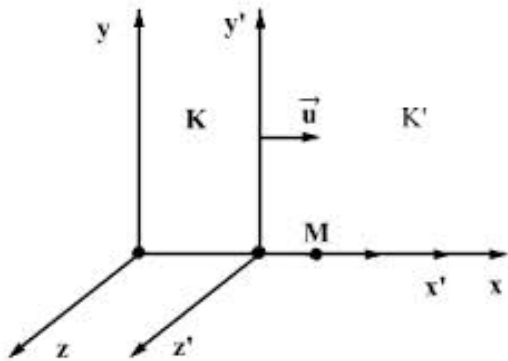


Лекция 9

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Принцип относительности Галилея



$$t = t'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$x = x' + ut'$$

$$\vec{V} = \vec{V}' + \vec{u}$$

Инерциальные системы отсчета равноправны в классической механике, законы механики одинаковы в таких системах.

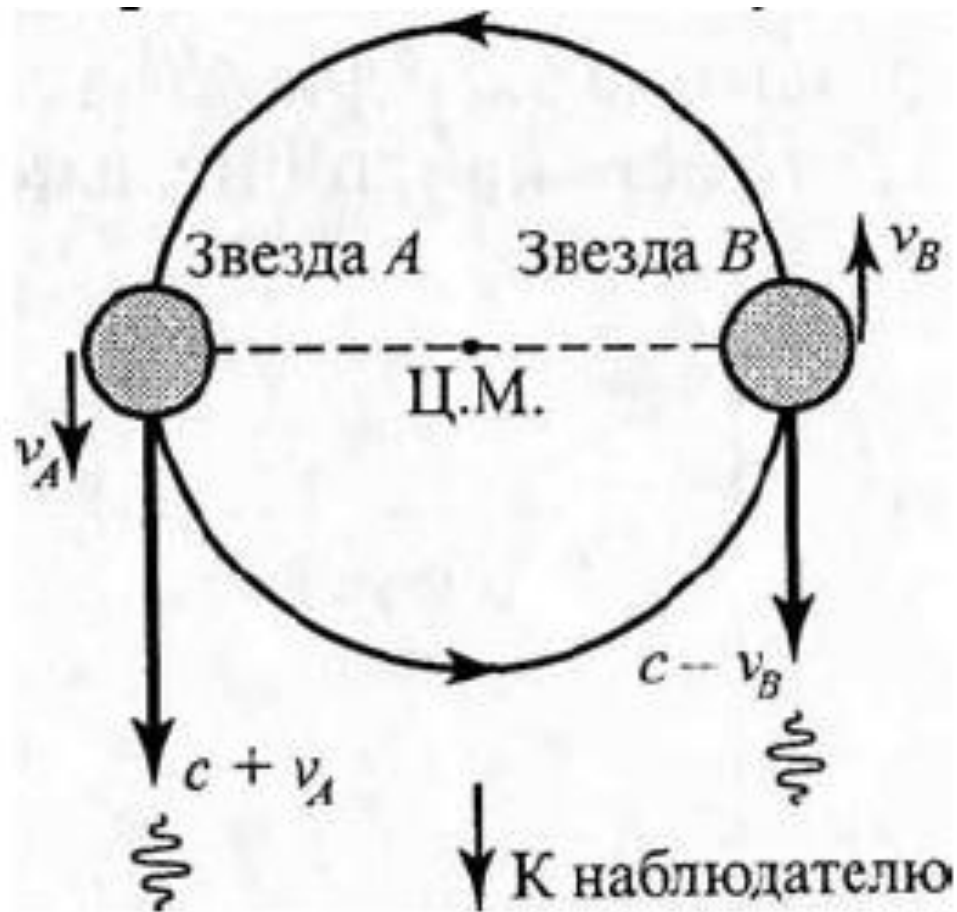
Если в двух системах, одна из которых равномерно и прямолинейно движется относительно другой, провести одинаковый механический эксперимент, результат будет одинаковым.

Находясь в инерциальной системе, невозможно определить, покоится она или движется. Законы механики инвариантны относительно преобразований Галилея.

Классическая механика удовлетворяет принципу относительности Галилея. Электромагнитное поле описывается уравнениями Максвелла. Максвелл полагал, что они справедливы для специальной среды – эфира.

Опыт Майкельсона по измерению скорости Земли относительно эфира дал отрицательный результат. Движение не было обнаружено.

Двойные звезды

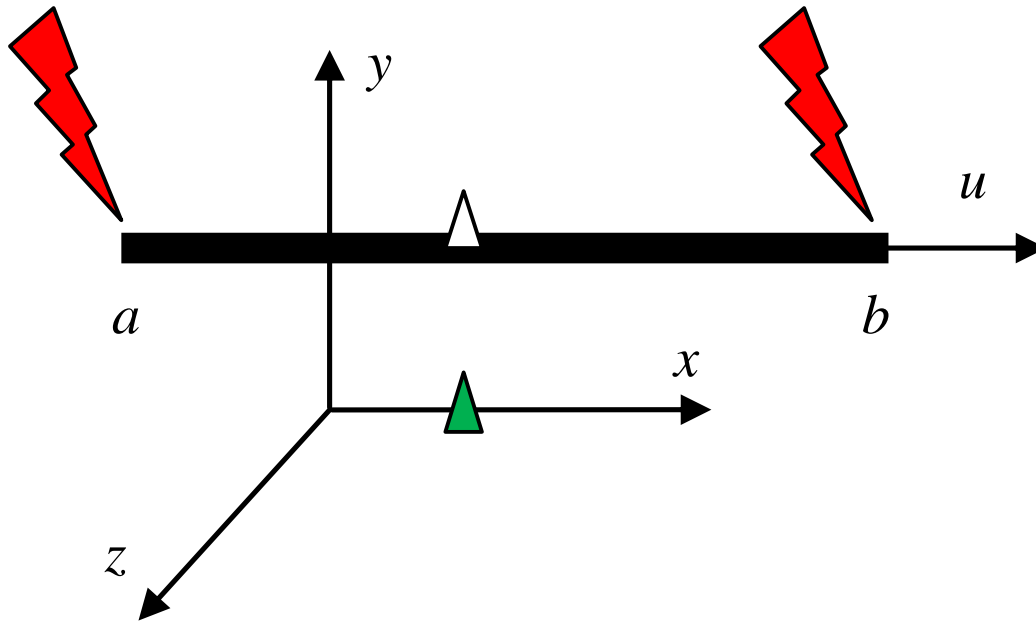


В опыте наблюдатель регистрирует одинаковую скорость света.

Постулаты Эйнштейна:

- Принцип относительности: все законы природы инвариантны по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой.
- Принцип постоянства скорости света: скорость света в вакууме не зависит от движения источника или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

Относительность одновременности

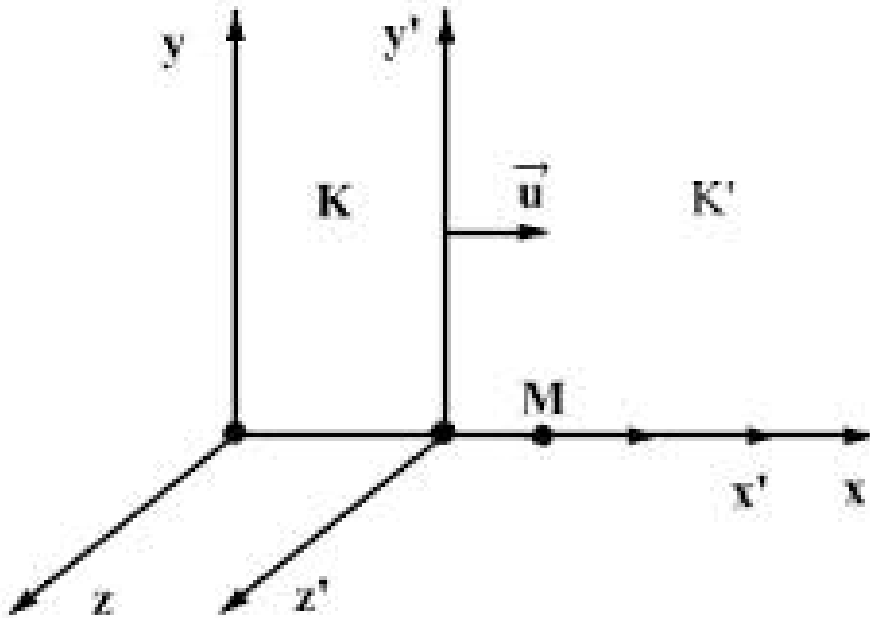


$$K \quad t_a = L/(2c) \quad t_b = L/(2c) \quad \Delta t = t_b - t_a = 0$$

$$K' \quad t'_a = (L-l)/(2c) \quad t'_b = (L+l)/(2c) \quad \Delta t' = t'_b - t'_a = l/c \neq 0$$

События могут быть одновременными, происходить раньше и позже в разных инерциальных системах. За исключением причинно-связанных.

Преобразования Лоренца



$$\beta = u/c$$

$$K' \rightarrow K \quad x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad y = y' \quad t = \frac{t' + x'u/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$K \rightarrow K' \quad x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad y' = y \quad t' = \frac{t - xu/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Принцип соответствия

$$u \ll c$$

$$\beta \ll 1$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \approx 1 + \frac{\beta^2}{2}$$

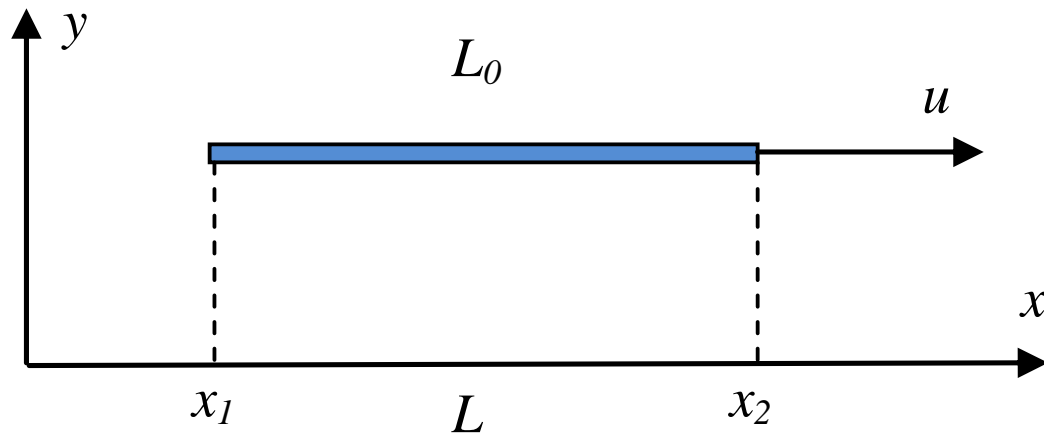
$$x = x' + ut'$$

$$y = y'$$

$$t = t'$$

При малых скоростях преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея.

Лоренцево сокращение длины



$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\Delta t = 0$$

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta x' = \frac{x_2 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{x_1 - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{\Delta x}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Лоренцево замедление времени

Пусть в системе K' в точке с координатой $x' = b$ последовательно в моменты времени t'_1 и t'_2 происходят события.

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1$$

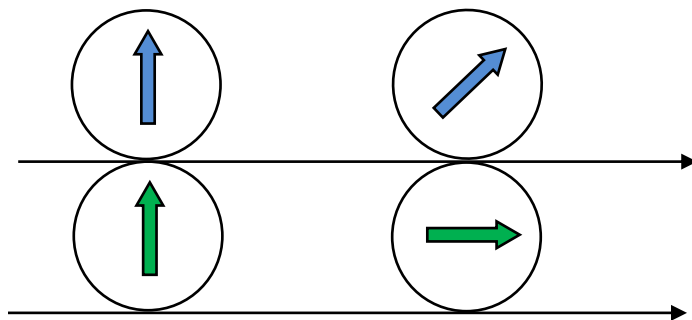
В системе K эти события будут зарегистрированы в моменты времени

$$t_1 = \frac{t'_1 + bu/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$t_2 = \frac{t'_2 + bu/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\Delta t = \Delta t' / \sqrt{1 - \beta^2}$$

Движущиеся часы идут медленнее покоящихся



Среднее время жизни покоящегося мюона 10^{-6} с. Даже двигаясь со скоростью света, мюон может пролететь всего 300 м. Образуюсь в верхних слоях атмосферы, мюоны, тем не менее, достигают поверхности земли, пролетая не менее 20 км.

Для земного наблюдателя бортовые атомные часы на спутниках GPS запаздывают примерно на 7 микросекунд в день. Для правильной работы систем навигации часы подвергаются специальной калибровке.

Закон сложения скоростей

$$V_x = dx/dt$$

$$V_y = dy/dt$$

$$dx' = \frac{dx - udt}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$dy' = dy$$

$$dt' = \frac{dt - dx \cdot u/c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$V'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx - udt}{dt - (u/c^2)dx}$$

$$V'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy \sqrt{1 - \beta^2}}{dt - (u/c^2)dx}$$

$$V'_x = \frac{V_x - u}{1 - (u/c^2)V_x}$$

$$V'_y = \frac{V_y \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - (u/c^2)V_x}$$

Релятивистский закон сложения скоростей переходит в классическое выражение

$$u \ll c \qquad V'_x = V_x - u$$

Вдоль оси x движется тело со скоростью c . В системе отсчета K' его скорость также будет равняться c .

$$V'_x = \frac{c - u}{1 - (u/c^2)c} = c \frac{c - u}{c - u} = c$$

Инварианты СТО

Инвариант — параметр, не зависящий от условий наблюдения, одинаковый в различных системах отсчета.

В ИСО инварианты: законы природы, скорость света, электрический заряд.

Пространственно-временной интервал

Событие 1: t_1 (x_1, y_1, z_1)

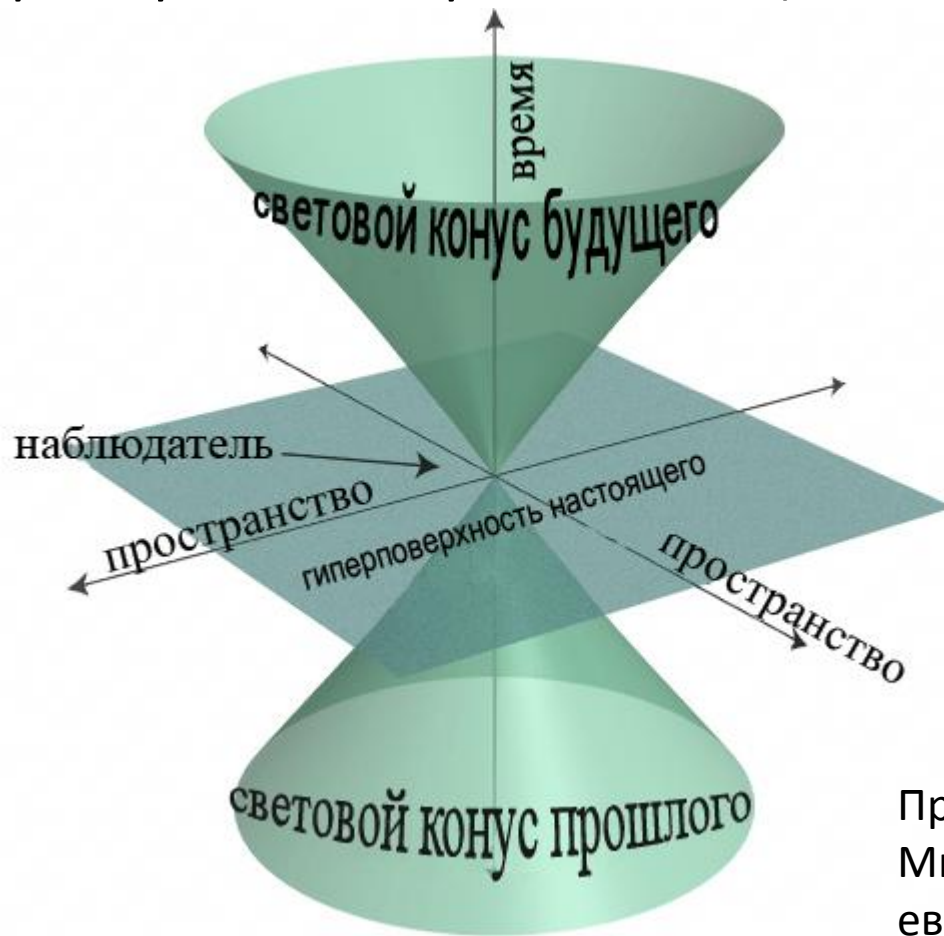
Событие 2: t_2 (x_2, y_2, z_2)

$$l_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad t_{12} = t_1 - t_2$$

$$s_{12} = \sqrt{c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2} \quad s_{12} = s'_{12} = inv$$

Мир (пространство) Минковского

Пространство Минковского — четырёхмерное пространство, предложенное в качестве геометрической интерпретации пространства-времени специальной теории относительности.



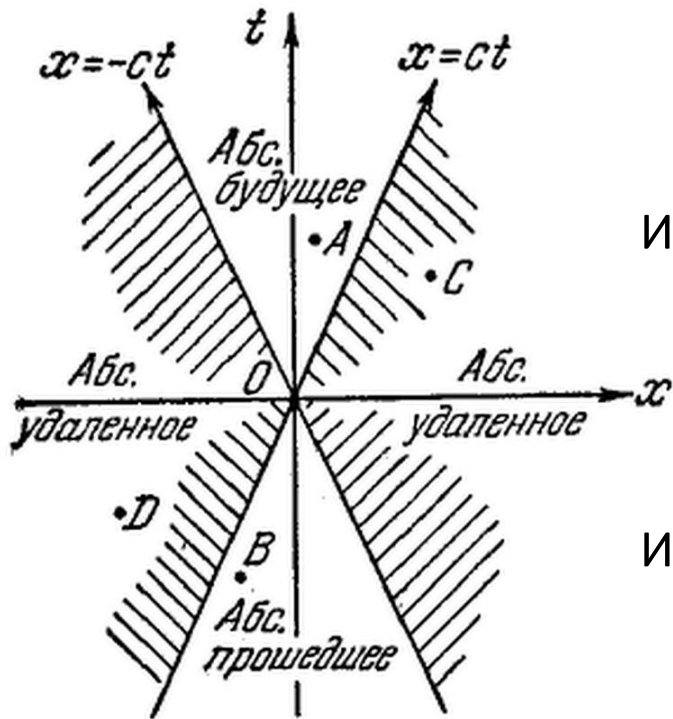
Мировая точка (x, y, z, ict)

Мировая линия

Световой конус

Преобразования Лоренца в пространстве Минковского аналогичны вращениям в евклидовом пространстве.

Интервал — расстояние в пространстве Минковского.



$$s_{12} = \sqrt{c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2}$$

Интервал OA времениподобный

$$s_{12}^2 > 0$$

Интервал OC пространственноподобный

$$s_{12}^2 < 0$$

Последовательность событий в любой системе отсчета: B, O, A .

События B и O , O и A могут происходить в одном месте.

События D и O , O и C могут происходить раньше, позже, одновременно, но всегда в разных точках.