c^2}$$

M - масса системы частиц

Масса системы невзаимодействующих частиц больше суммы масс частиц:

$$\Delta m = M - \sum_{i=1}^n m_i = \frac{\sum_{i=1}^n E_{Ki}}{c^2}$$

Δm - избыток массы системы частиц

Энергия и масса системы взаимодействующих частиц



$$E = Mc^2$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n m_i c^2 + \sum_{i=1}^n (E_{Ki} + E_{Pi})$$

$$M = \sum_{i=1}^n m_i + \frac{\sum_{i=1}^n (E_{Ki} + E_{Pi})}{c^2}$$

M - масса системы частиц

Если $\sum_{i=1}^n (E_{Ki} + E_{Pi}) < 0$, система частиц является связанной

Масса связанной системы частиц меньше суммы масс частиц:

$$\Delta m = \sum_{i=1}^n m_i - M$$

Δm - дефект массы системы частиц

Энергия связи системы частиц: $E_{св} = \Delta m c^2$

1. Если элементарная частица движется со скоростью света, то...

А. масса покоя частицы равна нулю;

Б. частица обладает электрическим зарядом;

В. на частицу не действует гравитационное поле;

Г. частица не может распадаться на другие частицы;

Д. частица может увеличить свою скорость.

2 задача

- Ион, обладающий скоростью $0,6c$, испускает фотон в направлении, противоположном скорости движения иона. Какова скорость фотона относительно иона?

- А. $0,6c$;
- В. $0,8c$;
- Д. $1,6c$.
- Б. c ;
- Г. $0,4c$;

$$v = 0,6c$$

$$v_x = -c$$

$$v_{x'} = ?$$

$$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + \frac{v_{x'}v}{c^2}}$$

$$-c = \frac{-v_{x'} + v}{1 - \frac{v_{x'}v}{c^2}} = \frac{-v_{x'} + 0,6c}{1 - \frac{v_{x'}0,6c}{c^2}}$$

$$-c + v_{x'}0,6c = -v_{x'} + 0,6c$$

$$1,6v_{x'} = 1,6c$$

$$v_{x'} = c$$

3 задача

С космического корабля, удаляющегося от Земли со скоростью $0,75c$, стартует ракета в направлении движения корабля. Скорость ракеты относительно Земли $0,96c$. Какова скорость ракеты относительно корабля?

- А. $0,7c$;
- В. $0,8c$;
- Д. $0,96c$.
- Б. $0,75c$;
- Г. $0,85c$;

$$v = 0,75c$$

$$v_x = 0,96c$$

$$v_{x'} = ?$$

$$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + \frac{v_{x'}v}{c^2}}$$

$$v_x + \frac{v_{x'}v_{x'}v}{c^2} = v_{x'} + v$$

$$v_{x'} \left(1 - \frac{v_x v}{c^2} \right) = v_x - v$$

$$v_{x'} = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v_x v}{c^2}}$$

$$v_{x'} = \frac{0,96c - 0,75c}{1 - \frac{0,96c * 0,75c}{c^2}} =$$

$$= \frac{0,21c}{1 - \frac{0,72c}{c^2}} = \frac{0,21c}{\frac{c}{c^2} - \frac{0,72c}{c^2}}$$

$$\frac{0,21c}{0,28} = 0,75c$$

4 задача

С какой скоростью должна лететь ракета, чтобы время в ней замедлялось в 3 раза?

- А. $2,77 \cdot 10^8$ м/с;
- Г. $2,89 \cdot 10^8$ м/с;
- Б. $2,8 \cdot 10^8$ м/с;
- Д. $2,96 \cdot 10^8$ м/с.
- В. $2,83 \cdot 10^8$ м/с;

$$\Delta t = 3\Delta t'$$

$$v = ?$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$3 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{1}{3}$$

$$1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{1}{9}$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\sqrt{8}}{3}$$

$$v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c \approx 0,94c = 2,62 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

5 задача

Ион, получивший в ускорителе скорость $u = 0,8c$, испускает фотон в направлении своего движения. Какова скорость фотона относительно иона?

- А. $1,8c$;
- Г. $0,9c$;
- Б. $0,2c$;
- Д. $0,4c$.
- В. c ;

$$v = 0,8c$$

$$v_x = c$$

$$v_{x'} = ?$$

$$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + \frac{v_{x'}v}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + \frac{v_{x'}v}{c^2}} = \frac{c + 0,8c}{1 + \frac{c \cdot 0,8c}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{1,8c}{\frac{1,8c^2}{c^2}} = c$$

6 задача

Два лазерных импульса излучаются в вакууме навстречу друг другу. С какой скоростью они распространяются друг относительно друга?

- А. $2c$;
- Г. $1,5c$
- Б. c ;
- Д. $0,75c$.
- В. $0,5c$;

$$v_1 = v_2 = c$$

$$v_{x'} = ?$$

$$v_x = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{c + c}{1 + \frac{cc}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{2c}{\frac{2c^2}{c^2}} = c$$

7 задача

Две галактики разбегаются от центра Вселенной в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями $0,8c$ относительно центра. С какой скоростью они удаляются друг от друга?

- А. $0,97c$;
- Г. $0,976c$;
- Б. $0,972c$;
- Д. $0,98c$.
- В. $0,974c$;

$$v_1 = v_2 = 0,8c$$

$$v_{x'} = ?$$

$$v_x = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{0,8c + 0,8c}{1 + \frac{0,8c \cdot 0,8c}{c^2}}$$

$$v_x = \frac{1,6c}{1 + \frac{0,64c^2}{c^2}} = \frac{1,6c}{1,64}$$

$$v_x \approx 0,976c$$

8 задача

Ракета движется со скоростью $0,968c$. Во сколько раз время, измеренное в ракете, отличается от времени, измеренного по неподвижным часам?

- А. 5 раз;
- Г. 2 раза;
- Б. 4 раза;
- Д. 1,5 раза.
- В. 3 раза;

$$v = 0,968c$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = ?$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{\Delta t}{\Delta t'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,968c}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0,937c^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{0,0629c^2}{c^2}}} =$$

$$= \frac{1}{0,25} = 4$$

9 задача

Какую работу (в МэВ) надо совершить для увеличения скорости электрона от $0,7c$ до $0,9c$?

А. $0,46$ МэВ;

Г. $0,6$ МэВ;

Б. $0,5$ МэВ;

Д. $0,66$ МэВ.

В. $0,54$ МэВ;

$$v_1 = 0,7c$$

$$v_2 = 0,9c$$

$$A = ?$$

$$A = m_2 c^2 - m_1 c^2 = (m_2 - m_1) c^2$$

$$A = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2}} - \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{c}\right)^2}} \right) c^2$$

$$A = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{c}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{c}\right)^2 - \left(\frac{v_2}{c}\right)^2 + \left(\frac{v_1 v_2}{c^2}\right)^2}} m_0 c^2$$

$$A = \frac{\sqrt{1 - 0,7^2} - \sqrt{1 - 0,9^2}}{\sqrt{1 - 0,7^2 - 0,9^2 + 0,63^2}} m_0 c^2$$

$$A \approx 0,89 m_0 c^2$$

$$E = m_0 c^2 = 9,1 * 10^{-31} * 9 * 10^{16} = 8,19 * 10^{16} \text{ Дж} \approx 0,512 \text{ МэВ}$$

$$A \approx 0,89 * 0,512 \text{ МэВ} \approx 0,46 \text{ МэВ}$$

Эйнштейн, работавший в патентном отделе, говорил, что любое изобретение всегда начинается фразой из двух слов: "Это невозможно!"

В 1921 году Альберт Эйнштейн получает Нобелевскую премию. Интересно, что Эйнштейн выдвигался коллегами на эту премию 10 лет подряд (с 1910 по 1921гг.), но получил её только в 1921 году за работы по фотоэффекту. В письме к награжденному секретарь Нобелевского комитета специально подчеркнул, что премия назначена не за теорию относительности. Это до сих пор удивляет физиков!

Среди коллег Альберт Эйнштейн был признан самым значительным физиком-теоретиком со времен Галилея.

Альберт Эйнштейн говорил, что надо чаще ставить безумные эксперименты, скорее всего, результат будет нулевой, но если все-таки что-нибудь получится, то может произойти переворот во всем научном мировоззрении.

Сабитова Файруза Рифовна
преподаватель физики
ГАОУ СПО «Сармановский аграрный колледж»

