一　经典力学的相对性原理　经典力学的时空观

- 对于任何惯性参照系，牛顿力学的规律都具有相同的形式．
- 时间和空间的量度和参考系无关，长度和时间的测量是绝对的.

二　狭义相对论基本原理

- 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．
- 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.

三 洛伦兹坐标变换式

正变换

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \dfrac{v}{c^2}x\right) \end{cases}$$

逆变换

$$\begin{cases} x = \gamma(x' + vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma\left(t' + \dfrac{v}{c^2}x'\right) \end{cases}$$

$$\beta = v/c \qquad \gamma = 1\big/\sqrt{1-\beta^2}$$

$v << c$ 时，洛伦兹变换 $\Longrightarrow$ 伽利略变换。

四 狭义相对论时空观

◆ 同时的相对性

$$\begin{cases} 若\quad \Delta t' = 0 \quad \Delta x' \neq 0 \quad 则 \quad \Delta t \neq 0 \\ 若\quad \Delta t' = 0 \quad \Delta x' = 0 \quad 则 \quad \Delta t = 0 \end{cases}$$

此结果反之亦然．

◆ 时间延缓：运动的钟走得慢．

$$若\Delta x' = 0 \qquad \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-\beta^2}} > \Delta t'$$

固有时间

◆ 长度收缩：运动物体在运动方向上长度收缩．

$$l = l_0\sqrt{1-\beta^2} < l_0$$

固有长度

五 狭义相对论动力学的基础

- 质量与速度的关系

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

- 动力学的基本方程

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}\right)$$

- 质量与能量的关系

$$E = mc^2 = m_0c^2 + E_\mathrm{k}$$

- 动量与能量的关系

$$E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2$$

例 在惯性系 S 中,测得飞行火箭的长度是它静止长度的 $1/2$,则火箭相对于 S 系的飞行速度 v为（ ）

(1) c

★ (2) $(\sqrt{3}/2)c$

(3) $c/2$

(4) $2c$

例 从加速器中以速度 $v = 0.80c$ 飞出的离子, 在它的运动方向上又发射出光子，则这光子相对于加速器的速度为（ ）

★ (1) c

(2) $1.80c$

(3) $0.20c$

(4) $2.0c$

例 一宇航员要到离地球为5光年的星球去旅行.如果宇航员希望把这路程缩短为3光年，则他所乘的火箭相对于地球的速度应是:（　）

(1) $(1/2)c$　　(2) $(3/5)c$

★(3) $(4/5)c$　　(4) $(9/10)c$

例 在某地发生两件事，静止位于该地的甲测得时间间隔为 4s，若相对于甲作匀速直线运动的乙测得时间间隔为5s，则乙相对于甲的运动速度是（　）

(1) $(4/5)c$　　★(2) $(3/5)c$

(3) $(2/5)c$　　(4) $(1/5)c$

例　边长为 a 的正方形游泳池静止于 K 惯性系，当惯性系 K' 沿池一边以 $0.6c$ 速度相对 K 系运动时，在 K' 系中测得游泳池的面积为

（1）a^2　　（2）$0.6a^2$

（3）$0.8a^2$　　（4）$a^2/0.8$

例　α 粒子在加速器中被加速到动能为其静止能量的 4 倍时，其质量 m 与静止质量 m_0 的关系为

(1)　$m = 4m_0$　　(2)　$m = 5m_0$

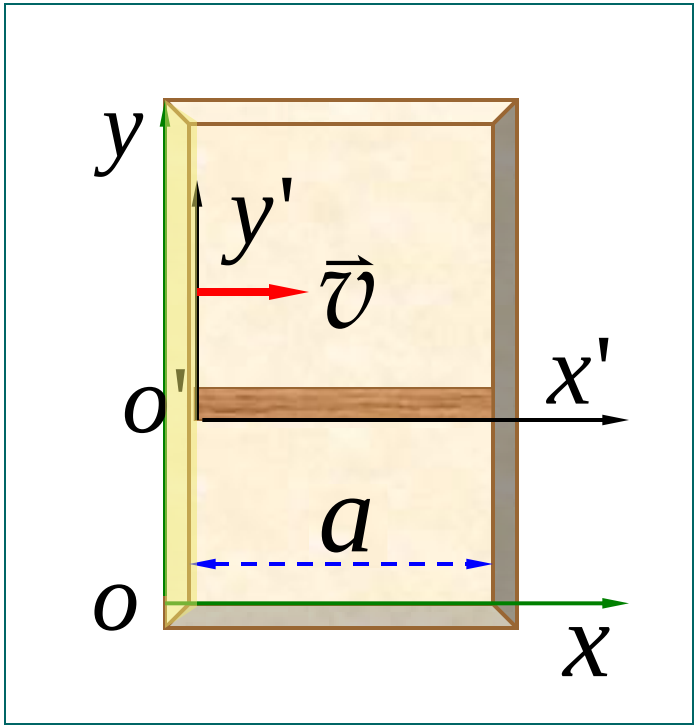
(3)　$m = 6m_0$　　(4)　$m = 8m_0$

例 某核电站年发电量为100亿度,它等于36×10^{15} J的能量，如果这是由核材料的全部静止能转化产生的,则需要消耗的核材料的质量为（ ）

★(1) 0.4kg (2) 0.8kg

(3) $(1/12)\times10^{7}$ kg (4) 12×10^{7} kg

例　一门宽为 a ，今有一固定长度为 l_0　$(l_0 > a)$ 的水平细杆，在门外贴近门的平面沿其长度方向匀速运动，若站在门外的观察者认为此杆的两端可同时被拉进此门，则该杆相对于门的运动速度 $\vec{v}$ 至少为大?



解： 门为 **S** 系，杆为 **S'** 系

$$l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = a$$

$$v = c\sqrt{1-\frac{a^2}{l_0^2}}$$

例 牛郎星距离地球约 16 光年，**问**宇宙飞船以多大的速度飞行，将以 4 年的时间（宇宙飞船上的锺）抵达牛郎星。

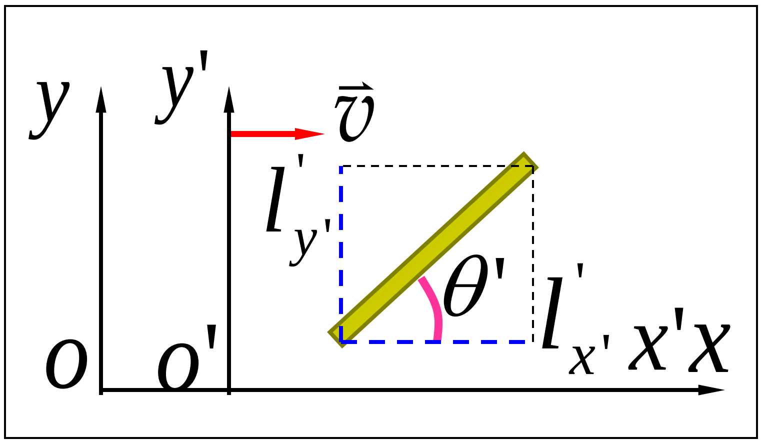
解 s' → 宇宙飞船参照系　　s → 地球参照系

$$\Delta x = l_0 = 16\text{光年} \qquad \Delta t' = 4\text{年}$$

$$\Delta x' = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = v\Delta t' \qquad 4v = 16c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

宇宙飞船速度 $v = \dfrac{4}{\sqrt{17}}c = 2.91\times10^8\,\mathrm{m/s}$

例　一长为 1 m 的棒静止地放在 $O'x'y'$ 平面内，在 S' 系的观察者测得此棒与 $O'x'$ 轴成 $45°$ 角，试问从 S 系的观察者来看，此棒的长度以及棒与 Ox 轴的夹角是多少？设想 S' 系相对 S 系的运动速度 $v=\sqrt{3}c/2$.



解：在 S' 系 $\theta' = 45°, l' = 1\text{m}$

$$l'_{x'} = l'_{y'} = \sqrt{2}/2\text{m}$$

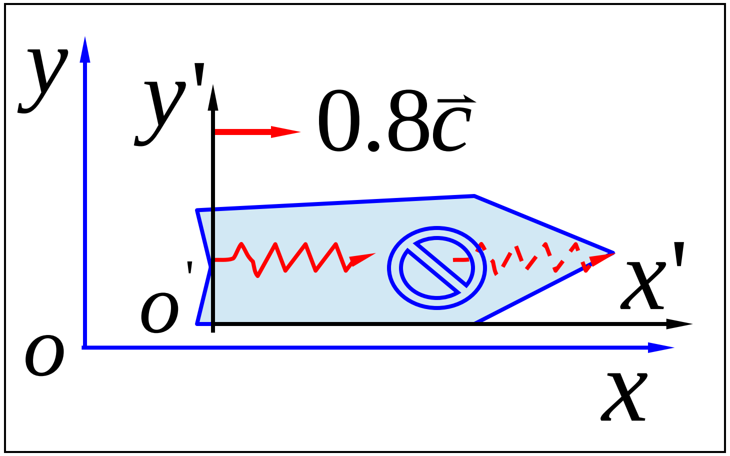
在 S 系 $l_y = l'_{y'} = \sqrt{2}/2\text{m}$

$$l_x = l'_{x'}\sqrt{1-v^2/c^2} = \sqrt{2}/4 \qquad v=\sqrt{3}c/2$$

$$l=\sqrt{l_x^2+l_y^2}=0.79\text{m} \qquad \theta=\arctan\frac{l_y}{l_x}\approx 63.43°$$

例： 一宇宙飞船相对地球以 $0.8c$ 的速度飞行，一光脉冲从船尾传到船头，飞船上的观察者测得飞船长 **90 m**，地球上的观察者测得光脉冲从船尾发出达到船头两事件的空间间隔为

（**A**）**90 m**，（**B**）**54 m**，（**C**）**270 m**，（**D**）**150 m**。



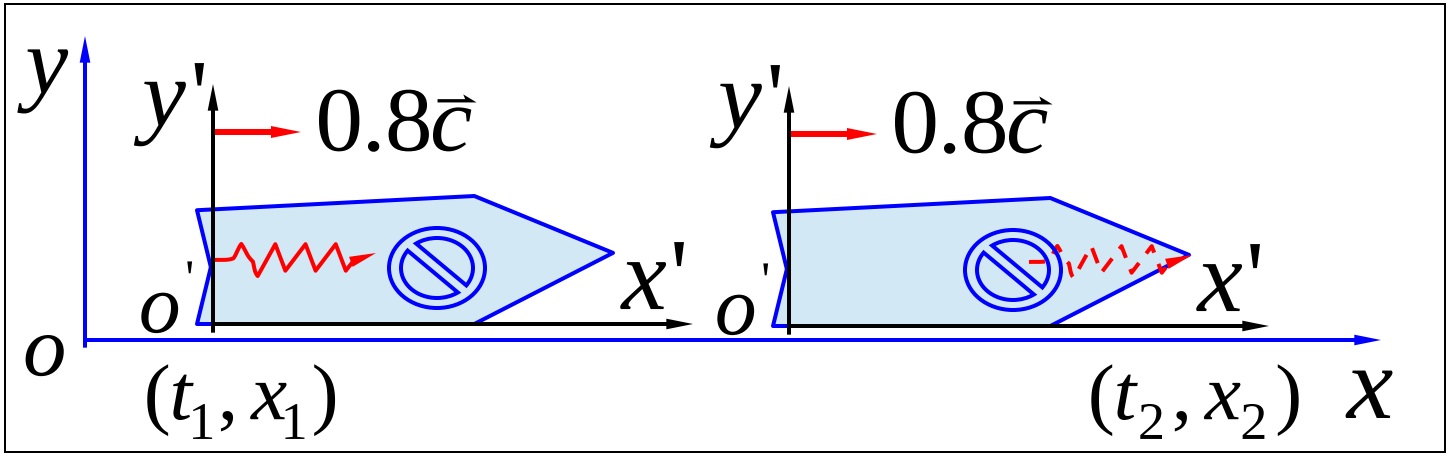
解 设地球为 **S** 系，飞船为 **S'** 系

$$v = 0.8c$$

$$\Delta x' = 90\text{m} \qquad \Delta t' = \frac{90\text{m}}{c}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + v\Delta t'}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{90 + 0.8\times 90}{\sqrt{1-0.8^2}}\text{m} = 270\text{m}$$

已知： $v = 0.8c \quad \Delta x' = l_0 = 90\mathrm{m}$



解法二：解 设地球为 **S** 系, 飞船为 **S'** 系

$$x_2 - x_1 = c(t_2 - t_1) = l + v(t_2 - t_1)$$

$$l = l_0\sqrt{1-\beta^2}$$

$$\Delta x = c\Delta t = c \cdot \frac{\Delta x'\sqrt{1-\beta^2}}{c - v} = \frac{\Delta x'\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta} = 270\mathrm{m}$$

例 在 S 惯性系中，相距 $\Delta x = 5\times10^{6}\,\mathrm{m}$ 的两个地方发生两事件，时间间隔 $\Delta t = 10^{-2}\,\mathrm{s}$；而在相对于 S 系沿 x 正方向运动的 S' 系中观察到这两事件是同时发生的，则在 S' 系中测量这两事件的地点间隔是多少？

解 $\Delta x = 5\times10^{6}\,\mathrm{m}$ $\quad \Delta t = 10^{-2}\,\mathrm{s}$ $\quad \Delta t' = 0$

$$t'_1 = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2}x_1}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad t'_2 = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2}x_2}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad \Delta t = \frac{v}{c^2}\Delta x$$

$$v = \frac{3}{5}c \qquad \Delta x' = \frac{\Delta x - v\Delta t}{\sqrt{1-\beta^2}} = 4\times10^{6}\,\mathrm{m}$$

例 一隧道长为 L_0，横截面高 h，宽 w，一列车固有长度为 l_0，当其以 v 的速度通过隧道时. **问:**（**1**）列车上观测者测得隧道尺寸有何变化？（**2**）在列车上测，其头部进入隧道到尾部离开隧道需要多少时间？（**3**）在地面上测呢？

解: (**1**) 以列车为参考系（S'系）隧道的高、宽均不变, 长度收缩.

$$L = L_0\sqrt{1-(v/c)^2}$$

(**2**) 以列车为参考系，隧道相对列车运动的距离为 $L+l_0$

$$\Delta t' = \frac{L+l_0}{v} = \frac{L_0\sqrt{1-(v/c)^2}+l_0}{v}$$

$$\Delta t' = \frac{L + l_0}{v} = \frac{L_0\sqrt{1-(v/c)^2} + l_0}{v}$$

(3) 以地面为参考系（S系），火车长度为

$$l = l_0\sqrt{1-(v/c)^2}$$

火车运动的距离为 $L_0 + l$

$$\Delta t = \frac{L_0 + l}{v} = \frac{L_0 + l_0\sqrt{1-(v/c)^2}}{v}$$

二者测得的时间是不一样的

例 若一电子的总能量为5.0MeV，求该电子的静能、动能、动量和速率.

解: 电子的静能为 $E_0 = m_0 c^2 = 0.512\text{MeV}$

电子的动能为 $E_k = E - E_0 = 4.488\text{MeV}$

由 $E^2 = E_0{}^2 + c^2 p^2$

得 $p = \dfrac{1}{c}(E^2 - E_0{}^2)^{1/2} = 2.66\times10^{-21}\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

由 $E = \dfrac{E_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ 得 $v = c\left(\dfrac{E^2 - E_0{}^2}{E^2}\right)^{1/2} = 0.995c$