

本章提要

1. 狭义相对论的两条基本原理

(1) 相对性原理: 所有物理规律在一切惯性系中都具有相同的形式, 即所有惯性系对一切物理定律等价.

(2) 光速不变原理: 在所有惯性系中, 光在真空中传播的速率都为 c , 即光在真空中传播的速率与参考系无关.

2. 洛伦兹变换

$S \rightarrow S'$ 系的坐标变换式:

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{u}{c^2}x\right) \end{cases}$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$
$$\beta = \frac{u}{c}$$

根据速度的定义和洛伦兹坐标变换得速度变换式:

$$\begin{cases} v'_x = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v'_y = \frac{v_y}{\gamma\left(1 - \frac{uv_x}{c^2}\right)} \\ v'_z = \frac{v_z}{\gamma\left(1 - \frac{uv_x}{c^2}\right)} \end{cases}$$

根据相对性原理, 把 u 换为 $-u$, 带撇和不带撇量对调, 便得 $S' \rightarrow S$ 系的变换式.

所有物理定律的数学表述都是洛伦兹变换的不变式. 洛伦兹变换是狭义相对论时空观的数学表述.

3. 狭义相对论时空观

(1) 同时是相对的

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

在 S 系中同时 $\Delta t = 0$, 但不同地 $\Delta x \neq 0$, 则在 S' 系中 $\Delta t' \neq 0$, 一定不同时.

(2) 长度收缩公式

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

l_0 为固有长度.

(3) 时间膨胀公式

$$\tau = \gamma\tau_0$$

τ_0 为固有时间.

(4) 质速关系

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

光速 c 是极限速度, 光子的 $m_0 = 0$.

(5) 质能关系

总能量 $E = mc^2$

静能 $E_0 = m_0c^2$

动能 $E_k = mc^2 - m_0c^2$

在相对论中质量概念不独立存在, 质量守恒定律和能量守恒定律统一为质能守恒定律. 在一个独立系统内

$$\sum m_i c^2 = \sum (E_{ki} + m_{0i} c^2) = \text{恒量} \quad (\text{能量守恒})$$

或 $\sum m_i = \text{恒量} \quad (\text{质量守恒})$

质量亏损公式

$$\Delta E_k = |\Delta m_0| c^2$$

(6) 动量和能量关系

动量定义 $\mathbf{p} = m\mathbf{u} = \gamma m_0 \mathbf{u}$

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0 c^2)^2$$

对光子 $p = \frac{E}{c}$.