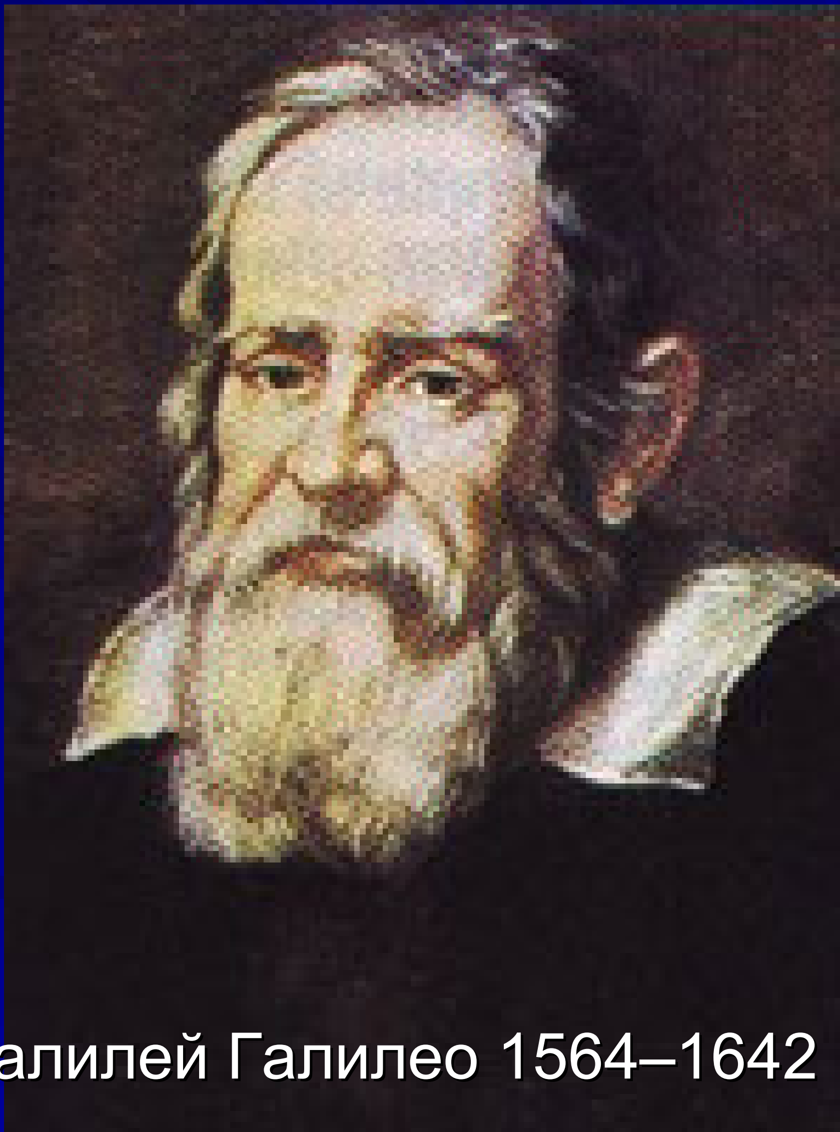
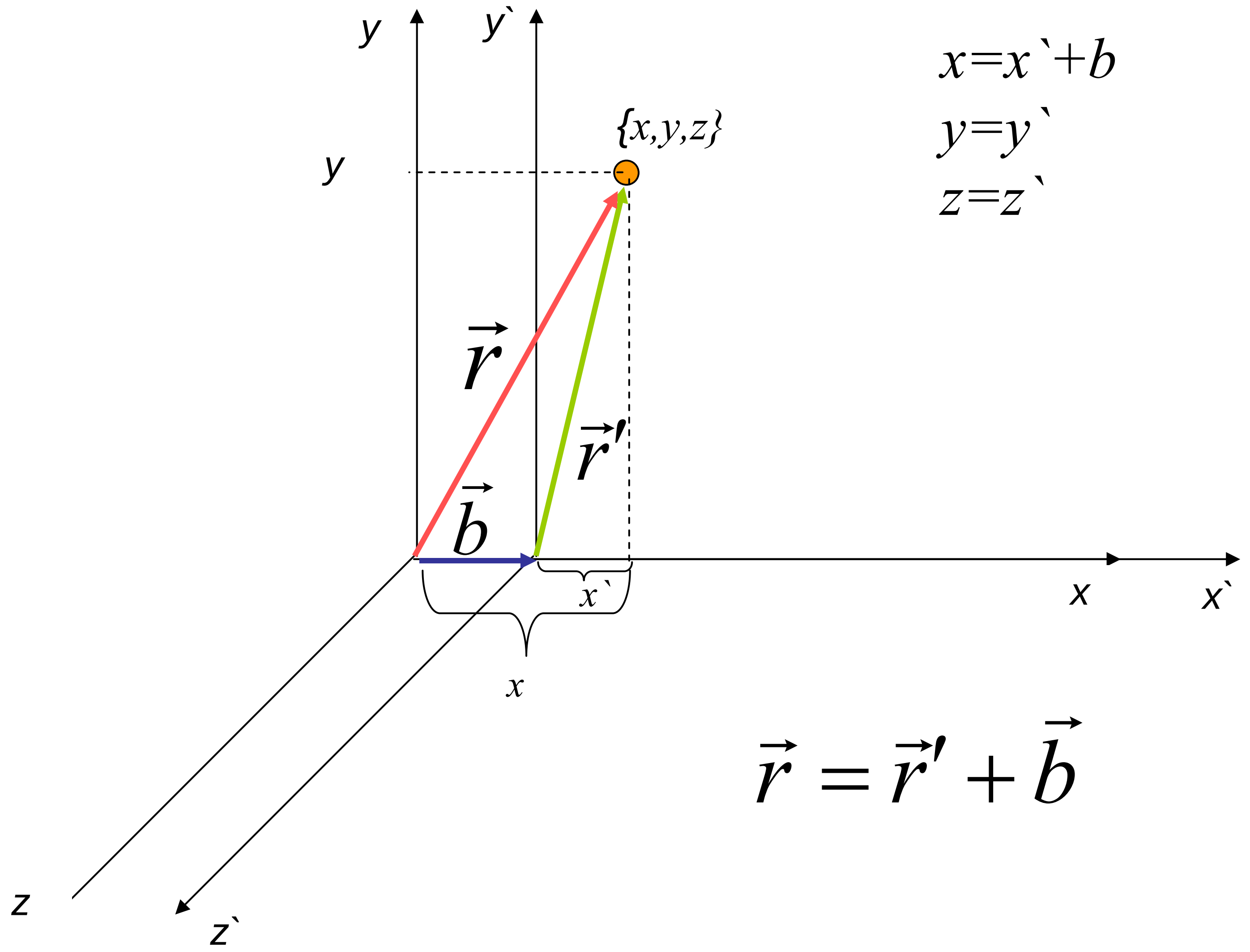
Тема 2. Пространство и время в движущихся СО

- 2.1. Преобразования Галилея



Галилей Галилео 1564–1642

Преобразования координат при сдвиге осей



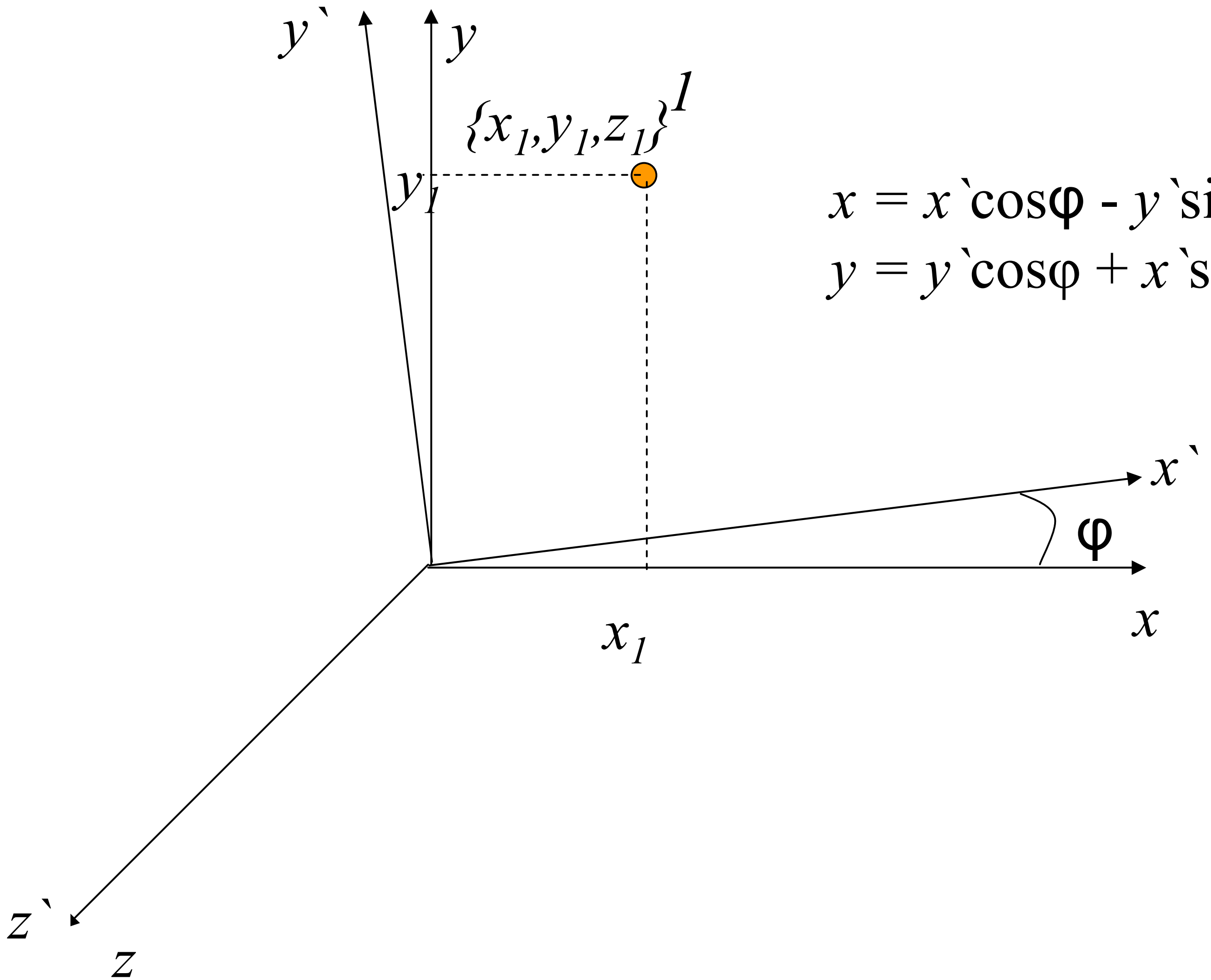
$x = x` + b$

$y = y`$

$z = z`$

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{b}$$

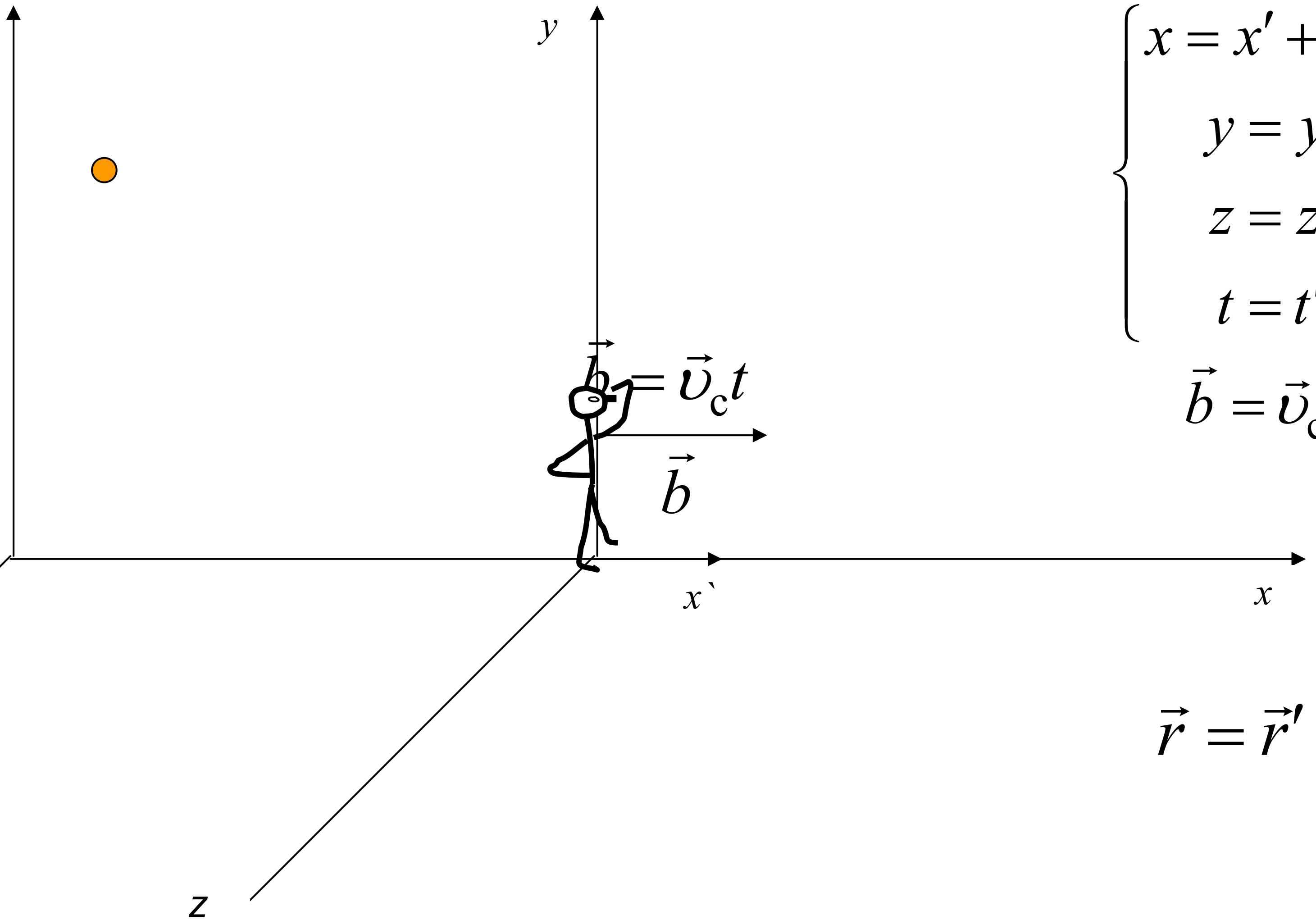
Преобразования координат при повороте осей



$$x = x\grave{}\cos\varphi - y\grave{}\sin\varphi$$

$$y = y\grave{}\cos\varphi + x\grave{}\sin\varphi$$

Преобразования Галилея



$$\begin{cases} x = x' + \upsilon_c t \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases}$$

$$\vec{b} = \vec{\upsilon}_{\text{c}} t$$

$$\vec{r} = \vec{r}\,' + \vec{\upsilon}_c t$$

Следствия:

$$1 \quad \begin{cases} \dot{x} = \dot{x}' + \upsilon_c \\ \dot{y} = \dot{y}' \\ \dot{z} = \dot{z}' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \upsilon_x = \upsilon'_x + \upsilon_c \\ \upsilon_y = \upsilon'_y \\ \upsilon_z = \upsilon'_z \end{cases}$$

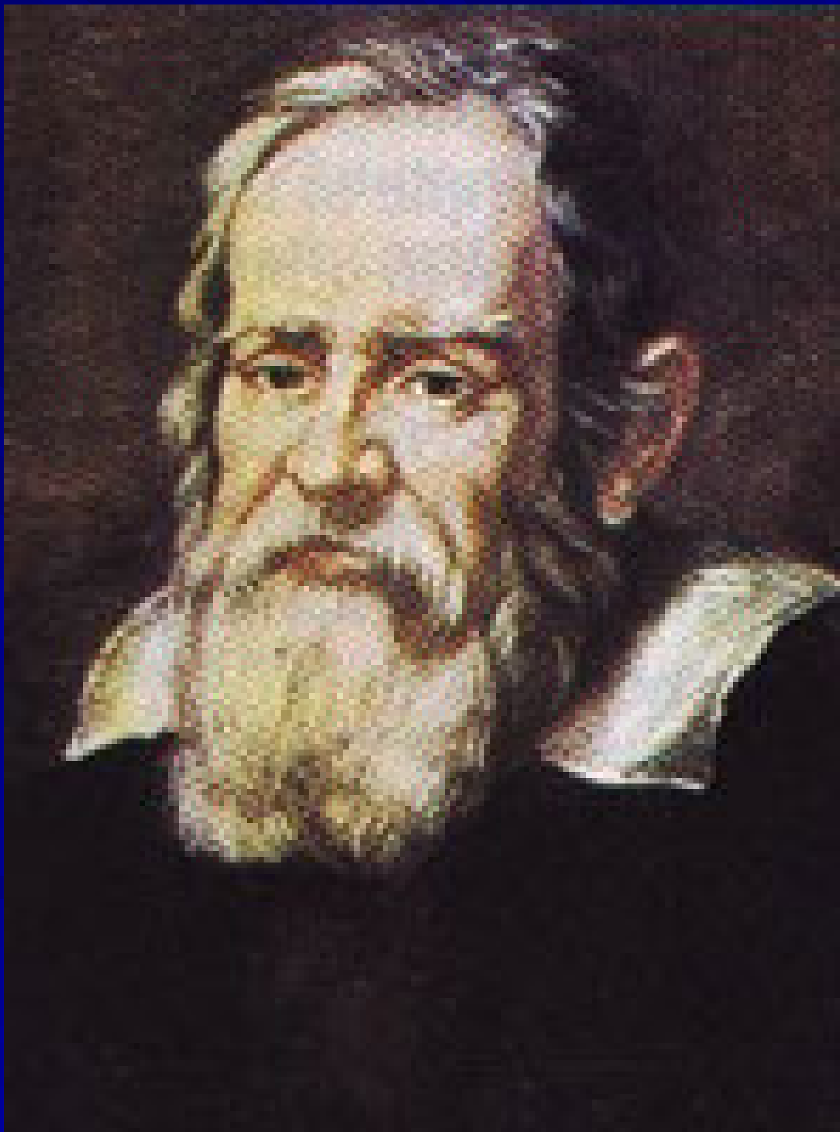
$$\boxed{\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}' + \vec{\upsilon}_c}$$

$$2\begin{cases}\Delta\vec{v} = \Delta\vec{v}' \\ \Delta t = \Delta t'\end{cases} \Rightarrow \boxed{\vec{a} = \vec{a}'}$$

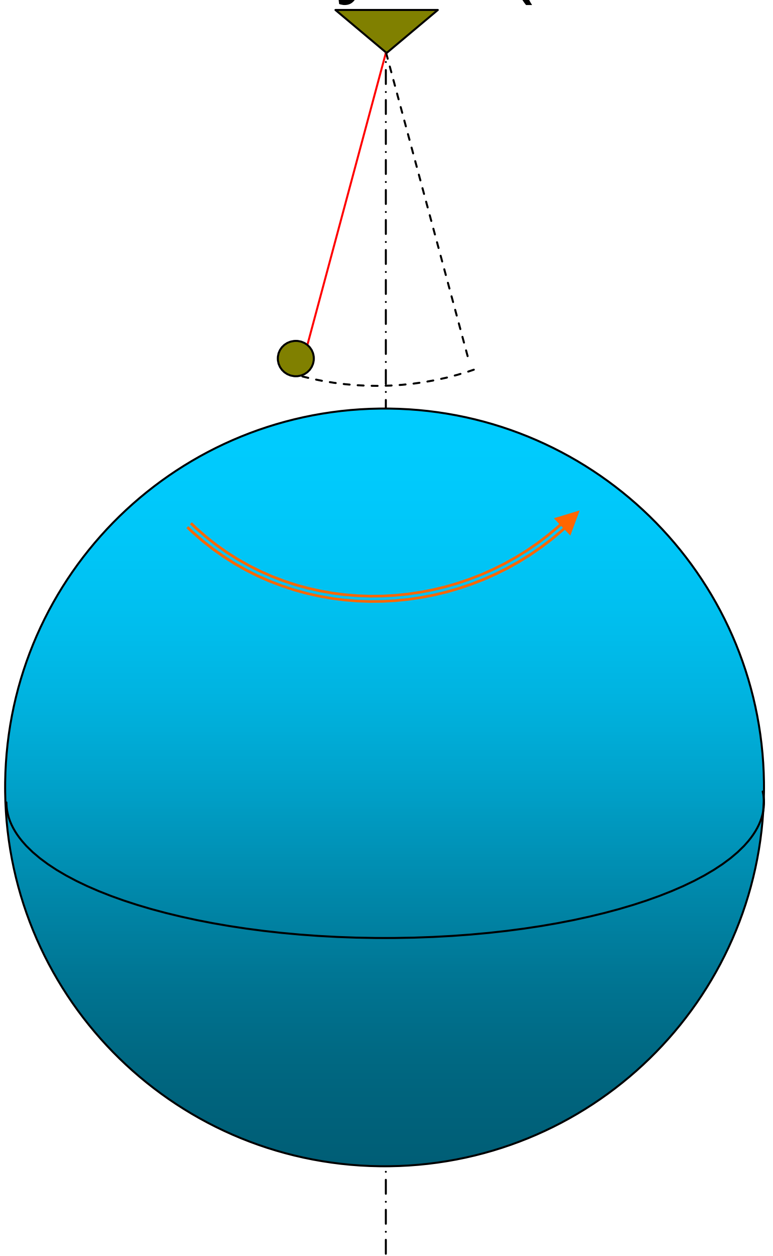
3

Размеры объекта	инвариантны
Одновременность событий	инвариантна
Одноместность событий	не инвариантна

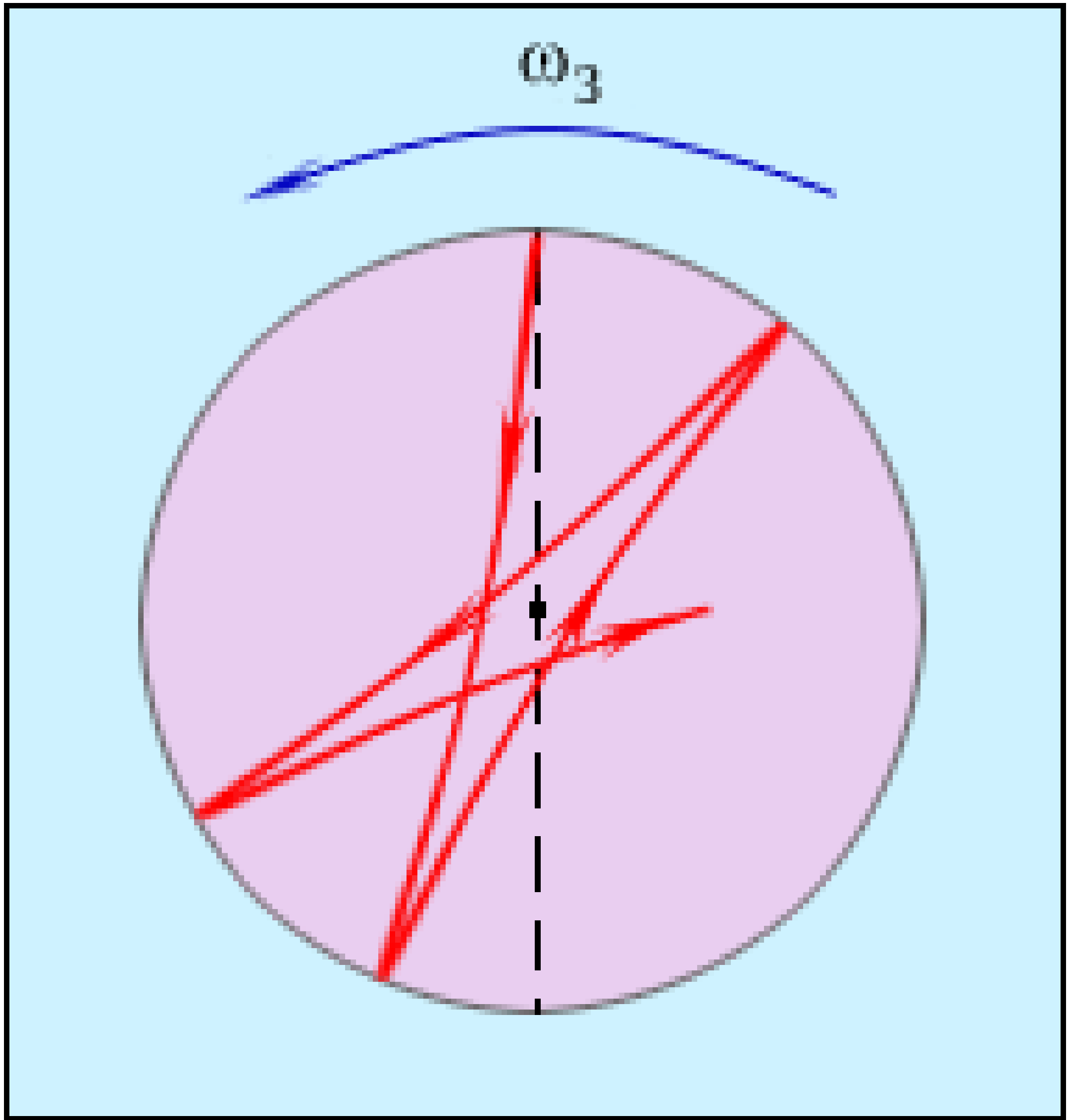
- 2.2. Закон инерции. ИСО



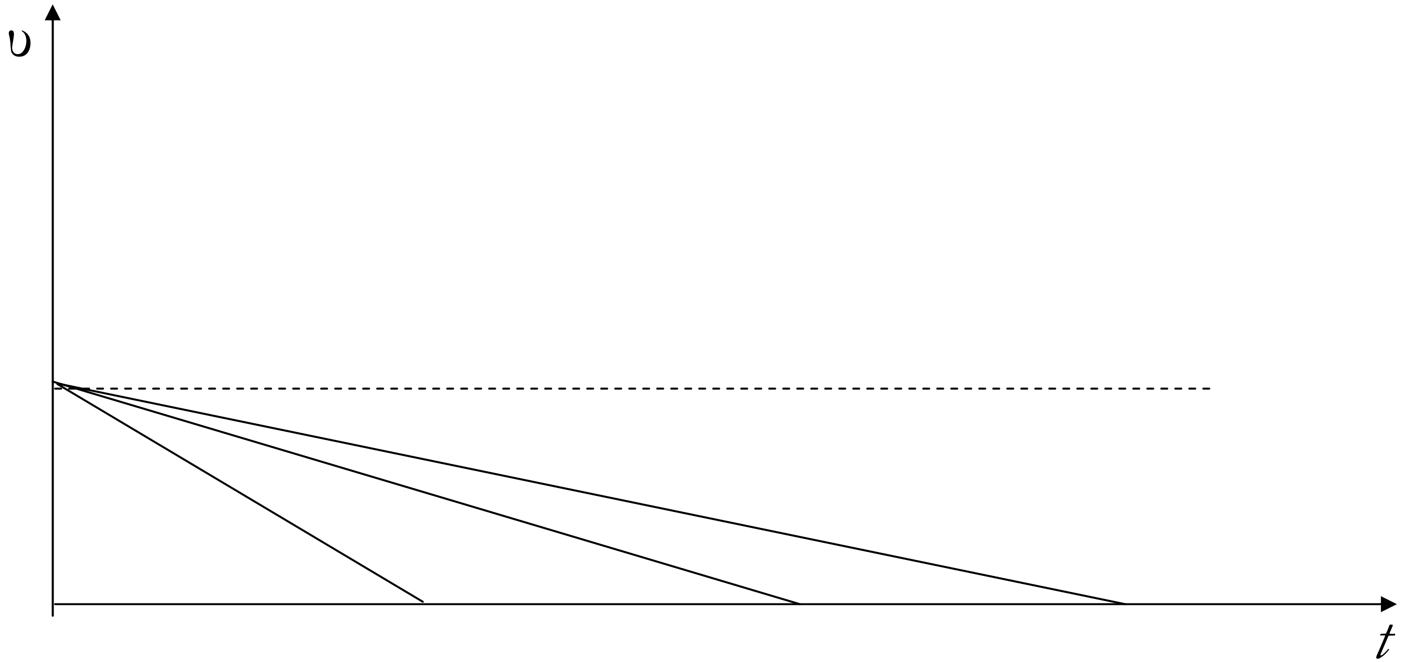
Маятник Фуко (на полюсе)



Поворот плоскости качаний маятника Фуко.



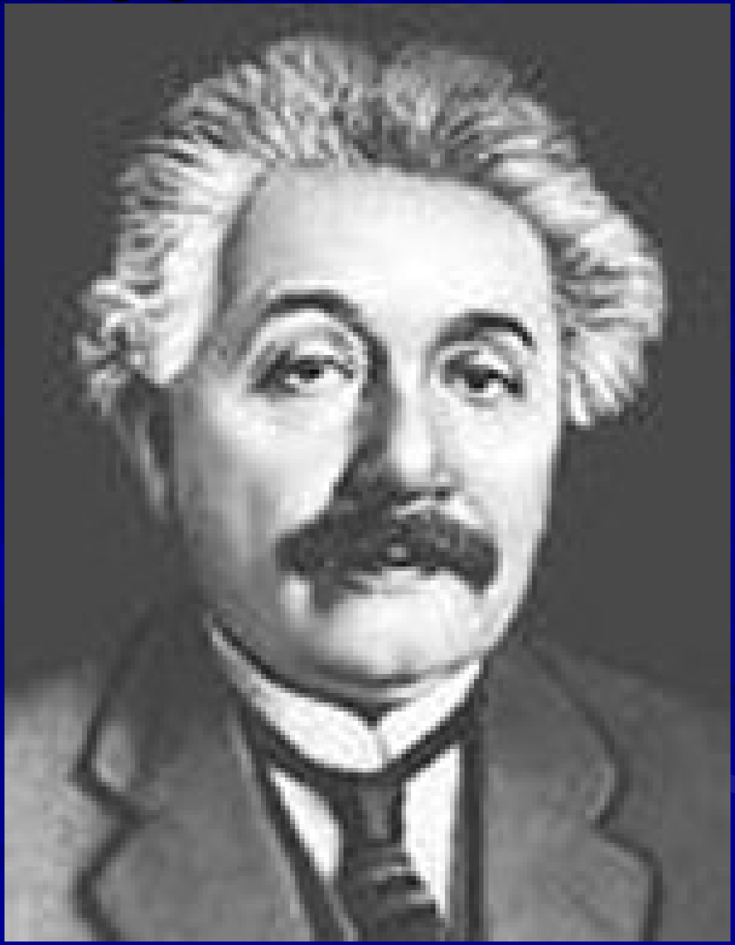
Опыты Галилея



Закон инерции
(1й закон Ньютона)

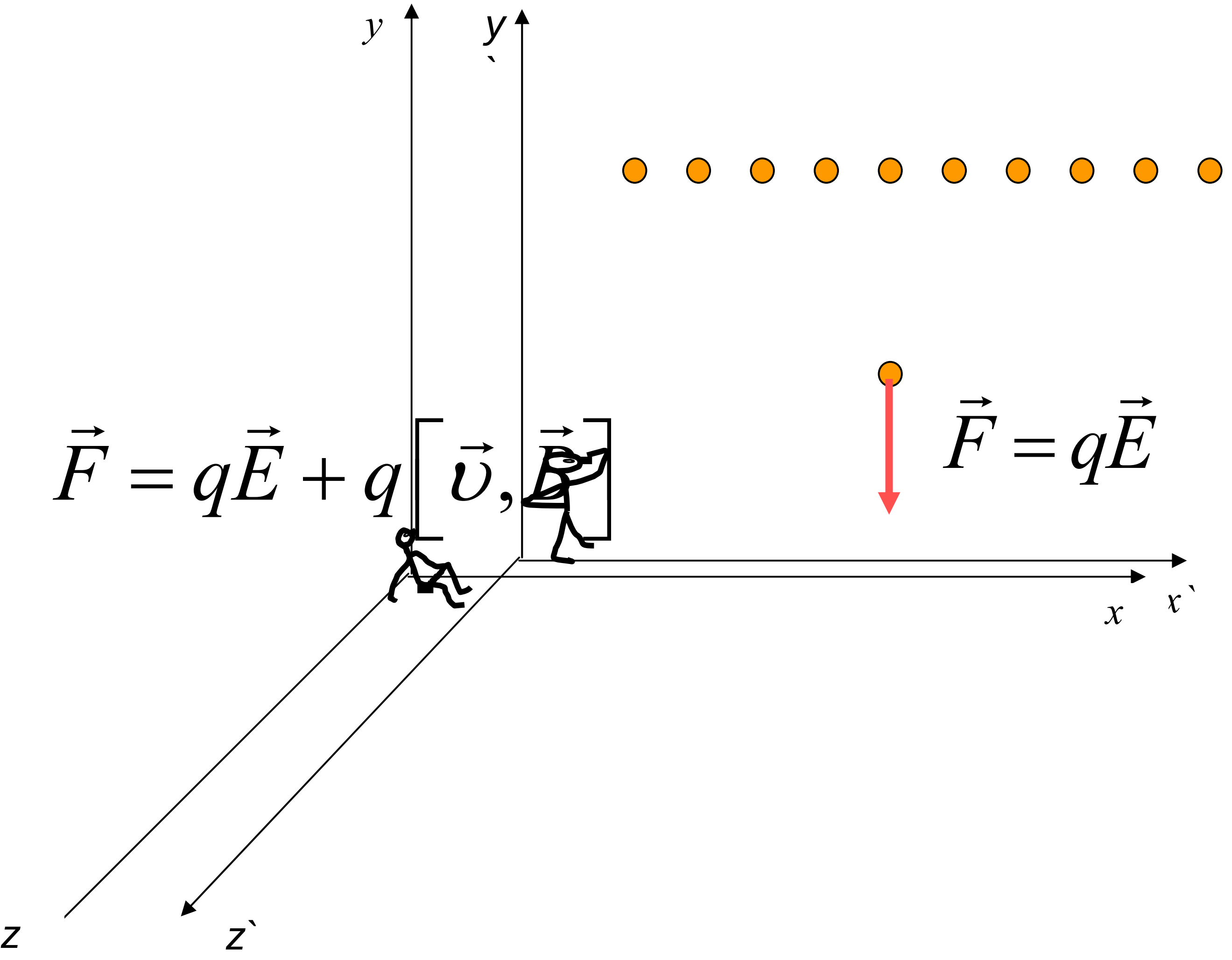
- Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние

2.3. Постулаты специальной теории относительности



Эйнштейн Альберт 1879–1955

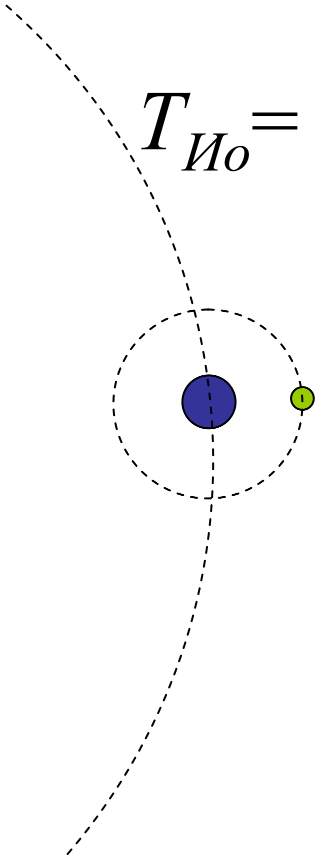
Возникновение силы Лоренца



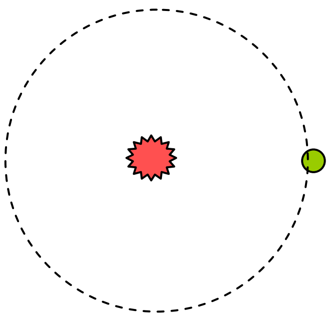
$$\vec{F} = q\vec{E} + q\left[\vec{\upsilon}, \vec{B}\right]$$

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Опыт Рёмера (1676 г)
$T_{ю}$=12 лет

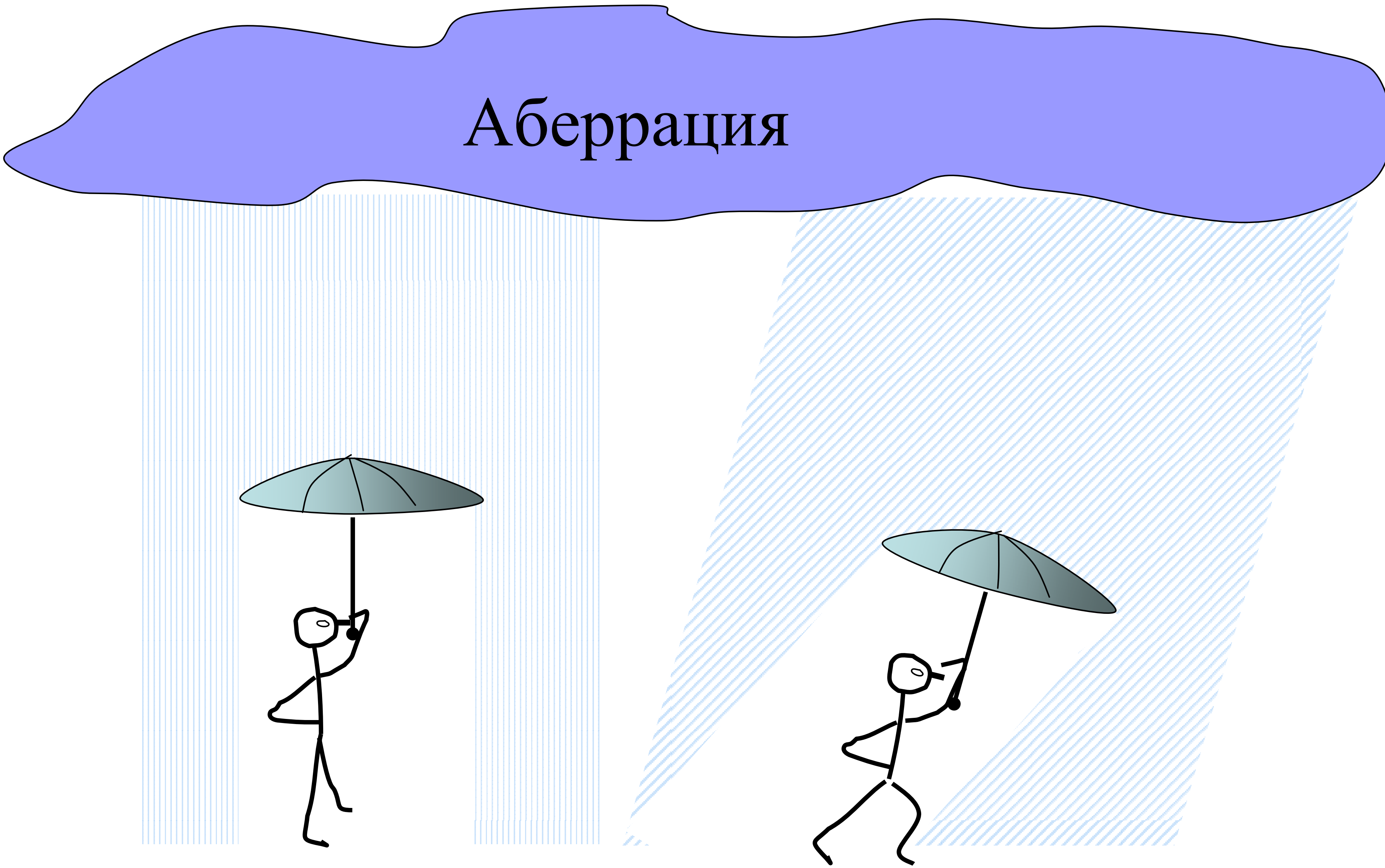


$T_{Ио}$= 22 часа

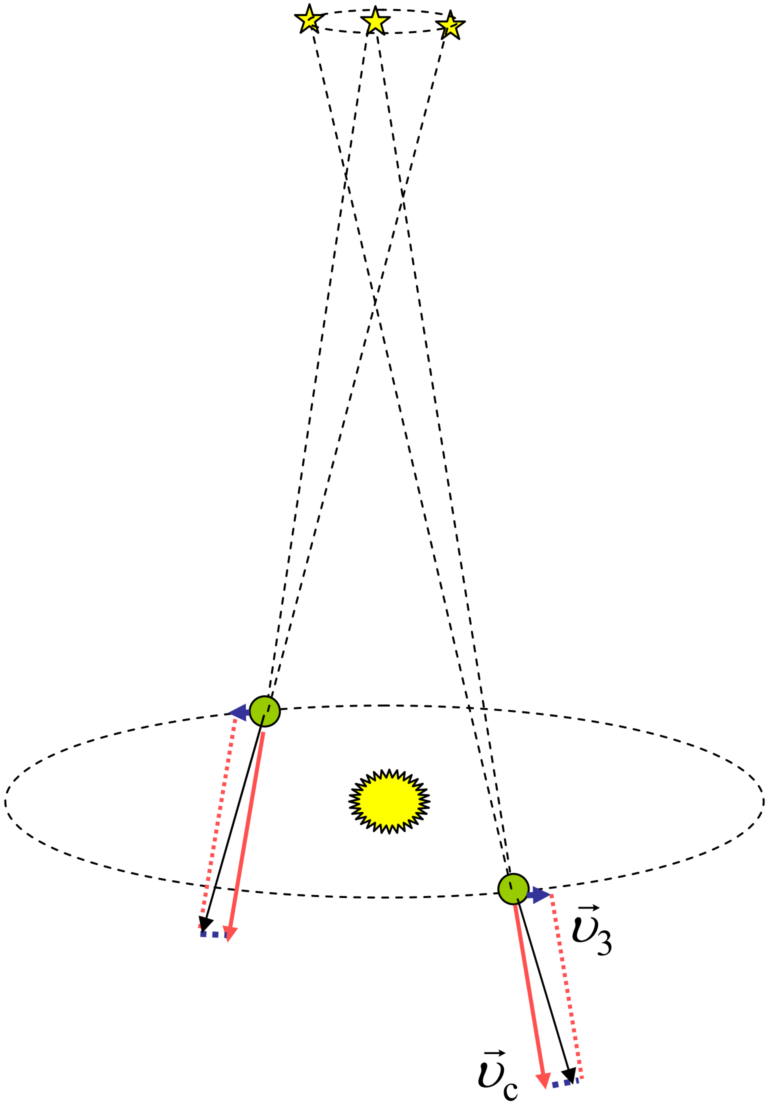


$\Delta T_{Ио} \approx$ 22 мин

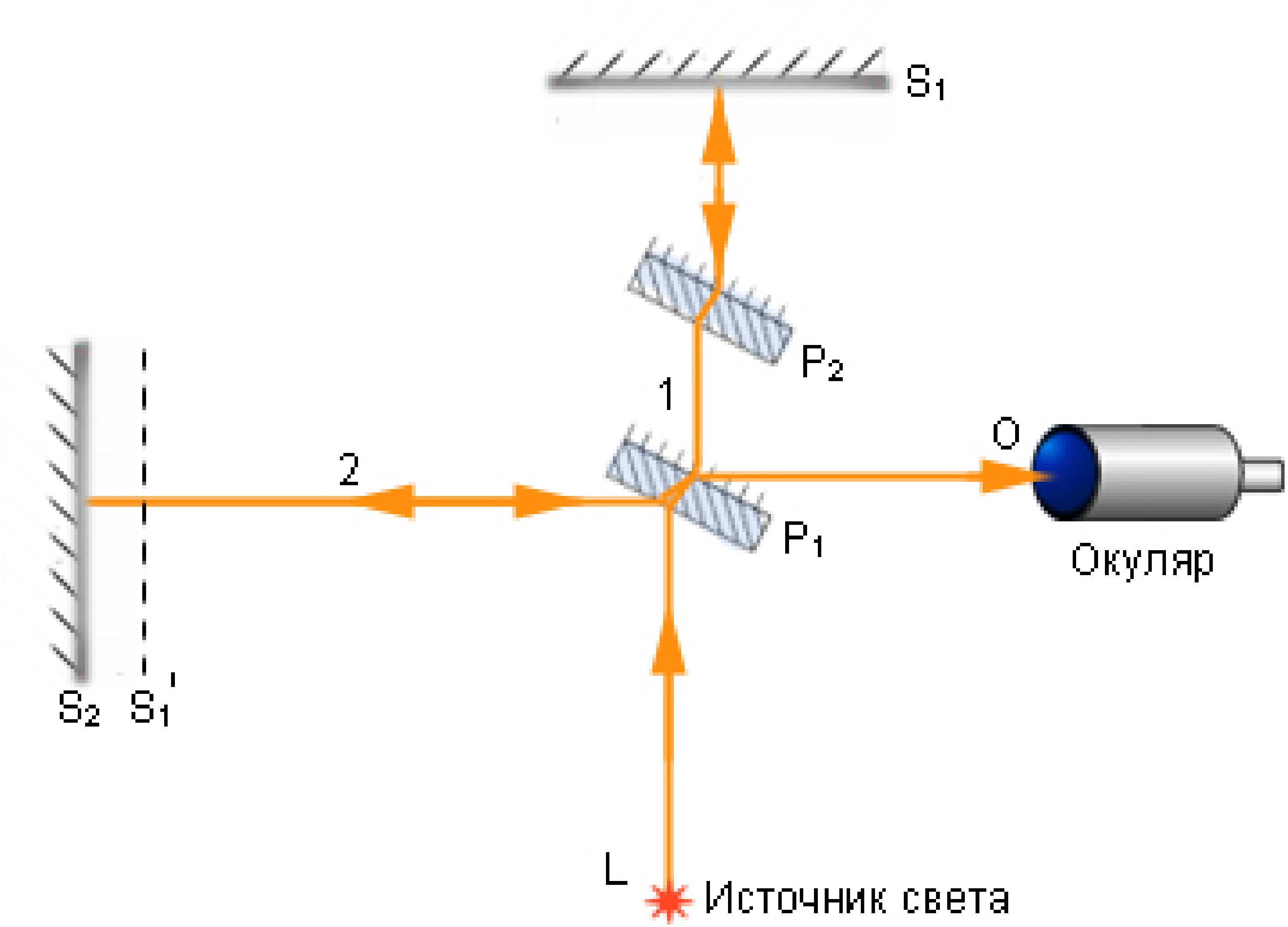
$c_{св} \approx$ 215000 км/с


Аберрация

Аберрация света звезд (Бредли1795 г.)



Интерферометр Майкельсона (1887 г.)

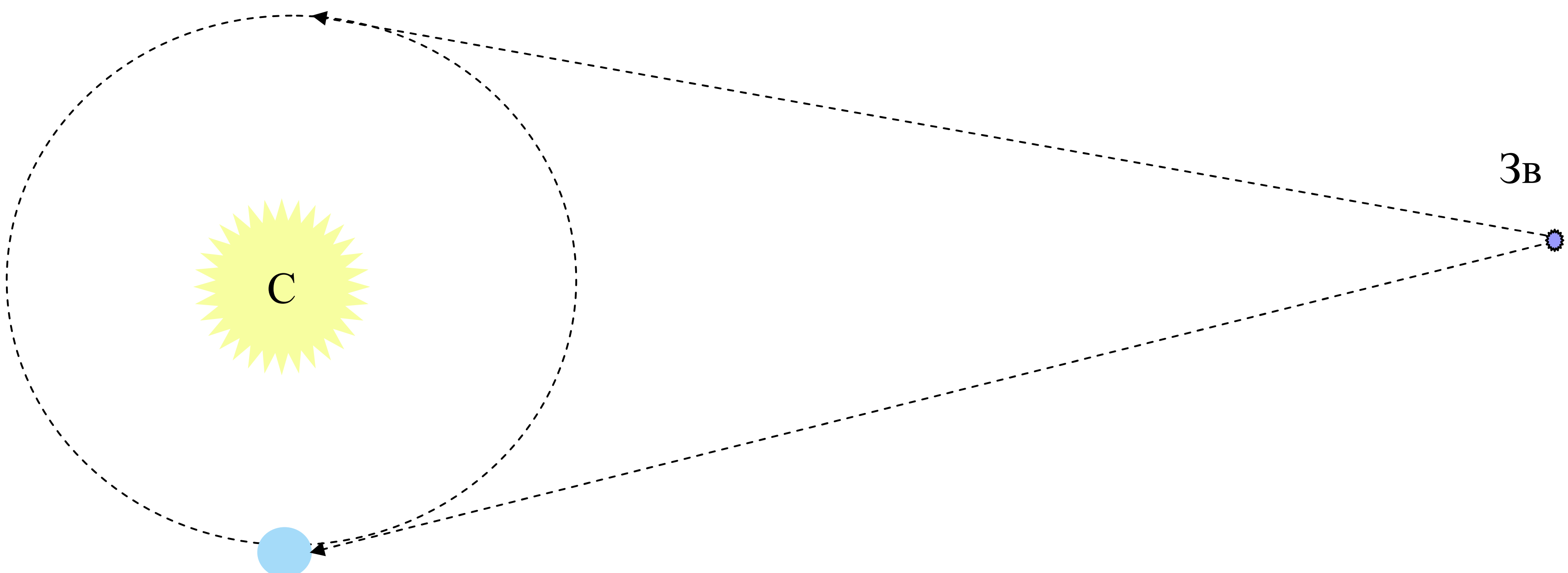


S_1 и S_2 – зеркала

P_1 и P_2 – разделительная и компенсационная пластинки

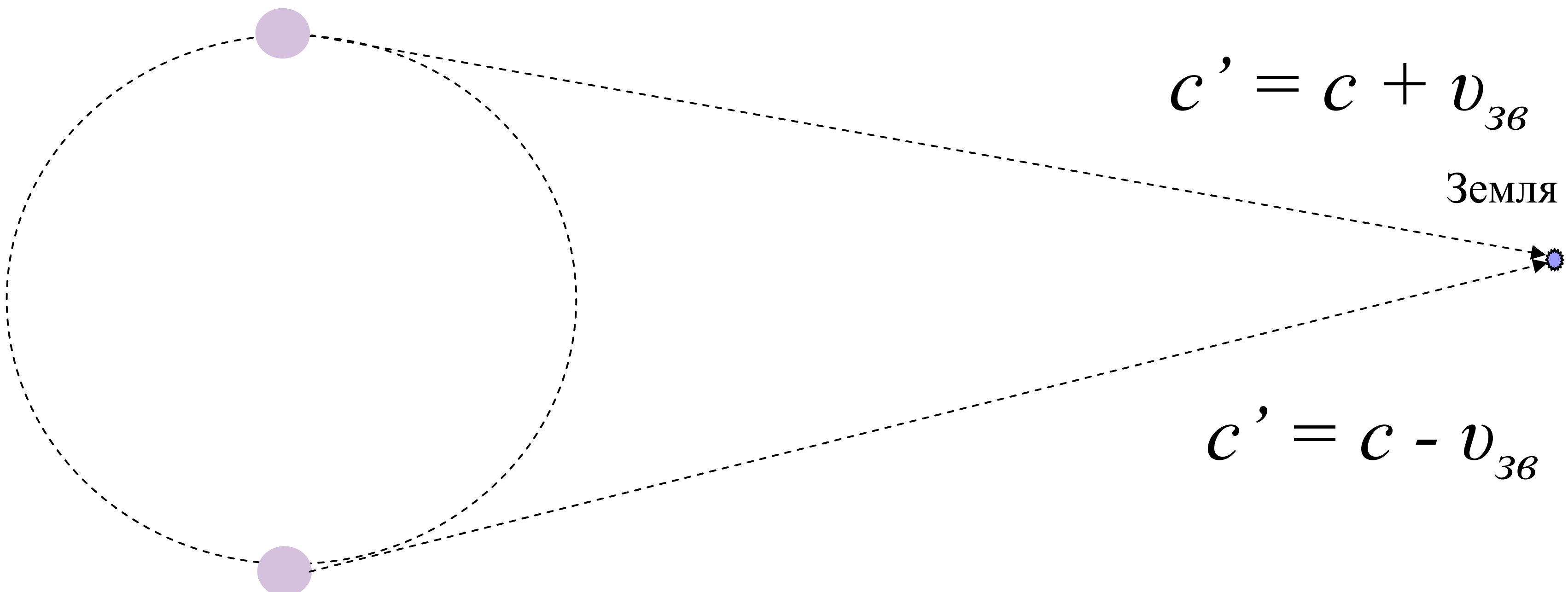
Свет от звезды

$$c' = c + \upsilon_з$$



$$c' = c - \upsilon_з$$

Свет от двойной звезды

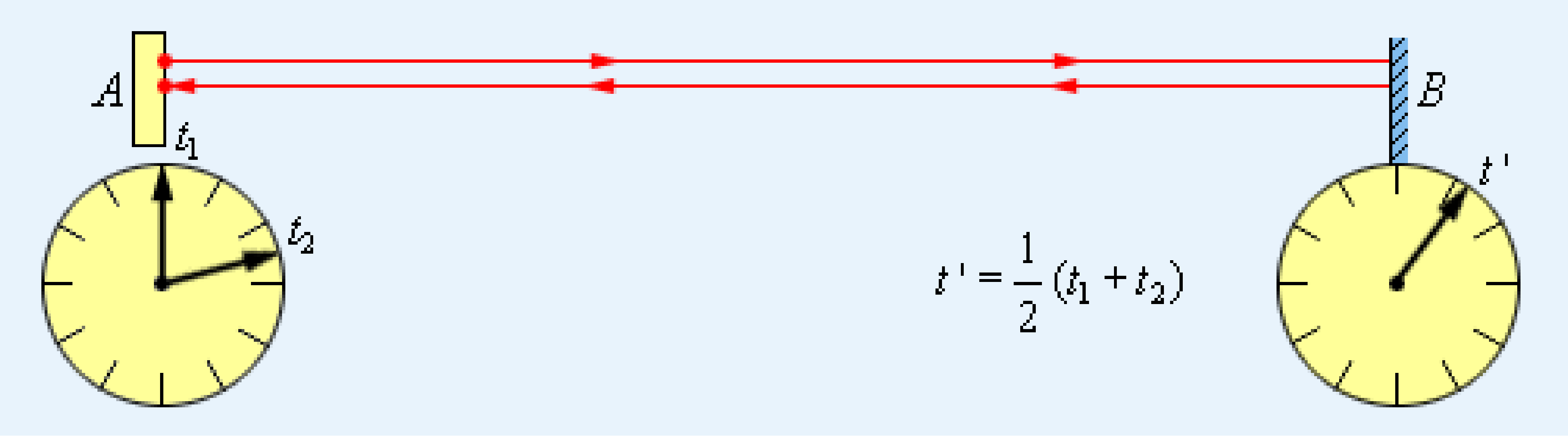


Постулаты Эйнштейна (1905 г.)

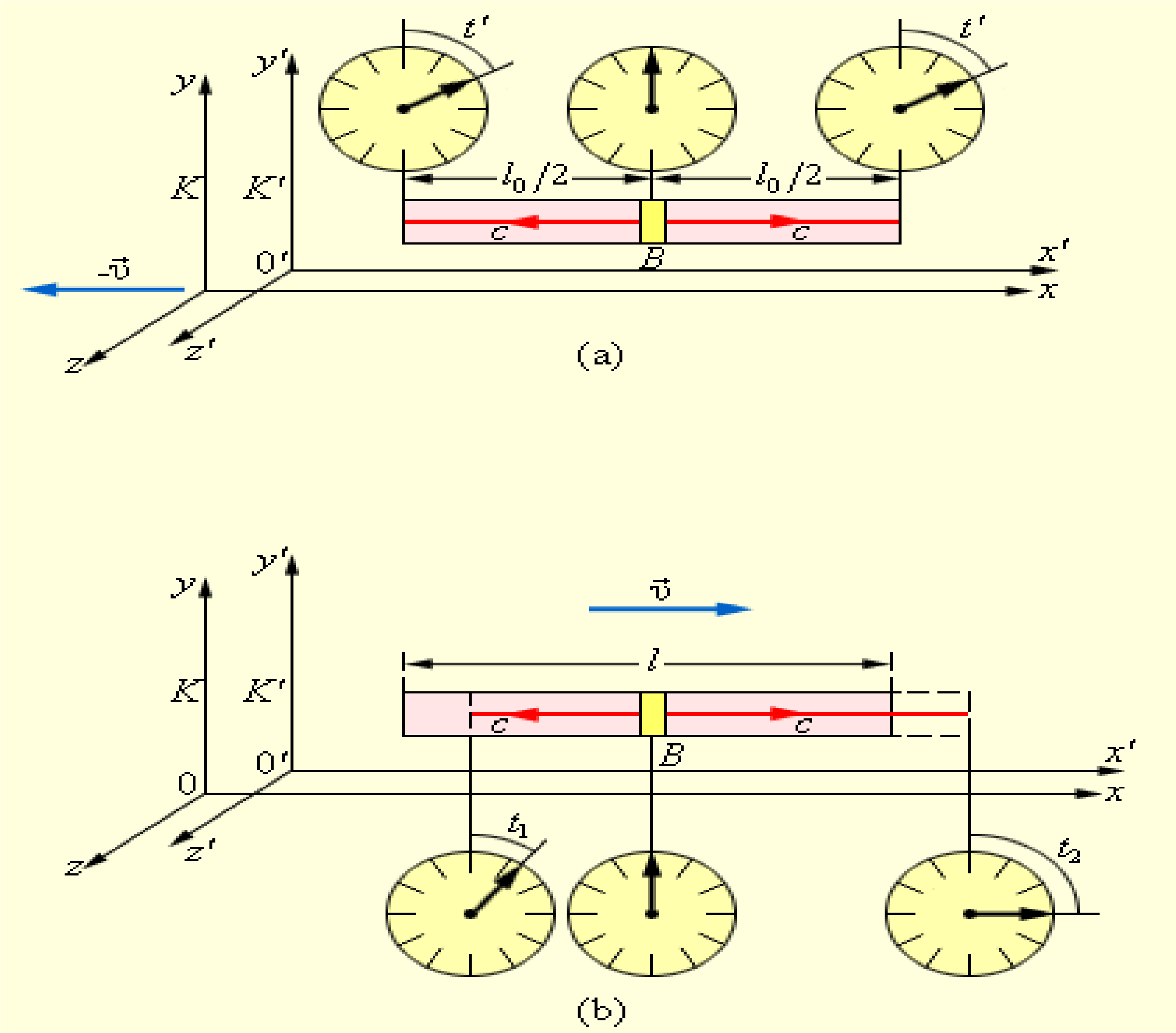
- ***Принцип постоянства скорости света***: **скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника света или наблюдателя и одинакова во всех инерциальных системах отсчета.**
- ***Принцип относительности***: **все фундаментальные законы природы инвариантны по отношению к переходу от одной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

- 2.4. Преобразования Лоренца

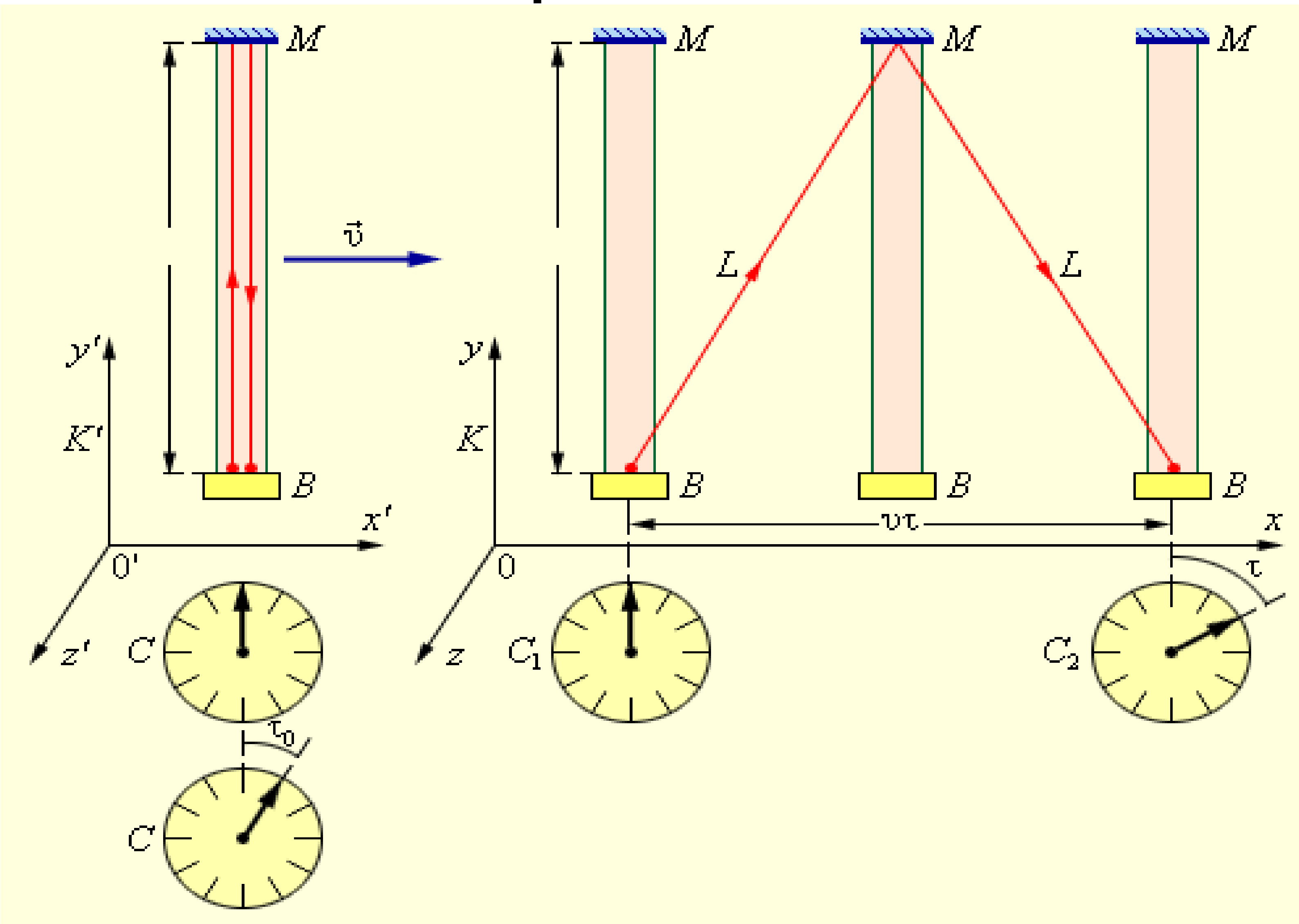
Синхронизация часов в СТО



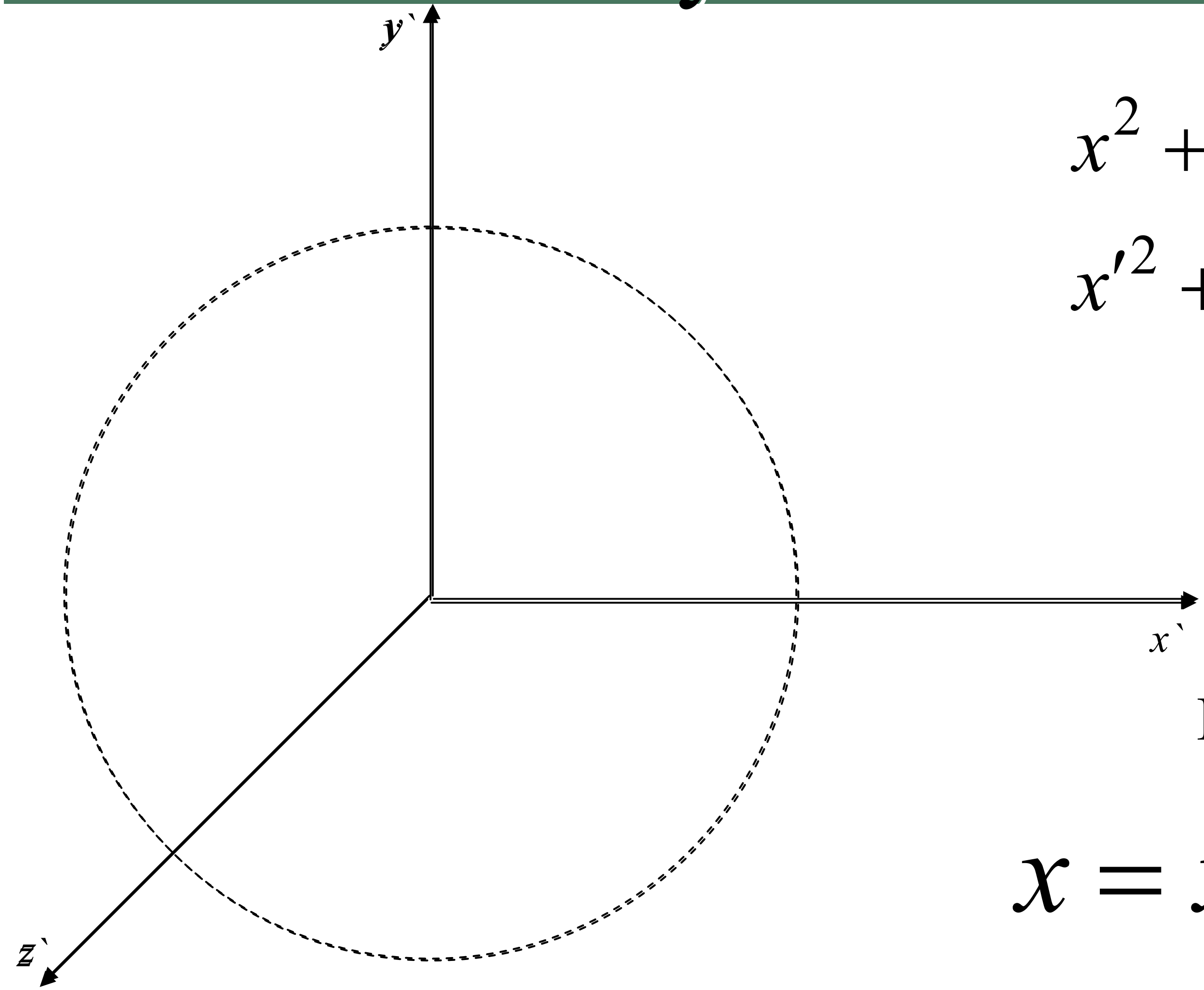
Относительность одновременности.



Относительность промежутков времени.



Кажущееся противоречие постулатов СТО



$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t^2$$

По Галилею

$$x = x' + \upsilon_c t \quad ?$$

Выводы:

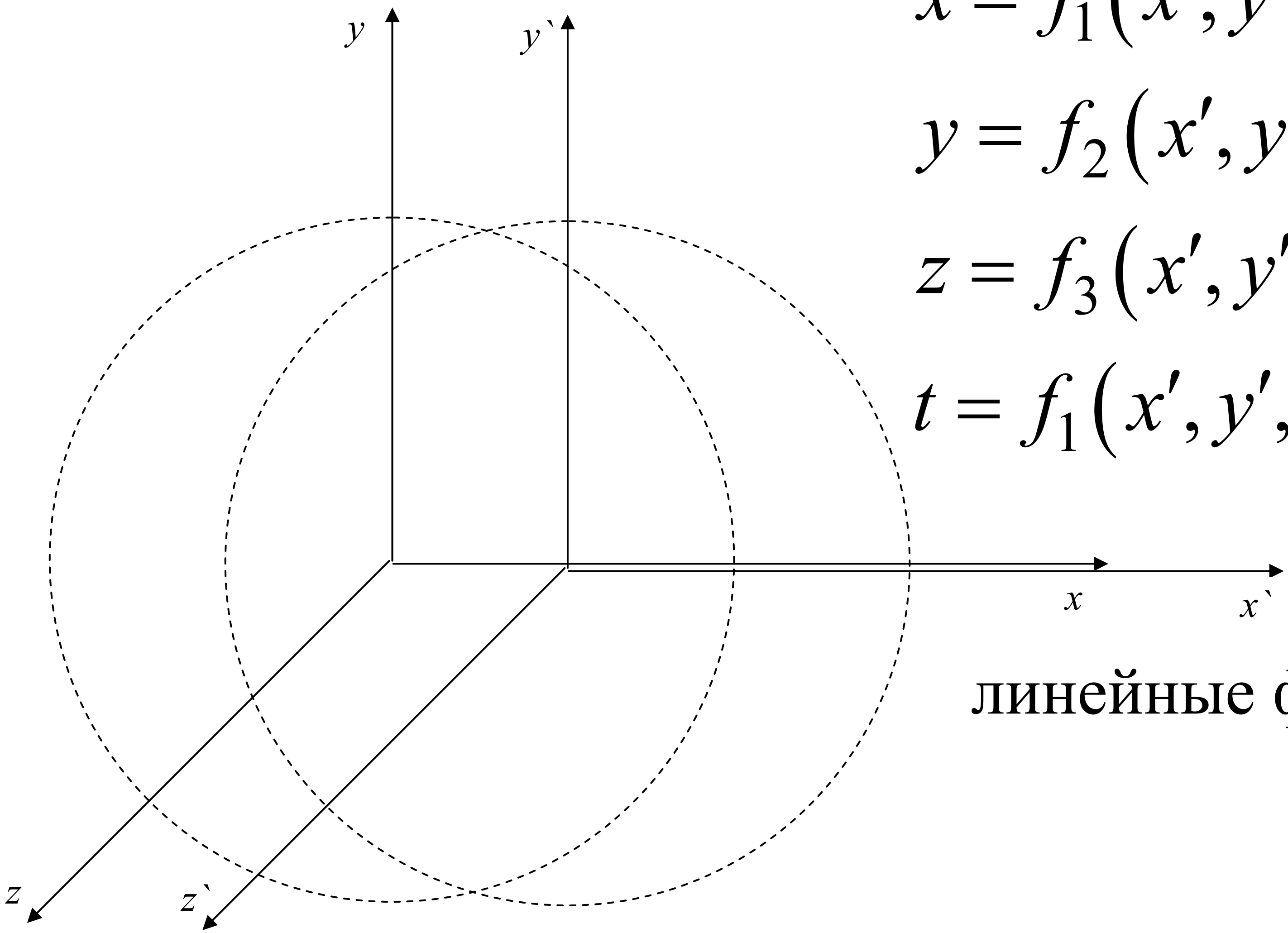
Постулаты Эйнштейна

- ***Принцип постоянства скорости света***
- ***Принцип относительности***

$$t \neq t'$$

$$\Delta t \neq \Delta t'$$

Из однородности пространства и времени



$$x = f_1(x', y', z', t')$$

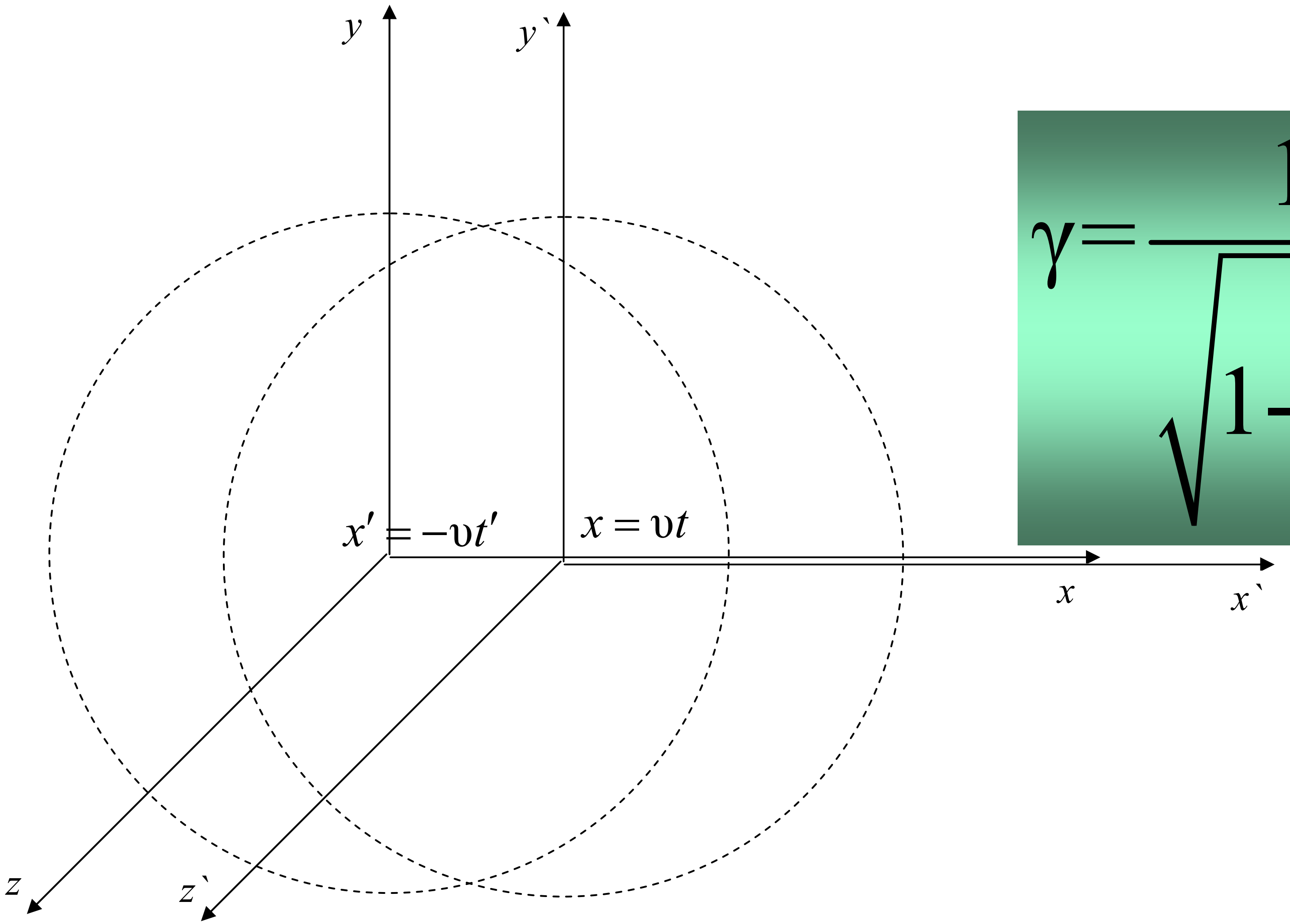
$$y = f_2(x', y', z', t')$$

$$z = f_3(x', y', z', t')$$

$$t = f_1(x', y', z', t')$$

линейные функции

Ho



$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

Преобразования Лоренца

$$\begin{cases} x = \dfrac{x' + \upsilon_0 t'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \dfrac{t' + \dfrac{\upsilon_0}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x - \upsilon_0 t}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t' = \dfrac{t - \dfrac{\upsilon_0}{c^2} x}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \end{cases}$$

Замечания:

1.

$$\begin{cases} \Delta x = \dfrac{\Delta x' + \upsilon_0 \Delta t'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \\ \Delta y = \Delta y' \\ \Delta z = \Delta z' \\ \Delta t = \dfrac{\Delta t' + \dfrac{\upsilon_0}{c^2} \Delta x'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \end{cases}$$

Замечания:

2.
$$\begin{cases} x = \dfrac{x' + \upsilon_0 t'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \dfrac{t' + \dfrac{\upsilon_0}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \end{cases}$$

При $\upsilon_0 << c$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = x' + \upsilon_0 t \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases}$$

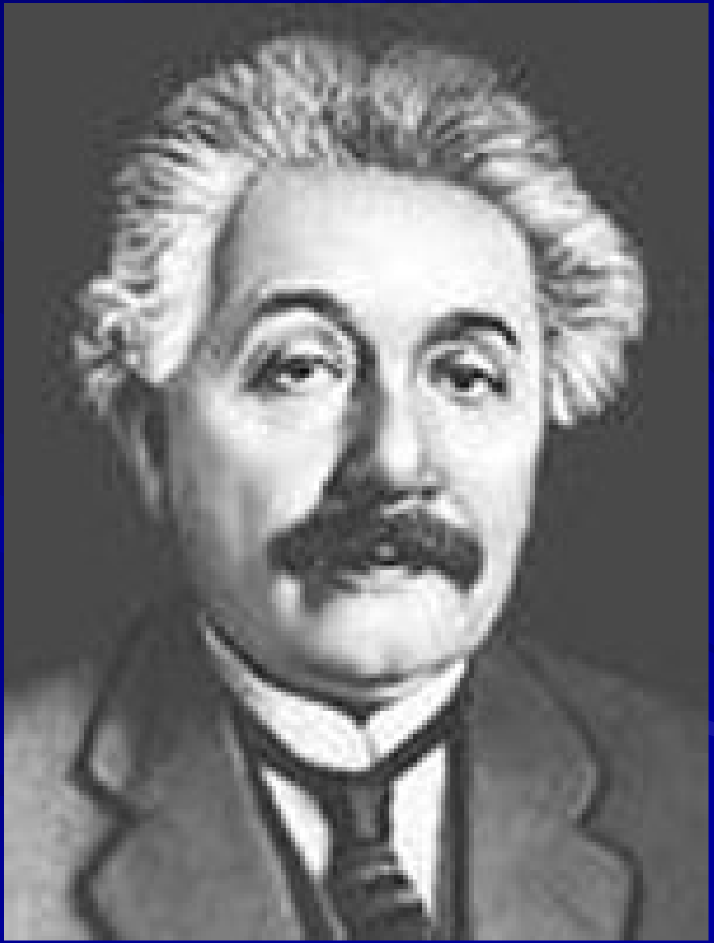
Замечания:

3.

Если $ct = \tau,\quad \dfrac{\upsilon}{c} = \beta,\quad \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} = \gamma$

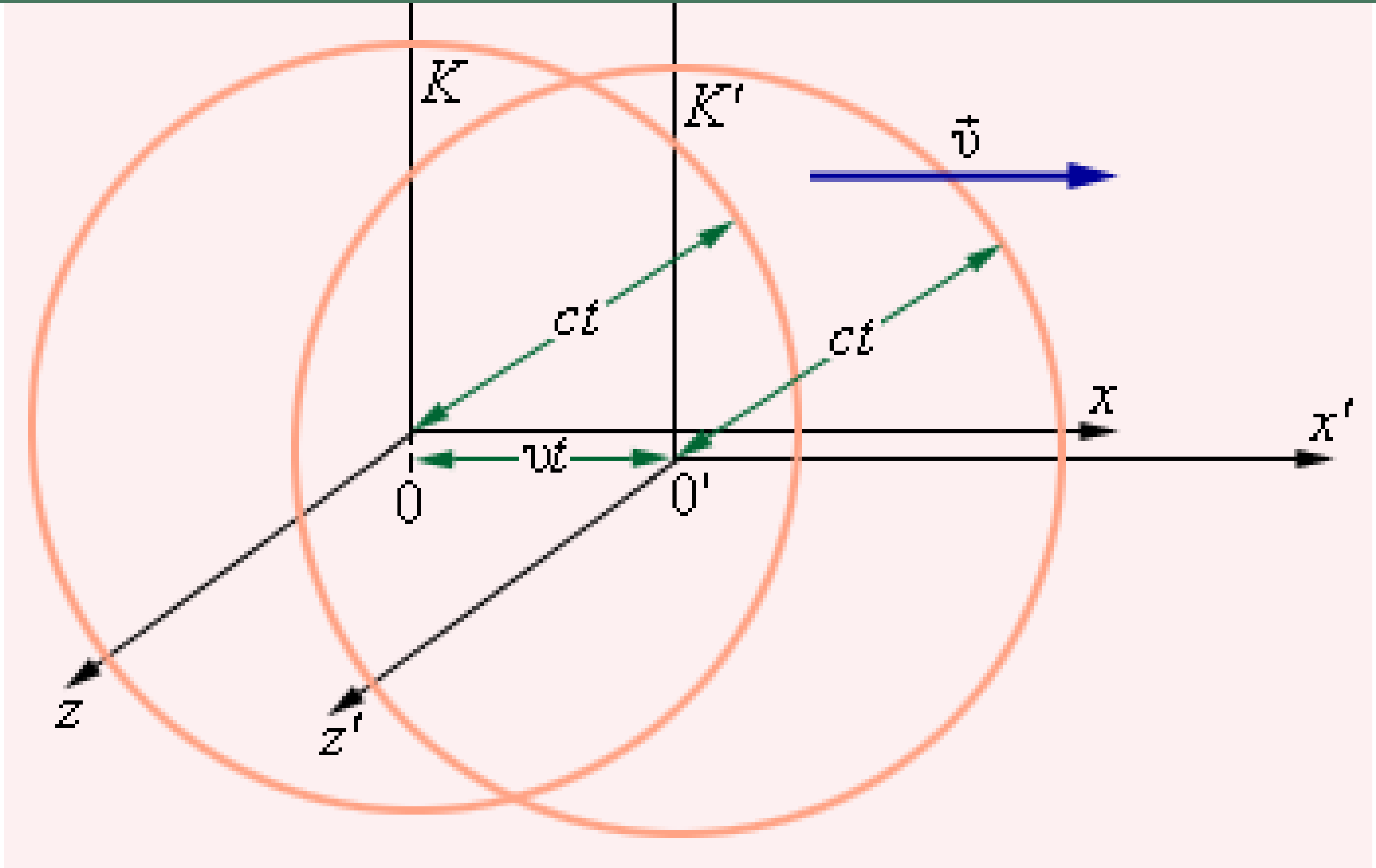
$$
\begin{cases}
x = \dfrac{x' + \upsilon_0 t'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}} \\
y = y' \\
z = z' \\
t = \dfrac{t' + \dfrac{\upsilon_0}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}}
\end{cases}
\Rightarrow
\begin{cases}
x = \gamma\left(x' + \beta\tau'\right) \\
y = y' \\
z = z' \\
\tau = \gamma\left(\tau' + \beta x'\right)
\end{cases}
$$

2.5. Интервал между событиями



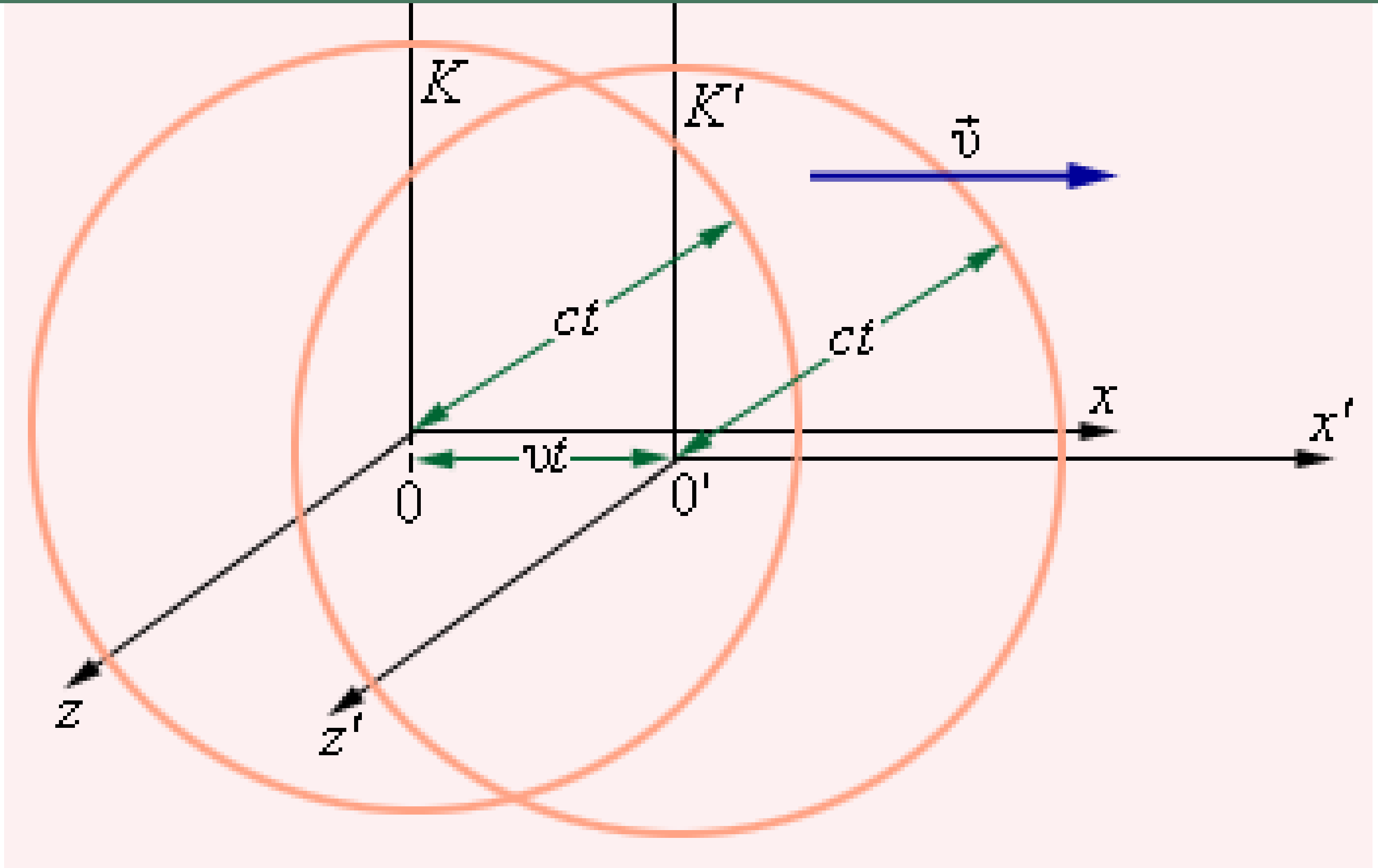
Распространение волнового фронта

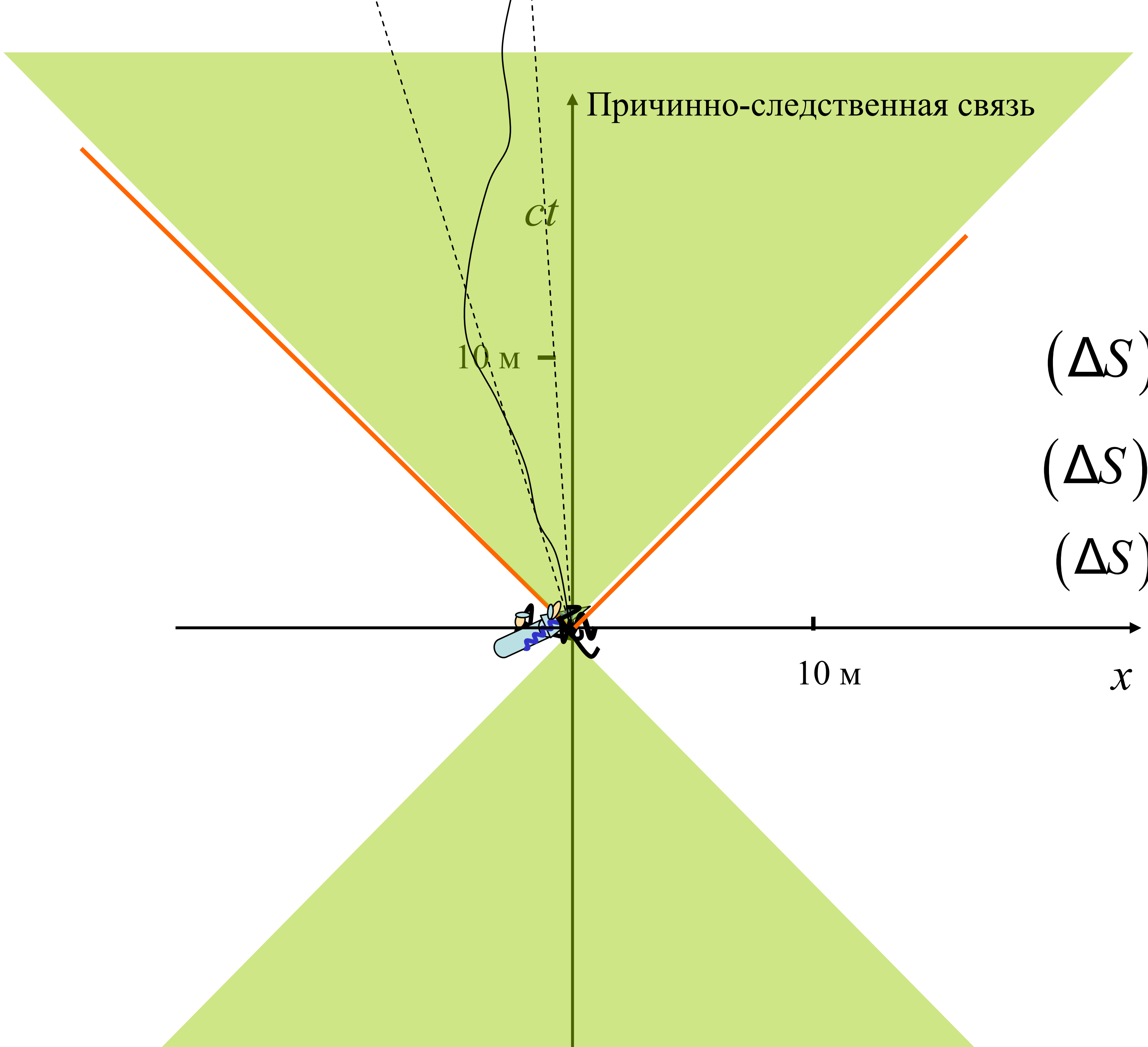
$$c^2(\Delta t)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2$$



Распространение волнового фронта

$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2 = 0$$





$$\left(\Delta S\right)^2 < 0$$

$$\left(\Delta S\right)^2 = 0$$

$$\left(\Delta S\right)^2 > 0$$

Интервал в собственной системе МТ

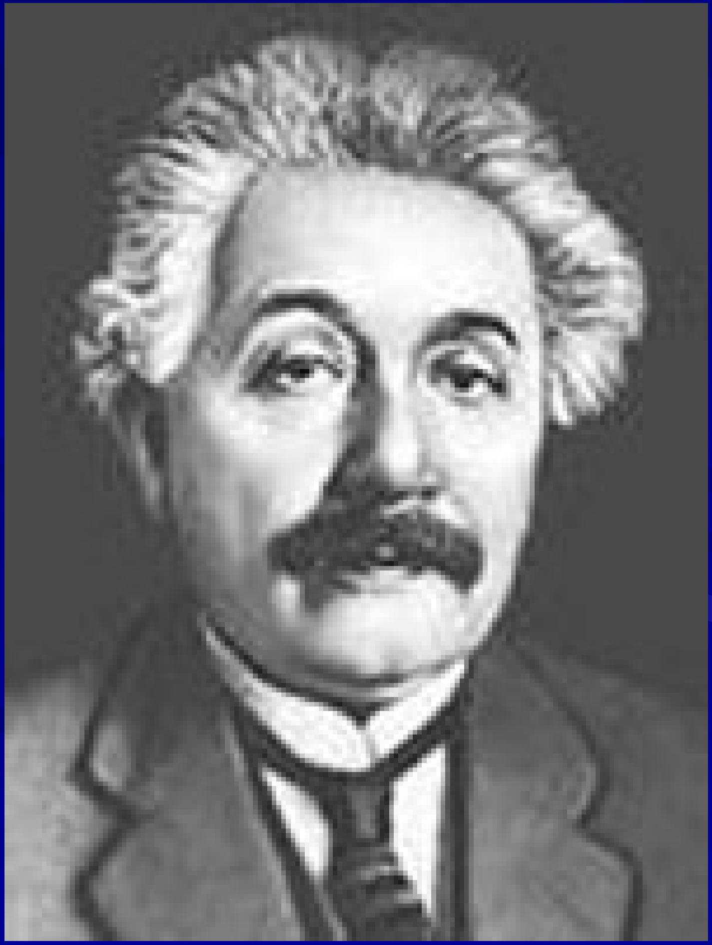
$$(\Delta s)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2$$

$$c^2(\Delta t)^2 - (\Delta x)^2 = c^2(\Delta t_0)^2$$

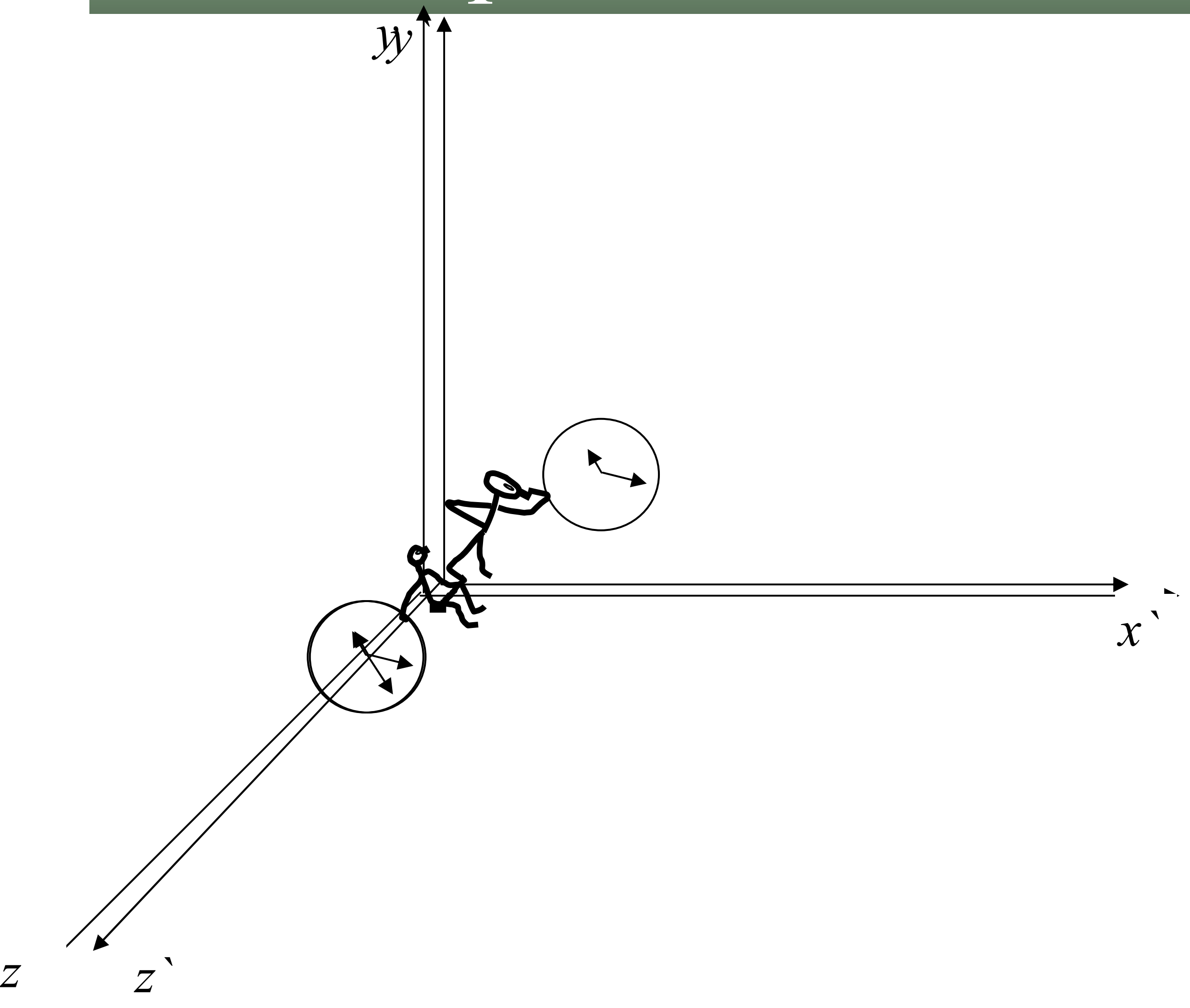
Вывод:

$$\Delta t_0 - inv$$

2.6. Следствия из преобразований Лоренца



1. Лоренцево замедление «времени жизни» объекта



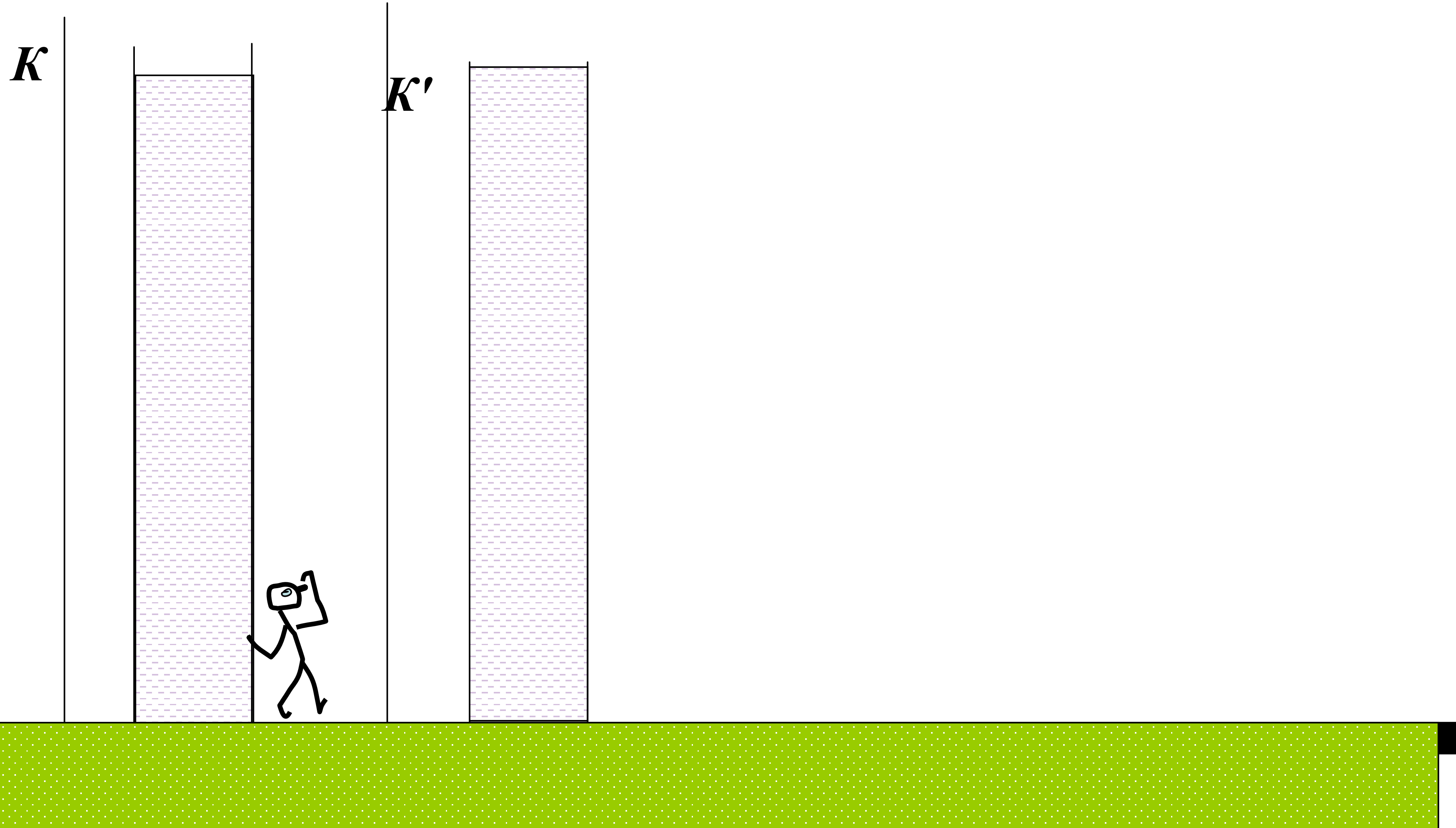
1. Лоренцево замедление «времени жизни» <u>объекта</u>

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon_c^2}{c^2}}}$$

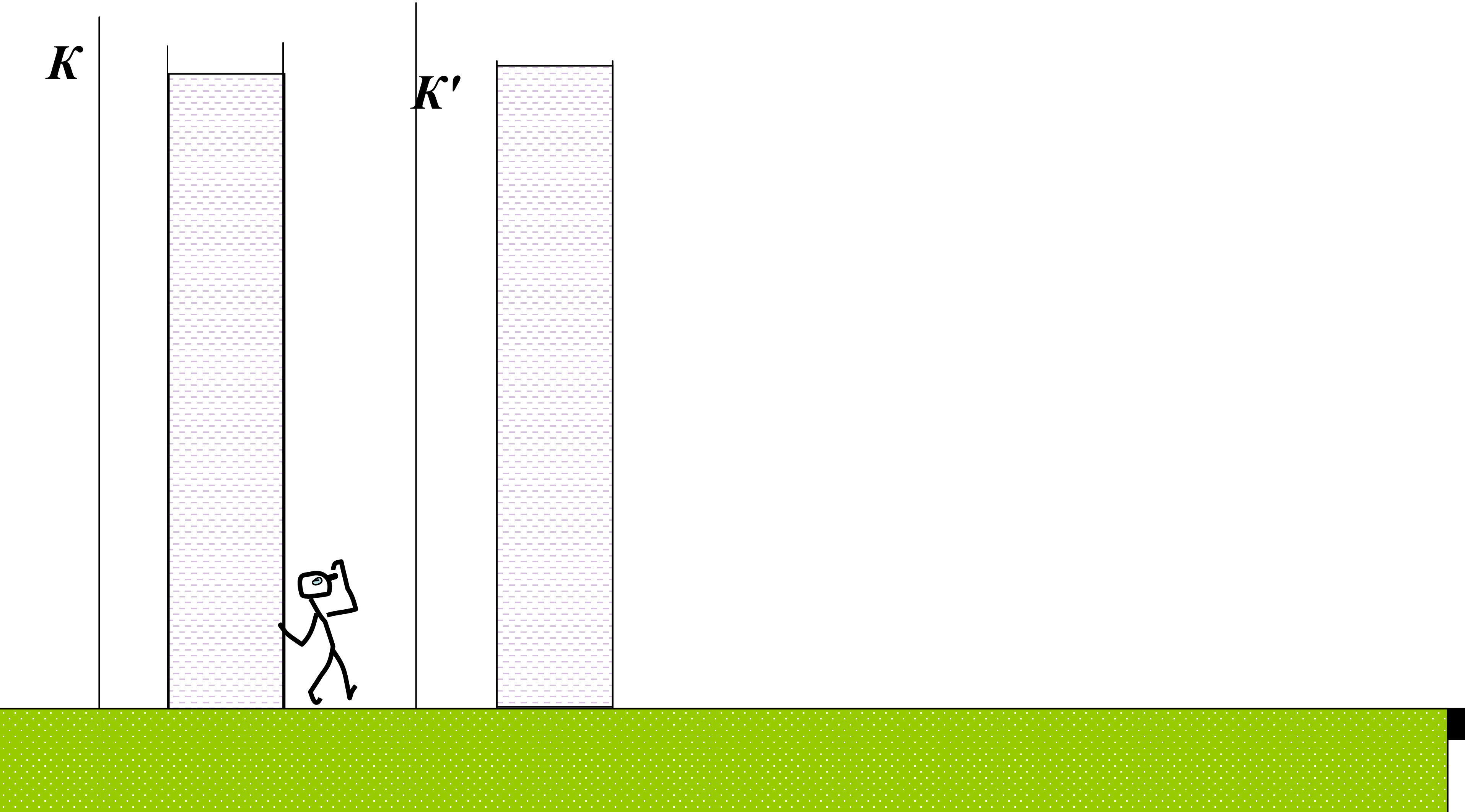
При $\upsilon << c$

$$\Delta t = \Delta t_0$$

Для наблюдателя, находящегося в неподвижной системе отсчета ***К***, процессы, протекающие в движущейся системе ***К'***, кажутся замедленными

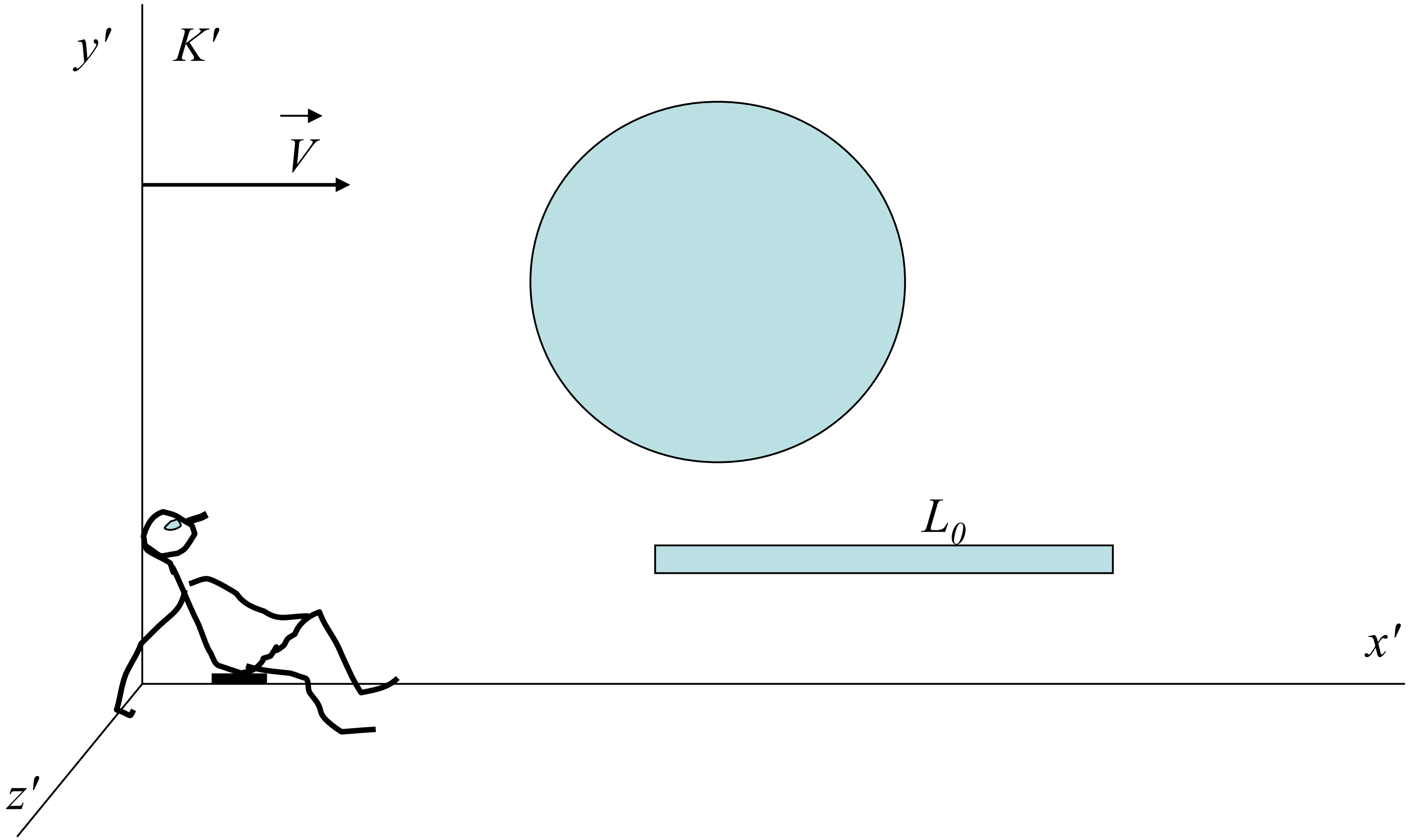


Для наблюдателя, находящегося в неподвижной системе отсчета ***К***, процессы, протекающие в движущейся системе ***К'***, кажутся замедленными



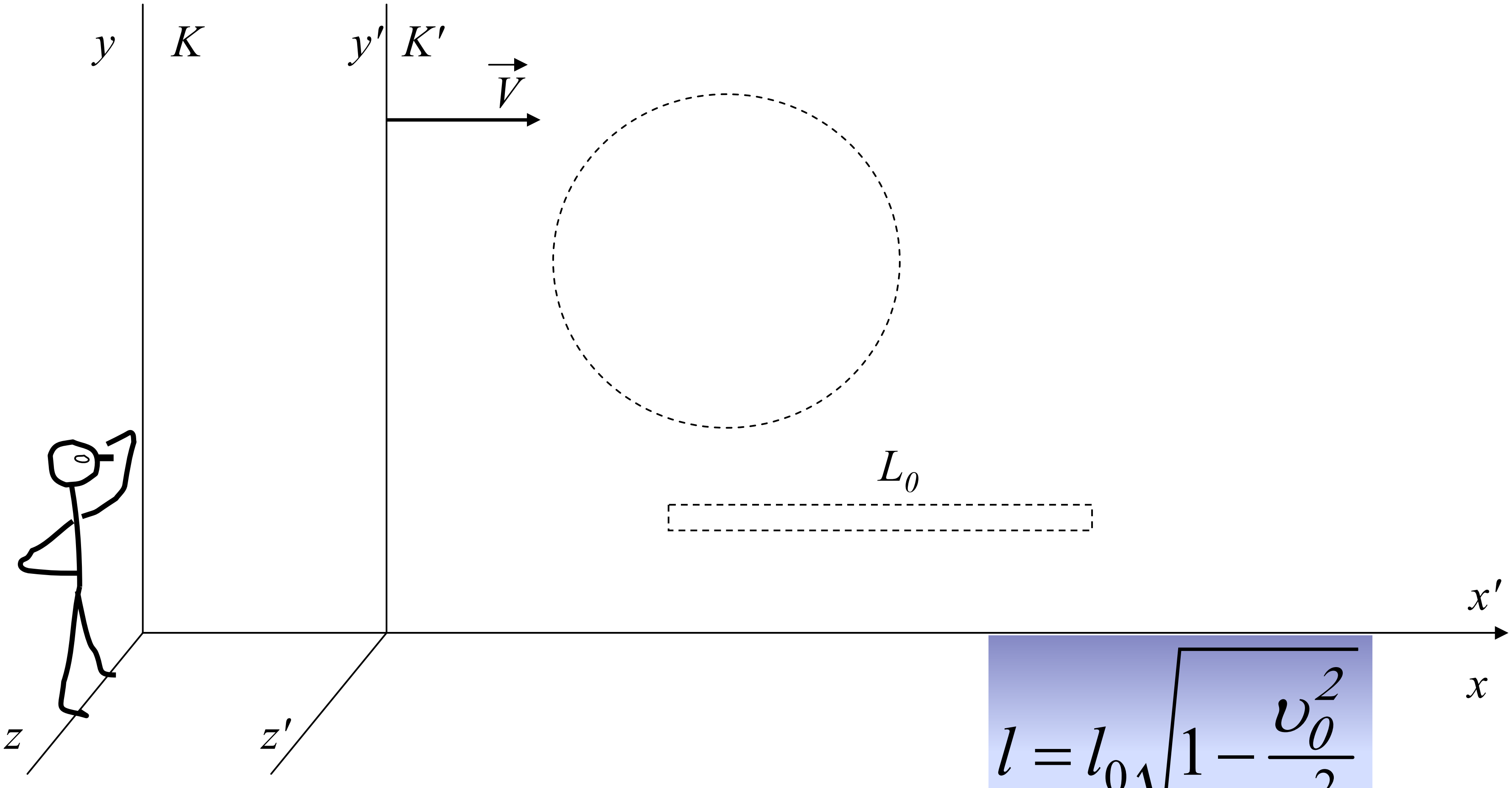
2. Лоренцево сокращение длины движущегося <u>объекта</u>

Наблюдатель в движущейся системе отсчета:



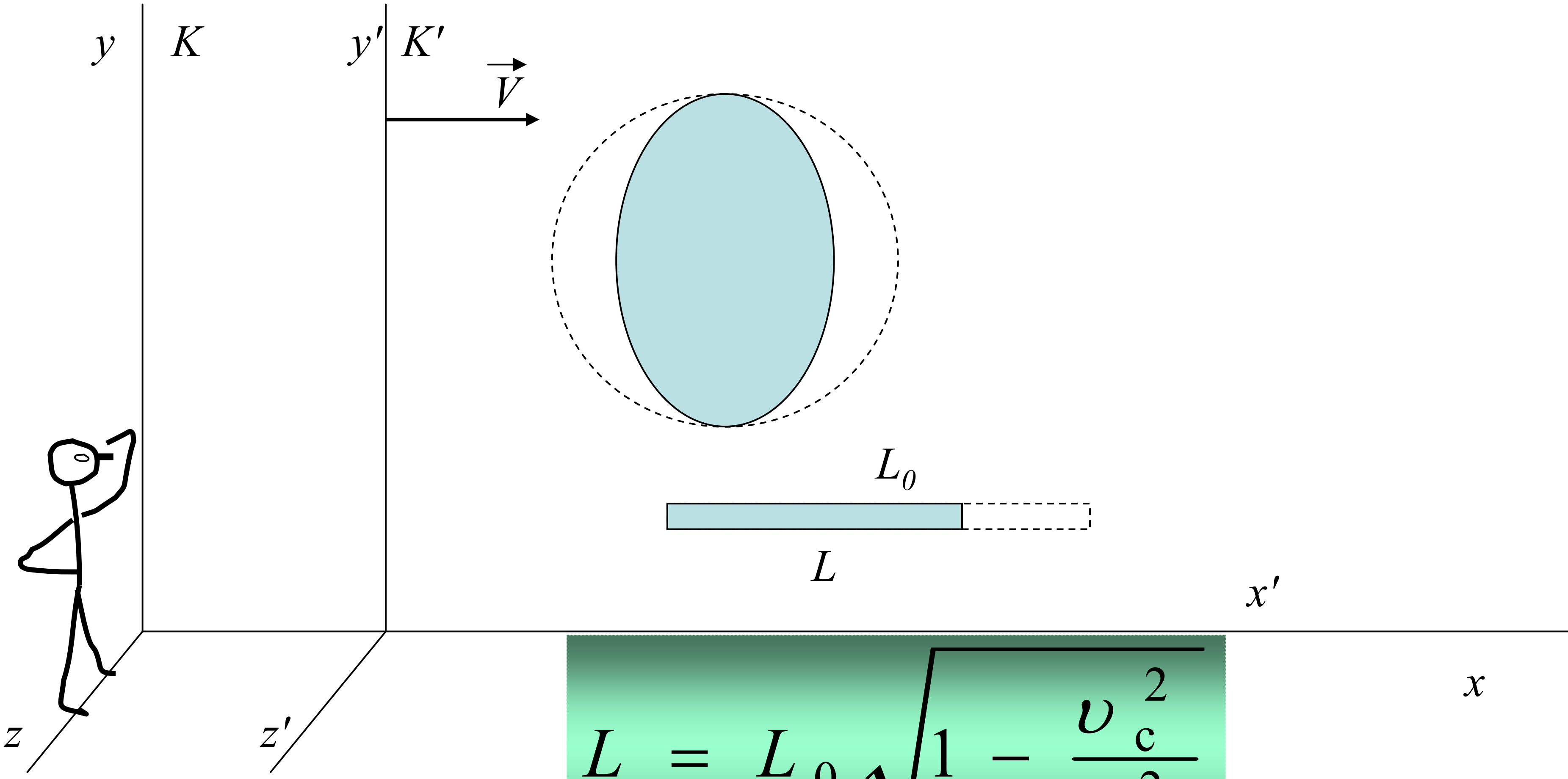
Наблюдатель в неподвижной системе отсчета:

Условие измерения длины $\Delta t = 0$!!!



$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{\upsilon_0^2}{c^2}}$$

Лоренцево сокращение длины



$$L = L_0\sqrt{1-\frac{\upsilon_c^2}{c^2}}$$

Размеры объекта:

$$\begin{cases} \Delta x = \Delta x_0 \sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}, \\ \Delta y = \Delta y_0, \\ \Delta z = \Delta z_0. \end{cases}$$

При $\upsilon << c$

$$\boxed{\Delta x = \Delta x_0}$$

3. Закон сложения скоростей в С.Т.О.

$$\begin{cases} \upsilon_x = \dfrac{\upsilon'_x + \upsilon_0}{1 + \dfrac{\upsilon'_x \upsilon_0}{c^2}}, \\ \upsilon_y = \dfrac{\upsilon'_y}{1 + \dfrac{\upsilon'_x \upsilon_0}{c^2}} \sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}, \\ \upsilon_z = \dfrac{\upsilon'_z}{1 + \dfrac{\upsilon'_x \upsilon_0}{c^2}} \sqrt{1 - \dfrac{\upsilon_0^2}{c^2}}. \end{cases}$$

При $\upsilon << c$

$$\begin{cases} \upsilon_x = \upsilon'_x + \upsilon_0 \\ \upsilon_y = \upsilon'_y \\ \upsilon_z = \upsilon'_z \end{cases}$$

Приложение:

ЧЕТЫРЁХМЕРНЫЕ ВЕКТОРЫ
И СКАЛЯРЫ

4-вектор скорости

$$\mathcal{V} = \frac{d\Re}{dt_0} = \left\{ c\frac{dt}{dt_0}, \frac{dx}{dt_0}, \frac{dy}{dt_0}, \frac{dx}{dt_0} \right\} =$$

$$= \left\{ \gamma c, \gamma \upsilon_x, \gamma \upsilon_y, \gamma \upsilon_z \right\}$$

ЧЕТЫРЁХМЕРНЫЕ ВЕКТОРЫ И СКАЛЯРЫ

- Четырехвектор – физическая величина, задаваемая совокупностью четырех чисел, которые при смене ИСО преобразуются так же, как и координаты четырехвектора расстояния.
- Четырехскаляр - физическая величина, задаваемая одним числом, не меняющимся при смене ИСО.

Четырехвектор

$$\Delta \mathcal{R} = \{c\Delta t, \Delta x, \Delta y, \Delta z\}$$

$$\mathcal{V} = \left\{\gamma c, \gamma \upsilon_x, \gamma \upsilon_y, \gamma \upsilon_z\right\}$$

Четырехскаляр

- 1. c
- 2. Δs
- 3. $\Delta \tau_0$