
第14章

# 狭义相对论力学基础

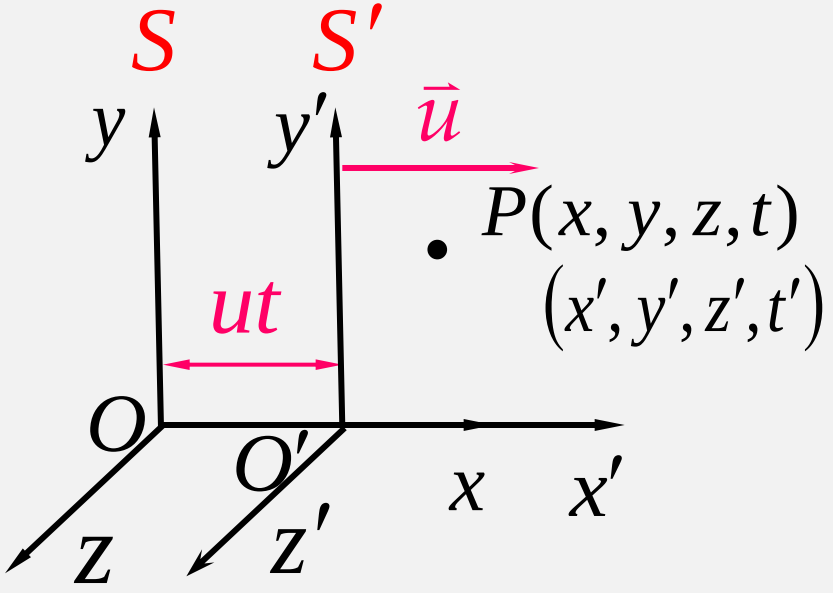
CONTENTS

# 14.4 洛伦兹变换

## 一、洛伦兹坐标和时间变换式

### 1.坐标和时间变换式

发生在$P$点的某一事件在惯性系 $S$ 中的时空坐标为$(x,y,z)$，$S'$ 中的时空坐标$(x',y',z')$。




设 $t = t' = 0$ 时，两个原点重合。

$t$ 时刻，在 $S$ 系中

$$x = ut + x'\sqrt{1-\beta^2} \qquad x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

在 $S'$ 系中

$$x' = x\sqrt{1-\beta^2} - ut'$$

两式相等，得 $$t' = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

洛伦兹坐标和时间变换式

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

洛伦兹坐标和时间逆变换式

$$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

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

1.洛伦兹变换是狭义相对论的基本方程，是以两个基本假设为依据导出的。

2.变换式中$(x,y,z)$ 和$(x',y',z')$ 是线性关系。

3.当$u \ll c$ 洛伦兹变换简化为伽利略变换。

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x-ut}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \\ t' = \dfrac{t-ux/c^2}{\sqrt{1-(u/c)^2}} \end{cases} \xrightarrow{u \ll c} \begin{cases} x' = x-ut \\ t' = t \end{cases}$$

绝对时空观是低速情况下相对论时空观的近似。

**例1**在地面参考系 $S$ 中, 在 $x = 1.0 \times 10^{6}$ m 处, 于 $t = 0.02$s 时刻爆炸了一颗炸弹，如果有一沿 $x$ 轴正方向以 $v = 0.75\,c$ 速率运动的飞船经过。试求在飞船参考系 $S'$ 中的观察者测得的这颗炸弹爆炸的地点(空间坐标)和时间。 若按伽俐略变换，结果如何？

**解** 由洛仑兹变换式，可求出在飞船系$S'$中测得炸弹爆炸的空间、时间坐标。

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-(u/c)^2}} = \frac{10^6 - 0.75\times 3\times 10^8 \times 0.02}{\sqrt{1-0.75^2}} = -5.29\times 10^6\,\text{m}$$

解 由洛仑兹变换式，可求出在飞船系$S'$中测得炸弹爆炸的空间、时间坐标。

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1-(u/c)^2}} = \frac{10^6 - 0.75\times 3\times 10^8 \times 0.02}{\sqrt{1-0.75^2}} = -5.29\times 10^6\,\mathrm{m}$$

$$t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1-(u/c)^2}} = \frac{0.02 - 0.75\times 10^6 / 3\times 10^8}{\sqrt{1-0.75^2}} = 0.026\,\mathrm{s}$$

按伽俐略变换式，则：

$$x' = x - ut = -3.5\times 10^6\,\mathrm{m} \quad t' = t = 0.02\,\mathrm{s}$$

显然与洛仑兹变换所得结果不同，这说明在本题所述条件下, 必须用洛仑兹变换计算。

## 2.时间间隔、空间间隔的变换关系

正变换

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

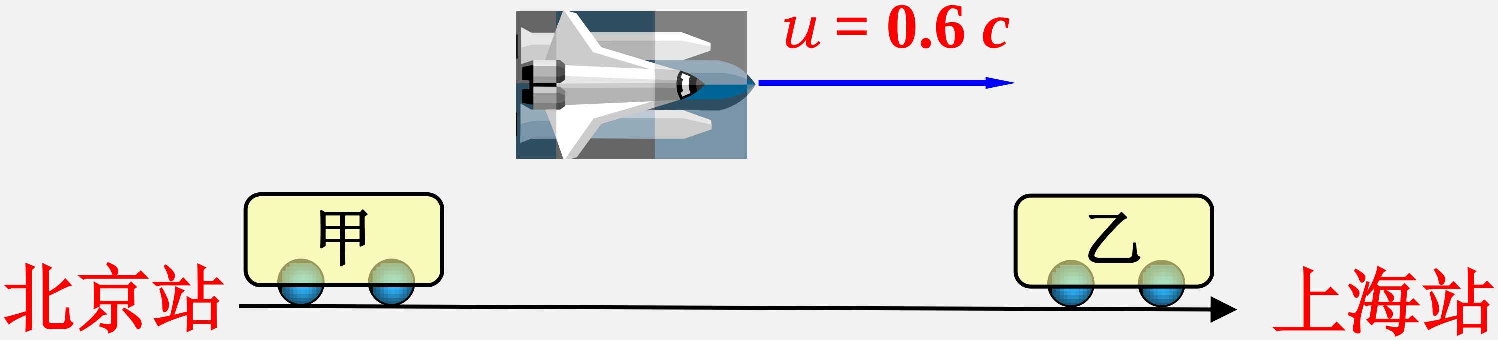
$$\Delta x' = \frac{\Delta x - u\Delta t}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

逆变换

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

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

**例2**北京上海相距1000km，北京站的甲车先于上海站的乙车$1.0\times10^{-3}$ s发车。现有一艘飞船沿从北京到上海的方向从高空掠过, 速率恒为$u=0.6\,c$ 。求飞船系中测得两车发车的时间间隔，哪一列先开?




**事件1** ( $x_1$ ， $t_1$ )　　**事件2** ( $x_2$ ， $t_2$ )

解 地面系$S$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 1000\ \text{km}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 1.0\times 10^{-3}\ \text{s}$$

飞船系$S'$

$$\Delta t' = \frac{\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = -1.25\times 10^{-3}\ \text{s}$$

两独立事件的时序发生了颠倒。

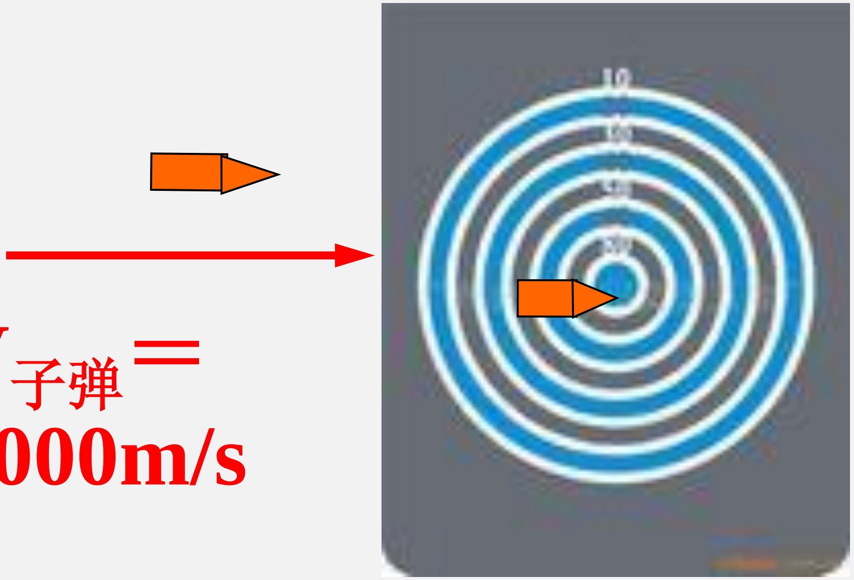
# 时序颠倒问题

## 打靶

在惯性系K中，不同地点$x_1$和$x_2$，先后发生两个事件

事件1：子弹出膛；事件2：击中靶面。$\Delta t = t_2 - t_1 > 0$

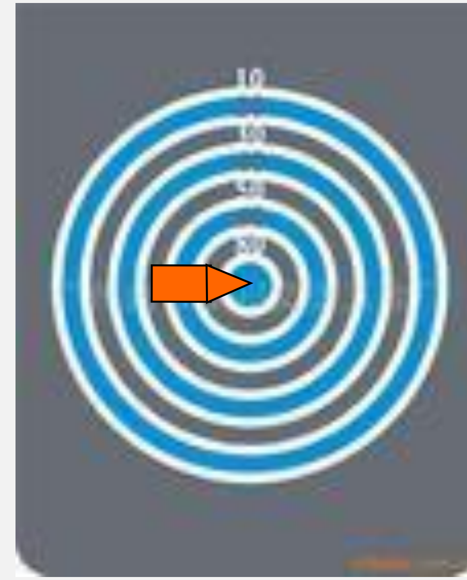
$V_{子弹} = 1000m/s$



先

地面参考系K系中

后



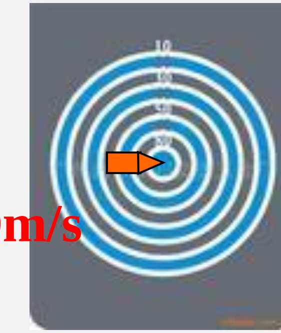
$V_{子弹}=1000m/s$

$V_{人}=2000m/s$！

**Q：在K’系（人）中，时序会不会颠倒？**

**有没有可能先击中靶面，再子弹出膛？**

# 由洛仑兹变换：





$V_{子弹}=1000m/s$

$V_{人}=2000m/s$ ！

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

$$= \frac{\Delta t - \dfrac{v}{c^2}\Delta x}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$(t' = \frac{t - \dfrac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-v^2/c^2}})$$

$$= \frac{\dfrac{\dfrac{\Delta t}{\Delta t} - \dfrac{v}{c^2}\dfrac{\Delta x}{\Delta t}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}}{\Delta t} > 0$$

1

在任意的惯性系中，都是先出膛，再击中靶，不会颠倒。

**相对论并不违背因果关系！**

即：只有对 没有因果关系的各个事件之间，先后次序才有可能颠倒. 有因果关系的两事件之间要有一个传递速度，而传递速度不可能超光速，时序不可能颠倒。

# 二、洛伦兹变换与狭义相对论时空观

## 1.“同时性”的相对性

| 两个事件 | $S'$ 系 | $S$系 |
| --- | --- | --- |
| | $\Delta x' \neq 0$ | |
| | $\Delta t' = 0$ | $\Delta t = \dfrac{\frac{u}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\beta^2}}$ |

在一个惯性系异地同时发生的两个事件，在其他惯性系不同时。

在一个惯性系同时同地发生的两个事件，对其他惯性系都是同时。

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

# 讨论：同时性是相对的。

（1）设在惯性系 K’ 中，同地点、同时发生两个事件，即：

$$\Delta t'=0,\quad \Delta x'=0, \qquad \text{则}\quad \Delta t=0.$$

（2）设在惯性系 K’ 中，不同地点$x_1'$和 $x_2'$，同时发生两个事件，即：

$$\Delta t'=0,\ \Delta x'=x_2'-x_1'\neq 0, \qquad \text{则}\quad \Delta t\neq 0.$$

（3）设在惯性系 K’ 中，不同地点$x_1'$和 $x_2'$，先后发生两个事件，即：

$$\Delta t'\neq 0,\ \Delta x'=x_2'-x_1'\neq 0, \qquad \text{则}\quad \Delta t \text{ 不确定.}$$

则，两个事件的时序有可能颠倒

# 一般讨论：同地的相对性

设在惯性系S’中，不同地点$x_1$’和 $x_2$’，先后发生两个事件，即：

$$\Delta t' = t_2' - t_1', \qquad \Delta x' = x_2' - x_1'$$

则由洛仑兹变换，

$$\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{\Delta x' + v\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

$$\left(x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}\right)$$

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

（1） 设在惯性系 S’ 中，**同时、同地点**发生两个事件，即：

$$\Delta t' = 0, \quad \Delta x' = 0, \quad \text{则} \quad \Delta x = 0.$$

（2）设在惯性系 S’ 中，**同地点、不同时**发生两个事件，即：

$$\Delta t' = t_2' - t_1', \quad \Delta x' = 0, \quad \text{则} \quad \Delta x \neq 0.$$

（3）设在惯性系S’中，**不同地点$x_1'$和 $x_2'$，不同时**发生两个事件，即：

$$\Delta t' \neq 0, \quad \Delta x' = x_2' - x_1', \quad \text{则} \quad \Delta x\text{不确定}.$$

**注意：**

*a*. 只有发生在不同地点的事件，同时性才是相对的，

发生在同一地点的两个事件，同时性是绝对的。

*b*. 在低速运动的情况下，$v/c \ll 1$，得：$\Delta t \approx \Delta t'$，

$\Delta x \approx \Delta x'$.

回到经典时空观“同时的绝对”！

*c*. 只有对没有因果关系的各个事件之间，先后次序才有可能颠倒。 ——见打靶例子

## 2. 时间延缓

两个事件　　$S'$ 系　　　　　　　$S$系　？

$\Delta x' = 0$　　　　$\Delta x' \neq 0$

$\Delta t' \neq 0$　　　　$\Delta t \neq 0$

利用

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

注意：S ‘系中同地点

得

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

——时间延缓效应。

## 3. 长度收缩

两个事件 $S'$ 系 $S$系

$\Delta t' \neq 0$ $\Delta t = 0$

$L_0 = \Delta x'$（原长） $L = x_2 - x_1$

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

注意：S系中同时测量

得 $$L = \Delta x = L_0\sqrt{1-\beta^2}$$

—— 长度收缩效应。

# 三、洛伦兹速度变换式

定义

$$v_x = \frac{dx}{dt} \qquad v'_x = \frac{dx'}{dt'}$$

由洛仑兹坐标变换

$$dx' = \frac{dx - u\,dt}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$$

$$dt' = \frac{dt - \frac{u}{c^2}dx}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$$

上面两式之比

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1-\frac{u}{c^2}v_x}$$

# 洛伦兹速度变换式

正变换

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{u}{c^2} v_x}$$

$$v'_y = \frac{v_y \sqrt{1-\beta^2}}{1 - \frac{u}{c^2} v_x}$$

$$v'_z = \frac{v_z \sqrt{1-\beta^2}}{1 - \frac{u}{c^2} v_x}$$

逆变换

$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x}$$

$$v_y = \frac{v'_y \sqrt{1-\beta^2}}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x}$$

$$v_z = \frac{v'_z \sqrt{1-\beta^2}}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x}$$

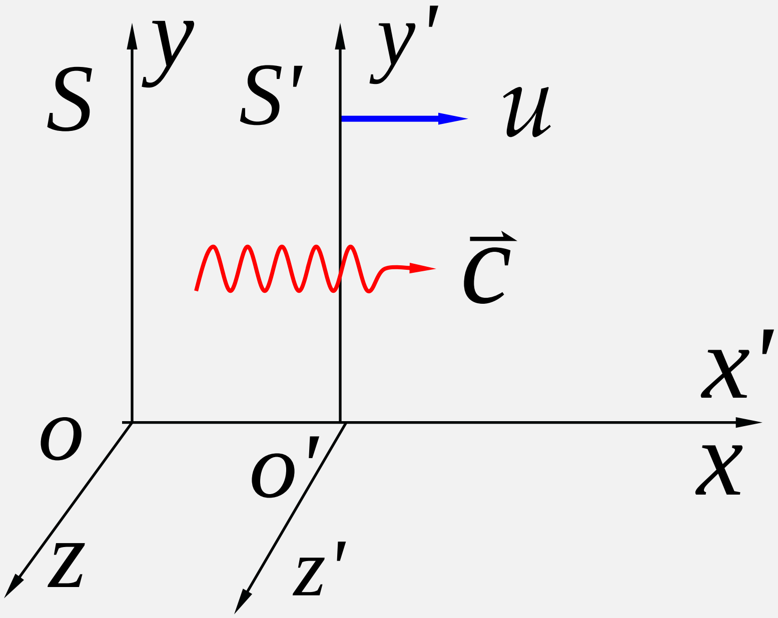
# 利用洛伦兹速度变换讨论真空中的光速

设$S'$ 系相对于$S$ 系以匀速率$u$沿$x$方向运动，一光束沿$x\,x'$轴发射，已知光对$S$系的速度是 $c$

即 $$v_x = c$$

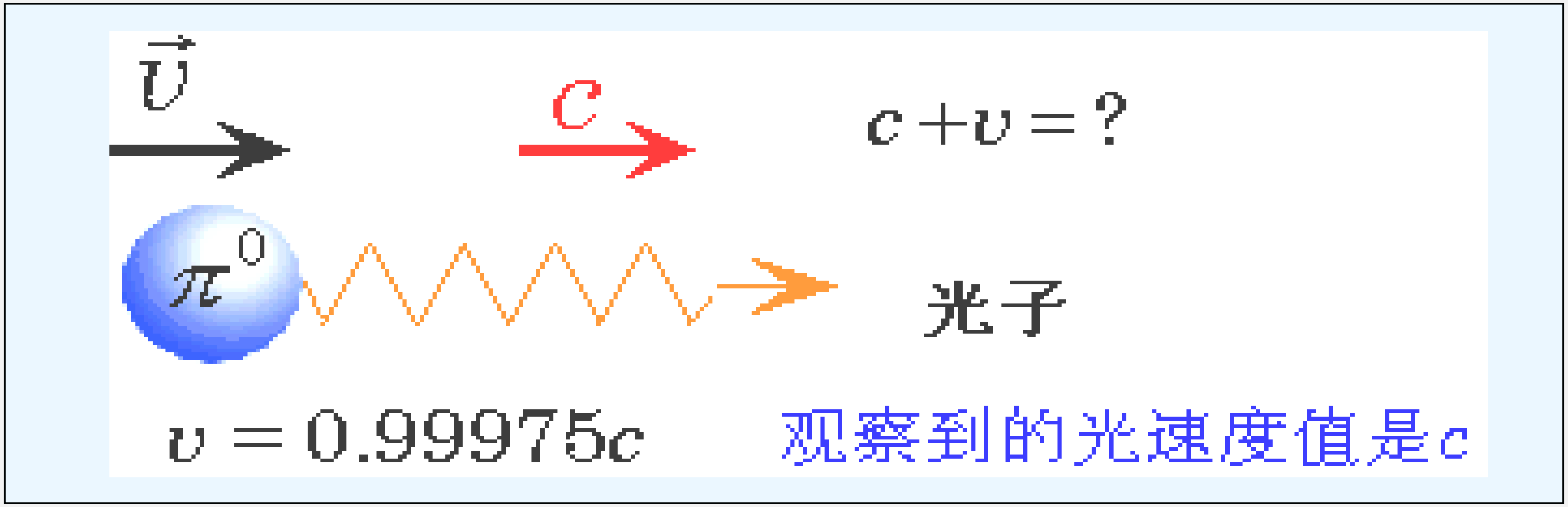
光对$S'$ 系的速度是：

$$v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{v_x u}{c^2}} = \frac{c - u}{1 - \frac{cu}{c^2}} = c$$

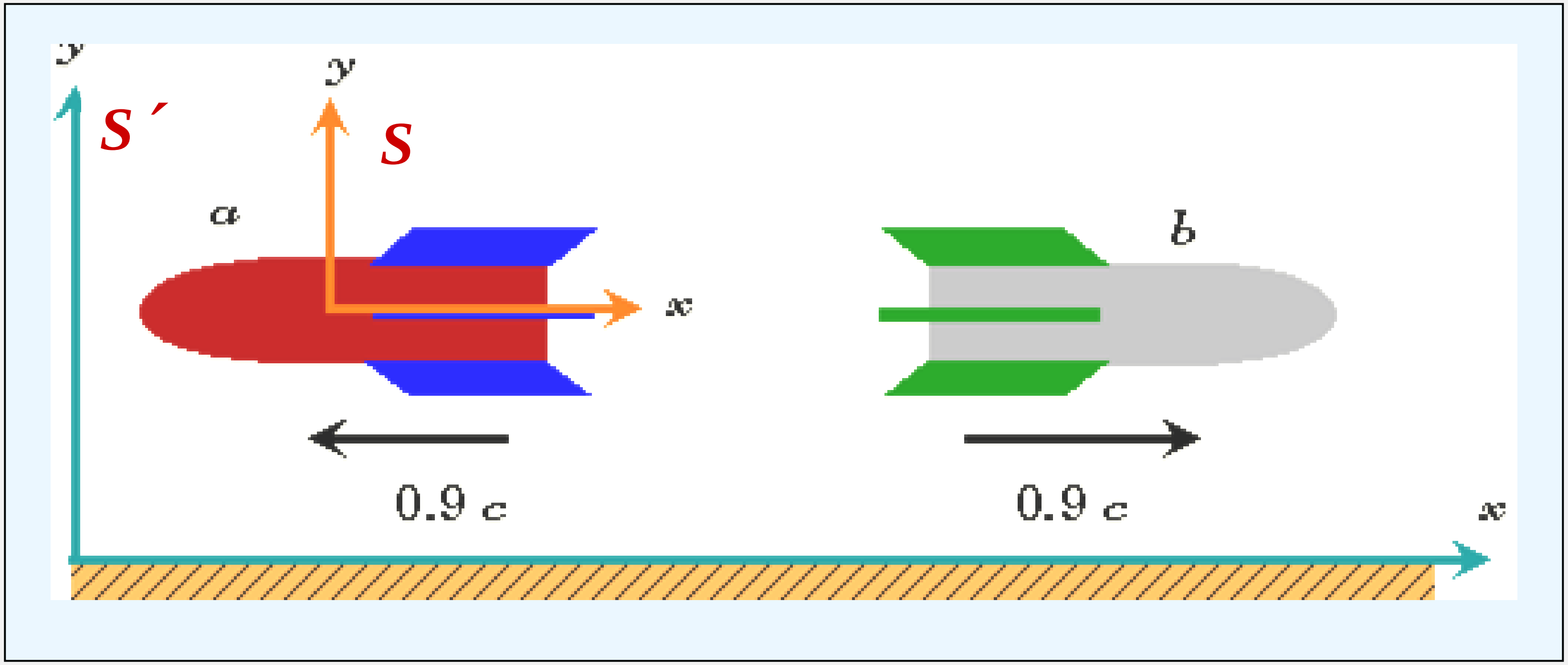



结果与伽利略变换不同，但符合光速不变原理。

1964年到1966年，欧洲核子中心在质子同步加速器中作了有关光速的精密实验。在同步加速器中产生的$\pi^\circ$介子以 0.99975 $c$ 的高速飞行, 它在飞行中发生衰变, 辐射出能量为 6 ×$10^9$eV光子,测得光子的实验室速度值仍是$c$。



**例3** 在地面上测到有两个飞船 $a$、$b$ 分别以 $+0.9c$ 和 $-0.9c$ 的速度沿相反方向飞行。
求飞船 $a$ 相对于飞船 $b$ 的速度有多大?



**解** 设$S$系被固定在飞船 $a$ 上，地面对$S$系以$0.9c$的速度向右运动。以地面为 $S'$ 系，则飞船 $b$ 相对于 $S'$ 系的速度为 $u_x' = 0.9c$。将数值代入洛伦兹变换式, 即可求得飞船 $b$ 相对于$S$系的速度, 亦即相对于飞船 $a$ 的速度。

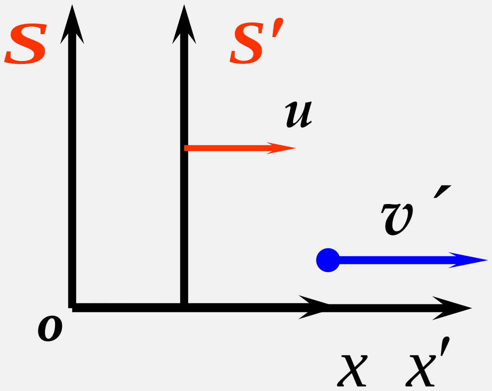
$$v_x = \frac{v_x' + u}{1 + u/c^2 \cdot v_x'} = \frac{0.9c + 0.9c}{1 + 0.9 \times 0.9} = \frac{1.80c}{1.81} = 0.944c < c$$

如用伽俐略速度变换进行计算，结果为：

$$u_x = u_x' + v = 0.9c + 0.9c = 1.8c > c$$

**例4** 设想一飞船以0.80$c$ 的速度在地球上空飞行，如果这时从飞船上沿速度方向抛出一物体，物体相对飞船速度为0.90$c$ 。问从地面上看，物体速度多大？

**解** 选飞船参考系为 $S'$ 系，地面参考系为 $S$ 系




$$u = 0.80c \quad v'_x = 0.90c$$

$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x} = \frac{0.90c + 0.80c}{1 + 0.80 \times 0.90} = 0.99c$$

# 四. 两种时空观对照

经典时空观：

空间是绝对的，时间是绝对的，空间、时间和物质运动三者没有联系。

狭义相对论时空观：

1）时—空不互相独立，时间、空间与物质运动是不可分割的整体。

2）不同惯性系各有自己的时间坐标，并相互发现对方的钟走慢了。

3）不同惯性系各有自己的空间坐标，并相互发现对方的“尺”缩短了。

4）作相对运动的两个惯性系中所测得的运动物体的速度，不仅在相对运动的方向上的分量不同，而且在垂直于相对运动方向上的分量也不同。

5）光在任何惯性系中传播速度都等于 $c$ ，并且是任何物体运动速度的最高极限。光速 $c$ 是建立不同惯性系间时空变换的纽带.

6）在一个惯性系中同时发生的两事件，在另一惯性系中可能是不同时的。

7）“时钟变慢”和“长度收缩”都是相对论效应，并不是事物内部机制或钟的内部结构有什么变化，不能归之于某种物理的、化学的或其他什么原因，“时钟变慢”意味着一切时钟、一切物理过程，化学过程甚至生命过程都必须按同一因子变慢，否则就可以依据这里的差别判断本系统的运动状态，这不符合相对性原理。

# § 14.5 狭义相对论质点动力学简介

根据狭义相对论的相对性原理，质点动力学基本规律，都应该具有洛伦兹变换的不变性，即保持定律形式不变；而且在低速情况下应满足对应原理，即物理量须趋于经典理论中相应的量。

## 一、相对论动量和质量

### 1. 质速关系

质点动量

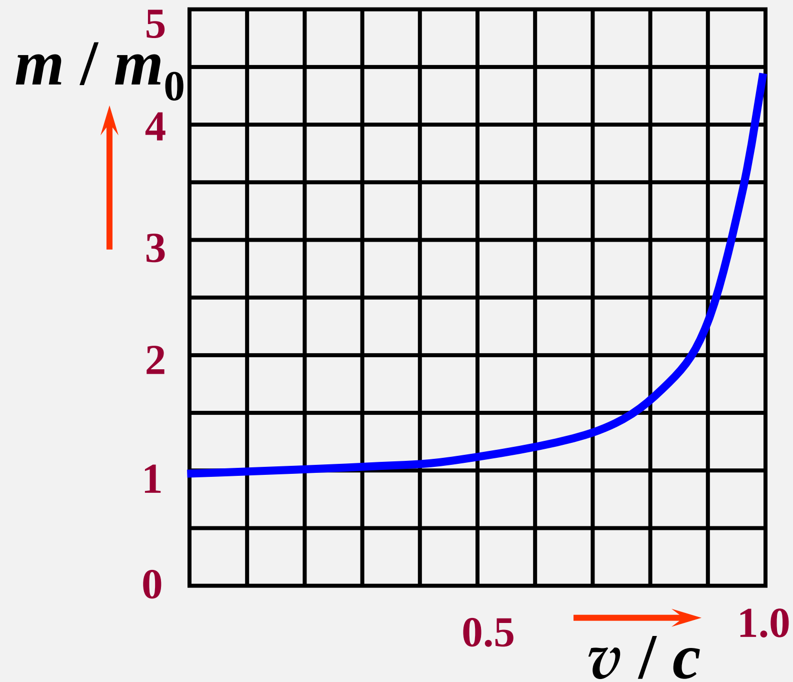
$$\vec{p} = m\vec{v}$$

质量 $m(v) = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$

$m_0$ 为静止质量。

从 $m / m_0 \sim v / c$ 关系曲线可以看出，当质点速率接近光速时，质量变得很大。

当 $v << c$ 时，$m \approx m_0$，质点的质量为一常量，牛顿力学仍然适用。




高能加速器中的粒子随着能量增加, 速率可接近光速，但从没有达到或超过真空中的光速。当速度达到 $2.7 \times 10^8\ \mathrm{ms}^{-1}$ 时，质量达到 $2.3\ m_0$。

爱因斯坦(Einstein)

## 讨论

**1.** 当$v << c$时，$m = m_0$。

**2.** 质速曲线

当 $v$ =0.1 $c$，  $m$ 增加 0.5%

当 $v$ =0.866 $c$，  $m = 2m_0$

当 $v \to c$，  $m \to \infty$

当 $v = c$，  $m_0 = 0$

**3.** 光速是物体运动的极限速度。

## 2.相对论动量

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}\vec{v}$$

可以证明，该公式保证动量守恒定律在洛伦兹变换下，对任何惯性系都保持不变。

## 3.相对论质点动力学基本方程

当有外力作用在质点上时, 由相对论动量表达式, 可得相对论力学的基本方程:

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(m\vec{v}) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left[\frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}\vec{v}\right]$$

系统相对论动量守恒定律为:

$$\sum \vec{p}_i = \sum m_i \vec{v}_i = \sum \frac{m_{0i}}{\sqrt{1-\beta^2}}\vec{v}_i = \text{常矢量}$$

当 $v << c$ 时，变化为经典力学的形式:

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(m_0\vec{v}) = m_0\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = m_0\vec{a}$$

$$\sum \vec{p} = \sum m_i\vec{v}_i = \sum \frac{m_{0i}}{\sqrt{1-\beta^2}}\vec{v}_i = \sum m_{0i}\vec{v}_i = \text{常矢量}$$

相对论的动量、质量，以及相对论的动力学方程和动量守恒定律具有普遍意义，而牛顿力学只是相对论力学在物体低速运动条件下的近似。

## 二、相对论动能

经典力学中 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

按质点动能定理，动能增量等于合外力对质点所作的功。

在相对论中，动能

$$E_k = \int \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_0^v \mathrm{d}(m\vec{v}) \cdot \vec{v}$$

其中

$$\mathrm{d}(m\vec{v}) \cdot \vec{v} = \mathrm{d}m\vec{v} \cdot \vec{v} + m\mathrm{d}\vec{v} \cdot \vec{v} = v^2\mathrm{d}m + mv\mathrm{d}v$$

又有质速关系 $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

有 $m^2v^2=m^2c^2-m_0{}^2c^2$

取微分, 整理得 $v^2\mathrm{d}m+mv\mathrm{d}v=c^2\mathrm{d}m$

代入动能式中, 得

$$E_\mathrm{k}=\int_{m_0}^{m}c^2\mathrm{d}m=mc^2-m_0c^2$$

— 相对论的动能表达式。

当 $v << c$ 时, 有 $$\left[1-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \approx 1+\frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2$$

代入动能式中, 得质点作低速运动的动能

$$E_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

与经典动能的表达式相同。

经典力学的动能表达式是相对论力学动能表达式在物体的速度远小于光速情形下的近似。

## 三、质能关系式

将质点的动能表达式写成

$$E_{\mathrm{k}} = mc^2 - m_0 c^2 = E - E_0$$

动能

总能量

静止时候具有的能量
**(静止能)**

质能关系

$$E = mc^2$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

**1.** 处于静止状态的物体也蕴涵着相当可观的静能量。相对论中的质量不仅是惯性的量度，而且还是总能量的量度。

**2.**如果一个物体或物体系统的质量有 $\Delta m$ 的变化，其能量也有相应的改变。

$$\Delta E = (\Delta m)c^2$$

**3.**质能关系式为人类利用核能奠定了理论基础，如核裂变反应、核聚变反应。

**4.**对一个孤立系统而言，总能量守恒，总质量也守恒。

# 四、相对论能量和动量的关系

在经典力学中 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$

在相对论中，由质速关系

$$m^2\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) = m_0^2$$

两边同乘以$c^4$，并整理得

$$m^2c^4 = m_0^2c^4 + m^2v^2c^2$$

$$\Downarrow \quad p = mv$$

$$\boxed{E^2 = p^2c^2 + E_0^2}$$

$$\boxed{E^2 = p^2c^2 + E_0^{\ 2}}$$

——能量和动量的关系式。

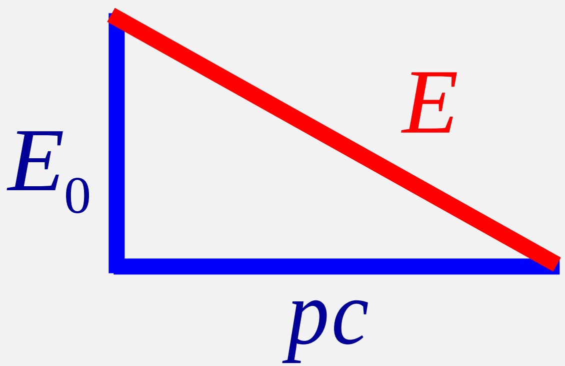
对于以光速运动的物体：

光子： $m_0 = 0 \Rightarrow E = pc$

$$E = h\nu \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \qquad p = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

普朗克常数***h***

$$E^2 = E_0^2 + p^2c^2$$



**例1** 电子静止质量 $m_0$=9.11×10$^{-31}$kg。

（1）试用焦耳和电子伏为单位，表示电子静能；

（2）静止电子经过10$^6$V电压加速后，其质量、速率各为多少?

**解** （1）电子静能

$$E_0 = m_0c^2 = 9.11\times10^{-31}\times9\times10^{16} = 8.20\times10^{-14}\,\mathrm{J}$$

$$E_0 = \frac{8.20\times10^{-14}}{1.60\times10^{-19}} = 0.51\times10^{6}\,\mathrm{eV} = 0.51\,\mathrm{MeV}$$

（2）静止电子经过$10^6$V电压加速后，动能为

$$E_\mathrm{k}=1\times10^{6}\,\mathrm{eV}=1.6\times10^{-13}\,\mathrm{J}$$

电子质量

$$m=\frac{E}{c^2}=\frac{E_0+E_\mathrm{k}}{c^2}=\frac{8.20\times10^{-14}+1.6\times10^{-13}}{9\times10^{16}}$$

$$=2.69\times10^{-30}\,\mathrm{kg}$$

电子速率

$$v=\sqrt{1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2}\,c=\sqrt{1-\left(\frac{9.11\times10^{-31}}{2.69\times10^{-30}}\right)^2}\,c=0.94c$$

**例2** 质子以速度 $v = 0.80c$ 运动，求质子的总能量、动能和动量。（$m_0$=1.672×10$^{-27}$kg）

**解** 因为质子的静止能量为：

$$E_0 = m_0 c^2 = 938\text{MeV}$$

总能量

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\left(1 - v^2 / c^2\right)^{1/2}} = 1563\text{MeV}$$

动能

$$E_k = E - m_0 c^2 = 1563 - 938 = 625\text{MeV}$$

动量

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\left(1 - v^2 / c^2\right)^{1/2}} = 6.68 \times 10^{-19} \mathrm{kg \cdot m/s}$$

或 $$cp = \sqrt{E^2 - \left(m_0 c^2\right)} = 1250\,\mathrm{MeV}$$

$$\therefore \quad p = 1250\mathrm{MeV} / c$$

MeV/$c$ 是核物理中的动量单位。

**例3** 在热核反应中，$_1^2H + _1^3H \rightarrow _2^4He + _0^1n$

如果反应前粒子动能相对较小，试计算反应后粒子所具有的总动能。

各种粒子的静止质量为：

$$m_0(_1^2H) = 3.3437\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

$$m_0(_1^3H) = 5.0049\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

$$m_0(_2^4H) = 6.6425\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

$$m_0(_0^1n) = 1.6750\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

反应前、后的粒子静止质量之和分别为

$$m_{10} = m_0({}_1^2H) + m_0({}_1^3H) = 8.3486 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

$$m_{20} = m_0({}_2^4H) + m_0({}_0^1n) = 8.3175 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$$

反应后粒子所具有的总动能

$$\Delta E_{\mathrm{k}} = (m_{10} - m_{20})c^2 = 0.0311 \times 10^{27} \times 9 \times 10^{16}$$

$$= 2.80 \times 10^{-12}\,\mathrm{J} = 17.5\,\mathrm{MeV}$$

17.5MeV是在上述反应过程中释放出来的能量。

**THANKS**

FOR YOUR ATTENTION

Last Page