

第14章 相对论

重点

§ 14-1 伽利略变换式、经典力学的绝对时空观

§ 14-2 迈克耳孙-莫雷实验

§ 14-3 狭义相对论的基本原理、洛伦兹变换

§ 14-4 狭义相对论的时空观

§ 14-5 光的多普勒效应

了解、自学

§ 14-6 相对论性动量和能量

§ 14-7 等离子体与受控核聚变

§ 14-8 广义相对论简介

了解、自学

一、狭义相对论的两个基本原理

1、相对性原理 Relativity Principle

在所有惯性系中，一切物理定律的表示都是完全相同的，即具有完全相同的数学表达式，即在研究物理规律时，一切惯性系是等价的。

2、光速不变原理 Principle of Constancy of Light Velocity

在所有惯性系中，真空中光沿各方向传播速率都相等，都等于一个恒量 c ，与光源和观察者的速度无关。

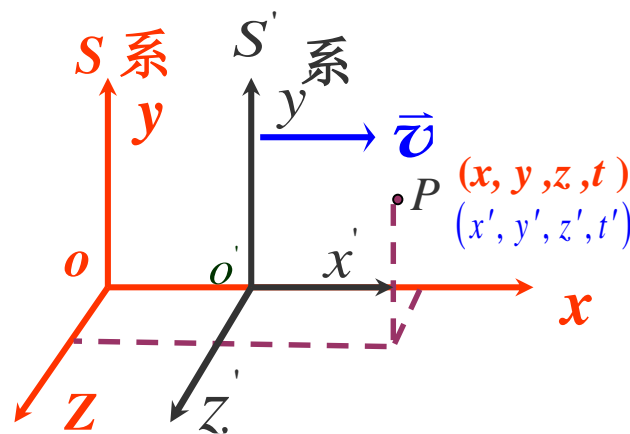
——光速具有各向同性，光速与频率无关，与光源运动无关，与观察者所处惯性系无关。

二、洛伦兹变换

当 $t = t' = 0$ 时两坐标系的
原点 O 与 O' 相重合

某事件在 S 系中的时空坐标为 (x, y, z, t)

同一事件在 S' 系中的时空坐标为 (x', y', z', t')



正变换

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}\end{aligned}$$



逆变换

$$\begin{aligned}x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}} \\y &= y' \\z &= z' \\t &= \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}\end{aligned}$$

洛伦兹变换

二、洛伦兹变换

令: $\beta = \frac{v}{c}$, 则:

正变换

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

逆变换

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

$$y = y'$$

$$z = z'$$

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

三、相对论速度变换公式

正变换

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

$$u'_y = \sqrt{1 - \beta^2} \frac{u_y}{\left(1 - \frac{v}{c^2} u_x\right)}$$

$$u'_z = \sqrt{1 - \beta^2} \frac{u_z}{\left(1 - \frac{v}{c^2} u_x\right)}$$

逆变换

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

$$u_y = \sqrt{1 - \beta^2} \frac{u'_y}{\left(1 + \frac{v}{c^2} u'_x\right)}$$

$$u_z = \sqrt{1 - \beta^2} \frac{u'_z}{\left(1 + \frac{v}{c^2} u'_x\right)}$$

四、“沿运动方向长度收缩效应”

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

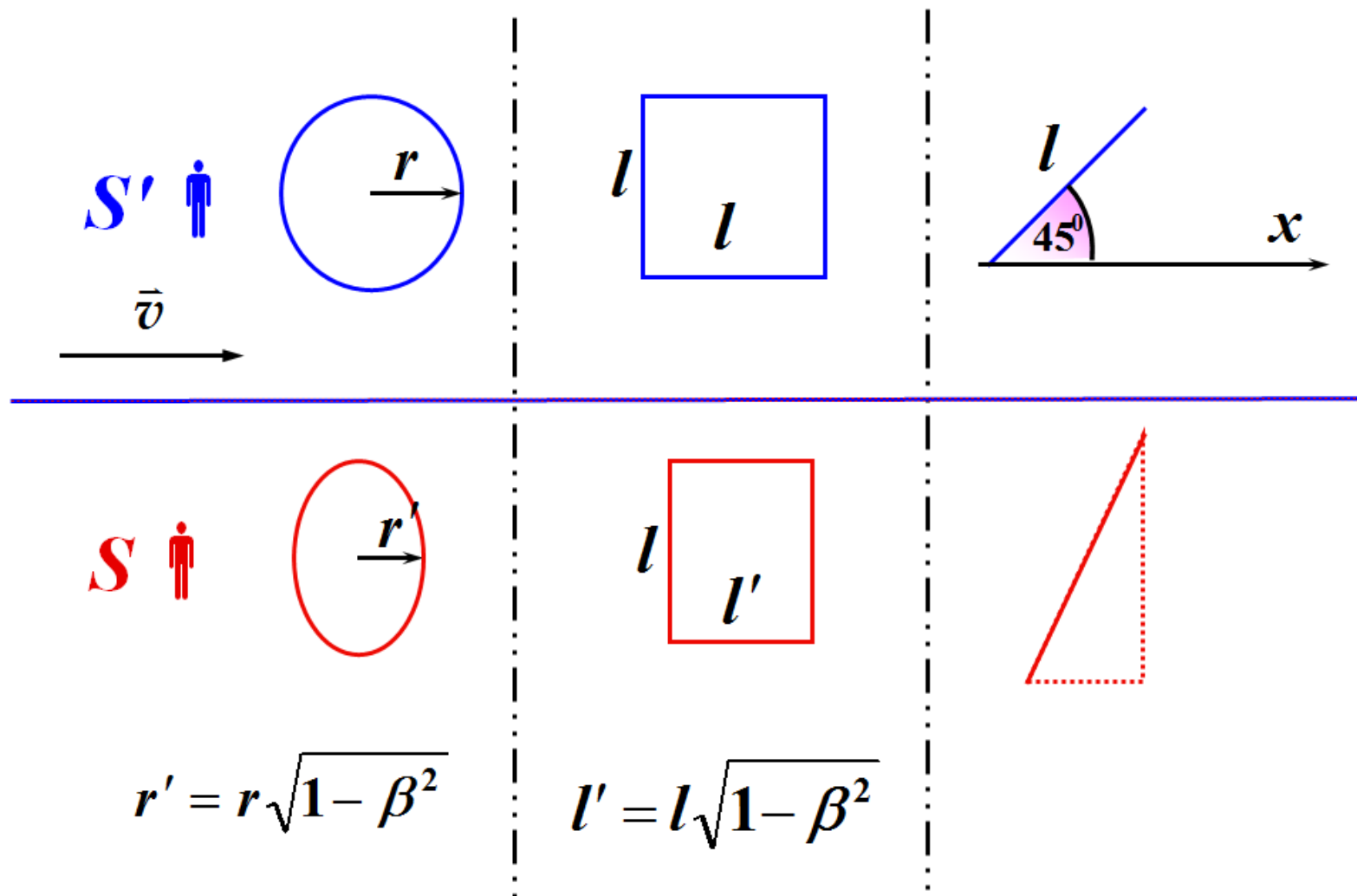
原长(固有长度, 静长) l_0 , 棒静止时测得的长度。

$l < l_0$, 这一现象称为物体沿运动方向的“长度收缩效应”

$$\because \begin{aligned} y' &= y \\ z' &= z \end{aligned}$$

垂直于运动方向 (v 方向) 的长度是不变的

静止在 S' 系的几何图形，在 S 系中讨论其形状



五、“时间膨胀效应”

$$\Delta \tau = \frac{\Delta \tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

同一地点先后发生的两个事件的

时间间隔——固有时(原时, 本征时) $\Delta \tau_0$

六、狭义相对论动力学

1、质速关系式

m_0 —— 静止质量

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

2、相对论动量

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

3、相对论质点动力学方程

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \vec{v} \right]$$

4、质能关系

运动时的能量

$$E = mc^2$$

静止时的能量

$$E_0 = m_0 c^2$$

相对论质能关系

相对论动能

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2$$

动能 总能量 静能

总能量

$$E = E_k + m_0 c^2$$

5、相对论动量与能量的关系

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

****相对论粒子碰撞过程中：

动量守恒、（总）能量守恒