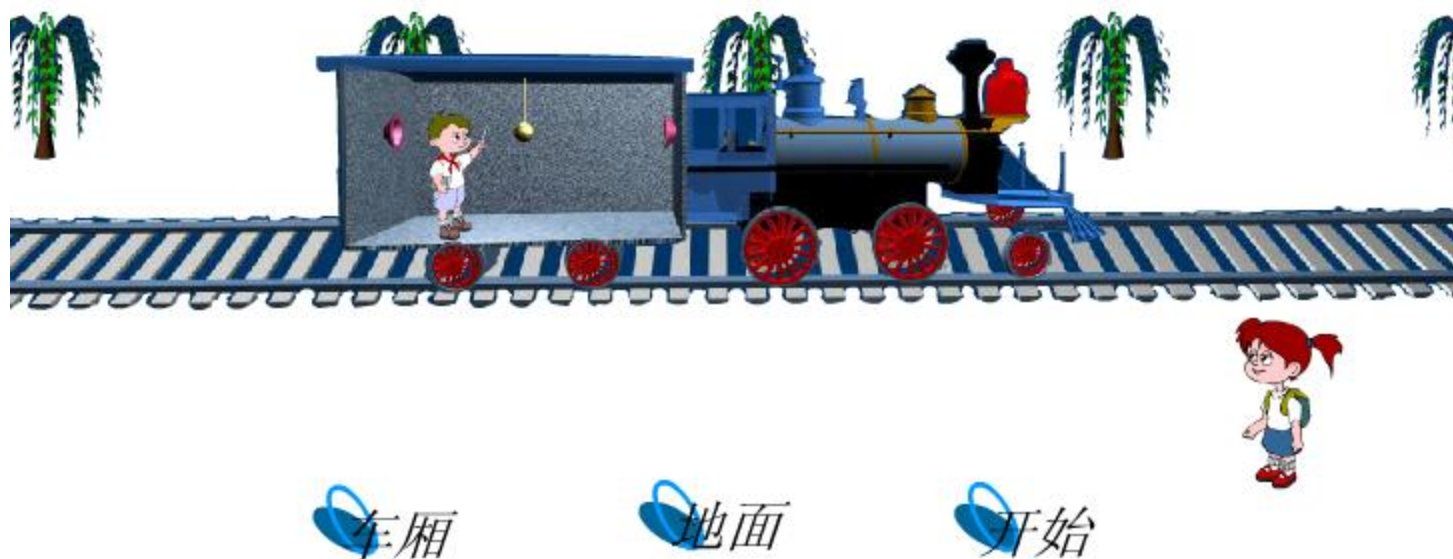


一 同时的相对性

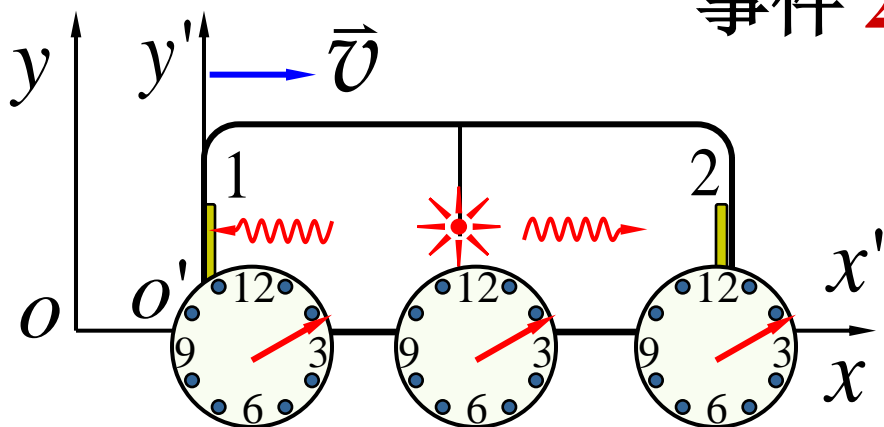


事件 1 : 车厢后壁接收器接收到光信号.
事件 2 : 车厢前壁接收器接收到光信号.



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)



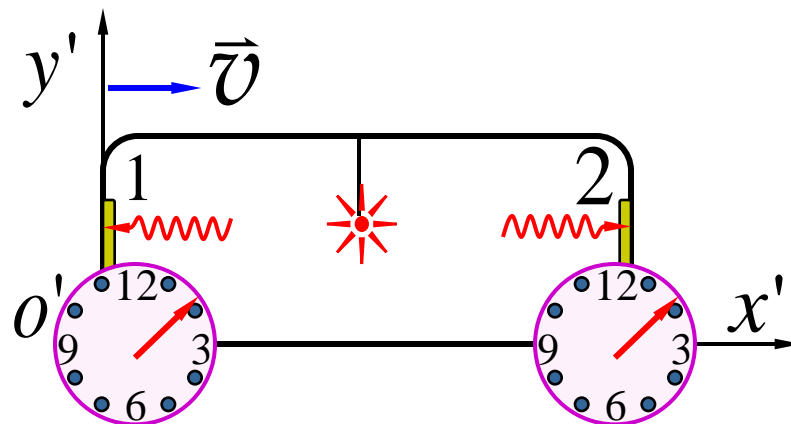
$$\Delta t = t_2 - t_1$$



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

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

S系

S'系

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

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



讨论

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

S系

S'系

3 $\Delta x = 0 \quad \Delta t = 0$ -----同时
同时同地

4 $\Delta x \neq 0 \quad \Delta t \neq 0$ -----不同时
不同时不同地

↓

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



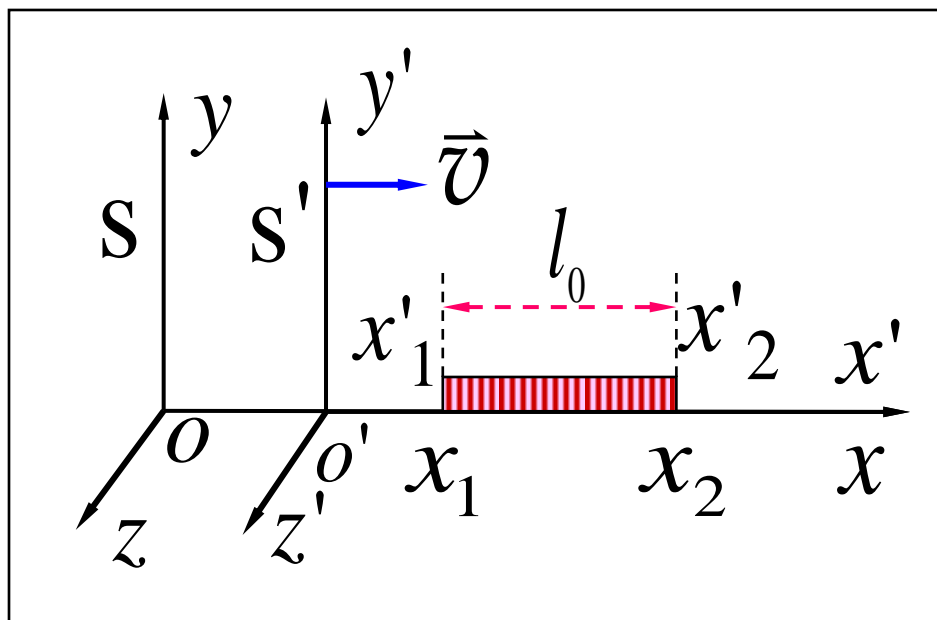
结论 同时性具有相对意义

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.

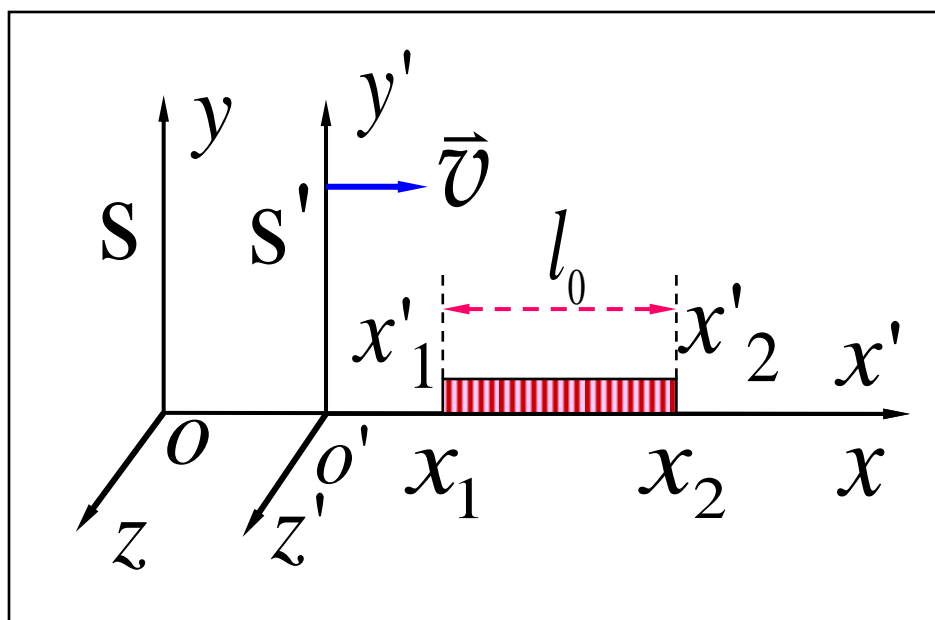


棒沿 Ox' 轴对 S' 系静止放置, 在 S' 系中同时测得两端坐标 x'_1, x'_2



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？



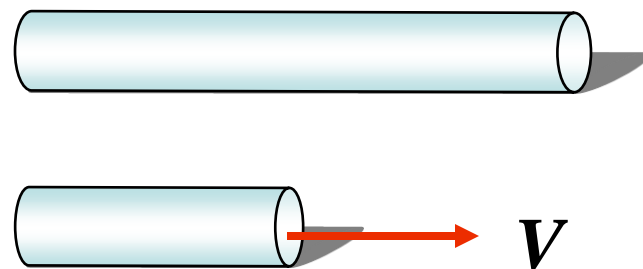
设 在S系中某时刻 t **同时测得**棒两端坐标为 x_1 、 x_2 ，则S系中测得棒长 $l = x_2 - x_1$ ， l 与 l_0 的关系为：

$$\begin{aligned} l_0 = x'_2 - x'_1 &= \frac{(x_2 - vt) - (x_1 - vt)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ &= \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}$$



讨论

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



1 长度收缩 $l < l_0$

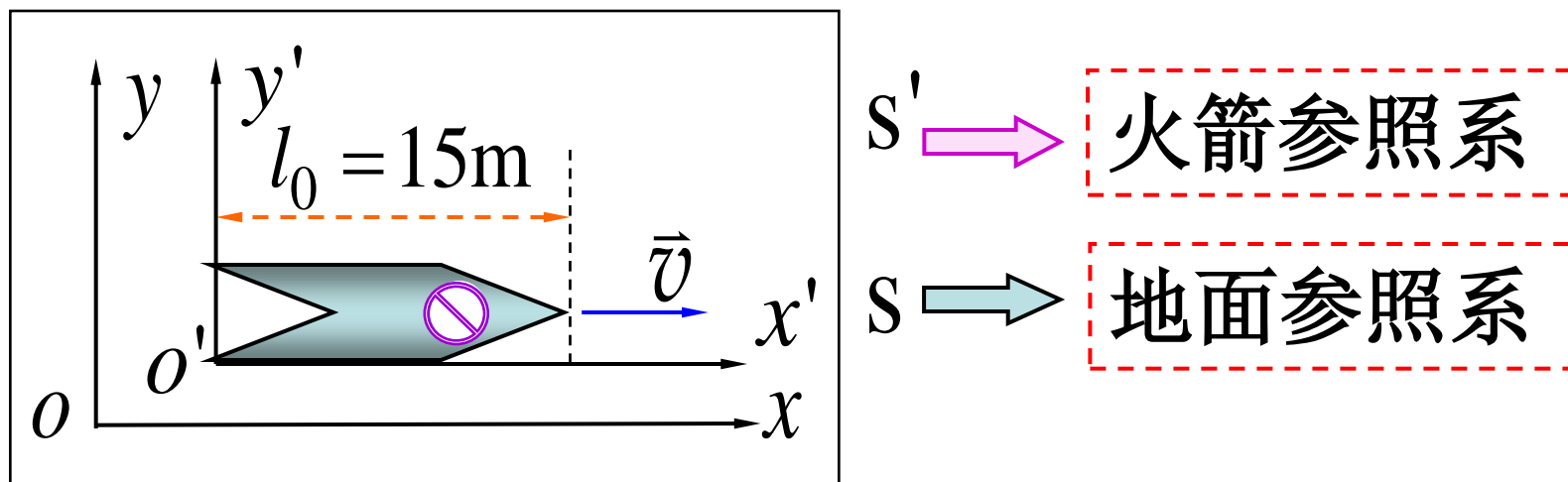
2 如将物体固定于S系, 由S'系测量, 同样出现长度收缩现象.

结论 长度具有相对意义

物体在运动方向上长度收缩.



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？

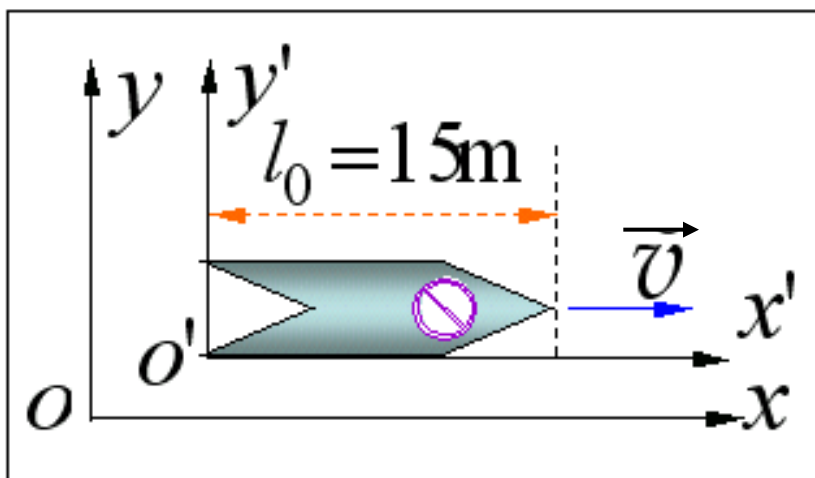


解

固有长度 $l_0 = 15\text{m} = l'$

运动长度 $l = l' \sqrt{1 - \beta^2}$

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

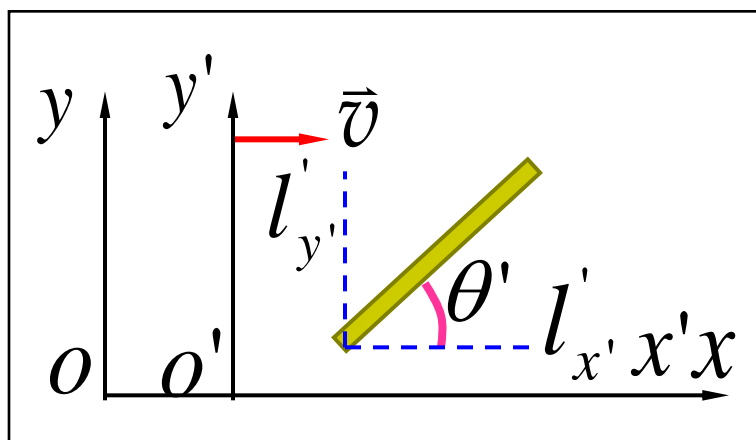


$S' \rightarrow$ 火箭参照系

$S \rightarrow$ 地面参照系



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

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

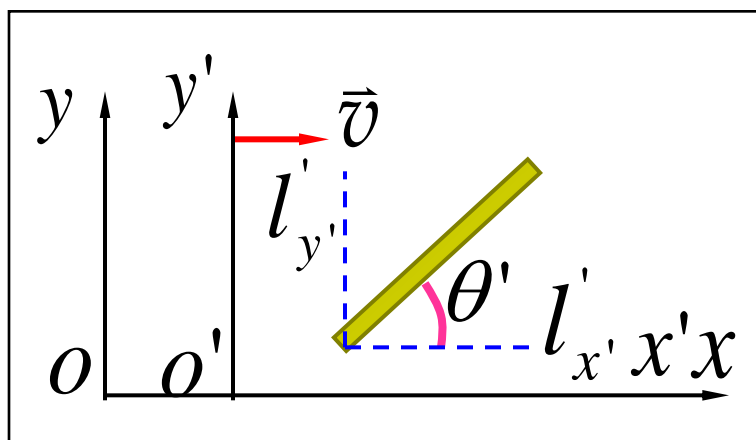


$$l'_{x'} = l'_{y'} = \sqrt{2} / 2 \text{m}$$

$$v = \sqrt{3}c/2$$

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

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

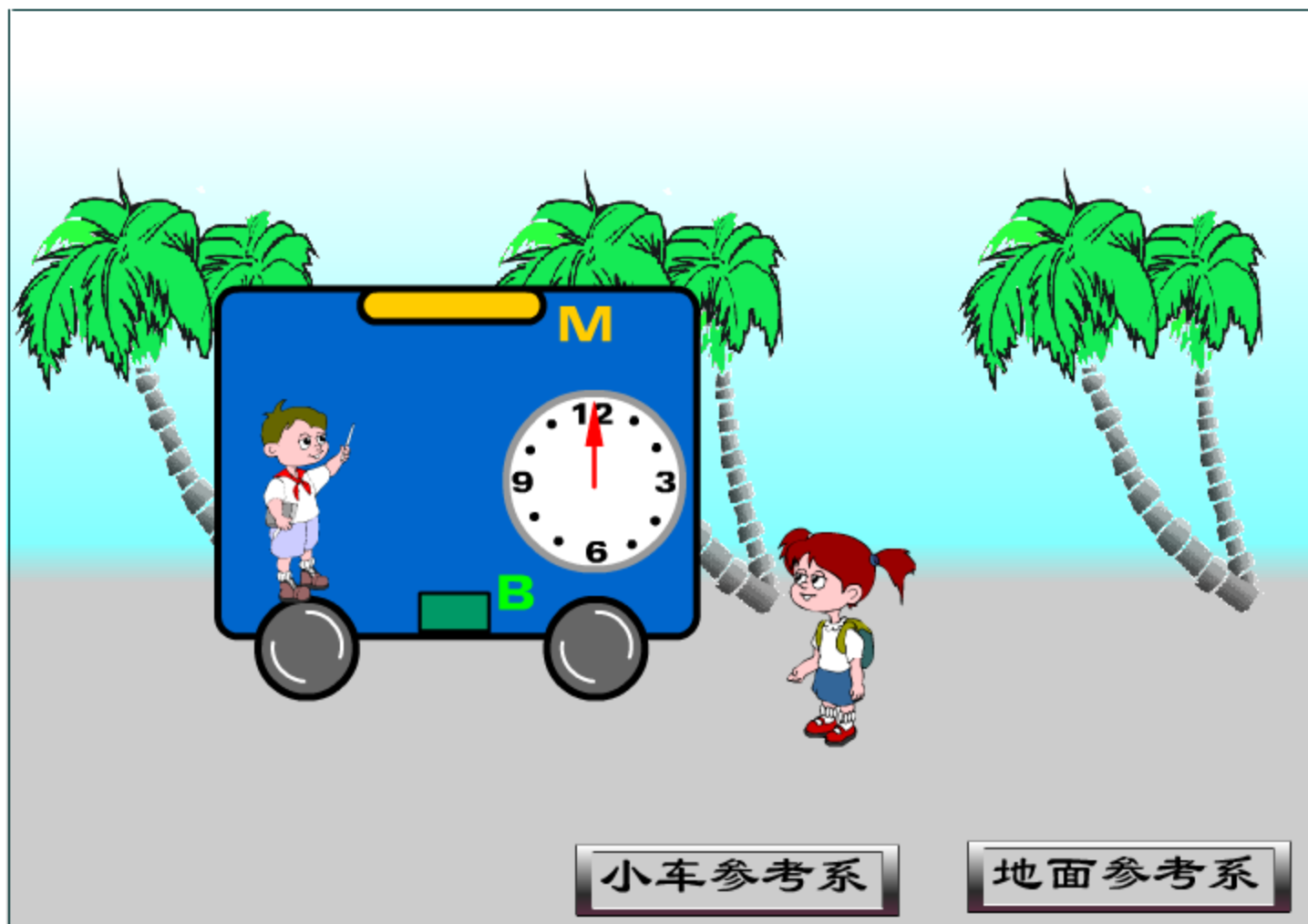


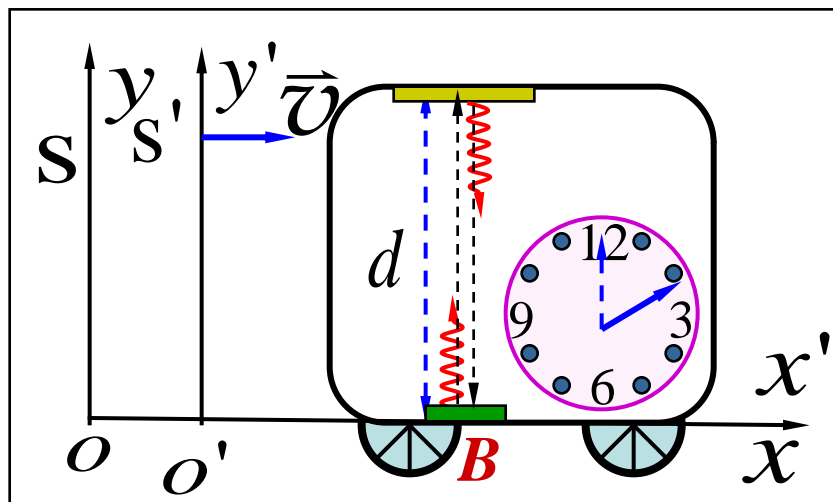
$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2} = 0.79 \text{m}$$

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



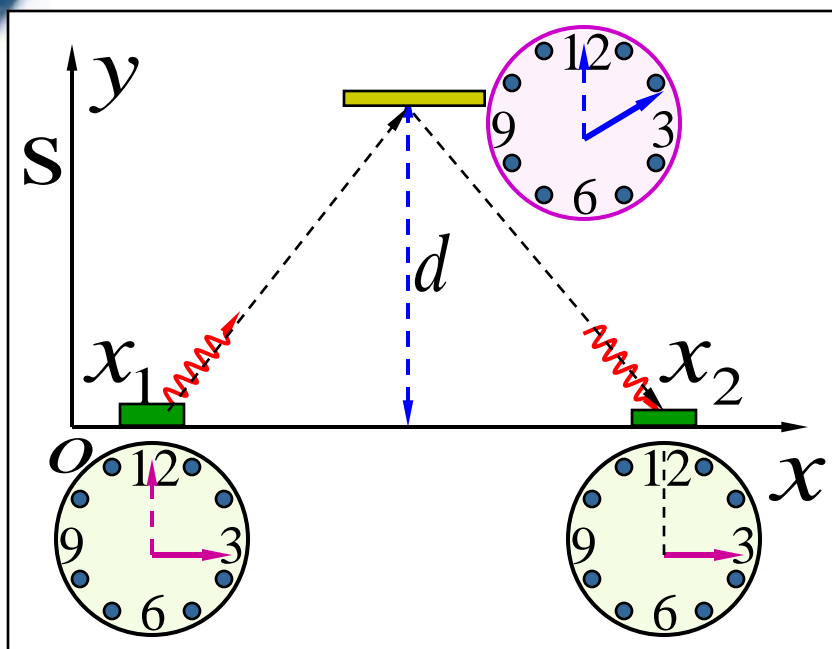
三 时间的延缓(动钟变慢)





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 $\Delta t' = t'_2 - t'_1 = 2d/c$





$$\because \Delta x' = 0$$

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

$$t_1 = \gamma(t'_1 + \frac{vx'_1}{c^2})$$

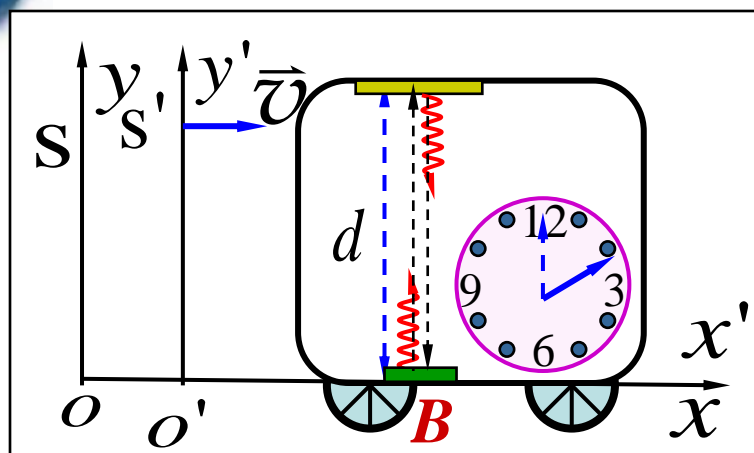
$$t_2 = \gamma(t'_2 + \frac{vx'_2}{c^2})$$

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

在 **S** 系中观测两事件
(x_1, t_1), (x_2, t_2)

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

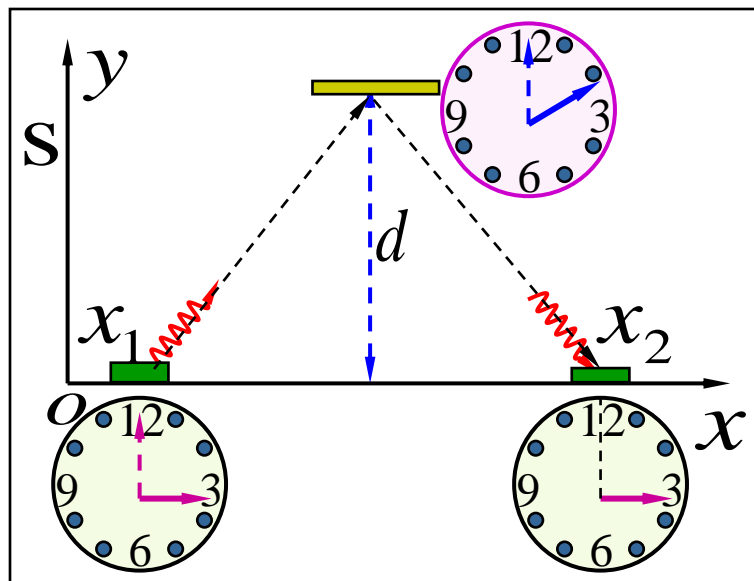




$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

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 $v \ll c$ 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

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

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

运动的钟似乎走慢了。

