

# 狭义相对论总结

- 一、狭义相对论的基本原理 (光速不变原理、洛伦兹变换)
- 二、狭义相对论运动学 (动钟变慢, 时间膨胀公式, 长度收缩)
- 三、狭义相对论动力学 (相对论中的质量与能量)

## 一、狭义相对论的基本原理

### 1) 光速不变原理

- ① 在所有的惯性系中, 光速是永远不变的, 光速用  $c$  表示,  $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- ② 光速不可超越法则, 所有物体的运动速度都不可能超过光速 (算出来超过  $c$  就一定错了)

### 2) 洛伦兹变换 (直接说公式, 不讲推导)

洛伦兹正变换

$$\begin{cases} x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \end{cases}$$

洛伦兹逆变换

$$\begin{cases} x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \frac{t' + ux'/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \end{cases}$$

共同点:  $y$  方向和  $z$  方向的值无论正变换还是逆变换均不改变 (狭义相对论只在  $x$  轴上有变化)

- ① 正变换中  $x'$  写在左边,  $x$  写在右边
- ② 正变换中  $x, t$  式的分子中为减号

- ① 逆变换中,  $x$  写在左边,  $x'$  写在右边
- ② 逆变换中  $x, t$  式的分子中为加号

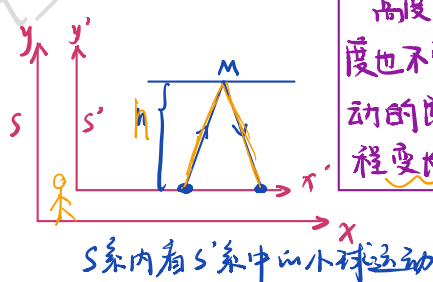
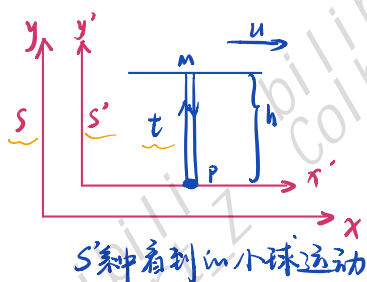
当  $u \ll c$ ,  $\frac{u}{c} \rightarrow 0$  时, 洛伦兹坐标可以往下兼容为伽利略坐标变换式 (不是重点)

$$\begin{cases} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

## 二、狭义相对论运动学

### 1) 时间延缓效应 —— 动钟变慢 (钟慢)

- ① 怎么样会发生钟慢? (在  $S$  系中观测  $S'$  系中时间会发生钟慢) 记住.
- ② 为什么会发生钟慢?



高度  $h$  始终相同, 小球上抛和下落速度也不变. 但是在  $S$  系内会观测到小球运动的路程变长, 高度  $h$ , 速度  $v$  不变, 路程变长, 时间变慢, 即钟慢

### ③ 时间延迟效应

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad \begin{matrix} \text{本征时间} \\ \tau > \tau_0 \end{matrix} \quad S \text{系} \ S'$$

### (2) 时间膨胀公式 $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ (同地不同时间情况)

很好记, 如果是同时, 那还哪来的  $\Delta t$  和  $\Delta t'$

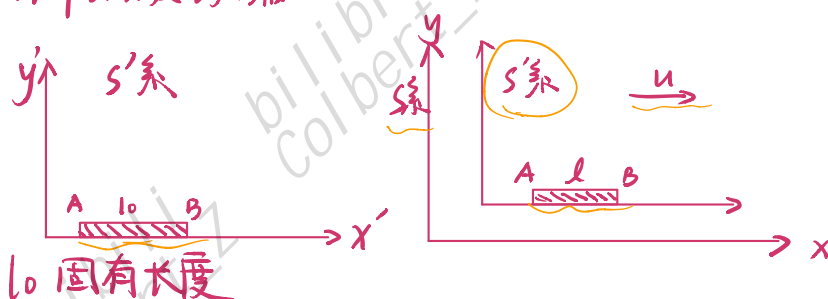
$$\Delta t = \frac{\Delta t' - u \Delta x / c^2}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad \text{同地 } \Delta x = 0$$

### (3) 长度收缩 (尺缩)

$S$  系中物体长度运动

① 怎么样会发生尺缩? (在  $S$  系中观测  $S'$  系中的长度时会发生尺缩)

② 为什么会发生尺缩?



根据洛伦兹变换得出公式

$$L = L_0 \sqrt{1-u^2/c^2}$$

例题:

7. 一艘宇宙飞船的船身长度为  $L_0 = 90 \text{ m}$ , 相对地面以  $u = 0.8c$  的速度在一观测站的上空飞过。

(1) 观测站测得飞船的船身通过观测站的时间间隔是多少?

(2) 航天员测得船自身通过观测站的时间间隔是多少?

7. 解析: (1) 观测站测得船身的长度为  $L = L_0 \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}} = 90 \sqrt{1-0.8^2} \text{ m} = 54 \text{ m}$ , 通过观测站的时间间隔为  $\Delta t = \frac{L}{u} = \frac{54 \text{ m}}{0.8c} = 2.25 \times 10^{-7} \text{ s}$ .  
(2) 航天员测得飞船船身通过观测站的时间间隔为  $\Delta t' = \frac{L_0}{u} = \frac{90 \text{ m}}{0.8c} = 3.75 \times 10^{-7} \text{ s}$ .

观测站测得时间为  $2.25 \times 10^{-7} \text{ s}$ , 而航天员自己测得的时间为  $3.75 \times 10^{-7} \text{ s}$ .

显然观测站测得时间比宇航员自己测得的时间短, 因为发生了尺缩。检查

### 三、狭义相对论动力学

(1) 相对论中的质量公式

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad \text{其中 } m_0 \text{ 为静止质量}$$

物体运动速度越快, 物体的质量越大 (只在相对论当中)

在飞船上测得  $1 \text{ kg}$  的物体, 在地面上测也为  $1 \text{ kg}$ , 在飞船上测的时候同样是静止着测的, 质量和在地面测得的相同

## (2) 相对论中的能量

① 爱因斯坦质能公式:  $E = mc^2$  (总能量)  $E_0 = m_0c^2$  (静止能量)

② 质量变化引起能量变化公式:  $\Delta E = \Delta mc^2$

③ 总能量  $E$ , 静止能量  $E_0$ , 动能  $E_k$  之间的关系:

1)  $E = E_0 + E_k$  2)  $E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2$

## (3) 相对论中动量和能量的关系

$$E^2 = p^2c^2 + E_0^2 \quad (\text{相对论中})$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad (\text{经典力学中}) \quad \leftarrow \text{只在经典力学中存在}$$

## (4) 电子伏特(eV)和焦耳(J)之间的转换

例.  $E = 8.2 \times 10^{-14} \text{ J} = \frac{8.2 \times 10^{-14} \text{ J}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 0.51 \text{ MeV} = 512500 \text{ eV}$

一个正电子的带电量