## 狭义相对论

#### 陈祖成

北京师范大学天文系 北京师范大学珠海校区自然科学高等研究院引力波与宇宙学实验室

2023年10月12日



# 本章内容

■ 狭义相对论的基本原理

② 洛仑兹变换

③ 狭义相对论时空观

### 牛顿力学时空观

时间和空间是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的 影响。

#### 牛顿力学的困难

赫兹于 1888 年证实了电磁波的存在,验证了麦克斯韦电磁理论的正确性
 麦克斯韦方程组还预言电磁波在真空中的速度 c 是一个常数
 绝对时空 ⇒ 以太理论

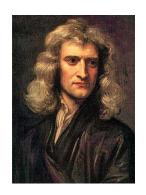


图: 1689 年的牛顿

### 牛顿力学时空观

时间和空间是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的 影响。

- 赫兹于 1888 年证实了电磁波的存在,验证了麦克斯韦电磁理论的正确性
- 麦克斯韦方程组还预言电磁波在真空中的速度 c 是一个常数
- 绝对时空 ⇒ 以太理论
- 迈克尔逊--草雷实验否定了以太的存在

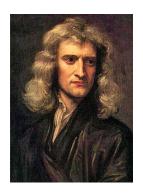


图: 1689 年的牛顿

#### 牛顿力学时空观

时间和空间是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的 影响。

- 赫兹于 1888 年证实了电磁波的存在,验证了麦克斯韦电磁理论的正确性
- 麦克斯韦方程组还预言电磁波在真空中的速度 c 是一个 常数
- 绝对时空 ⇒ 以太理论
- 迈克尔逊--莫雷实验否定了以太的存在

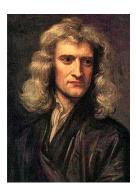


图: 1689 年的牛顿

#### 牛顿力学时空观

时间和空间是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的 影响。

- 赫兹于 1888 年证实了电磁波的存在,验证了麦克斯韦电磁理论的正确性
- 麦克斯韦方程组还预言电磁波在真空中的速度 c 是一个 常数
- 绝对时空 ⇒ 以太理论
- 迈克尔逊--莫雷实验否定了以太的存在

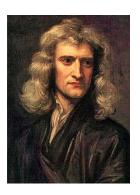


图: 1689 年的牛顿

#### 牛顿力学时空观

时间和空间是彼此独立的,互不相关,并且不受物质和运动的 影响。

- 赫兹于 1888 年证实了电磁波的存在,验证了麦克斯韦电磁理论的正确性
- 麦克斯韦方程组还预言电磁波在真空中的速度 c 是一个 常数
- 绝对时空 ⇒ 以太理论
- 迈克尔逊--莫雷实验否定了以太的存在

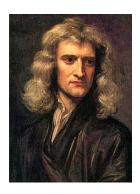


图: 1689 年的牛顿

## 两条基本原理

### 1905 年,爱因斯坦创造性地提出了狭义相对论!

#### 相对性原理

所有物理规律在任何惯性系中都具有相同的形式。也就是 说,所有惯性系都是平权的。

#### 光速不变原理

在一切惯性系中,光在真空中的速率恒为 c,与光源的运动状态无关。



图: 1904 年的爱因斯坦

陈祖成 狭义相对论 2023 年 10 月 12 日

## 两条基本原理

1905 年, 爱因斯坦创造性地提出了狭义相对论!

### 相对性原理

所有物理规律在任何惯性系中都具有相同的形式。也就是 说,所有惯性系都是平权的。

#### 光速不变原理

在一切惯性系中,光在真空中的速率恒为c,与光源的运动状态无关。



图: 1904 年的爱因斯坦

陈祖成 狭义相对论 2023 年 10 月 12 日 4

## 两条基本原理

1905 年, 爱因斯坦创造性地提出了狭义相对论!

### 相对性原理

所有物理规律在任何惯性系中都具有相同的形式。也就是 说,所有惯性系都是平权的。

#### 光速不变原理

在一切惯性系中,光在真空中的速率恒为 c,与光源的运动状态无关。



图: 1904 年的爱因斯坦

- ullet S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时, O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为 (x', y', z', t') 和 (x, y, z, t)

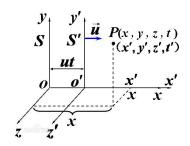


图: 相对匀速运动的坐标系

- S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时, O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为 (x', y', z', t') 和 (x, y, z, t)

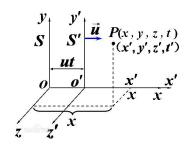


图: 相对匀速运动的坐标系

- ullet S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时, O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为
   (x', y', z', t') 和 (x, y, z, t)

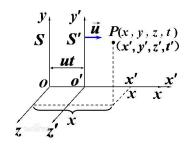


图: 相对匀速运动的坐标系

- ullet S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时,O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为 (x', y', z', t') 和 (x, y, z, t)

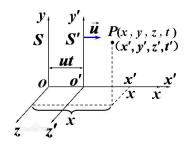


图: 相对匀速运动的坐标系

- ullet S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时,O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为 (x', y', z', t') 和 (x, y, z, t)

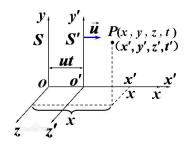


图: 相对匀速运动的坐标系

- ullet S' 系沿着 S 系的 x 轴正向以速度 u 做匀速直线运动
- x', y', z' 分别与 x, y, z 轴平行
- t' = t = 0 时,O' 与 O 重合
- 同一事件 P 在 S' 系和 S 系的坐标分别为 (x',y',z',t') 和 (x,y,z,t)

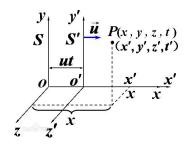


图: 相对匀速运动的坐标系

- 显然有 y' = y 和 z' = z
- 考虑 O 点 在 S 系,x = 0在 S' 系, $x' = -ut' \Rightarrow x' + ut' = 0$ 假设 P 点: $x = \gamma(x' + ut')$
- 考虑 O' 点 假设 P 点:  $x' = \gamma'(x - ut)$ 相对性原理  $\Rightarrow x' = \gamma(x - ut)$
- 考虑 t'=t=0 时,从 O (或 O') 沿 x 轴发出的一束光

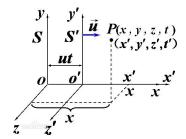


图: 相对匀速运动的坐标系

- 显然有 y' = y 和 z' = z
- 考虑 O 点 在 S 系, x = 0在 S' 系,  $x' = -ut' \Rightarrow x' + ut' = 0$ 假设 P 点:  $x = \gamma(x' + ut')$
- 考虑 O' 点
   假设 P 点: x' = γ'(x ut)
   相対性原理 ⇒ x' = γ(x ut)
- 考虑 t' = t = 0 时,从 O (或 O') 沿 x 轴发出的一束光

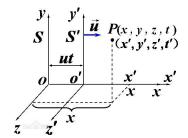


图: 相对匀速运动的坐标系

- 显然有 y' = y 和 z' = z
- 考虑 O 点 在 S 系, x = 0在 S' 系,  $x' = -ut' \Rightarrow x' + ut' = 0$ 假设 P 点:  $x = \gamma(x' + ut')$
- 考虑 O' 点 假设 P 点:  $x' = \gamma'(x ut)$  相对性原理  $\Rightarrow x' = \gamma(x ut)$
- 考虑 t' = t = 0 时,从 O (或 O') 沿 x 轴发出的一束光

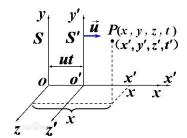


图: 相对匀速运动的坐标系

- 显然有 y' = y 和 z' = z
- 考虑 O 点 在 S 系, x = 0在 S' 系,  $x' = -ut' \Rightarrow x' + ut' = 0$ 假设 P 点:  $x = \gamma(x' + ut')$
- 考虑 O' 点 假设 P 点:  $x' = \gamma'(x - ut)$ 相对性原理  $\Rightarrow x' = \gamma(x - ut)$
- 考虑 t' = t = 0 时,从 O (或 O')沿 x 轴发出的一束光
   光速不变原理 ⇒ x = ct, x' = ct'

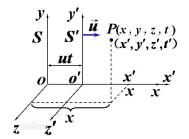


图: 相对匀速运动的坐标系

$$x = \gamma(x' + ut')$$
  $x = ct$   
 $x' = \gamma(x - ut)$   $x' = ct'$ 

## 由以上方程组可以求解出

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \ge 1, \qquad \beta = \frac{u}{c}$$

所以有洛仑兹变换 
$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases}$$

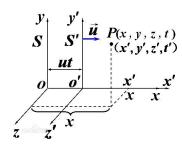


图: 相对匀速运动的坐标系

陈祖成 狭义相对论 2023 年 10 月 12 日 7 / 12

$$x = \gamma(x' + ut')$$
  $x = ct$   
 $x' = \gamma(x - ut)$   $x' = ct'$ 

由以上方程组可以求解出

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \ge 1, \qquad \beta = \frac{u}{c}$$

所以有洛仑兹变换 
$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases}$$

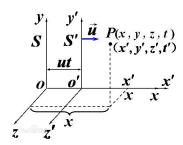


图: 相对匀速运动的坐标系



## 在狭义相对论中,洛仑兹变换占据中心地位;

- ② 同一事件在不同惯性系下的坐标变换:
- 6 时空不可分割。
- 直空中物体速度的上限是光速:
- 6 伽利略变换是洛仑兹变换在低速运动时的近似

$$u \ll c \Rightarrow \beta \to 0, \quad \gamma \to 1$$
 
$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) & \to x - ut \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{2}x) & \to t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{2}x) \end{cases}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \ge 1$$
$$\beta = \frac{u}{c}$$



### 在狭义相对论中,洛仑兹变换占据中心地位;

- 同一事件在不同惯性系下的坐标变换;

伽利略变换是洛仑兹变换在优速运动时的近似 
$$u \ll c \quad \Rightarrow \quad \beta \to 0, \quad \gamma \to 1 \begin{cases} x' = \gamma(x - ut) & \to x - ut \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) & \to t \end{cases} \qquad \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \geq 1$$
 
$$\beta = \frac{u}{c}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{2}x) \end{cases}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \ge 1$$
$$\beta = \frac{u}{c}$$



- 在狭义相对论中,洛仑兹变换占据中心地位;
- 同一事件在不同惯性系下的坐标变换;
- 时空不可分割:

伽利略变换是洛仑兹变换在优速运动时的近似 
$$u \ll c \quad \Rightarrow \quad \beta \to 0, \quad \gamma \to 1 \begin{cases} x' = \gamma(x - ut) & \to x - ut \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) & \to t \end{cases} \qquad \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \geq 1$$
 
$$\beta = \frac{u}{c}$$

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - ut) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma(t - \frac{u}{2}x) \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \ge 1$$

$$\beta = \frac{u}{c}$$



### 在狭义相对论中,洛仑兹变换占据中心地位;

- 同一事件在不同惯性系下的坐标变换;
- 时空不可分割:
- 真空中物体速度的上限是光速;
- ◎ 伽利略变换是洛仑兹变换在低速运动时的近似

$$u \ll c \quad \Rightarrow \quad \beta \to 0, \quad \gamma \to 1 \begin{cases} x' = \gamma(x - ut) & \to x - ut \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) & \to t \end{cases}$$

$$x' = \gamma(x - ut)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma(t - \frac{u}{2}x)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \ge 1$$
$$\beta = \frac{u}{c}$$



### 在狭义相对论中,洛仑兹变换占据中心地位;

- 同一事件在不同惯性系下的坐标变换;
- 时空不可分割:
- 真空中物体速度的上限是光速;
- 伽利略变换是洛仑兹变换在低速运动时的近似

$$u \ll c \quad \Rightarrow \quad \beta \to 0, \quad \gamma \to 1 \begin{cases} x' = \gamma(x - ut) & \to x - ut \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) & \to t \end{cases}$$

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

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \ge 1$$
$$\beta = \frac{u}{c}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

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

$$\begin{array}{l} \bullet \ u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \rightarrow 1, \ \frac{uv_x}{c^2} \rightarrow 0 \\ v_x' = v_x - u, \ v_y' = v_y, \ v_z' = v_z \\ \bullet \ u = c \Rightarrow v_x' = -c \end{array}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

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

 $\begin{array}{l} \bullet \ u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \rightarrow 1, \ \frac{uv_x}{c^2} \rightarrow 0 \\ v_x' = v_x - u, \ v_y' = v_y, \ v_z' = v_z \\ \bullet \ u = c \Rightarrow v_x' = -c \end{array}$ 

陈祖成

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y' = \frac{dy'}{dt'} = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \\ v_z' = \frac{dz'}{dt'} = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \end{cases}$$

 $\begin{array}{l} \bullet \ u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \rightarrow 1, \ \frac{uv_x}{c^2} \rightarrow (\\ v_x' = v_x - u, \ v_y' = v_y, \ v_z' = v_z \\ \bullet \ u = c \Rightarrow v_x' = -c \\ \end{array}$ 

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y' = \frac{dy'}{dt'} = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \\ v_z' = \frac{dz'}{dt'} = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \end{cases}$$

• 
$$u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \rightarrow 1, \quad \frac{uv_x}{c^2} \rightarrow 0$$

$$v'_x = v_x - u, \quad v'_y = v_y, \quad v'_z = v_z$$
•  $u = c \Rightarrow v'_x = -c$ 
•  $v_x = c \Rightarrow v'_x = c$ 

陈祖成 狭义相对论

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y' = \frac{dy'}{dt'} = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \\ v_z' = \frac{dz'}{dt'} = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \end{cases}$$

• 
$$u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \rightarrow 1, \frac{uv_x}{c^2} \rightarrow 0$$
  
 $v'_x = v_x - u, v'_y = v_y, v'_z = v_z$ 

• 
$$u = c \Rightarrow v'_x = -c$$
  
•  $v_x = c \Rightarrow v'_x = c$ 

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx' = \gamma(dx - udt) = \gamma(v_x - u)dt \\ dy' = dy \\ dz' = dz \\ dt' = \gamma(dt - \frac{u}{c^2}dx) = \gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})dt \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{v_x - u}{1 - \frac{uv_x}{c^2}} \\ v_y' = \frac{dy'}{dt'} = \frac{v_y}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \\ v_z' = \frac{dz'}{dt'} = \frac{v_z}{\gamma(1 - \frac{uv_x}{c^2})} \end{cases}$$

• 
$$u \ll c, v_x \ll c \Rightarrow \gamma \to 1, \frac{uv_x}{c^2} \to 0$$
  
 $v'_x = v_x - u, v'_y = v_y, v'_z = v_z$ 

$$\bullet \ u = c \Rightarrow v'_x = -c$$

$$v_x = c \Rightarrow v_x' = c$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

 $\bullet$  在 S' 系沿 x' 轴静置一把尺子,原长(固有长度)为  $\Delta x'$ 

• 在 S 系测量时, $\Delta t = 0 \Rightarrow \Delta x' = \gamma \Delta x \geq \Delta x$ 

固有长度最长

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S' 系沿 x' 轴静置一把尺子,原长(固有长度)为  $\Delta x'$ 

• 在 S 系测量时,  $\Delta t = 0 \Rightarrow \Delta x' = \gamma \Delta x > \Delta x$ 

• 固有长度最长

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S' 系沿 x' 轴静置一把尺子,原长(固有长度)为  $\Delta x'$ 

• 在 S 系测量时,  $\Delta t = 0 \Rightarrow \Delta x' = \gamma \Delta x > \Delta x$ 

• 固有长度最长

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S' 系沿 x' 轴静置一把尺子,原长(固有长度)为  $\Delta x'$ 

• 在 S 系测量时, $\Delta t = 0 \Rightarrow \Delta x' = \gamma \Delta x > \Delta x$ 

• 固有长度最长

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

ullet 在 S 系的任一位置静置一个时钟,经过一段时间(固有时)为  $\Delta t$ 

• 在 S' 系测量时, $\Delta x = 0 \Rightarrow \Delta t' = \gamma \Delta t \geq \Delta t$ 

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

ullet 在 S 系的任一位置静置一个时钟,经过一段时间(固有时)为  $\Delta t$ 

• 在 S' 系测量时,  $\Delta x = 0 \Rightarrow \Delta t' = \gamma \Delta t \geq \Delta t$ 

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S 系的任一位置静置一个时钟,经过一段时间(固有时)为  $\Delta t$ 

• 在 S' 系测量时, $\Delta x = 0 \Rightarrow \Delta t' = \gamma \Delta t > \Delta t$ 

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S 系的任一位置静置一个时钟,经过一段时间(固有时)为  $\Delta t$ 

• 在 S' 系测量时, $\Delta x = 0 \Rightarrow \Delta t' = \gamma \Delta t > \Delta t$ 

## 同时的相对性

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S 系相距  $\Delta x$  同时发生的事件  $(\Delta t = 0)$ 

• 在 S' 系测量时, $\Delta t' = -\frac{4}{5}\Delta x \neq 0$ 

# 同时的相对性

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S 系相距  $\Delta x$  同时发生的事件 ( $\Delta t = 0$ )

• 在 S' 系测量时, $\Delta t' = -\frac{u}{c^2} \Delta x \neq 0$ 

## 同时的相对性

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ t' = \gamma(t - \frac{u}{c^2}x) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \\ \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{u}{c^2}\Delta x) \end{cases}$$

• 在 S 系相距  $\Delta x$  同时发生的事件 ( $\Delta t = 0$ )

• 在 S' 系测量时, $\Delta t' = -\frac{u}{c^2} \Delta x \neq 0$