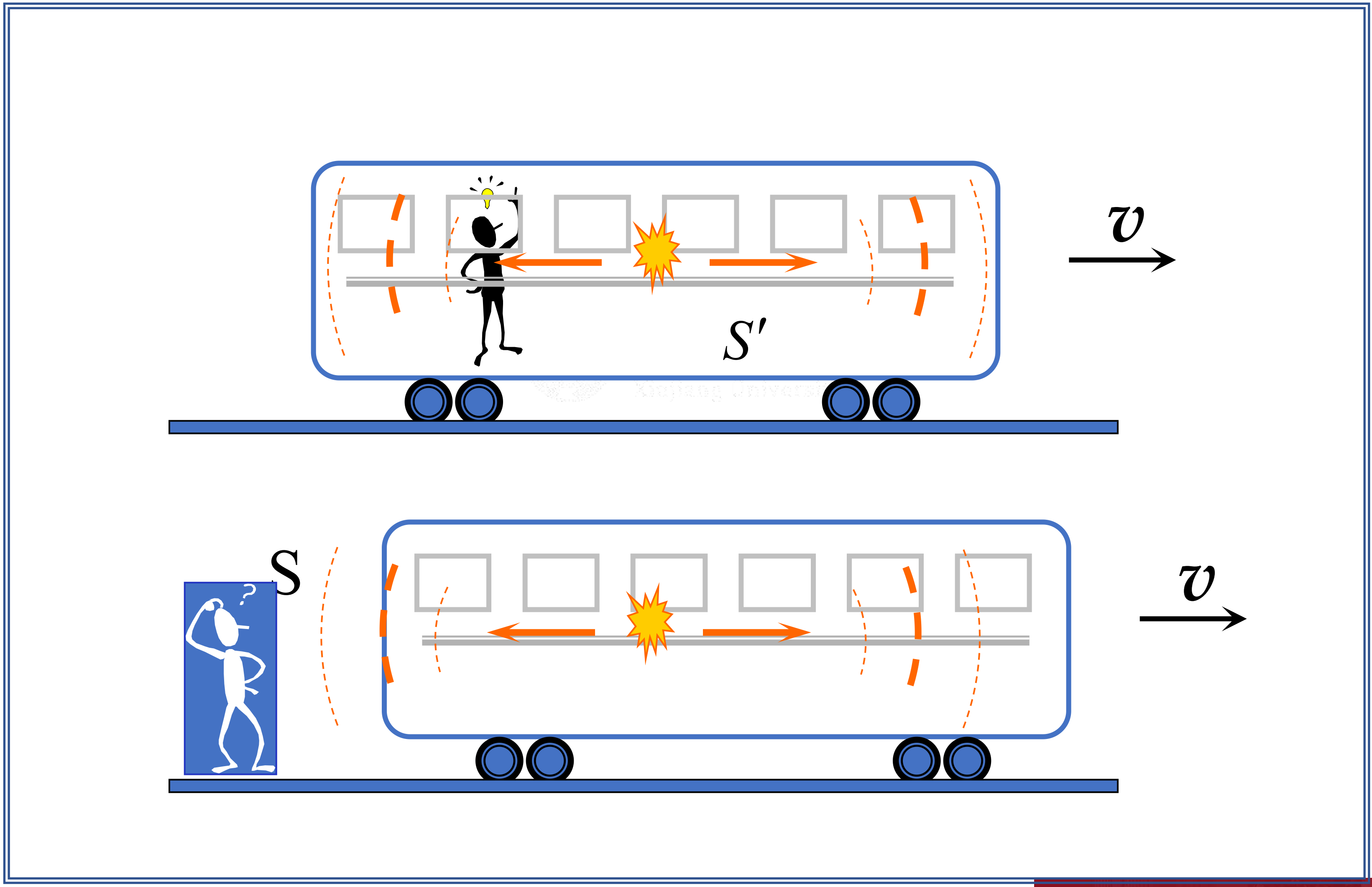
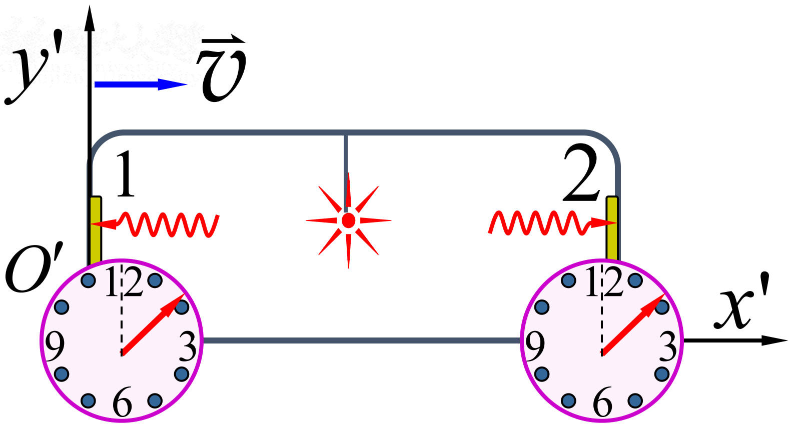
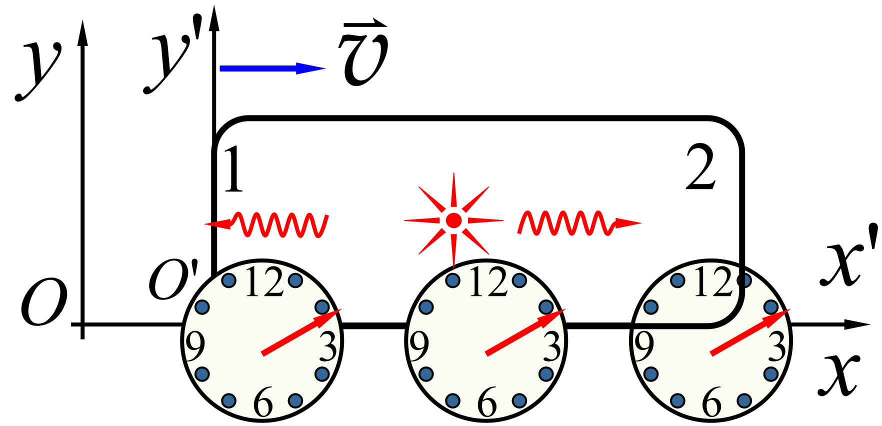
第四章
狭义相对论

一、同时的相对性



4.3 狭义相对论的时空观





	S 系(地面参考系)	S'系 (车厢参考系)
事件 1	(x_1, y_1, z_1, t_1)	(x'_1, y'_1, z'_1, t'_1)
事件 2	(x_2, y_2, z_2, t_2)	(x'_2, y'_2, z'_2, t'_2)

同时不同地

$$\begin{cases} \Delta t' = t'_2 - t'_1 = 0 \\ \Delta x' = x'_2 - x'_1 \neq 0 \end{cases}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\beta^2}} \neq 0$$

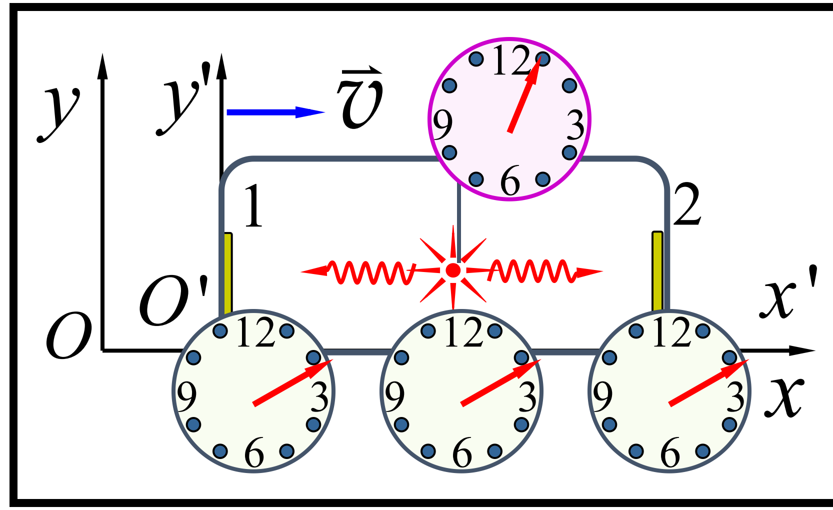
在 S' 系**同时同地**发生的两事件

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = 0$$

$$\Delta x' = x'_2 - x'_1 = 0$$

在 S 系

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + \frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\beta^2}} = 0$$

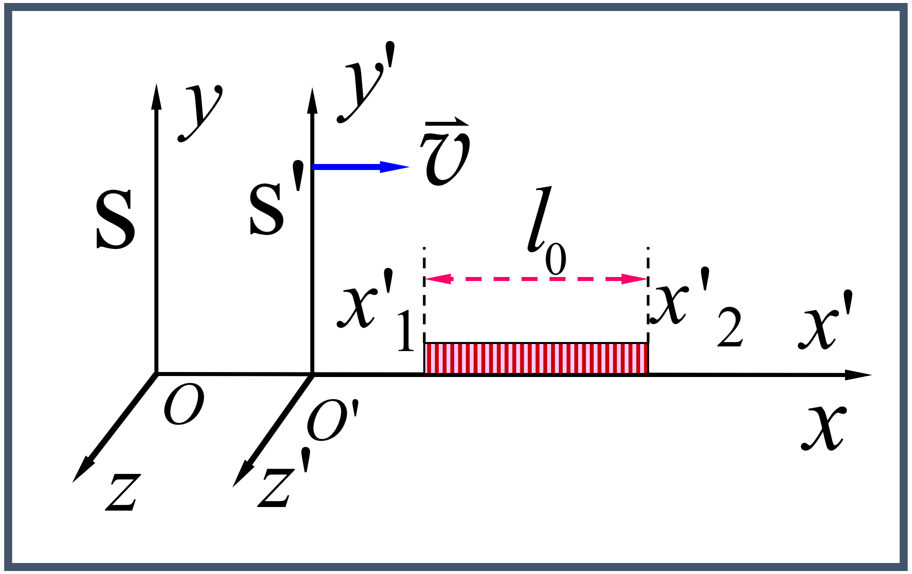


注 意

此结果反之亦然

结论 ：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才是**同时**的 。

二、空间间隔的相对性—长度收缩



标尺相对 s' 系静止

在 s' 系中测量

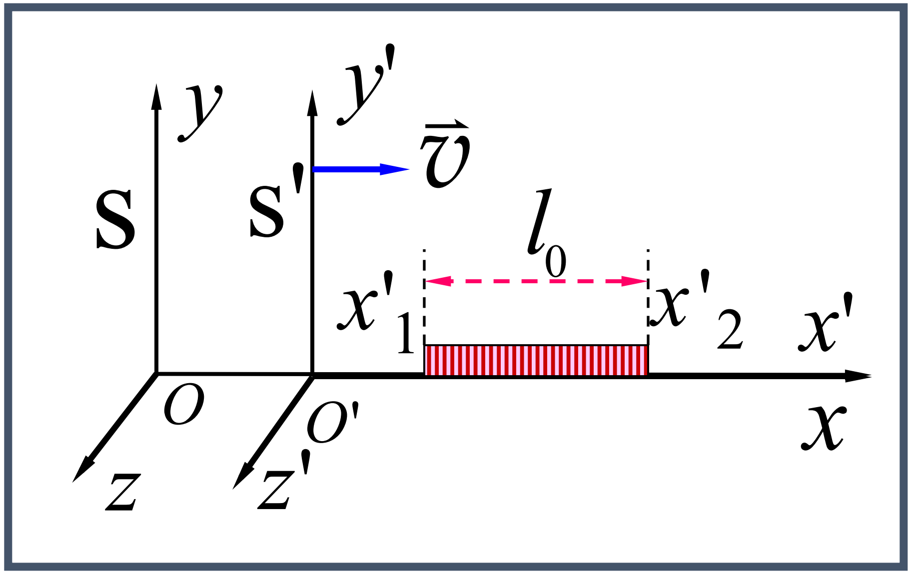
$$\boxed{l_0 = x'_2 - x'_1 = l'}$$

在 S 系中测量

$$\boxed{l = x_2 - x_1}$$

测量为两个事件 $(x_1, t_1), (x_2, t_2)$ $\boxed{\text{要求 } t_1 = t_2}$

$$x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$



$$l_0 = x'_2 - x'_1 = l'$$

$$l = x_2 - x_1$$

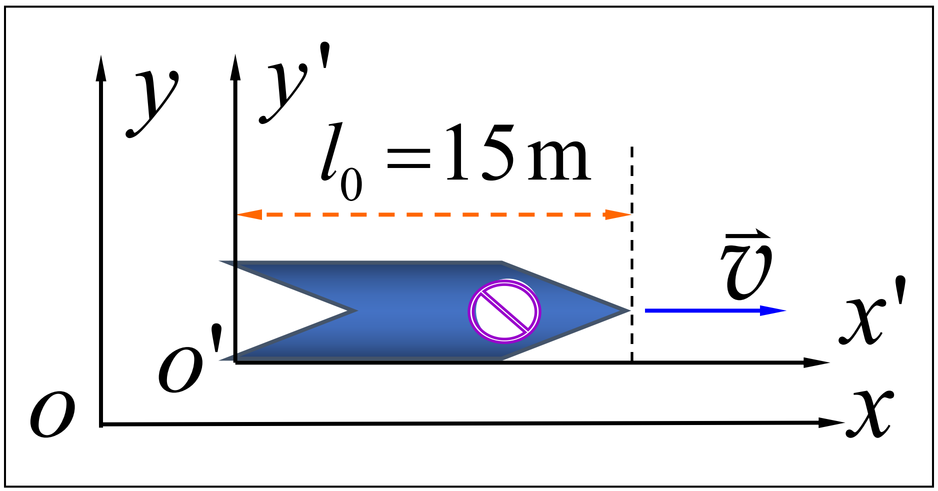
$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$l = l'\sqrt{1-\beta^2} < l_0$$

固有长度：物体相对静止时所测得的长度。（**最长**）

洛伦兹收缩：运动物体在运动方向上长度**收缩。**

例4-2 设想有一光子火箭，相对于地球以速率$v = 0.95c$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' → 火箭参考系

S → 地面参考系

解： 固有长度

$$\boxed{l_0 = 15\,\mathrm{m} = l'}$$

$$\boxed{l = l'\sqrt{1-\beta^2}}$$

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

例4-3 一长为1m的棒，相对于S′系静止并与 x' 轴夹角 $\theta' = 45°$。问：在S系的观察者来看，此棒的长度以及它与x 轴的夹角为多少？（已知 $v=\sqrt{3}c/2$ ）

解：

$$l'_x = l'\cos\theta'$$

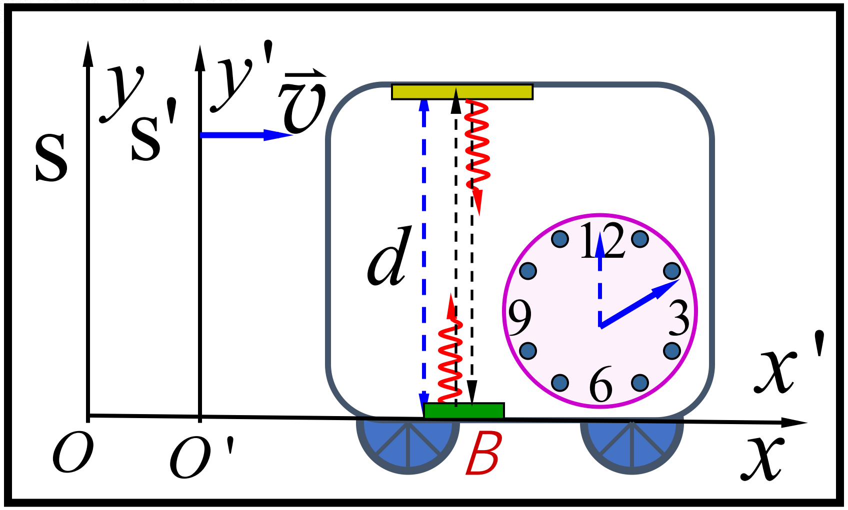
$$l_y = l'_y = l'\sin\theta'$$

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

$$l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2} = l'\sqrt{1-\left(v^2/c^2\right)\cos^2\theta'} = 0.79\,\mathrm{m}$$

$$\boxed{\tan\theta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{l'\sin\theta'}{l'\cos\theta'\sqrt{1-v^2/c^2}} = 2} \qquad \theta = 63°27'$$

三、时间间隔的相对性—时间延缓

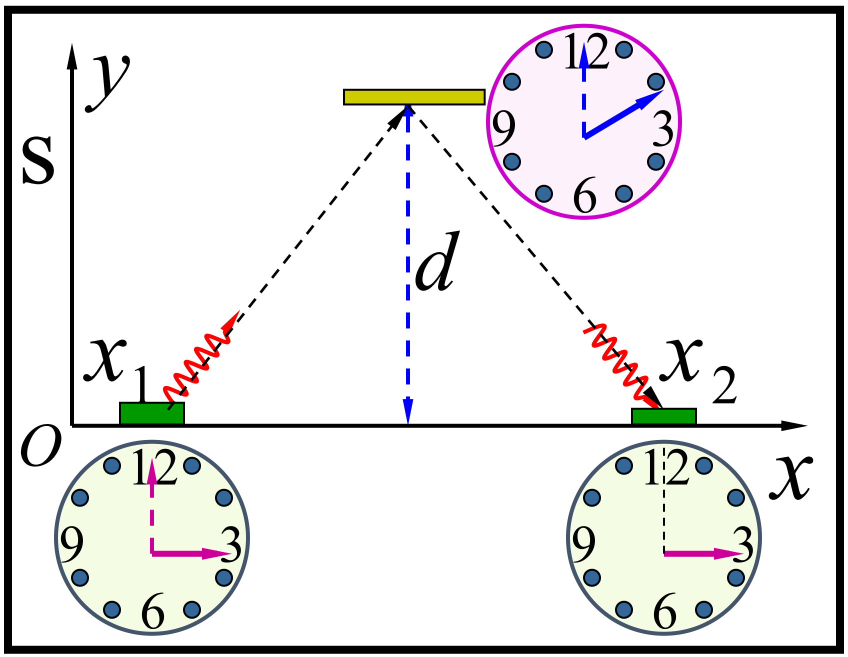


S'系同一地点 *B* 发生两事件

发射一光信号 (x', t'_1)

接受一光信号 (x', t_2')

时间间隔 $\boxed{\Delta t' = t'_2 - t'_1 = 2d/c}$

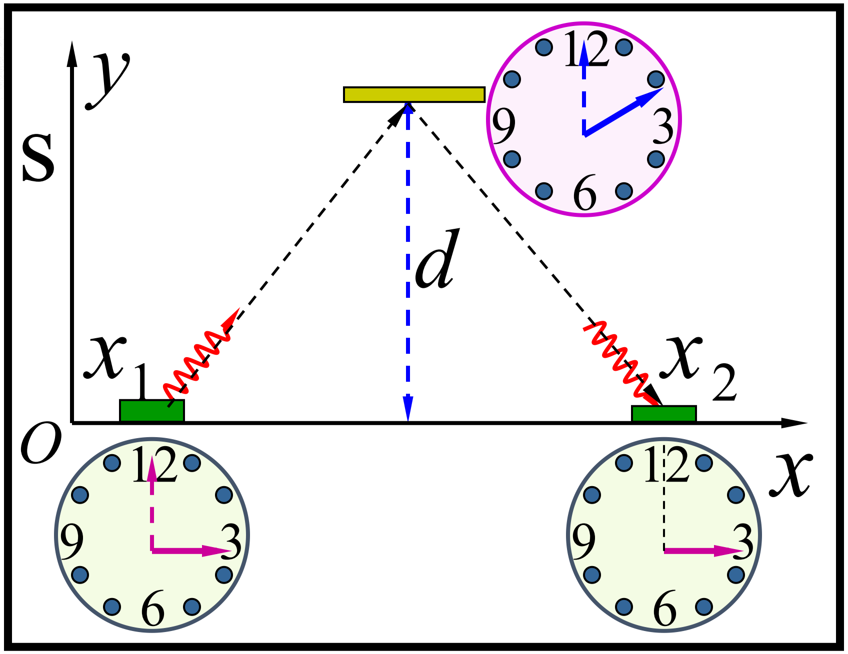


在 S 系中观测两事件

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

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

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



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

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

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

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

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。

我们正青春年少

注 意

1、时间延缓是相对论效应，是一种普遍的时空性质；
2、时间延缓是相对的；
3、时间延缓与同时性的相对性密切相关。

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）时一空不互相独立，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4-4 设想有一光子火箭以 $v = 0.95c$ 速率相对地球作直线运动，若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得此事用去多少时间？

解： 设火箭为 S' 系、地球为 S 系

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

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

运动的钟似乎走慢了。