



狭义相对论

第一节 伽利略变换与牛顿绝对时空观

1. 牛顿绝对时空观认为时间和空间是相互：

解析：经典力学认为时间和空间的量度都是绝对的，与参考系的选取无关；并且时间和空间是相互独立的。

2. 1905年爱因斯坦提出了狭义相对论的两个基本假设：

解析：(1) **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，即所有的惯性参考系对运动的描述都是等效的。

(2) **光速不变原理** 真空中的光速是常量，它与光源或观测者的运动无关，且不依赖于惯性系的选择。



第二节 相对论基本原理与洛伦兹变换

1. 有下列几种说法：

a 、所有惯性系对物理基本规律都是等价的。 b 、在真空中，光的速度与光的频率、光源的运动状态无关。 c 、在任何惯性系中，光在真空中沿任意方向的传播速率都相同。

解析：爱因斯坦相对性原理指出，物理定律在所有的惯性系中都具有相同的表达形式，因此 a 的说法是正确的；真空中光的速度是一常数，并且与光源和观察者无关，不依赖于惯性系的选择，此外光在真空中传播时，光的频率也不会发生变化，因此 b 的说法也是正确的；狭义相对论的光速不变原理，要求在任一惯性系中，光在真空中的传播速率都是一常数，因此 c 的说法也是正确的。

故选D

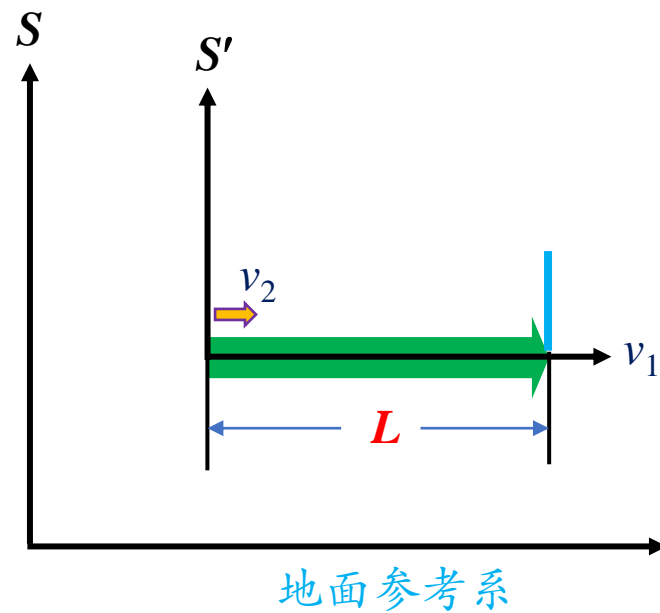


2. 一飞船的固有长度为 L ，相对于地面以速度 v_1 作匀速直线运动，从飞船的后端向飞船中的前端的一个靶子发射一颗相对于飞船速度为 v_2 的子弹。在飞船上测得子弹从射出到击中靶的时间间隔为：

解析：根据题意，如图所示：由于飞船的固有长度(固有长度的物理意义就是针对观测者来说，所观测的物体是静止的长度)为 L ，即：在飞船上的人观测飞船，飞船是静止的，因此对飞船上的观测者来说飞船的长度就是固有长度 L ，又因为对飞船上的观测者来说，靶子向前运动的速度为 v_2 ，所以飞船上的观测者观测时间为： $\Delta t = \frac{L}{v_2}$

故选C

注意理解固有长度的含义。





3. 天津和北京相距120 Km。在北京于某日上午9时正有一工厂因过载而断电。同日天津于9点0分0.0003秒发生一交通事故。试求在以 $u=0.8C$ 的速率沿北京到天津方向飞行的飞船中，观察到的这两个事件之间的时间间隔为：
先发生的时间为：

解析：根据题意，如图所示：本题主要考查的是洛伦兹变换。解题的规范：

首先：建立如图所示的参考系，取北京和天津的事件分别为： A 和 B ；

然后：分别写出它们在不同坐标系中的坐标：在 S 系中：

$$\begin{cases} A(x_1, t_1) = A(0, 9:00) \\ B(x_2, t_2) = B(120\text{Km}, 9:00 + 0.0003\text{s}) \end{cases}$$

在 S' 坐标系中观测时：

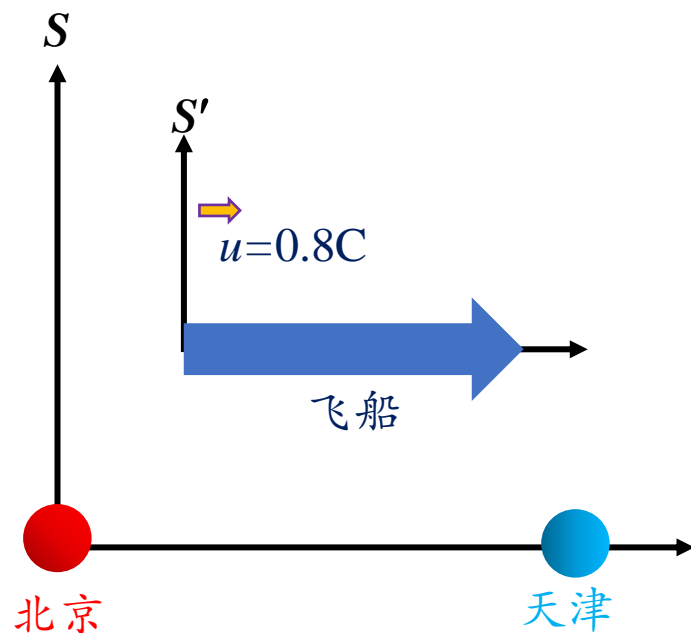
$$\begin{cases} t'_1 = \gamma(t_1 - \beta x_1 / c) = \gamma t_1 \\ t'_2 = \gamma(t_2 - \beta x_2 / c) = \gamma(t_2 - 4 \times 10^{-4} \beta) \end{cases}$$

所以：

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \gamma(t_2 - t_1 - 4 \times 10^{-4} \beta) = -3.33 \times 10^{-5} \text{s}$$

则两事件的时间间隔为： $3.33 \times 10^{-5} \text{s}$

又因为 $\Delta t'$ 为负，所以天津的事先发生。





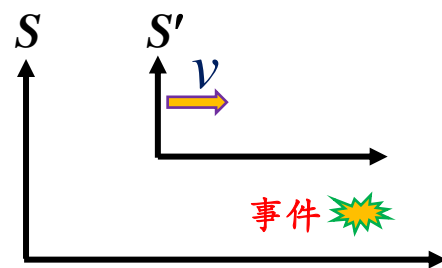
4. 设 S' 系以速率 $v=0.6c$ 相对于 S 系沿 xx' 轴运动，且在 $t=t'=0$ 时， $x=x'=0$ 。(1)若有一事件，在 S 系中发生于 $t=2.0\times 10^{-7}\text{s}$ ， $x=50\text{m}$ 处，则该事件在 S' 系中发生时刻为： ；(2)如有另一事件发生于 S 系中 $t=3.0\times 10^{-7}\text{s}$ ， $x=10\text{m}$ 处，在 S' 系中测得这两个事件的时间间隔为：

解析：根据题意，如图所示：本题主要考查的是洛伦兹变换。解题的规范：

首先：建立如图所示的参考系，取 S 系中 $t=2.0\times 10^{-7}\text{s}$ ， $x=50\text{m}$ 处发生事件。

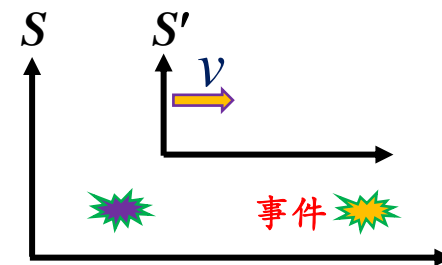
则在 S' 系中发生的时间为：

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{2 \times 10^{-7} - 0.6 \times 50 / c}{0.8} = 1.25 \times 10^{-7} \text{ s}$$



S 系中 $t=2.0\times 10^{-7}\text{s}$ ， $x=10\text{m}$ 处发生事件，在 S' 系中发生的时间为：

$$t'_1 = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{3 \times 10^{-7} - 0.6 \times 10 / c}{0.8} = 3.5 \times 10^{-7} \text{ s}$$



因此：两事件间的时间间隔为： $\Delta t = 2.25 \times 10^{-7} \text{ s}$



5. 一列火车以速度 v 匀速行驶，车头、车尾各有一盏灯，某时刻路基上的人看见两灯同时亮了，那么车厢里的人看见的情况是：_____

解析：根据题意，如图所示：对于车头和车尾放的灯可以看成 A 、 B 两个事件。

在 S 坐标系中的观测 A 和 B 是同时发生的；即： $A(x_1, t_0)$ 和 $B(x_2, t_0)$ 。

则对于在车厢中的观测者来说： S' 系：

$$t'_A = \gamma(t_0 - \beta x_A / c) \quad t'_B = \gamma(t_0 - \beta x_B / c)$$

可得：在车厢里的人观测到两灯不在是同时亮起的了。

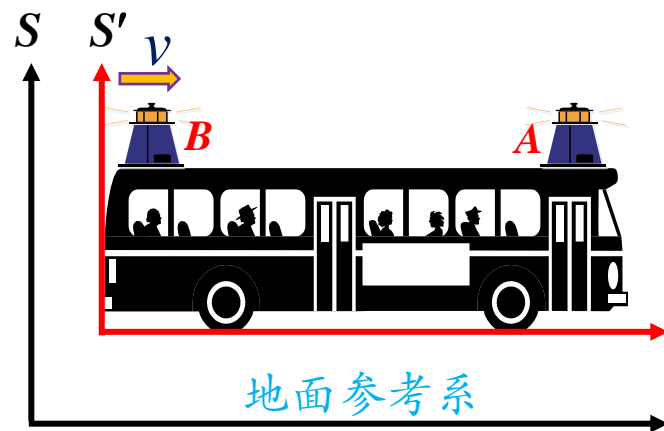
但是由于车头在前，车尾在后，所以对于 S 系有： $x_A > x_B$ ；

利用洛伦兹时间变换式，可得 S' 系中有：

$$t'_A - t'_B = -\gamma\beta(x_A - x_B) / c < 0 \Rightarrow t'_A < t'_B$$

因此看到 A 提前亮起，

即：车厢里的人看到车头的灯先亮。





6. 在惯性系 S 中的同一地点发生的 A 、 B 两个事件， B 晚于 A 4秒，在另一惯性系 S' 中观察事件 B 比事件 A 晚5秒，求：(1)这两个惯性系的相对速度为多少？(2)在 S' 系中这两个事件发生的地点间距离有多大？

解析：根据题意，如图所示：在同一地方发生 A 、 B 两个事件。

在 S 坐标系中的观测 A 和 B 的坐标为： $A(x_0, t_1)$ 和 $B(x_0, t_2)$ ，且 $\Delta t = t_2 - t_1 = 4\text{s}$ ；

在 S' 坐标系中： $t'_1 = \gamma(t_1 - \beta x_0 / c)$ $t'_2 = \gamma(t_2 - \beta x_0 / c)$ ，且 $\Delta t' = t'_2 - t'_1 = 5\text{s}$ ；

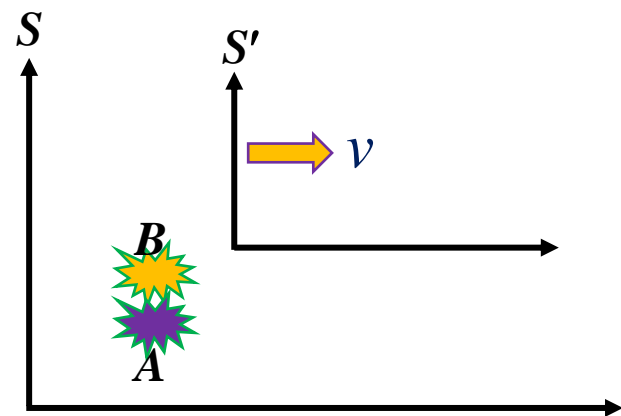
即： $\Delta t' = \gamma(t_2 - t_1 - \beta x_0 / c + \beta x_0 / c) = \gamma(t\Delta t - \beta\Delta x / c) = \gamma\Delta t$

可得： $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{5}{4}$ 得： $v = 0.6c$ 。

又因为： $x'_1 = \gamma(x_0 - vt_1)$ $x'_2 = \gamma(x_0 - vt_2)$

则两个事件之间的距离为：

$$\begin{aligned}\Delta x' &= x'_2 - x'_1 = \gamma(x_0 - vt_2 - x_0 + vt_1) \\ &= \gamma v(t_1 - t_2) = -\Delta t' v = -3c \\ &= -9 \times 10^8 \text{m} \quad \text{可得，距离为：} 9 \times 10^8 \text{m}\end{aligned}$$





7. 在某惯性系 K 中，有两个事件同时发生在 x 轴上相距1000m的两点，而在另一惯性系 K' (沿 x 轴方向相对于 K 系运动)中测得这两个事件发生的地点相距2500m。求(1) K' 系相对于 K 系的速度大小，(2) K' 系中测这两个事件的时间间隔。

解析：根据题意，如图所示：在 K 坐标系中 A 和 B 两个事件同时发生，且相距1000m；

则在 K 坐标系中两事件的坐标系分别为： $A(x_1, t_0)$ 和 $B(x_2, t_0)$ ，

可知， $\Delta t = 0$ ， $\Delta x = x_2 - x_1 = 1000 \text{ m}$

在 K' 系中观测 A 和 B 两事件的位置为： $x_1' = \gamma(x_1 - vt_0)$ $x_2' = \gamma(x_2 - vt_0)$ ；

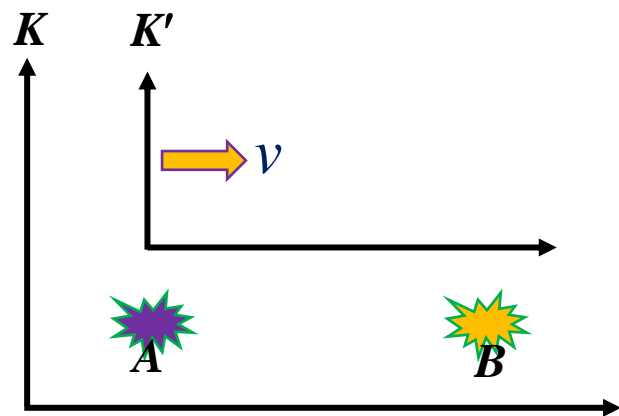
则：
$$\Delta x' = x_2' - x_1' = \gamma(\Delta x - v\Delta t) = \gamma\Delta x \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{\Delta x'}{\Delta x} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{2500}{1000}$$

得：
$$v = \frac{\sqrt{21}}{5}c = 0.917c = 2.75 \times 10^8 \text{ m/s}$$

又由 $t_1' = \gamma(t_0 - \beta x_1 / c)$ $t_2' = \gamma(t_0 - \beta x_2 / c)$

可得，两事件的事件间隔为：

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma(\Delta t - \beta\Delta x / c) = -\gamma\beta\Delta x / c = -7.637 \times 10^{-6} \text{ s}$$





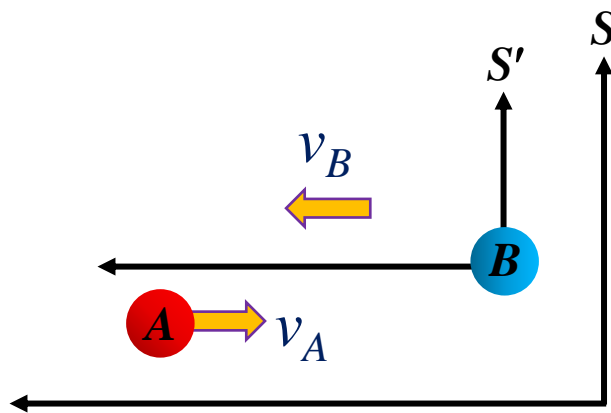
8. 在实验室中，若电子A以速度 $2.9 \times 10^8 \text{ m/s}$ 向右方向运动，电子B以速度 $2.7 \times 10^8 \text{ m/s}$ 向左方向运动，求：A电子对B电子的速度为多少？

解析：根据题意，如图所示：在S坐标系中A和B两电子的速度大小分别为： v_A 和 v_B ，令相对B静止的系统为S'系。

方法一：设向左的方向为坐标系的正方向，则S'系相对于S系的运动速度为正，即牵连速度： $v = v_B$ ，而电子A相对于S系的速度为负，即 $u_A = -|v_A|$

由洛伦兹速度变换可得，A电子相对B电子的速度 v_A' ：

$$\begin{aligned} u_A' &= \frac{u_A - v}{1 - \frac{v}{c^2} u_A} = \frac{-|v_A| - v_B}{1 + \frac{v_B}{c^2} |v_A|} \\ &= \frac{-2.9 \times 10^8 - 2.7 \times 10^8}{1 + \frac{2.9 \times 10^8}{3 \times 10^8} \frac{2.7 \times 10^8}{3 \times 10^8}} \text{ m/s} \\ &= -2.995 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$



因为 u_A' 为负，所以A电子相对B电子向右运动。



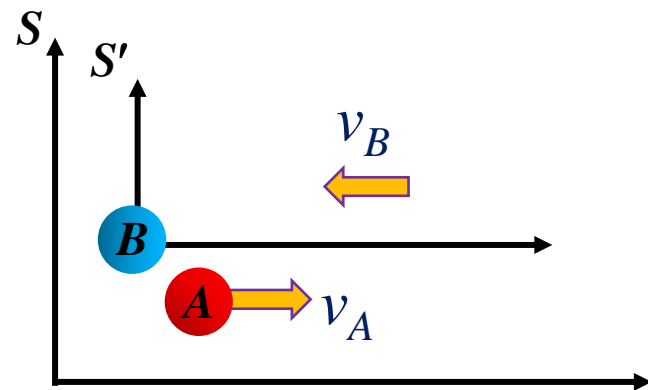
8. 在实验室中，若电子A以速度 $2.9 \times 10^8 \text{ m/s}$ 向右方向运动，电子B以速度 $2.7 \times 10^8 \text{ m/s}$ 向左方向运动，求：A电子对B电子的速度为多少？

解析：根据题意，如图所示：在S坐标系中A和B两电子的速度分别为： v_A 和 v_B ，令相对B静止的系统为S'系。

方法二：设向右的方向为坐标系的正方向，则S'系相对于S系的运动速度为 $-v_B$ ，即牵连速度 $v = -v_B$ ，而电子A相对于S系的速度为负，即 $u_A = v_A$

此时，由洛伦兹速度变换可得，A电子相对B电子的速度 u_A' ：

$$\begin{aligned} u_A' &= \frac{u_A - v}{1 - \frac{v}{c^2} u_A} = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_B}{c^2} v_A} \\ &= \frac{2.9 \times 10^8 + 2.7 \times 10^8}{1 + \frac{2.9 \times 10^8}{3 \times 10^8} \frac{2.7 \times 10^8}{3 \times 10^8}} \text{ m/s} \\ &= 2.995 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$



因为 u_A' 为正，所以A电子相对B电子向右运动。



9. 思考题：假设光子在某惯性系中的速度等于 c ，那么，是否存在这样一个惯性系，光子在这个惯性系中的速度不等于 c ？

解析：如图所示：假设一任意光子在 S 坐标系中的速度为 c 。则对于另外一任意惯性系 S' ，运动速度为： v 。

由洛伦兹变化：

$$\begin{aligned}u_x' &= \frac{u_x - v}{1 - \beta u_x / c} = \frac{c - v}{1 - \beta c / c} \\&= \frac{c - v}{1 - \frac{v}{c}} = c\end{aligned}$$

所以对任一运动速度为 v 惯性系而言，光子的运动速度都等于 c 。

