# 狭义相对论是简单的数学几何

**刘双林**

弋阳县，江西 上饶

收稿日期：2022年3月1日；发布日期：2022年3月3日

## 摘　要

**相对论是青少年最感神奇，也觉得最为难懂的科学理论。然而，由于相对论的时空观念与经典物理学以及人们生活中的直观感受有很大不同，老师和同学们往往觉得理解上非常困难。对于同学提出的五花八门的问题，老师感到难以招架[1]。为了能够对大学和中学的相对论教学有所帮助，本文在纯粹的数学几何逻辑中，假设参考系中光运动的轨迹线长度为光运动的时间(即：光速 = 1 = 1光年/年 = c米/秒)，解出坐标变换、速度变换，得到《狭义相对论》的几何原理，帮助老师和同学们真正理解《狭义相对论》的洛伦茨变换、动钟变慢、质能方程，并促进相对论的研究和发展。**

## 关键词

相对论，光速不变，洛仑兹变换，动钟变慢，动尺收缩

# Special Relativity is A Simple Mathematical Geometry

**Shuanglin Liu**

Yiyang County, Shangrao, Jiangxi

Received: Mar. 1st, 2022, published: Mar. 3rd, 2022

## Abstract

**Relativity is the most magical and difficult scientific theory for teenagers. However, because the space-time concept of relativity is very different from classical physics and people's intuitive feelings in life, teachers and students often find it very difficult to understand. Teachers find it difficult to parry the various questions raised by students [1]. In order to be helpful to the teaching of relativity in universities and middle schools, In the pure mathematical geometric logic, this paper assumes that the length of the track line of light motion in the reference system is the time of light motion (Namely: light speed = 1 = 1 Lightyear/year = c m/s), solves the coordinate transformation and speed transformation, and obtains the geometric principle of special relativity,**



HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

**Help teachers and students really understand Lorentz transformation, slowing down of moving clock, mass energy equation in special relativity, and promote the research and development of relativity.**

## Keywords

**Relativity, Constant Speed of Light, Lorentz Transformation, Moving Clock Slows Down, Moving Ruler Shrinks**

## 1. 几何题

以“时钟 $O$”为坐标系原点 $O$，以“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”两点确定直线 $x$ 轴，以“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”、“时钟 $P$”三点确定平面，建立平面坐标系 $S$。如下图 1：

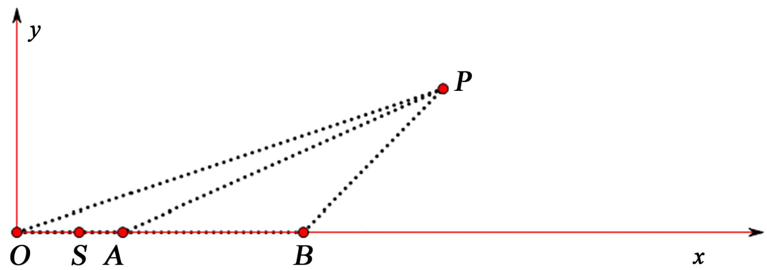


**Figure 1.** Coordinate system $S$
**图 1. 坐标系** $S$

已知：“时钟 $O'[0]$”与“时钟 $O[0]$”相遇；“光子 $P$”从“时钟 $O[c\tau_{S'}]$”发出依次经“时钟 $O'[c\tau'_A]$”、“时钟 $P[c\tau]$”反射回“时钟 $O[c\tau_{B'}]$”；“光子 $P'$”从“时钟 $O'[c\tau'_S]$”发出依次经“时钟 $O[c\tau_{A'}]$”、“时钟 $P[c\tau]$”反射回“时钟 $O'[c\tau'_B]$”。

假设：“光子 $P$”、“光子 $P'$”的速率始终都恒定为 1，且真空中的轨迹线始终都为直线。

已知：“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”、“时钟 $P$”分别以 0、$u/c$、$v/c$ 的速度保持匀速直线运动，周期都保持恒定分别为 $m_O$、$m_{O'}$、$m_P$；

同理以“时钟 $O'$”为坐标系原点 $O'$，“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”两点确定直线 $x'$轴，以“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”、“时钟 $P$”三点确定平面，建立平面坐标系 $S'$。并假设平面坐标系 $S'$中“光子 $P$”、“光子 $P'$”的速率始终都恒定为 1，且真空中的轨迹线始终都为直线；已知平面坐标系 $S'$中“时钟 $O'$”、“时钟 $O$”、“时钟 $P$”分别以 0、$u'/c$、$v'/c$ 的速度匀速直线运动，周期都恒定分别为 $m'_{O'}$、$m'_O$、$m'_P$。

“时钟 $O$”、“时钟 $O'$”、“时钟 $P$”、“光子 $P$”、“光子 $P'$”的时间、空间坐标如下表 1：

**Table 1.** Spatiotemporal coordinates of photons and clocks in $S$ and $S'$ systems
**表 1. 光子、时钟在** $S$、$S'$**系的时空坐标表**

| 时钟(周期)计数 | | | 光子 | | $S$ 系 | | $S'$系 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $O$ | $O'$ | $P$ | $P$ | $P'$ | 坐标 | 时间 | 时间 | 坐标 |
| 0 | 0 | | | | $O(0,0)$ | 0 | 0 | $O'(0,0)$ |
| $c\tau_{S'}$ | | | √ | | $O(0,0)$ | $c\tau_{S'}m_O$ | $c\tau_{S'}m'_O$ | $S'(s',0)$ |


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $c\tau'_S$ | | | √ | $S(s,0)$ | $c\tau'_S m_O$ | $c\tau'_S m'_O$ | $O'(0,0)$ |
| **Continued** | | | | | | | | |
| | $c\tau'_A$ | | √ | | $A(a,0)$ | $c\tau'_A m_O$ | $c\tau'_A m'_O$ | $O'(0,0)$ |
| $c\tau_{A'}$ | | | | √ | $O(0,0)$ | $c\tau_{A'} m_O$ | $c\tau_{A'} m'_O$ | $A'(a',0)$ |
| | | $c\tau$ | √ | √ | $P(x,y)$ | $ct$ | $ct'$ | $P'(x',y')$ |
| | $c\tau'_B$ | | | √ | $B(b,0)$ | $c\tau'_B m_{O'}$ | $c\tau_{B'} m'_O$ | $O'(0,0)$ |
| $c\tau_{B'}$ | | | √ | | $O(0,0)$ | $c\tau_{B'} m_O$ | $c\tau_{B'} m'_O$ | $B'(b',0)$ |

假设：

$$c > u \ge 0 \ge u',\ b \ge a \ge s \ge 0 \ge s' \ge a' \ge b'.$$

则有：

$$u/c = \frac{s}{c\tau'_S m_{O'}} = \frac{a}{c\tau'_A m_{O'}} = \frac{b}{c\tau'_B m_{O'}},\ u'/c = \frac{s'}{c\tau_{S'} m'_O} = \frac{a'}{c\tau_{A'} m'_O} = \frac{b'}{c\tau_{B'} m'_O},$$

$$\begin{aligned}1 &= \frac{s}{c\tau_{A'} m_O - c\tau'_S m_{O'}} = \frac{a}{c\tau'_A m_{O'} - c\tau_{S'} m_O} = \frac{\sqrt{x^2+y^2}}{ct - c\tau_{A'} m_O} = \frac{\sqrt{(x-a)^2+y^2}}{ct - c\tau'_A m_{O'}} \\ &= \frac{\sqrt{(x-b)^2+y^2}}{c\tau'_B m_{O'} - ct} = \frac{\sqrt{x^2+y^2}}{c\tau_{B'} m_O - ct} = \frac{-a'}{c\tau_{A'} m'_O - c\tau'_S m'_{O'}} = \frac{-s'}{c\tau'_A m'_{O'} - c\tau_{S'} m'_O} \\ &= \frac{\sqrt{(x'-a')^2+y'^2}}{ct' - c\tau_{A'} m'_O} = \frac{\sqrt{x'^2+y'^2}}{ct' - c\tau'_A m'_O} = \frac{\sqrt{x'^2+y'^2}}{c\tau'_B m'_O - ct'} = \frac{\sqrt{(x'-b')^2+y'^2}}{c\tau_{B'} m'_O - ct'}.\end{aligned}$$

得：

$$\frac{\tau'_S}{\tau_{A'}} = \frac{m_O/m'_O}{1+u/c} = \frac{1+u'/c}{m'_{O'}/m'_O},$$

$$\frac{\tau_{S'}}{\tau'_A} = \frac{1-u/c}{m_O/m'_O} = \frac{m'_{O'}/m'_O}{1-u'/c},$$

$$\frac{\tau_{A'}+\tau_{B'}}{2} = \frac{t}{m_O} = \frac{t'-u'x'/c^2}{\left(1-u'^2/c^2\right)m'_O},$$

$$\frac{\tau_{B'}-\tau_{A'}}{2} = \frac{\sqrt{x^2+y^2}/c}{m_O} = \frac{\sqrt{(x'-u't')^2+\left(1-u'^2/c^2\right)y'^2}/c}{\left(1-u'^2/c^2\right)m'_O},$$

$$\frac{\tau'_A+\tau'_B}{2} = \frac{t'}{m'_{O'}} = \frac{\left(t-ux/c^2\right)}{\left(1-u^2/c^2\right)m_{O'}},$$

$$\frac{\tau'_B-\tau'_A}{2} = \frac{\sqrt{x'^2+y'^2}/c}{m'_{O'}} = \frac{\sqrt{(x-ut)^2+\left(1-u^2/c^2\right)y^2}/c}{\left(1-u^2/c^2\right)m_{O'}}.$$

得：


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. |  | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

$$u'=-u,\ m'_O/m'_{O'}=\frac{m_O/m'_O}{1-u^2/c^2},$$

$$t'=\frac{t-ux/c^2}{m_O/m'_O},\ x'=\frac{x-ut}{m_O/m'_O},\ y'=\frac{y\sqrt{1-u^2/c^2}}{m_O/m'_O}.$$

假设：

$$v_x=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1},\ v_y=\frac{y_2-y_1}{t_2-t_1},\ v=\frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{t_2-t_1},$$

$$v'_{x'}=\frac{x'_2-x'_1}{t'_2-t'_1},\ v'_{y'}=\frac{y'_2-y'_1}{t'_2-t'_1},\ v'=\frac{\sqrt{(x'_2-x'_1)^2+(y'_2-y'_1)^2}}{t'_2-t'_1}.$$

得**速度变换式**：

$$v'_{x'}=\frac{v_x-u}{1-uv_x/c^2},\ v'_{y'}=\frac{v_y\sqrt{1-u^2/c^2}}{1-uv_x/c^2},\ v'=c\sqrt{1-\frac{(1-u^2/c^2)(1-v^2/c^2)}{(1-uv_x/c^2)^2}}.$$

## 2. 《狭义相对论》变换

已知：

$$y'=y$$

则得**洛仑兹变换**：

$$x'=\frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}},\ x=\frac{x'+ut'}{\sqrt{1-u^2/c^2}}.$$

已知：

$$(c\tau_2-c\tau_1)m_P=ct_2-ct_1,\ (c\tau_2-c\tau_1)m'_P=ct'_2-ct'_1.$$

则得**动钟变慢(质能方程)**：

$$\frac{m_P}{m'_P}=\frac{t_2-t_1}{t'_2-t'_1}=\frac{\sqrt{1-v'^2/c^2}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}=\frac{\sqrt{1-v'^2_{x'}/c^2}}{\sqrt{1-v_x^2/c^2}}.$$

## 3. 《狭义相对论》的应用

1、宇宙射线和大气相互作用时能产生$\pi$介子衰变，在大气上层放出$\mu$子。这些$\mu$子的速度约为 0.998c 米/秒，如果在实验室中测得静止$\mu$子的寿命为 $2.2\times10^{-6}$ 秒试问，在 8000 米高空由$\pi$介子衰变放出的$\mu$子能否飞到地面？

$u/c=0.998,\ ct'=2.2\times10^{-6}\text{秒}=2.2\times10^{-6}\times c\text{ 米},\ x'=0,\ x=?$

$$x=\frac{x'+ut'}{\sqrt{1-u^2/c^2}}=\frac{0+0.998\times2.2\times10^{-6}\times c\text{ 米}}{\sqrt{1-0.998^2}}\approx 10455\text{ 米}>8000\text{ 米}$$

2、半人马座$\alpha$星是距离太阳系最近的恒星，它距离地球 4.55 光年，设有一宇宙飞船自地球飞到半人马$\alpha$星，若宇宙飞船相对地球的速度为 0.999$c$ 米/秒，按地球上的时钟计算要用多少年时间？如以飞船上


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

的时钟计算，所需时间又为多少年？

$x = 4.55\text{光年},\ u/c = 0.999,\ x' = 0,\ ct = ?,\ ct' = ?$

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow ct = \frac{x}{u/c} = \frac{4.55\text{光年}}{0.999} \approx 4.55\text{年}$$

$$ct' = \frac{ct - ux/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{cx/u - ux/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = (cx/u)\sqrt{1-u^2/c^2} = \frac{c \times 4.55\text{光年}}{0.999c}\sqrt{1-0.999^2} \approx 0.204\text{年}$$

3、牛郎星距地球 16 光年，宇宙飞船若以速率____匀速飞行，将用 4 年时间(飞船钟)抵达牛郎星。

$x = 16\text{光年},\ ct' = 4\text{年},\ x' = 0,\ u/c = ?,$

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow 16\text{光年} = \frac{u \times 4\text{年}}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow u/c = \sqrt{16/17} = \sqrt{16/17}c\ \text{米/秒}$$

4、(如下图 2)在 $S$ 系中的 $x$ 轴上距离为$\Delta x$ 米处有两个同步的钟 $A$ 和 $B$，在 $S'$系中的 $x'$轴上有一个同样的钟 $A'$，设 $S'$系相对于 $S$ 系的速度为 $v$ 米/秒，沿 $x$ 方向，且当 $A'$与 $A$ 相遇时，两钟的读数均为零。那么，当 $A'$钟与 $B$ 钟相遇时，在 $S$ 系中 $B$ 钟的读数是____；此时在 $S'$系中 $A'$钟的读数是____。

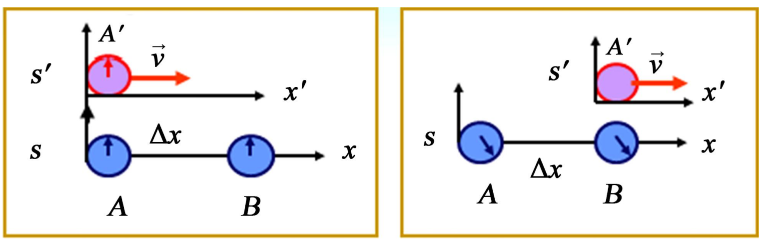


**Figure 2.** Time and relativity
**图 2.** 时间和相对性

$x = \Delta x\ \text{米} = \Delta x\text{秒}/c,\ u/c = v\ \text{米/秒} = v/c,\ x' = 0,\ ct = ?,\ ct' = ?$

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow ct = \frac{x}{u/c} = \frac{\Delta x\text{米}}{v\text{米/秒}} = (\Delta x/v)\text{秒}$$

$$ct' = \frac{ct - ux/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{(\Delta x/v)\text{秒} - (v/c)(\Delta x\text{秒}/c)}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = (\Delta x/v)\sqrt{1-v^2/c^2}\text{秒}$$

5、宇宙飞船相对地球以 0.8$c$ 米/秒飞行，一光脉冲从船尾传到船头，飞船上的观察者测得飞船长 90 米，地球上的观察者测得光脉冲从船尾传到船头两事件的空间间隔是多少米？

$u/c = 0.8,\ x' = 90\text{米} = ct',\ x = ?$

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{x' + ux'/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{x'(1+u/c)}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{90\text{米} \times (1+0.8)}{\sqrt{1-0.8^2}} = 270\text{米}$$

6、一列高速火车以速率 $u$ 米/秒驶过车站，站台上的观察者甲观察到固定于站台、相距 1 米的两只机械手在车厢上同时划出两个痕迹，求车厢上的观察者乙测出两个痕迹间的距离为多少？

$u/c = u\ \text{米/秒},\ ct = 0,\ x = 1\text{米},\ x' = ?$


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

$$x' = \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{x}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{1\text{米}}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$

7、(如下图 3)一根米尺静止放置在 $S'$系中，与 $O'x'$轴成π/6 角，如果在 $S$ 系中测得米尺与 $Ox$ 轴成π/4 角，那么，$S'$系相对于 $S$ 系的运动速度为多大？$S$ 系中测得米尺的长度是多少？

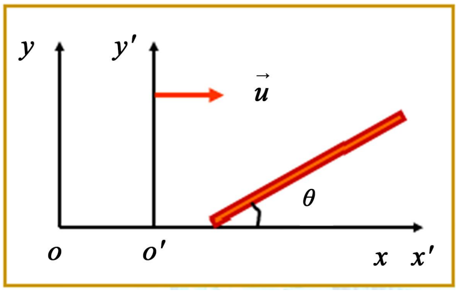


**Figure 3.** Meter ruler length transformation
**图 3.** 米尺长度变换

$$x' = \cos\frac{\pi}{6}\text{米},\ y' = \sin\frac{\pi}{6}\text{米},\ x = y\mathrm{ctg}\frac{\pi}{4} = y,\ ct = 0,\ u/c = ?,\ \sqrt{x^2+y^2} = ?$$

$$x' = \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{y-u\times 0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{y'-u\times 0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow u/c = \sqrt{1-\left(\frac{y'}{x'}\right)^2} = \sqrt{1-\left(\frac{\sin\frac{\pi}{6}}{\cos\frac{\pi}{6}}\right)^2} = \sqrt{2/3}$$

$$\sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{y^2+y^2} = \sqrt{2y^2} = \sqrt{2y'^2} = \sqrt{2\times(0.5\text{米})^2} = \sqrt{1/2}\text{米}$$

8、在惯性系 $K$ 中，有两个事件同时发生在 $x$ 轴上相距 1000 米的两点，而在另一惯性系 $K'$(沿 $x$ 轴方向相对于 $K$ 系运动)中测得这两个事件发生的地点相距 2000 米。求在 $K'$系中测这两个事件的时间间隔。

$$ct = 0,\ x = 1000\text{米},\ x' = 2000\text{米},\ |ct'| = ?$$

$$x' = \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{x}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \Rightarrow u/c = \sqrt{1-x^2/x'^2} = \sqrt{1-1000^2/2000^2} = \sqrt{0.75}c$$

$$ct' = \frac{ct-ux/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{-\left(\sqrt{0.75}c\times 1000\text{米}\right)/c}{\sqrt{1-0.75}} = -1000\sqrt{3}\text{米} = -1000\sqrt{3}\text{秒}/c \approx 5.77\times 10^{-6}\text{秒}$$

9、某宇宙飞船以 $0.8c$ 米/秒 的速度离开地球，若地球上认为它发出的两个信号之间的时间间隔为 10 秒，则宇航员测出的相应的时间间隔为多少？

$$u/c = 0.8,\ ct = 10\text{秒},\ x = ut,\ ct' = ?$$

$$ct' = \frac{ct-ux/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{ct-uut/c}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = ct\sqrt{1-u^2/c^2} = 10\text{秒}\sqrt{1-0.8^2} = 6\text{秒}$$

10、地面上一个短跑选手用 10 秒跑完 100 米，问在与运动员同方向上以 $0.6c$ 米/秒运动的飞船中观测，这个选手跑了多少米？用了多少秒？


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

$ct = 10\text{秒},\ x = 100\text{米},\ u/c = 0.6,\ x' = ?,\ ct' = ?,$

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{100\text{米} - 0.6 \times 10\text{秒}}{\sqrt{1 - 0.6^2}} = \frac{100\text{米} - 0.6 \times 10 \times c\text{米}}{\sqrt{1 - 0.6^2}} \approx -2.25 \times 10^9\text{米}$$

$$ct' = \frac{ct - ux/c}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{10\text{秒} - 0.6 \times 100\text{米}}{\sqrt{1 - 0.6^2}} = \frac{10\text{秒} - 0.6 \times 100\text{秒}/c}{\sqrt{1 - 0.6^2}} \approx 1.25\text{秒}$$

11、一宇宙飞船的船身固有长度为 90 米，相对地面以 0.8$c$ 米/秒的匀速率在一观测站的上空飞过。观测站测得飞船的船身通过观测站的时间间隔是多少？宇航员测得飞船的船身通过观测站的时间间隔是多少？

$x' = -90\text{米},\ u/c = 0.8,\ x = 0,\ ct = ?,\ ct' = ?$

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{-ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \Rightarrow ct = \frac{x'\sqrt{1 - u^2/c^2}}{-u/c} = \frac{-90\text{米}\sqrt{1 - 0.8^2}}{-0.8} \approx 2.25 \times 10^{-7}\text{秒}$$

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = 0 \Rightarrow ct' = \frac{x'}{-u/c} = \frac{-90\text{米}}{-0.8} = \frac{-90\text{秒}}{-0.8c} \approx 3.75 \times 10^{-7}\text{秒}$$

12、设飞船以 0.866$c$ 米/秒速率相对地面飞行，先后通过地面上的甲地和乙地。在飞船通过甲地时，将地面和飞船钟校准指零。若地面系测得的飞船由甲地至乙地的时间间隔为 6 小时，飞船系测得的时间间隔为多少？

$u/c = 0.866,\ ct = 6\text{小时},\ x' = 0,\ ct' = ?$

$$t = \frac{t' + ux'/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{t'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \Rightarrow ct' = ct\sqrt{1 - u^2/c^2} = 6\text{小时}\sqrt{1 - 0.866^2} \approx 3\text{小时}$$

13、一米尺相对于 $K$ 系静止，相对于 $K'$系以 0.8$c$ 米/秒速度沿-$x'$方向运动。问 $K'$系尺长是多少？

$u/c = 0.8,\ x = 1\text{米},\ ct' = 0,\ x' = ?$

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{x'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \Rightarrow x' = x\sqrt{1 - u^2/c^2} = 1\text{米}\sqrt{1 - 0.8^2} = 0.6\text{米}$$

14、$K$ 系有一静止的电子枪向 $x$ 方向发射个电子，速率为 0.7$c$ 米/秒；$K'$系沿-$x$ 方向运动，速率为 0.6$c$ 米/秒，求 $K'$系中电子的速率。

$x = 0.7ct,\ u/c = -0.6,\ x' = v't',\ v'/c = ?$

$$v' = \frac{x'}{t'} = \frac{x - ut}{t - ux/c^2} = \frac{0.7ct - (-0.6c)t}{t - (-0.6c)(0.7ct)/c^2} = \frac{1.3c}{1.42} \Rightarrow v'/c \approx 0.92$$

## 4. 《狭义相对论》的基本标准

**①空间**：任何坐标系都设定真空中光量子运动的轨迹线为直线，且所有同步光量子的运动轨迹线的长度相等。

**②时间**：任何坐标系都设定光子运动的轨迹线长度为时间。

**③速度**：任何坐标系中都设定物质的位移与同步光子轨迹线长度之比为速度。

**质量**：任何坐标系都设定特定周期数内光量子的运动轨迹线长度为质量。


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022

**动量**：任何坐标系中都设定特定周期数内光量子的位移为动量。

## 5. 《狭义相对论》的对钟

坐标系，光信号发出直线传播被反射原路直线返回，起止时刻的中间值为到达反射点的时刻。如下图 4：

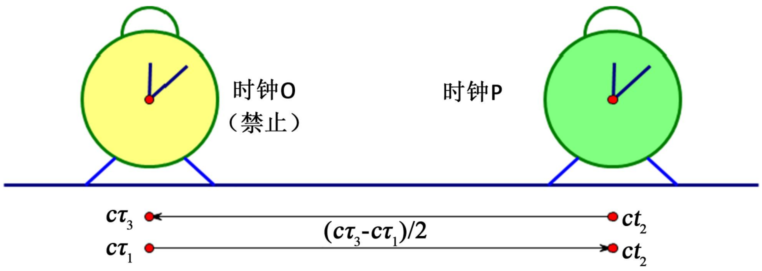


**Figure 4.** Clock operation
**图 4.** 对钟操作

坐标系 $S$ 中，静止在点 $O$ 的“时钟 $O[c\tau_1]$”发出一光(或者无线电播)信号直线传播到静止在点 $S$ 的“时钟 $P[ct_2]$”后直线反射回到“时钟 $O[c\tau_3]$”，则将“时钟 $P[ct_2]$”的时间同步调整为“$(c\tau_3+c\tau_1)/2$”。以此方法，将惯性系中所有的静止时钟进行同步调整。

## 6. 结论与启示

**结论：①动钟变慢：**钟没有变，钟的周期记数不变，变慢是因为动钟周期内光往返运动的轨迹线更长，即动钟周期更长，也就是动钟变慢。**②动尺收缩：**收缩是因为的同时记录动尺两端的坐标导致的，同时有相对性，一个参考系的同时在另一个参考系不一定是同时，尺的速度越大记录动尺后端的时刻越“落后”于前端，即动尺长度收缩。

**启示：①“光速不变假设”是空间刻度基准假设，也是时间记数基准假设。**空间刻度是绝对的统一的，空间刻度是不是均匀等效，光速不变来判断和校准。时间记数是相对的独立的，时间是参考系中光运动路与光速常数之比。**②“相对性原理”是数学几何定理，也是空间不变假设。**所有数学几何定理在任何空间坐标系中都有相同的数学表达式；洛伦兹变换、速度变换和质能方程都是可以纯粹数学几何证明的绝对正确的数学几何定理；所有物理定律都是可以数学几何证明的定理；所有物理实验、生活实践都是数学几何定理的具体应用，都是在制作、校对、使用时钟或(和)标尺。

## 参考文献

[1] 赵峥.相对论百问[M].北京师范大学出版社
[2] 张元仲.爱因斯坦建立狭义相对论的关键一步——同时性定义[J].物理与工程,2015,25(04):3-8.
[3] 杨习志,赵坚,孙彪.狭义相对论体系下惯性系与非惯性系的不对等性问题探讨[J].物理通报,2019,3:108-112.
[4] 连林欣,肖洋,王笑君,等.狭义相对论学习中学生的错误理解研究概述[J].大学物理,2019,38(3):25-31.
[5] 刘璇.相对论的解读[J].数字化用户, 2018, 24(15):246-246.


HANS PrePrints | https://doi.org/10.12677/hans.preprints.71001. | CC-BY 4.0 Open Access | rec: 1 march 2022, publ: 3 march 2022