11 класс

Тема урока: Постулаты специальной теории относительности.

- принцип относительности Галилея: все механические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета (СО).

- после создания электродинамики (Максвелл) возник вопрос: распространяется принцип относительности Галилея на электромагнитные явления?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно было выяснить: меняются ли законы электродинамики (уравнения Максвелла) при переходе от одной инерциальной системе к другой?

Возьмем за основу рассуждений скорость света. В механике: $\overrightarrow{v_2} = \vec{v} + \overrightarrow{v_1}$ классический закон сложения скоростей.

t – абсолютно; l – абсолютна.

В электродинамике: $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ → самая max!

Если рассматривать скорость света с позиции механики, то она может равняться: «c»; «$c + v$»; «$c - v$». Возникло противоречие (ведь «c» - самая max?!)

Как пытались найти выход из данной ситуации?

1) Х. Лоренц – принцип относительности Галилея не применим к электромагнитным явлениям; скорость света одинакова по всем направлениям лишь в инерциальной С.О., покоящейся относительно эфира.

2) Г. Герц – неверны законы (уравнения Максвелла)

3) А. Эйнштейн – отказ от классических представлений о пространстве и времени, т.е. при больших скоростях (соизмеримых с «c») законы механики неверны.

По Лоренцу: должен быть «эфирный» ветер, но он обнаружен не был (Майкельсон, Моорли)

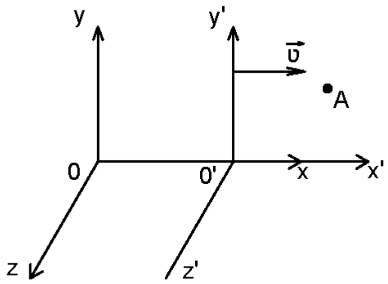
По Герцу: он создавал свои законы электродинамики, которые не могли объяснить ряд явлений, в частности, движущаяся вода должна была увлекать за собой свет, т.к. она увлекает эфир, в котором он распространяется. Это опытом опроверглось.

По Эйнштейну: 1-ый постулат – все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных С.О.

2-ой постулат – скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных С.О. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

Рассмотрим некоторые положения, являющиеся следствием постулатов СТО.

Обратимся к рассмотрению 2-х инерциальных С.О.



Какому – либо событию соответствуют координаты:

$x, y, z, tиx', y', z', t'$, причем:

$$\left.\begin{array}{r} y = y' \\ z = z' \\ t = t' \\ x = x' + vt' \end{array}\right\} \text{преобразования Галилея}$$

Из этих преобразования вытекает классический закон сложения скоростей, который не согласуется с законами электродинамики, следовательно, преобразования Галилея необходимо заменить другими выражениями, найдем их:

$$\frac{\overset{x=\alpha'\left(x| \quad |' + vt'\right)}{{}^{x}{}_{x'=\alpha(xc-vt)}}}{xx'=\alpha^2\left(x| \quad |' + vt'\right)(x-vt)}$$ – вследствии равноправности инерциальных

Пусть в т.А произошла вспышка света, тогда $x = ct, x' = ct'$

$$ctct' = \alpha^2(ct| \quad |' + vt')(ct - vt)$$

$$c^2tt' = \alpha^2t't(c + v)(c - v)$$

$$c^2 = \alpha^2(c| \quad |2 - v^2) = \alpha^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}\text{или}\alpha^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{тогда,}$$

$$\boxed{\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}(1); x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}(2)$$

(2) подставим в (1): $x = \frac{\frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}+vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$;

$$x\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + vt' = vt' = x\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} - \frac{x-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};$$

$$vt' = \frac{x\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) - x + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x - \frac{v^2}{c^2}x - x + vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{vt - \frac{v^2}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(:v)$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(3); t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}(4)$$

I Пусть в одной точке произошло два события, разделенных временным промежутком, тогда:

$$x_2 = x_1; x_2' = x_1'$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t' = t_2' - t_1'$$

Используем (4): $\Delta t = \frac{t_2' + \frac{v}{c^2}x_2'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t_1' + \frac{v}{c^2}x_1'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t_2' + \frac{v}{c^2}x_2' - t_1' - \frac{v}{c^2}x_1'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \text{т. к.} \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1, \text{то} \qquad \boxed{\Delta t' < \Delta t}$$

II Пусть одновременно произошло два события, разделенных пространственным промежутком, тогда:

$$t_2 = t_1; t_2' = t_1'; l = x_2 - x_1; l' = x_2' - x_1'$$

Используем (1):

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = x' = x\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} - vt'$$

$$l' = x_2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} - vt_2' - x_1\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} + vt_1';$$

$$l' = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}(x_2 - x_1) \text{или} l' = l\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}, \text{отсюда} \qquad \boxed{l' < l}$$

III $v_1 = \frac{x'}{t'}; v_2 = \frac{x}{t};$ используем(1)и(4)

$$v_2 = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} : \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x' + vt'}{t' + \frac{v}{c^2}x'} (: t')$$

$$v_2 = \frac{\frac{x'}{t'} + v}{1 + \frac{vx'}{c^2 t'}} = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{vv_1}{c^2}};$$

$\boxed{v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{vv_1}{c^2}}}$ →релятивистский закон сложения скоростей, где v – скорость штрихованной С.О. относительно нештрихованной; v_1 – скорость в штрихованной С.О. v_2- скорость в нештрихованной С.О.

Пусть$v = c$, тогда, $v_2 = \frac{v_1 + c}{1 + \frac{cv_1}{c^2}} = \frac{v_1 + c}{1 + \frac{v_1}{c}} = \frac{v_1 + c}{\frac{c + v_1}{c}} = c$

$$\text{Пусть} v_1 = v = c, \text{тогда}, v_2 = \frac{2c}{1 + \frac{c^2}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c$$

$$\text{Пусть} v \ll c, \text{тогда}, \frac{vv_1}{c^2} \to 0 \text{и} v_2 = v_1 + v$$

$\to$ классическийзаконсложенияскоростей

$\left.\begin{array}{l} y = y' \\ z = z' \\ x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{array}\right\}$ преобразования Лоренца, которые при $v \ll c$ превращаются в преобразования Галилея.