1. 狭义相对论的基本原理

牛顿力学的困难

1) 电磁场方程组不服从伽利略变换

2) 光速c是常量——不论从哪个参考系中测量

迈克耳逊—莫雷（*Michelson—Morleg*）实验

以伽利略变换为基础来观测地球上各个方向上光速的差异。由于地球自转，据伽利略变换，地球上各个方向上光速是不同的，在随地球公转的干涉仪中应可观测到条纹的移动。

迈克耳逊—莫雷实验没有观测到预期的条纹移动，称为零结果，说明光速不变。

狭义相对论的基本原理

爱因斯坦提出：

（1）一切物理规律在任何惯性系中形式相同

—— 相对性原理

（2）光在真空中的速度与发射体的运动状态无关

—— 光速不变原理

注意：

1) 爱因斯坦的理论是牛顿理论的发展

爱因斯坦相对论适用于一切物理规律。

牛顿理论只适用于力学规律。

2） 光速不变与伽利略的速度相加原理针锋相对

3） 观念上的变革

牛顿力学 $\left\{\begin{array}{c}\text{时间标度} \\ \text{长度标度} \\ \text{质量的测量}\end{array}\right\}$ 均与参考系无关

速度与参考系有关(相对性)

狭义相对论力学 $\boxed{\text{光速不变}} \longrightarrow$ 长度、时间测量的相对性

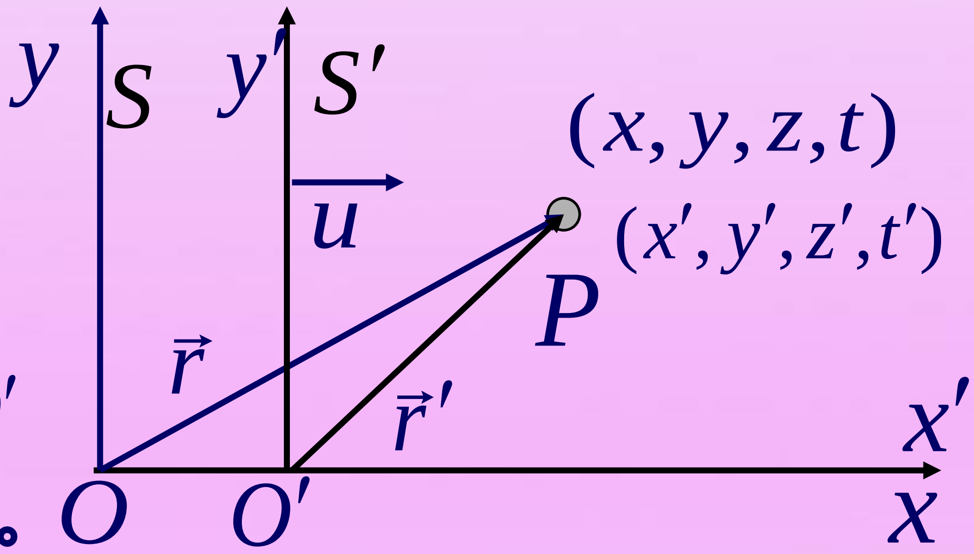
(与参照系有关)

2. 洛仑兹坐标变换式的推导

问题:

在约定的系统中，

$t = t' = 0$ 时, O、O' 重合，且在此发出闪光。



经一段时间光传到 P 点（事件）

在S中 $P(x, y, z, t)$

在S'中 $P(x', y', z', t')$

寻找

对同一客观事件两个参考系中相应的坐标值之间的关系

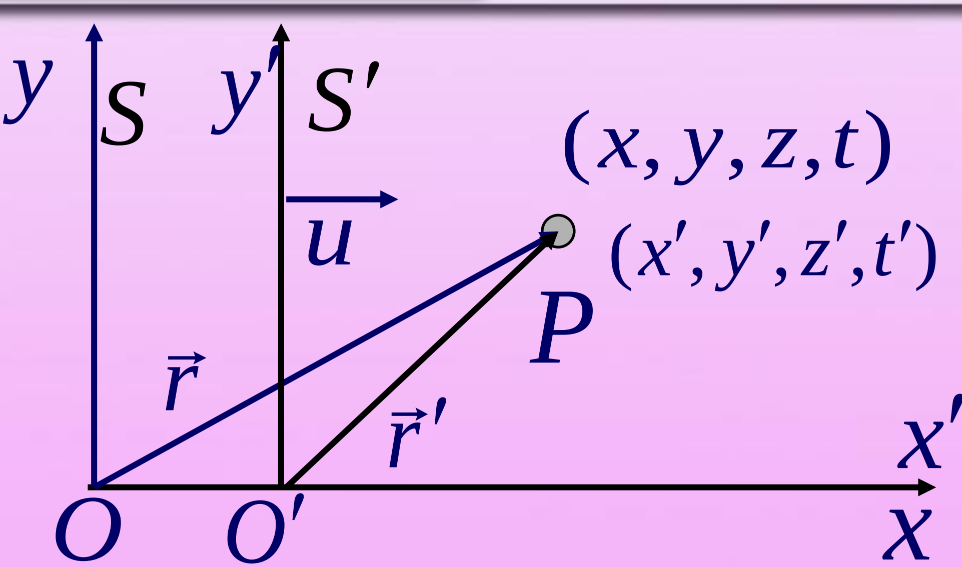
坐标变换式

正变换

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

推导:

$$y' = y \quad z' = z$$



由时空均匀性　得

$$x = k(x' + ut') \qquad x' = k'(x - ut)$$

由相对性原理　得　$k = k'$

由光速不变原理　得　$x = ct$　　$x' = ct'$

$$\therefore xx' = k^2(x-ut)(x'+ut')$$

$$ctt' = k^2tt'(c-u)(c+u) \quad \therefore k = \frac{c}{\sqrt{c^2-u^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}$$

$$\therefore x' = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}(x-ut) \qquad x = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}(x'+ut')$$

削去 x' 得 $$t' = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2}}\left(t-\frac{ux}{c^2}\right)$$

令 $\beta \equiv \dfrac{u}{c}$ $\quad \gamma \equiv \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^{2}}}$ 则

正变换

$$
\begin{aligned}
x' &= \gamma(x - ut) \\
y' &= y \\
z' &= z \\
t' &= \gamma\left(t - \frac{\beta}{c}x\right)
\end{aligned}
$$

逆变换

$$
\begin{aligned}
x &= \gamma(x' + ut') \\
y &= y' \\
z &= z' \\
t &= \gamma\left(t' + \frac{\beta}{c}x'\right)
\end{aligned}
$$

正变换

$$\boxed{\begin{aligned} x' &= \gamma(x - ut) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{\beta}{c}x\right) \end{aligned}}$$

讨论

1) 时间 t' 与 x, u, t 均有关，为时空坐标；

2) $u \ll c$, $\gamma \to 1$

$$\boxed{\begin{aligned} x' &= x - ut \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}}$$

伽利略变换

3) $u > c$ 变换无意义 速度有极限

例题4-1　甲乙两人所乘飞行器沿X 轴作相对运动。甲测得两个事件的时空坐标为$x_1=6\times10^4$m ，$y_1=z_1=0$，$t_1=2\times10^{-4}$ s ；　$x_2=12\times10^4$m，　$y_2=z_2=0$，$t_2=1\times10^{-4}$ s，若乙测得这两个事件同时发生于t' 时刻，问：

（1）乙对于甲的运动速度是多少？

（2）乙所测得的两个事件的空间间隔是多少？

解：（1）设乙对甲的运动速度为 u，由洛仑兹变换

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

可知，乙所测得的这两个事件的时间间隔是

$$t_2' - t_1' = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{u}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

按题意，$t_2' - t_1' = 0$，代入已知数据，有

$$0 = \frac{(1\times10^{-4} - 2\times10^{-4}) - \frac{u}{c^2}(12\times10^4 - 6\times10^4)}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$$

由此解得乙对甲的速度为 $$u=-\frac{c}{2}$$

根据洛仑兹变换 $$x'=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(x-ut)$$

可知, 乙所测得的两个事件的空间间隔是

$$x_2'-x_1'=\frac{(x_2-x_1)-u(t_2-t_1)}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$=5.20\times10^4 m$$

由此解得乙对甲的速度为 $u = -\frac{c}{2}$

根据洛仑兹变换 $x' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(x - ut)$

可知, 乙所测得的两个事件的空间间隔是

$$x_2' - x_1' = \frac{(x_2 - x_1) - u(t_2 - t_1)}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$= 5.20 \times 10^4 m$$