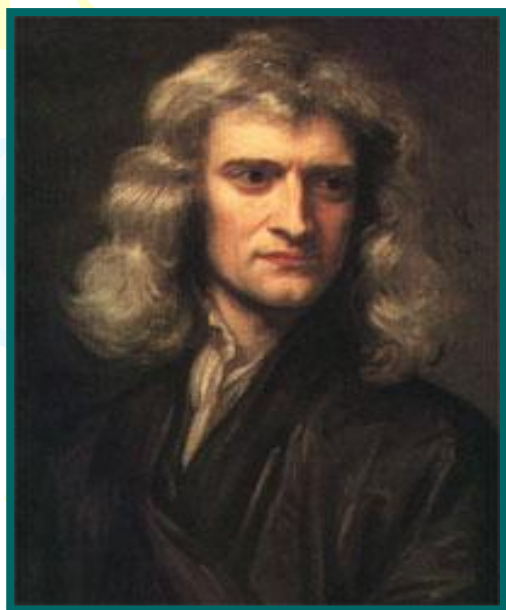
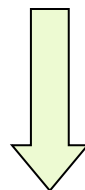


牛顿的经典力学时空观 伽利略变换



空间、时间和物质运动之间相互关系

时间、空间、物质是彼此独立无关地存在着



集中体现在伽利略变换中

伽利略坐标变换式

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{array} \right.$$

讨论

- ◆ 伽利略变换中蕴含的经典力学时空观.
- ◆ 证明力学相对性原理.

狭义相对论的基本原理（两个基本假设）

1) 爱因斯坦**相对性原理**：物理定律在**所有的**惯性系中都具有相同的表达形式。

◆ 相对性原理是自然界的普遍规律。

◆ 所有的惯性参考系都是等价的。

2) 光速不变原理：真空中的光速是常量，它与光源或观察者的运动无关，即不依赖于惯性系的选择。**光速在任何**惯性系中均为同一**常量**

伽利略变换与狭义相对论的基本原理不符。

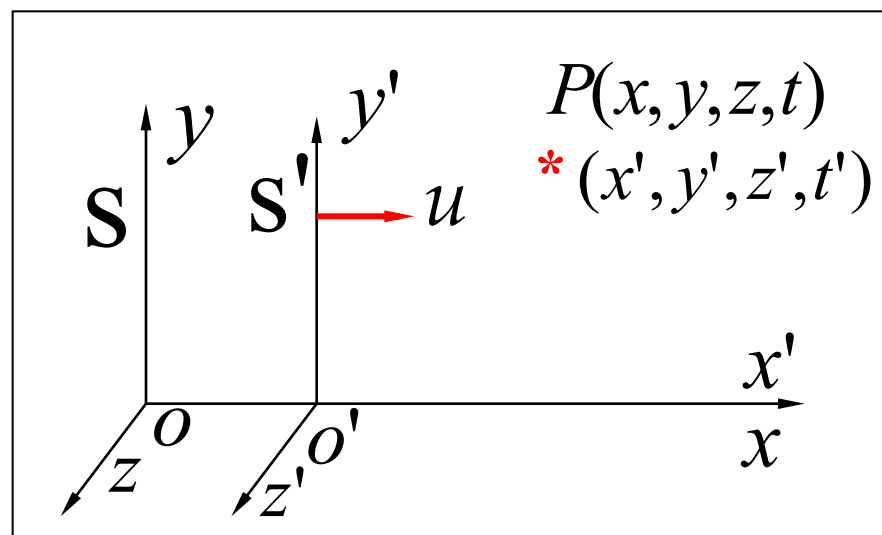


二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

洛伦兹变换式

设： $t = t' = 0$ 时， o, o' 重合；事件 P 的时空坐标如图所示。

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




$$\begin{aligned} \beta &= u/c \\ \gamma &= 1/\sqrt{1 - \beta^2} \end{aligned}$$



二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

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

$$u \ll c$$
$$\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) \rightarrow 1$$


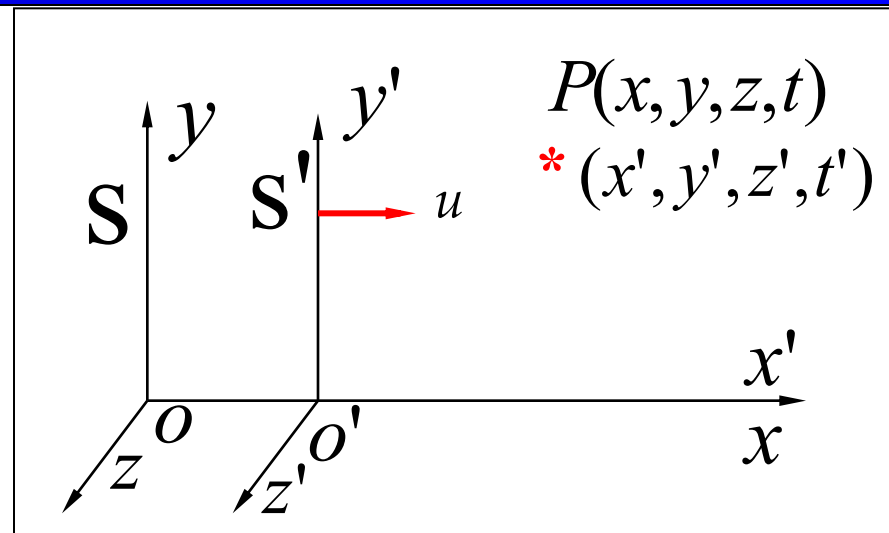
伽利略变换

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

◆ **意义：**基本的物理定律应该在**洛伦兹变换**下保持**不变**。这种不变显示出物理定律对匀速直线运动的对称性 —— **相对论对称性**。

二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

相对论速度变换



在S系中:

$$(x, y, z, t) \longleftrightarrow (x', y', z', t')$$


$$(v_x, v_y, v_z) \longleftrightarrow (v'_x, v'_y, v'_z)$$

在S'系中:

二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

$$v'_x \rightarrow v_x$$

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx'/dt}{dt'/dt}$$

$$= \frac{\frac{dx}{dt} - u}{1 - \frac{u}{c^2} \frac{dx}{dt}}$$


$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$
$$t' = \frac{t - \frac{u}{c^2} x}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}$$

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



二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

洛伦兹速度变换式

正变换

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

$$v'_y = \frac{v_y}{1 - \frac{u}{c^2} v_x} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

$$v'_z = \frac{v_z}{1 - \frac{u}{c^2} v_x} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

逆变换

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

$$v_y = \frac{v'_y}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

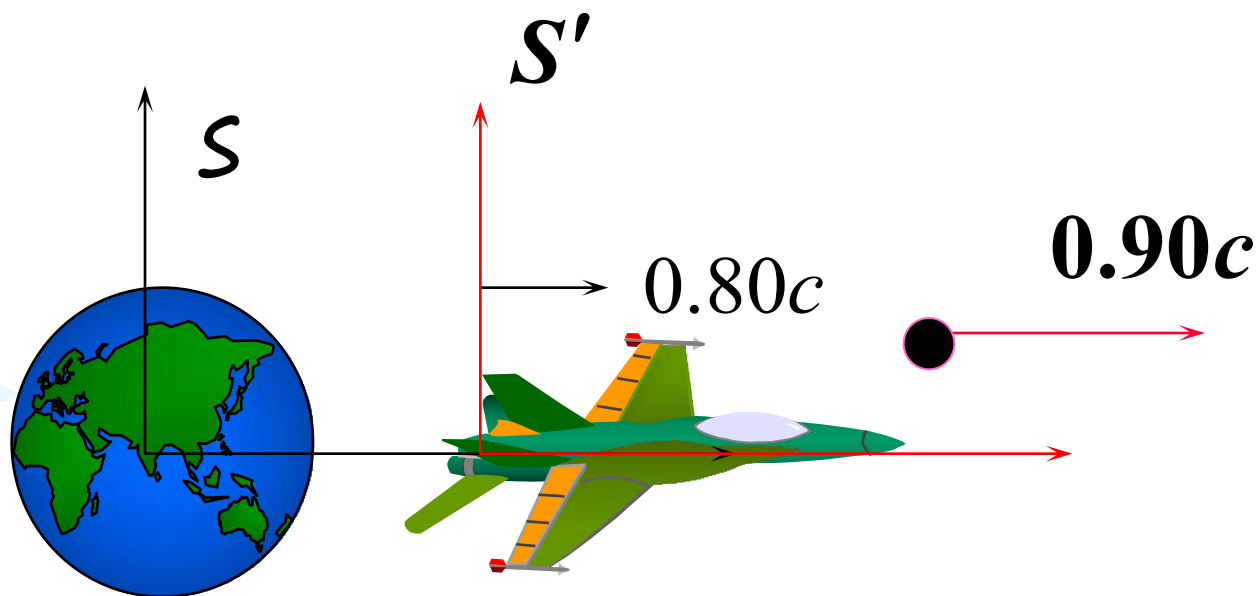
$$v_z = \frac{v'_z}{1 + \frac{u}{c^2} v'_x} \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$



二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

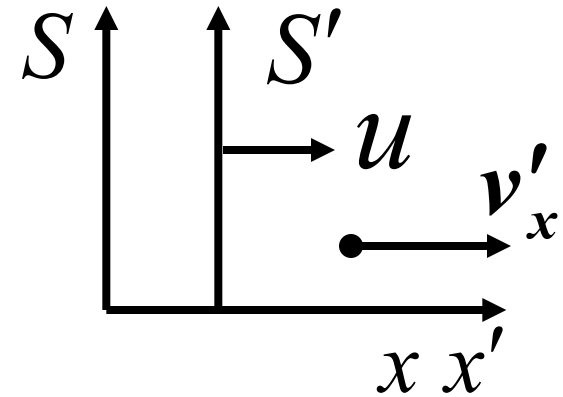
例：设想一飞船以 $0.80c$ 的速度在地球上空飞行，如果这时从飞船上沿速度方向发射一物体，物体相对飞船速度为 $0.90c$ 。

问：从地面上看，物体速度多大？



二、狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换

解：选飞船参考系为 S' 系
地面参考系为 S 系



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

$$u = 0.80c \quad v'_x = 0.90c$$

$$v_x = 0.99c$$



练习：

在地面上测得两个飞船分别以 $0.9c$ 和 $-0.9c$ 的速度相向飞行，求两船的相对速度。

