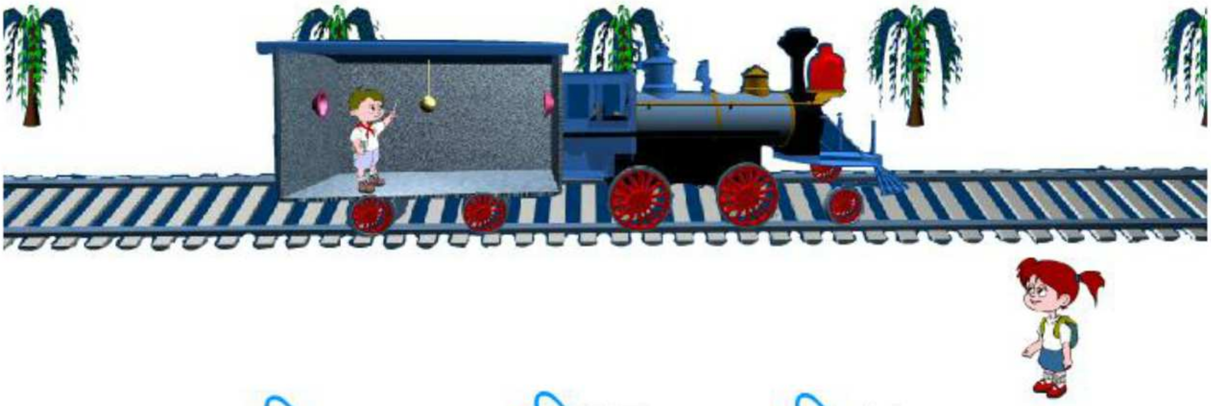
一 同时的相对性

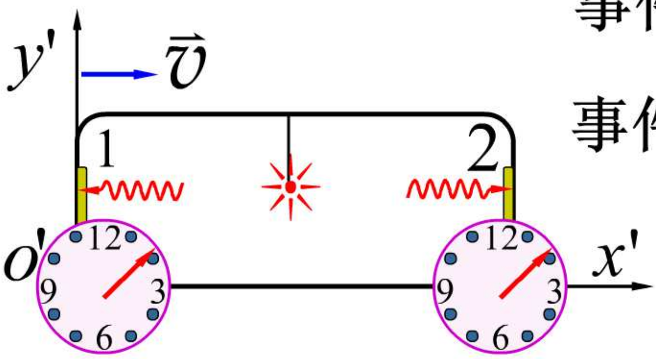


事件 1 :车厢后壁接收器接收到光信号.

事件 2 :车厢前壁接收器接收到光信号.

设　S系中x_1、x_2两处发生两事件,时间间隔为$\Delta t = t_2 - t_1$.问 S′ 系中这两事件发生的时间间隔是多少?

S 系 (地面参考系)



事件 **1**　(x_1, y_1, z_1, t_1)

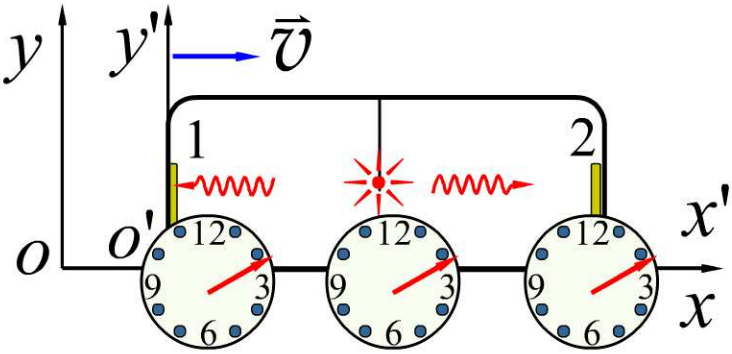
事件 **2**　(x_2, y_2, z_2, t_2)

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

S'系 (车厢参考系)

(x'_1, y'_1, z'_1, t'_1)

(x'_2, y'_2, z'_2, t'_2)



在一个惯性系同时发生的两个事件，在另一个惯性系是否同时?

$$\Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

讨论 $$\Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

1 $\Delta x \neq 0 \quad \Delta t = 0$ -------不同时

同时不同地

2 $\Delta x = 0 \quad \Delta t \neq 0$ -------不同时

同地不同时

讨论 $$\Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

3 $\Delta x = 0 \ \ \Delta t = 0$ ------同时

同时同地

4 $\Delta x \neq 0 \ \ \Delta t \neq 0$ -------不同时

不同时不同地

$\Downarrow$

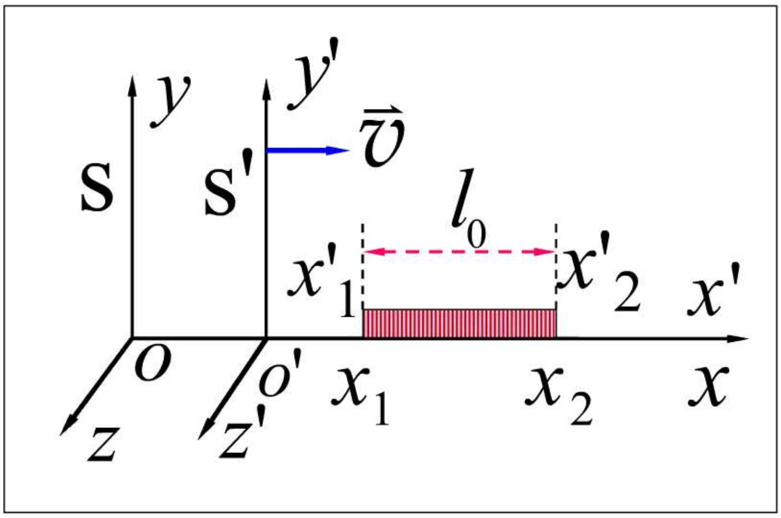
$\Delta t = \frac{u}{c^2}\Delta x$ 时 ------同时

结论 同时性具有相对意义

沿两个惯性系运动方向，不同地点发生的两个事件，在其中一个惯性系中是同时的，在另一惯性系中观察则不同时，所以同时具有相对意义；只有在同一地点，同一时刻发生的两个事件，在其他惯性系中观察也是同时的.

二 长度的收缩(动尺变短)

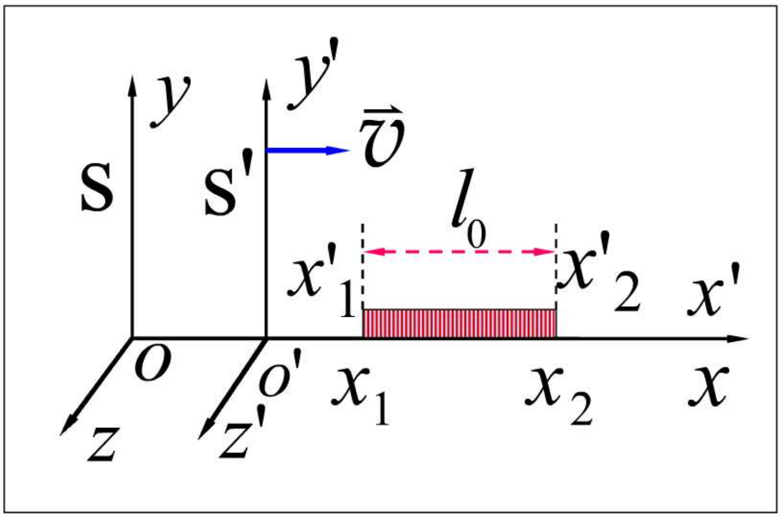
长度的测量和同时性概念密切相关.



棒沿 Ox'轴对 S′系静止放置,在S′系中同时测得两端坐标 x'_1, x'_2

则棒的固有长度为 $l_0 = x_2' - x_1'$

固有长度：物体相对静止时所测得的长度 .（最长）



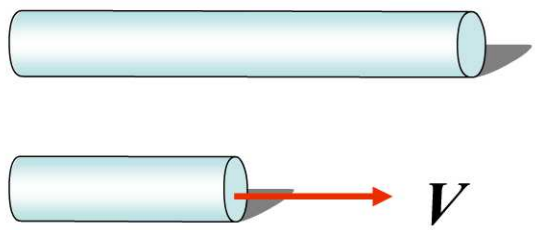
问 在S系中测得棒有多长?

设　在S系中某时刻 t 同时测得棒两端坐标为 x_1、x_2，则S系中测得棒长 $l = x_2 - x_1$，l 与 l_0 的关系为：

$$l_0 = x_2' - x_1' = \frac{(x_2 - vt) - (x_1 - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

讨论 $l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$



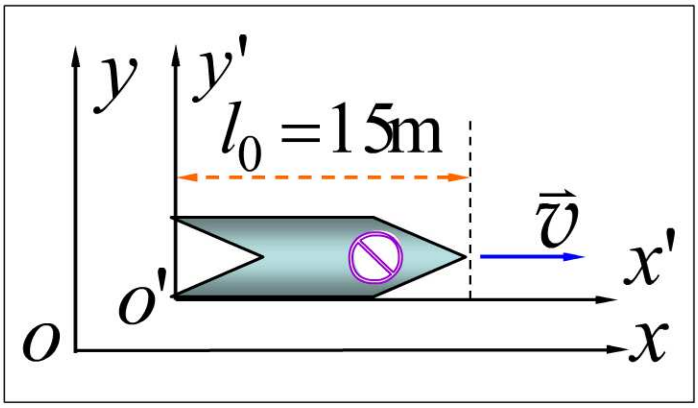
1 长度收缩 $l<l_0$

2 如将物体固定于S系, 由 S′系测量, 同样出现长度收缩现象.

结论 长度具有相对意义

物体对观察者向何处运动, 观察者观测到在该方向上其长度收缩.

例1 设想有一光子火箭，相对于地球以速率 $v = 0.95c$ 直线飞行，若以火箭为参考系测得火箭长度为 15 m，问以地球为参考系，此火箭有多长？



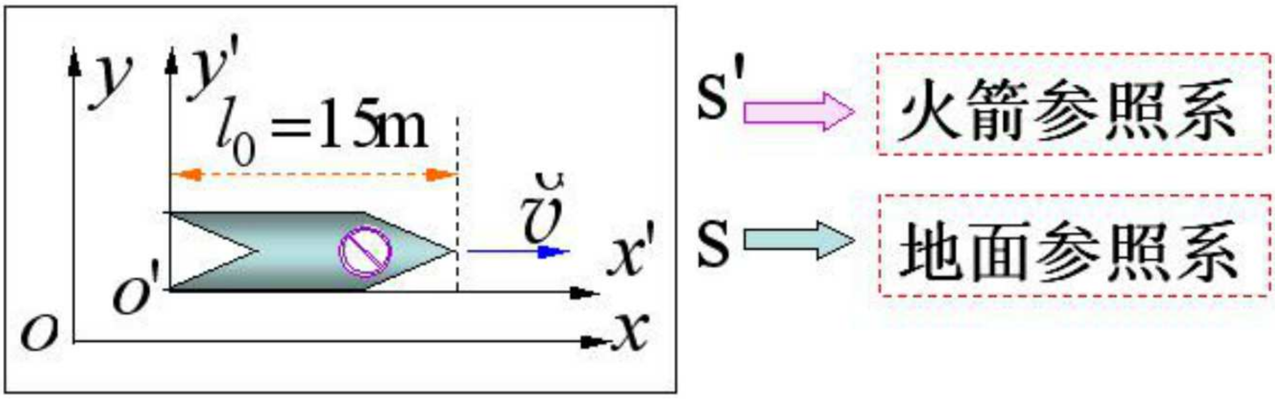
S' ⇒ 火箭参照系

S ⇒ 地面参照系

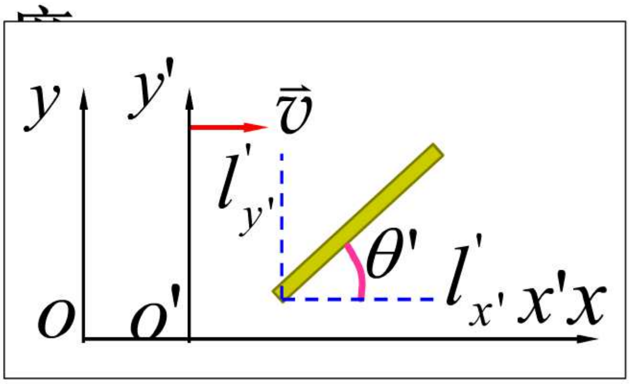
解 固有长度 $l_0 = 15\,\mathrm{m} = l'$

运动长度 $l = l'\sqrt{1-\beta^2}$

$$l = 15\sqrt{1-0.95^2}\,\mathrm{m} = 4.68\mathrm{m}$$



例2 长为 1 m 的棒静止地放在 $O'x'y'$ 平面内，在 S' 系的观察者测得此棒与$O'x'$轴成 45° 角，试问从 S 系的观察者来看，此棒的长度以及棒与 Ox 轴的夹角是多少？设 S' 系相对 S 系的运动速度 $v=\sqrt{3}c/2$。



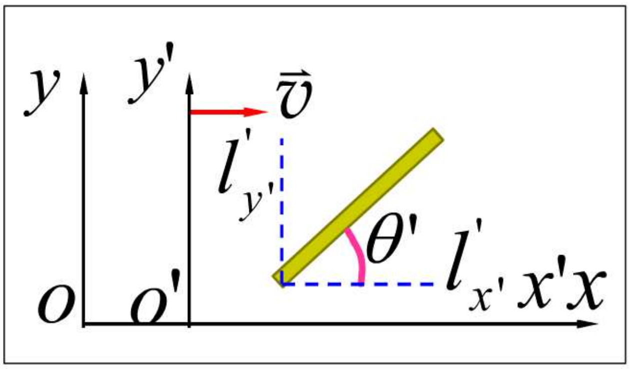
解 在 S' 系

$$\theta' = 45^\circ,\ l' = 1\mathrm{m}$$

$$l'_{x'} = l'_{y'} = \sqrt{2}/2\text{m} \qquad v = \sqrt{3}c/2$$

在 **S** 系　$l_y = l'_{y'} = \sqrt{2}/2\text{m}$

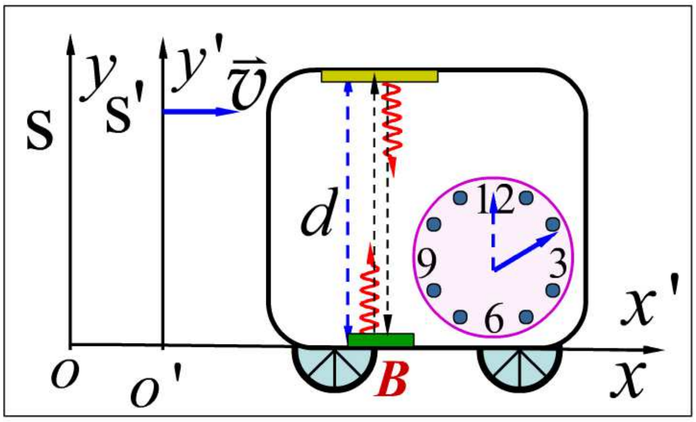
$$l_x = l'_x\sqrt{1-v^2/c^2} = \sqrt{2}l'/4$$



$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2} = 0.79\text{m}$$

$$\theta = \arctan\frac{l_y}{l_x} \approx 63.43^\circ$$

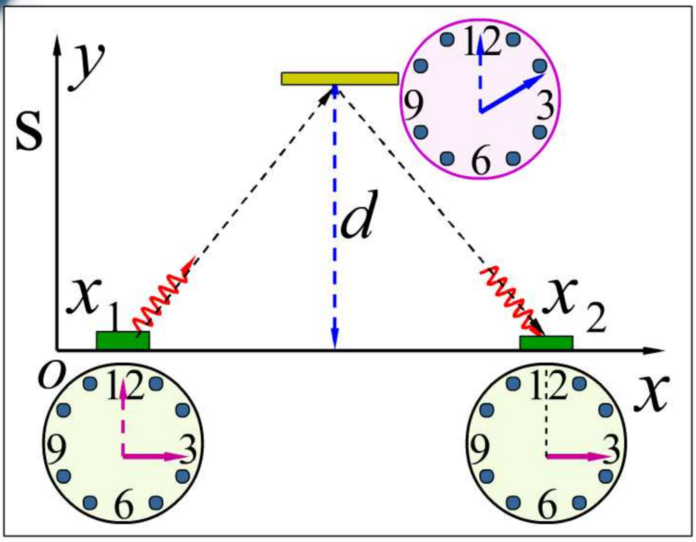
三 时间的延缓(动钟变慢)



S' 系同一地点 *B* 发生两事件

发射光信号 (x', t'_1) 接受光信号 (x', t'_2)

时间间隔 $\Delta t' = t'_2 - t'_1 = 2d/c$



$$t_1 = \gamma(t_1' + \frac{vx'}{c^2})$$

$$t_2 = \gamma(t_2' + \frac{vx'}{c^2})$$

$$\Delta t = \gamma(\Delta t' + \frac{v\Delta x'}{c^2})$$

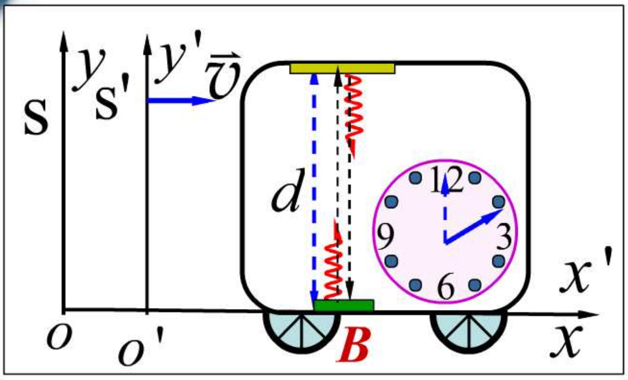
在 S 系中观测两事件

$$(x_1, t_1), (x_2, t_2)$$

$$\boxed{\because \Delta x' = 0}$$

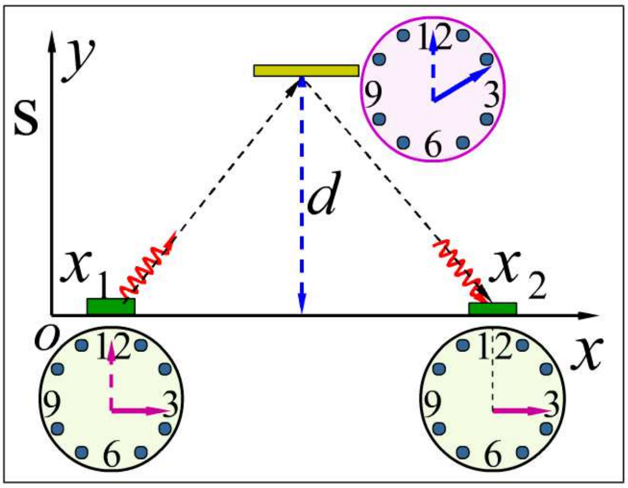
$$\therefore \Delta t = t_2 - t_1 = \gamma \Delta t'$$

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



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

固有时间：同一地点发生的两事件的时间间隔．



$$\Delta t > \Delta t' = \Delta t_0$$

时间延缓：运动的钟走得慢．

注意

1 时间延缓是一种相对效应 .

2 时间的流逝不是绝对的，运动将改变时间的进程.（例如新陈代谢、放射性的衰变、寿命等 ）

3 $v << c$ 时，$\Delta t \approx \Delta t'$.

狭义相对论的时空观

（1）两个事件在不同的惯性系看来，它们的空间关系是相对的，时间关系也是相对的，只有将空间和时间联系在一起才有意义.

（2）时—空不互相独立，而是不可分割的整体.

（3）光速 C 是建立不同惯性系间时空变换的纽带.

例3 设想一光子火箭以 $v = 0.95c$ 速率相对地球作直线运动，火箭上宇航员的计时器记录他观测星云用去 10 min，则地球上的观察者测此事用去多少时间？

解 设火箭为 S' 系、地球为 S 系

$$\Delta t' = 10\ \mathrm{min}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{10}{\sqrt{1-0.95^2}}\ \mathrm{min} = 32.01\mathrm{min}$$

运动的钟似乎走慢了.