大学物理 B(1)

期中考试

时间：下周六(4月22日) 上午9:50~11:50

伽利略变换与光速为常量的矛盾

牛顿理论与麦克斯韦电磁理论的矛盾

“以太”：光在以太中传播

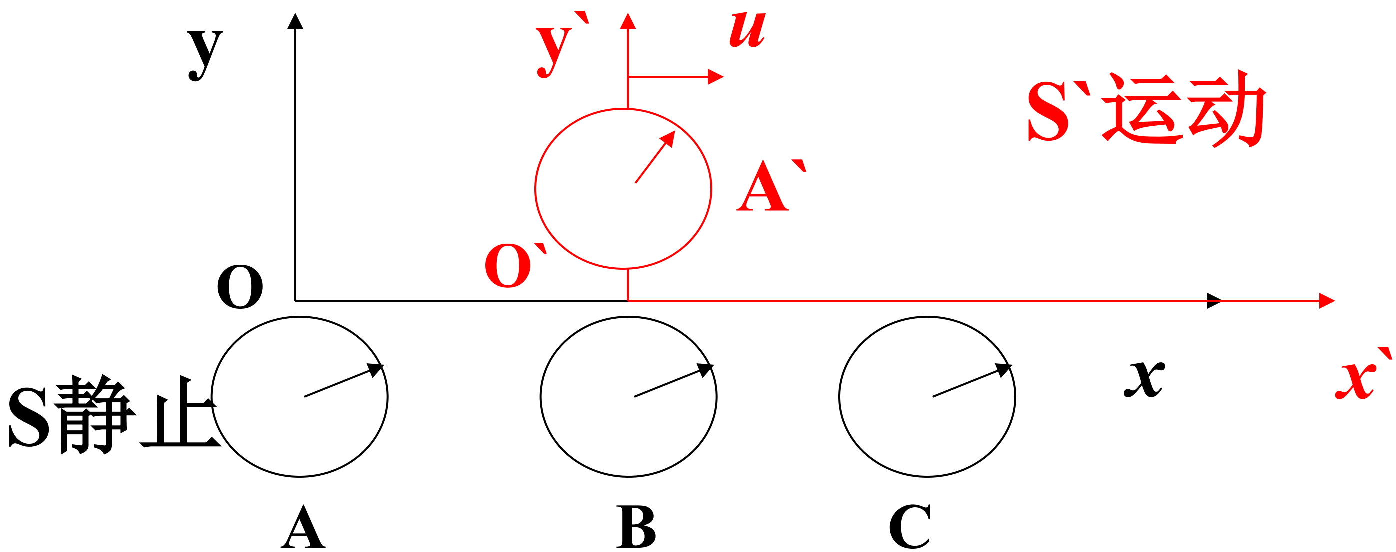
被实验否定

爱因斯坦：1. 光速不变原理

2. 相对性原理（一切物理规律在任何惯性系中形式相同，洛伦兹变换下数学形势不变）

同时性的相对性

原时最短(S`) = 时间膨胀(S) = 运动时钟变慢效应(S`)



O和O`点重合时，A和A`为零时

在静止的S系的观察者比较A`和S系的一系列同步钟

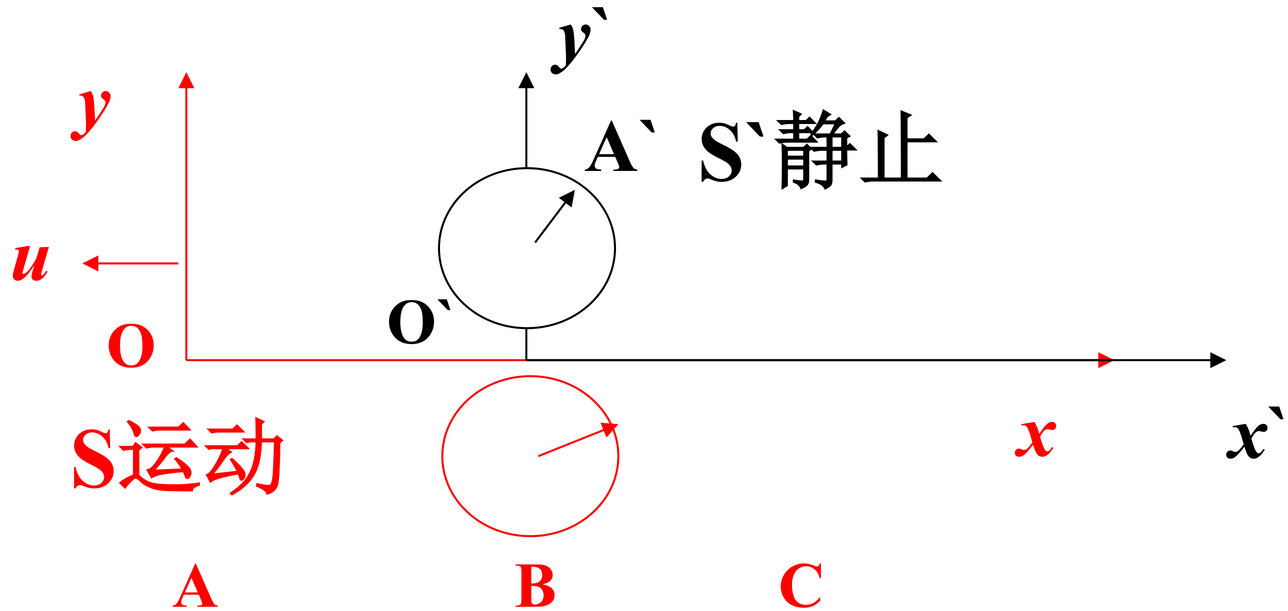
事件1：A`遇A　　事件2：A`遇B

在S`是原时，原时最短，A`钟慢

在S系观察， S`系运动，S`系运动时钟变慢

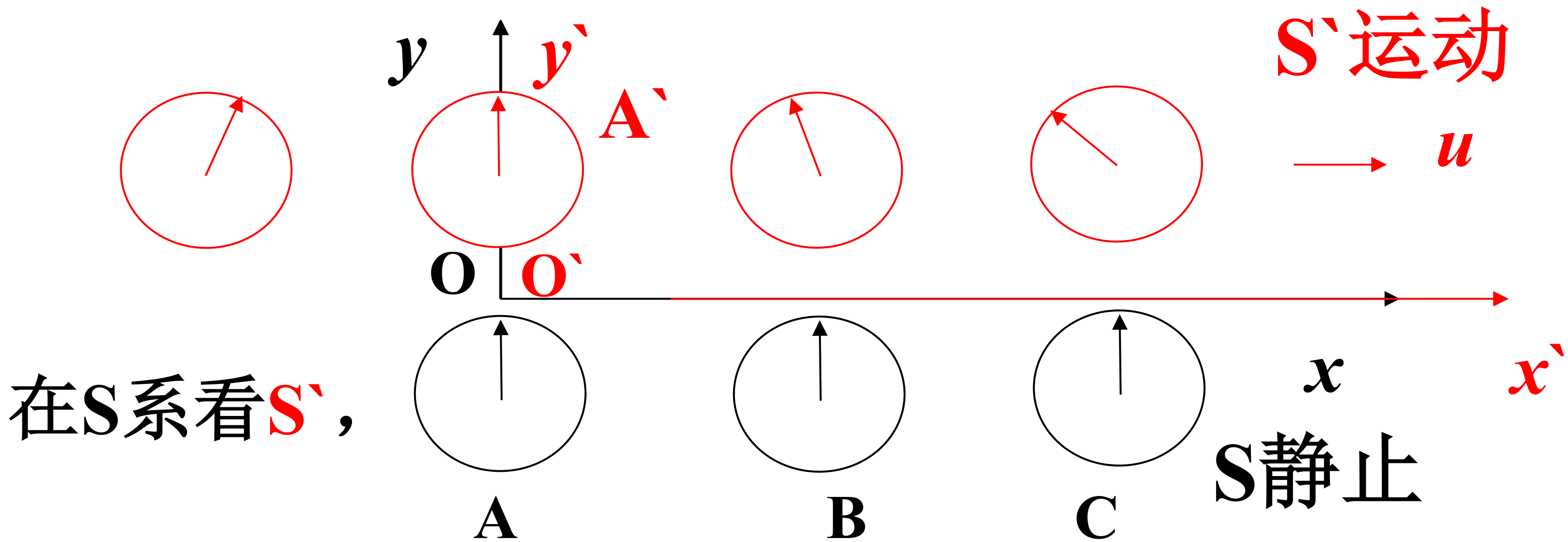
但运动是相对的，S`系的观察者应该发现S系运动，S系的钟变慢

有矛盾吗？



O和O`点重合时，A和A`为零时

O和O`点重合时，A和A`为零时

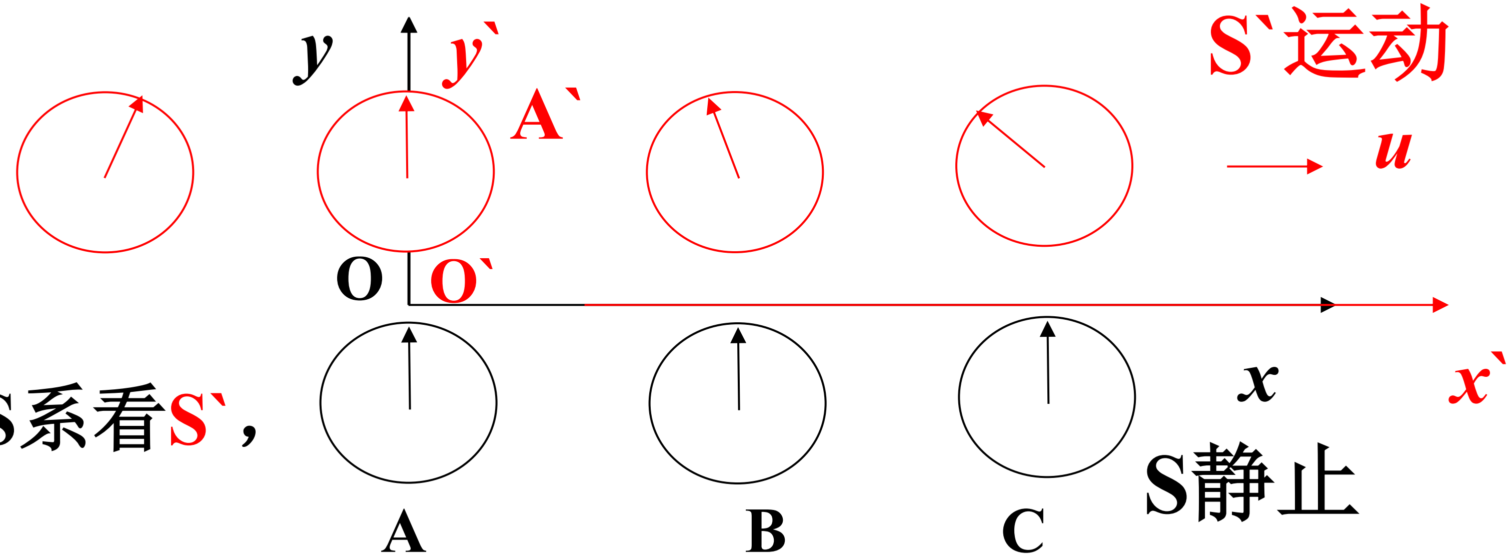


$$t' = \gamma\left(\underset{\searrow\, 0}{t} - \frac{\beta}{c}x\right) = -\frac{\beta}{c}x\gamma \neq 0$$

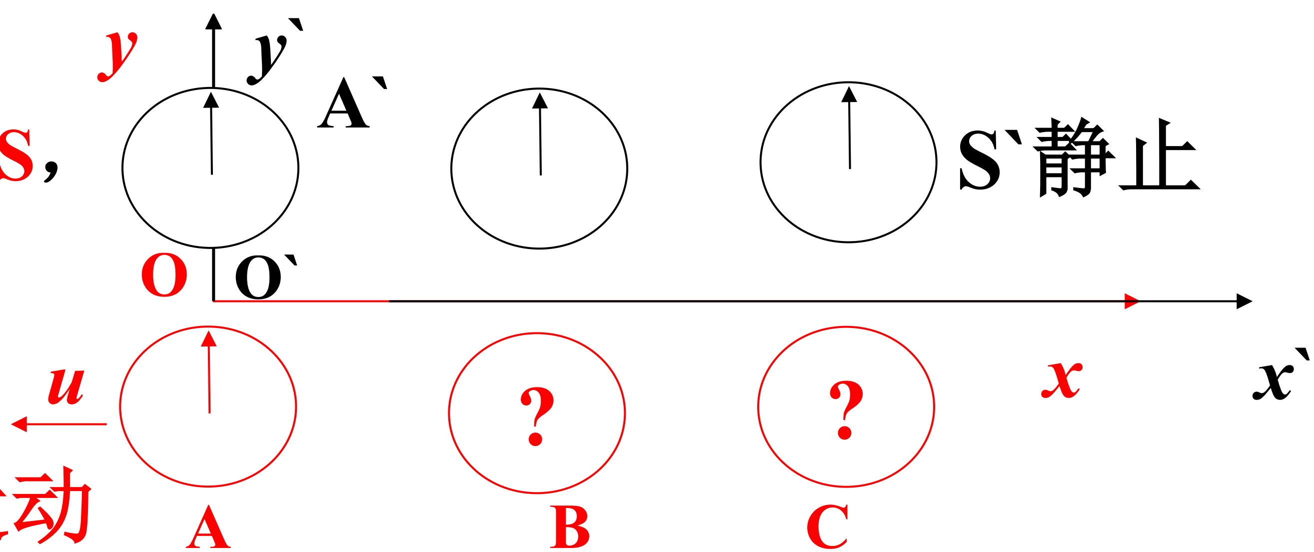
发现运动的S`系里的钟没有都对准在零！

O和O`点重合时，A和A`为零时

在S系看S`，



在S`系看S，

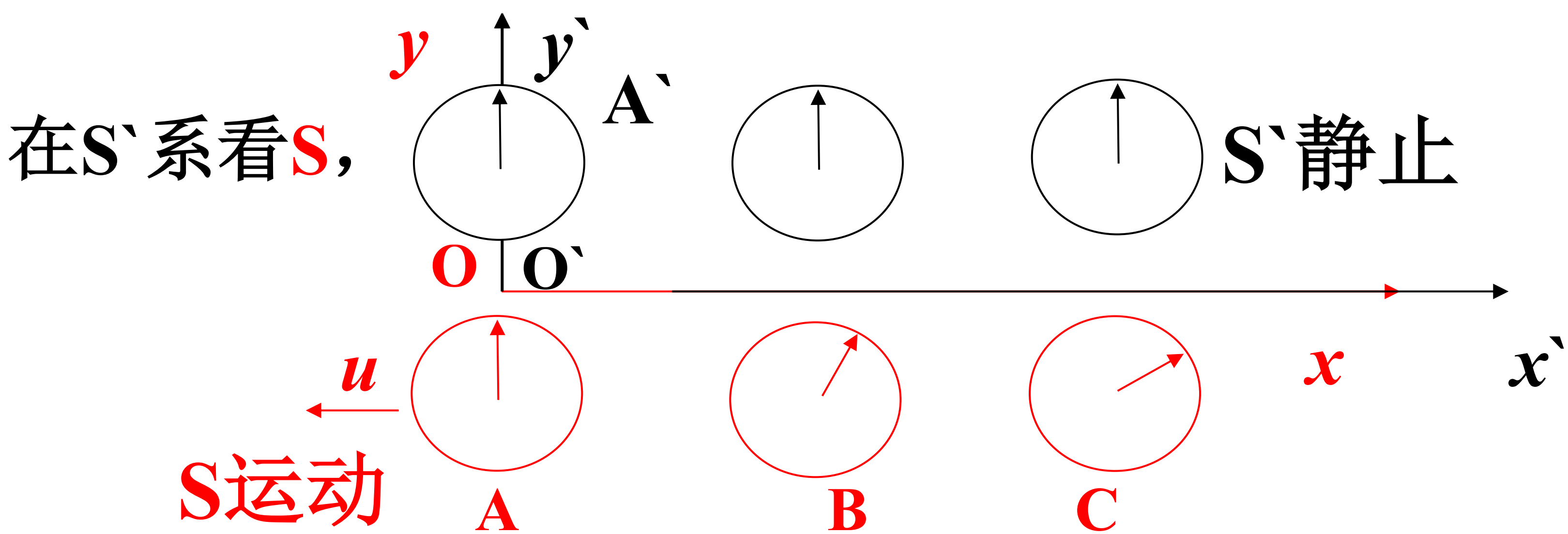


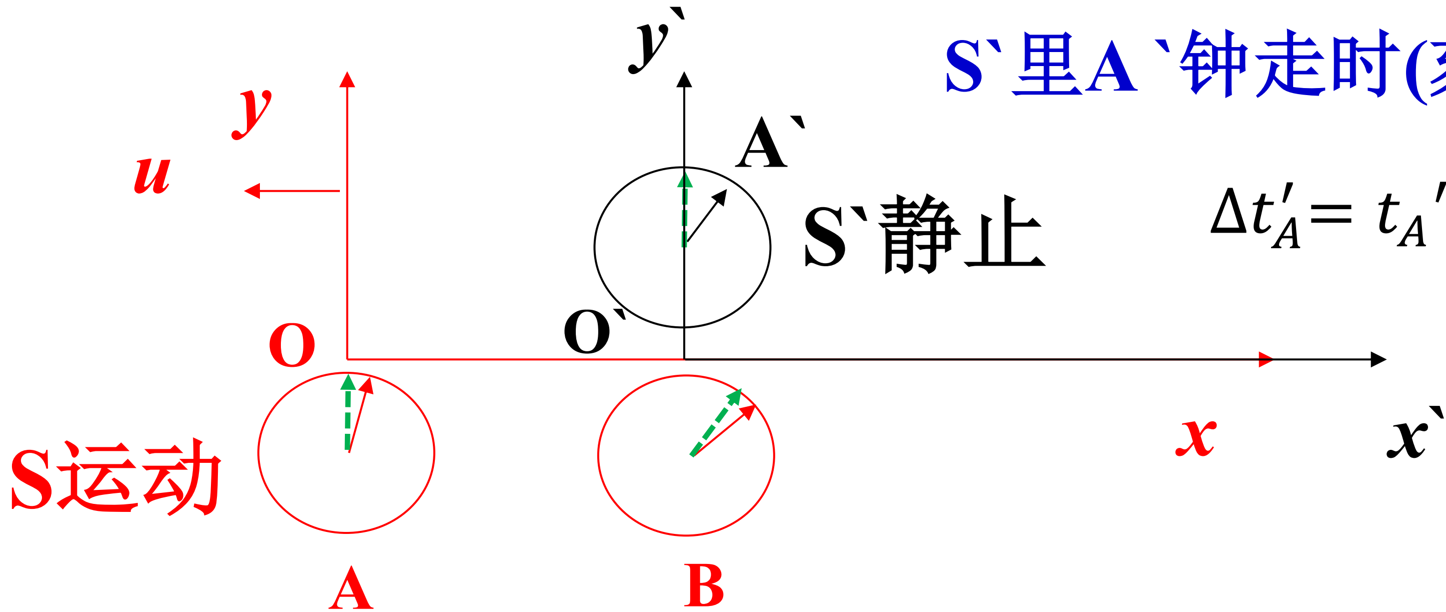
S运动

O和O`点重合时，A和A`为零时

$$t_B = \gamma\left(\underbrace{t'}_{0} + \frac{\beta}{c}x'\right) = \frac{\beta}{c}x'_B\gamma \neq 0$$

运动的S系里的钟没有都对准在零





S`里A`钟走时(刻度)

$$\Delta t_A' = t_A{}' = \frac{x_B{}'}{c\beta}$$

在S`系看S：

B钟刻度 $t_B = \gamma\left(t' + \frac{\beta}{c}x'\right) = \gamma t_A' > t_A'$

B钟走时 $\Delta t_B = \gamma\frac{x_B{}'}{c\beta} - \gamma\frac{\beta}{c}x_B{}' = \frac{x_B{}'}{c\beta\gamma} = \Delta t_A < \Delta t_A'$

$$\frac{\Delta t_B}{\Delta t_A{}'} = \frac{\Delta t_A}{\Delta t_A{}'} = \frac{1}{\gamma} = \sqrt{1-\beta^2} = \sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}} < 1$$

S`系的观察者发现运动的S系的钟慢　无矛盾

***与钟一起运动的观测者是感受不到钟变慢的。**

例：大气上层有大量μ子。 μ子不稳定，在相对其静止的参考系中平均飞行$2.2*10^{-6}$s就衰变为电子和中微子，这一事件为μ子的固有寿命。尽管μ子的速率高达0.998c，但是按其固有寿命算它从产生到衰变只能走过平均650m的路程。一般μ子在高空离地面8000m左右，为什么在地面可以检测μ子？

例：大气上层有大量μ子。μ子不稳定，在相对其静止的参考系中平均飞行2.2*10^{-6}s就衰变为电子和中微子，这一事件为μ子的固有寿命。尽管μ子的速率高达0.998c，但是按其固有寿命算它从产生到衰变只能走过平均650m的路程。一般μ子在高空离地面8000m左右，为什么在地面可以检测μ子？

解：地面观测μ子的寿命

$$t=\frac{\tau}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}=\frac{2.2\times10^{-6}s}{\sqrt{1-0.998^2}}=3.4\times10^{-5}s$$

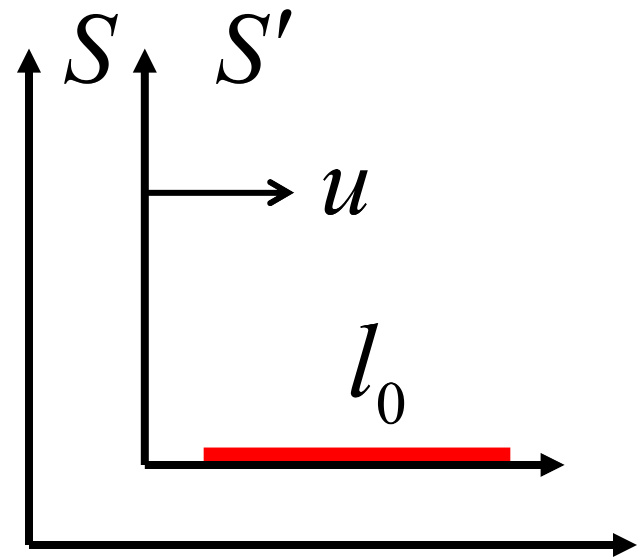
为固有寿命的16倍，μ子衰变前平均走的路程：

$$\Delta l=0.998c\times3.4\times10^{-5}s\approx10000m$$

二. 长度收缩

length contraction

1. 原长



尺静止时测得的长度，

也称静长

尺静止在 S' 系中 l_0 静长

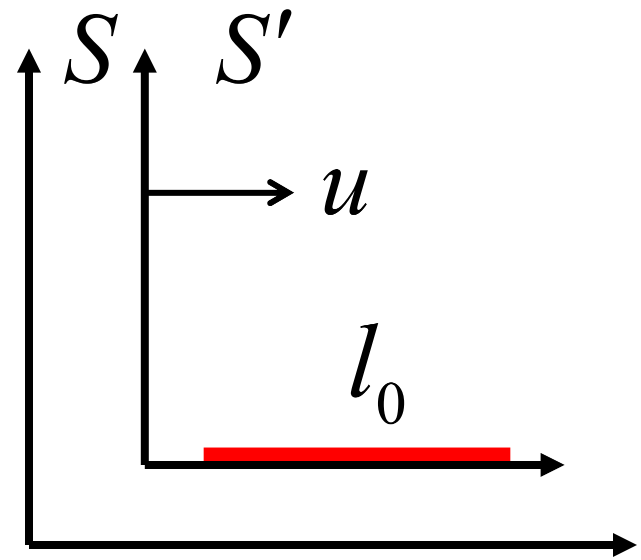
无需同时测量两端的坐标

2. 运动长度

S系怎么测？

尺以极高的速度相对S系运动

S系测得尺的长度值是什么呢？



同时测两端

同时测的条件

相应的时空坐标

	S	S'
事件1：测棒的左端	x_1, t_1	x_1', t_1'
事件2：测棒的右端	x_2, t_2	x_2', t_2'
	$\boxed{(t_2 = t_1)}$	

3. 原长最长

	S	S'
事件1：测尺的左端	x_1, t_1	x_1', t_1'
事件2：测尺的右端	x_2, t_2	x_2', t_2'
	$l = x_2 - x_1$	$l_0 = x_2' - x_1'$

同时测 $\Delta t = 0$

由洛仑兹变换

$$\Delta x' = \gamma(\Delta x - u\Delta t) \longrightarrow \boxed{l = l_0/\gamma}$$

同时测两端得到的长度(测长)<原长

$$\Delta t' = \gamma\left(\Delta t - \frac{\beta}{c}\Delta x\right) \neq 0$$

同时性的相对性

$$l = l_0/\gamma = l_0\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$$ 运动长度缩短

同时发生的任意两个事件的空间间隔，在它们同时发生的惯性系中最短

① 相对效应，观测效应（与热胀冷缩不同）

② 纵向效应

③ 在低速下 $\Rightarrow$ 伽利略变换

④ 同时性的相对性的直接结果

单选题 1分

设置

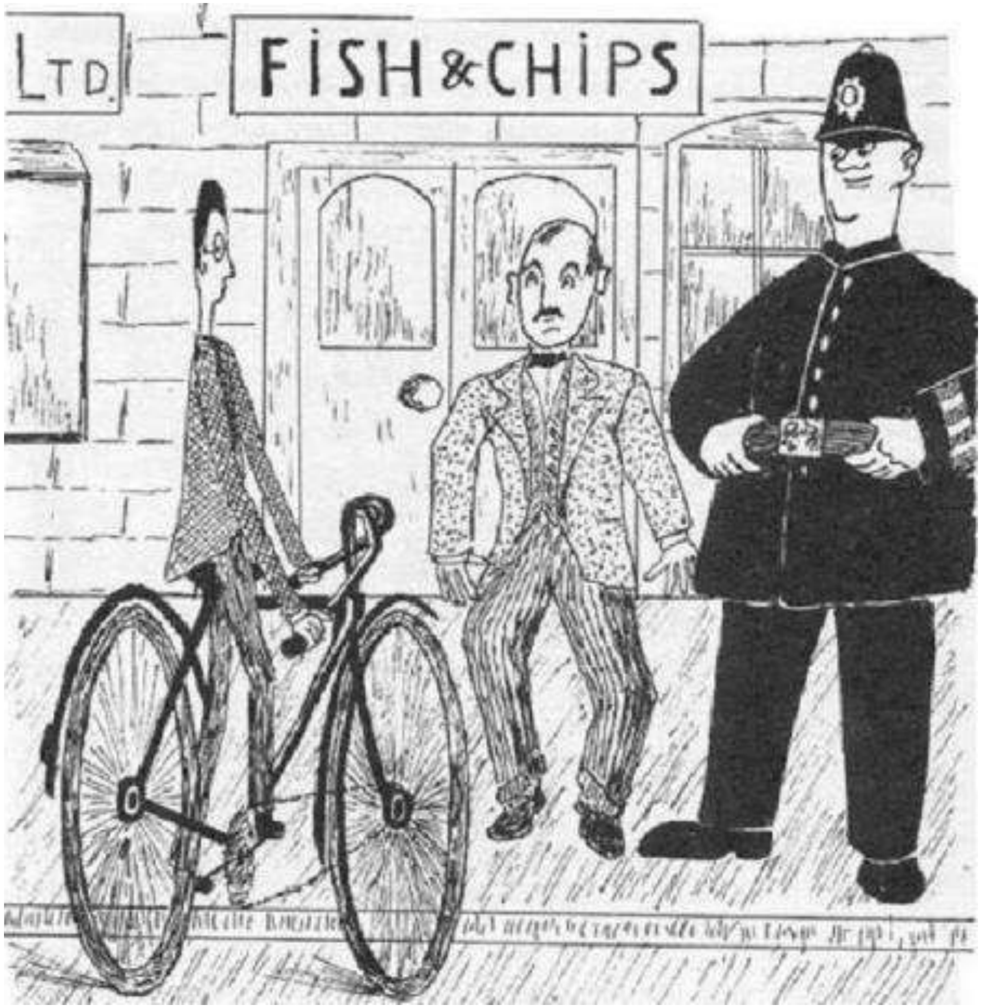
眼睛看到高速运动的圆球

A 变成椭球，运动方向被压扁

B 不变

C 变成椭球，运动方向被拉长

提交



单选题 1分

设置

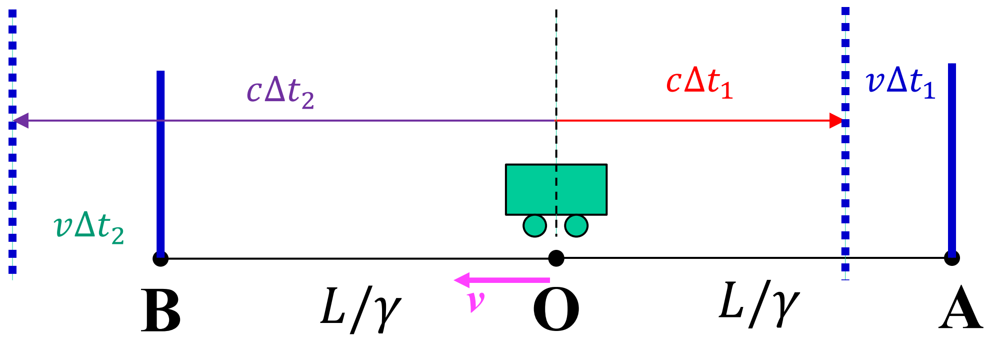
火车以匀速v运动，假设地面和火车两个惯性系在t=0时原点重合，且原点处发出闪光。地面上距离原点两侧L处都设有反光镜，所以在地面原点处观察到两束反射光同时到达。火车原点处观察到

A 从前方反射的光提前$\frac{2L}{c}\frac{2v/c}{1-v^2/c^2}$到达

B 从前方反射的光提前$\frac{2L}{c}\frac{2v/c}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$到达

C 两束反射光同时到达

提交



$$c\Delta t_2 = \frac{L}{\gamma} + v\Delta t_2 \qquad c\Delta t_1 = \frac{L}{\gamma} - v\Delta t_1$$

$$\Delta t_B = 2\Delta t_2 = \frac{2L}{(c-v)\gamma} \qquad \Delta t_A = 2\Delta t_1 = \frac{2L}{(c+v)\gamma}$$

$$\Delta t_B - \Delta t_A = \frac{2L}{\gamma}\left(\frac{1}{c-v} - \frac{1}{c+v}\right) = \frac{2L}{c}\frac{2v}{c}\gamma$$

单选题 1分

设置

一列车静长L=20m，隧道静长l=10m，车速为$\sqrt{3}c/2$。在地面观测，车头刚驶出隧道出口时，一闪电此时击中隧道入口外侧，闪电能打到车尾吗？在列车上观察又如何？

A 地面看能打中，列车看打不中

B 地面和列车看都能打中

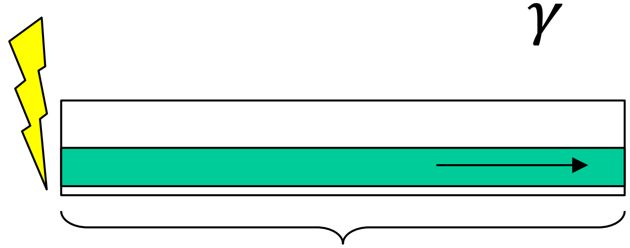
C 地面看打不中，列车看能打中

D 地面和列车看都打不中

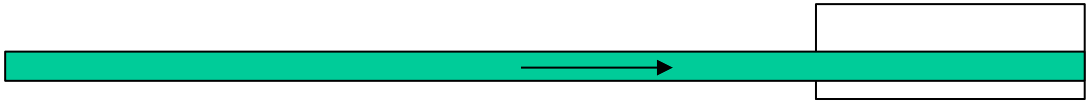
提交

$$\beta = \frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = 2$$

在地面参考系S看：列车长 $\frac{L}{\gamma} = l = 10\text{m}$



在火车参考系S’看：隧道长 $\frac{l}{\gamma} = \frac{L}{4} = 5\text{m}$



车头到达隧道出口事件：**P1**

闪电打向(车尾到达)隧道入口外侧事件：**P2**

地面参考系S: **P1**(x_1, t_1) **P2**$(x_1 - l\ , t_1)$

火车参考系S’: **P1**(x_1', t_1') **P2**$(x_1' - L, t_2')$

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma\left(\Delta t - \frac{\beta}{c}\Delta x\right) = \gamma\frac{\beta}{c}l = \sqrt{3}\,\frac{l}{c}$$

车头到达隧道出口事件：**P1**

闪电打向(车尾到达)隧道入口外侧事件：**P2**

地面参考系S: **P1**(x_1, t_1) **P2**$(x_1 - l\ , t_1)$

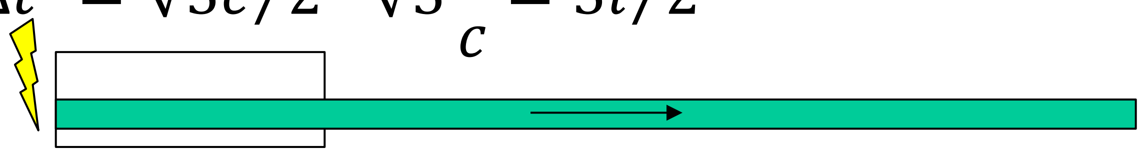
火车参考系S': **P1**(x_1', t_1') **P2**$(x_1' - L, t_2')$

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma \left(\Delta t - \frac{\beta}{c} \Delta x \right) = \gamma \frac{\beta}{c} l = \sqrt{3} \frac{l}{c}$$

车头到达隧道出口之后$\sqrt{3}\frac{l}{c}$，闪电才下来

这段时间火车继续前行：

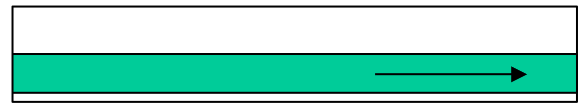
$$v\Delta t' = \sqrt{3}c/2 \cdot \sqrt{3}\frac{l}{c} = 3l/2$$

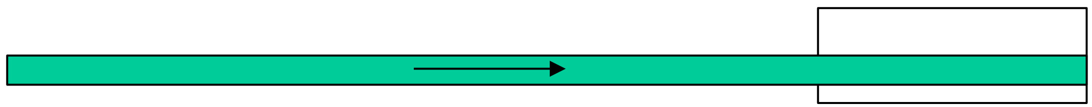


单选题 1分　　设置

假如上题中隧道出口大门是封闭的，地面看到火车车尾进入隧道入口就关闭入口大门。地面上看火车能否在某一时刻被完全包进隧道中？

火车上看呢？





A　地面上看能，火车上看不能

B　地面上看不能，火车上看能

C　都不能

D　都能

提交

单选题 1分

设置

墙上有一条缝，缝宽为L。有一根静止长度也是L的杆沿着红色箭头方向运动，其中沿着墙的速度分量为u（u很大），垂直墙的速度分量为v。分别在地面和杆的参考系看，杆能否穿过缝隙？为什么？

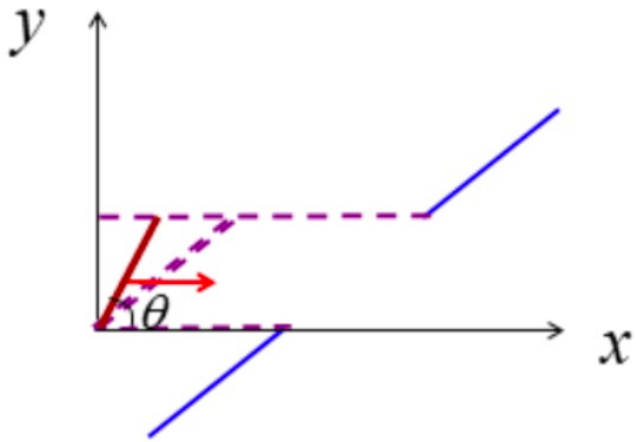
A 地面系看能穿过，杆参考系看穿不过

B 杆参考系能穿过，地面参考系穿不过

C 都能穿过

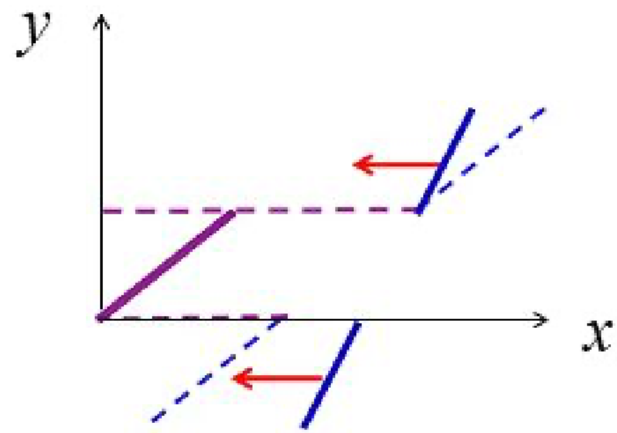
D 都不能穿过

提交



$$\tan\theta = \gamma \frac{v}{u}$$

地面参考系

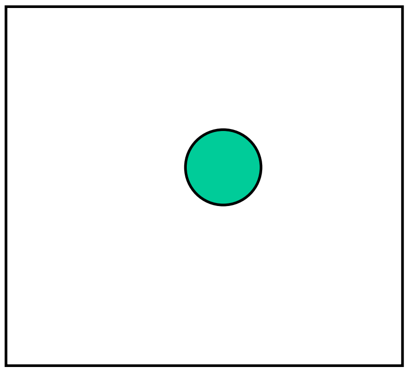


$$\tan\theta = \gamma \frac{v}{u}$$

杆参考系

引力效应

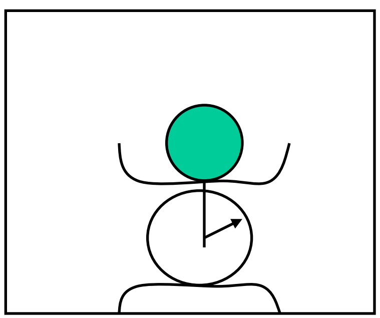
Gravity and the principle of equivalence



g

地面上自由下落

物体失重，如同无引力



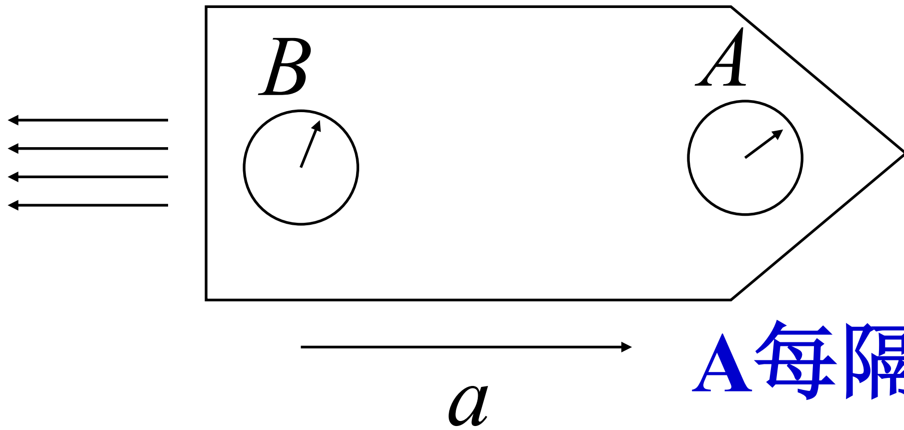
g 无引力太空中飞船加速运动

物体重量：mg

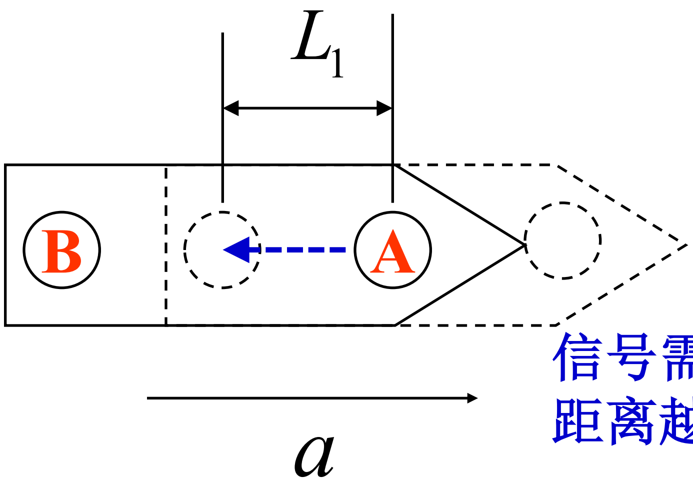
等效原理：引力和加速效果等价

（严格的讲应在一点，否则引潮力有影响）

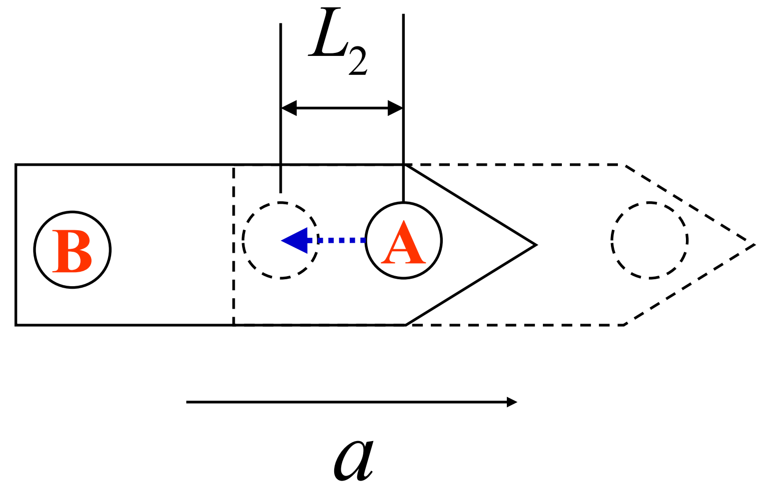
The speed of clocks in a gravitational field



A每隔1秒发一个信号



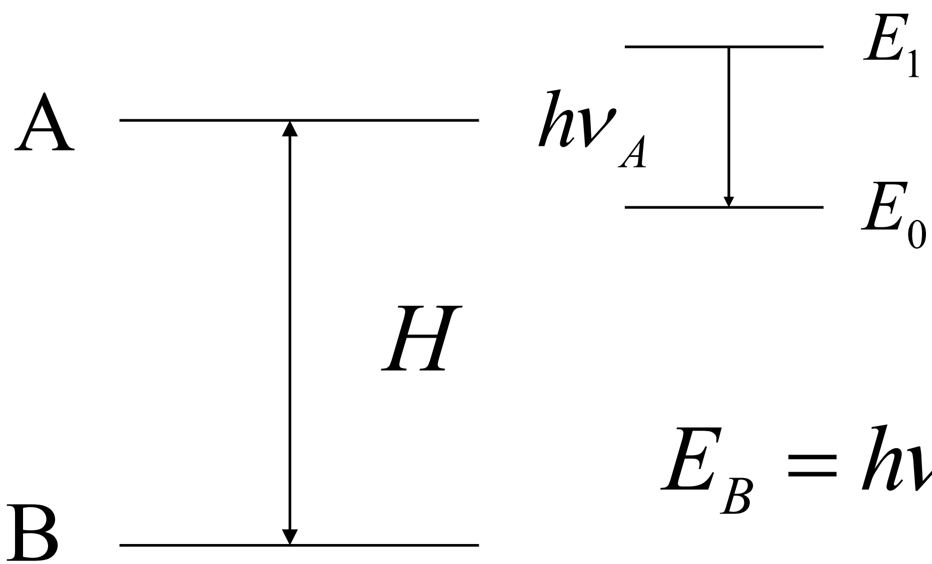
信号需要走的
距离越来越短



A钟比B钟走的快　　引力导致时间变慢

根据等效原理，地面高处钟比低处的快

引力使时间变慢



$$E = h\nu = mc^2$$

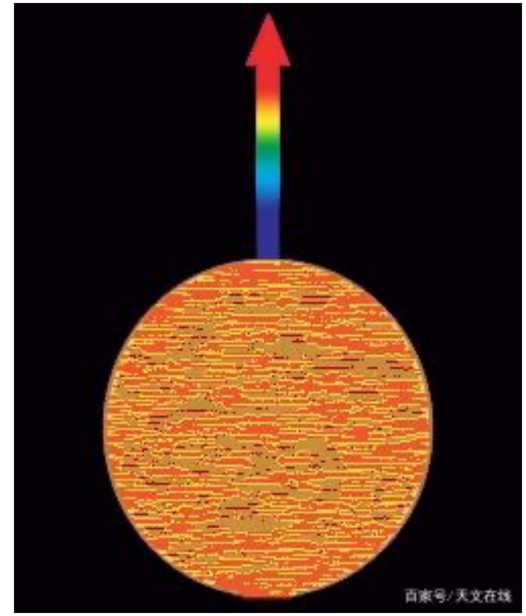
$$E_B = h\nu_A + \frac{h\nu_A}{c^2} gH = h\nu_B$$

光子 $$\nu_B = \nu_A (1 + \frac{gH}{c^2})$$

光周期与当地钟有关 $$\Delta t_B = \Delta t_A (1 - \frac{gH}{c^2})$$

1916年爱因斯坦提出

引力红移（Gravitational redshift）：光波或者其他波动从重力场源（如巨大星体或黑洞）远离时，整体频谱会往红色端方向偏移

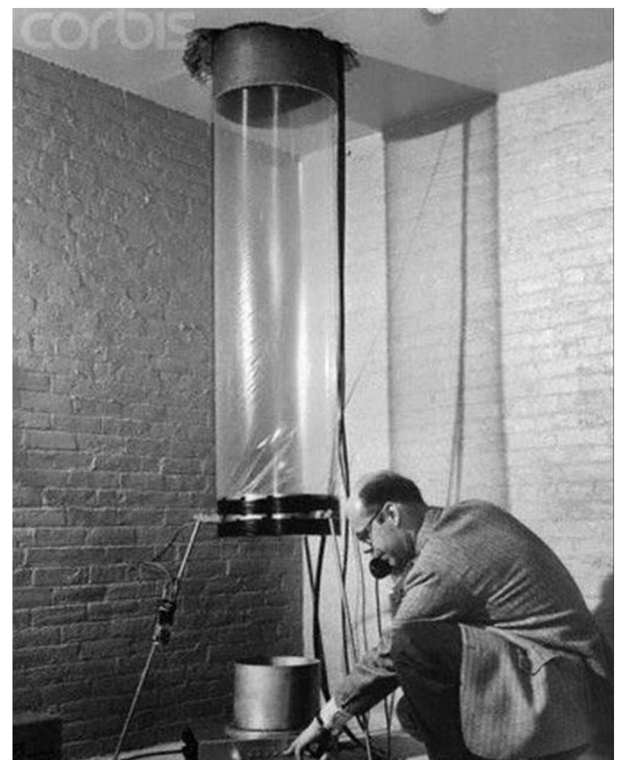


1959年哈佛大学实验证实

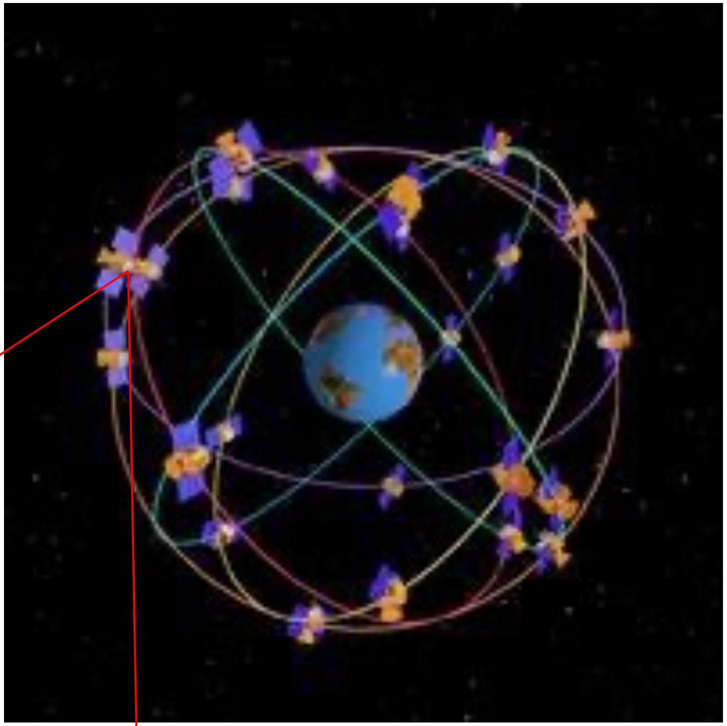
楼底频率高，楼上频率低

光往下发射会发生蓝移

光往上发射会发生红移



相对论时间延迟是不是与实际应用很远？



GPS或者北斗定位系统

位置由距离测算

距离 = 光速 × 时间

动钟变慢 $\Delta t = \gamma\tau$

引力使时间变慢

$$\Delta t / \sqrt{1-\frac{2GM}{Rc^2}} = \tau / \sqrt{1-\frac{2GM}{rc^2}}$$

一天差几十微秒，一天岔出去十公里

单选题 1分

设置

一对孪生兄弟中的A以0.8c的速度坐飞船去8光年远的星球，然后返回，另一兄弟B留在地球，则

A A比B年轻，年轻多少无法用狭义相对论计算

B B比A年轻，年轻多少无法用狭义相对论计算

C A比B年轻，可以利用狭义相对论计算年轻了多少

D B比A年轻，可以利用狭义相对论计算年轻了多少

E A和B都相对于对方运动，效果对称，所以其实年龄一样

提交

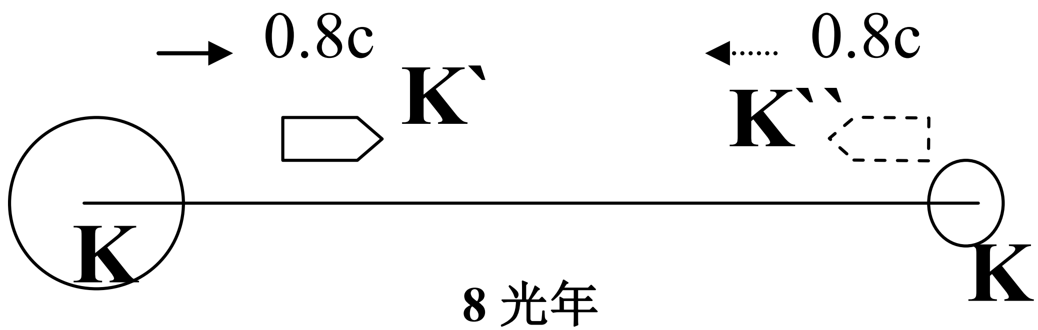
双生子佯谬（twin paradox）

三个参照系，地球-天体K，去时飞船K`，回时飞船K``
地球和天体的K钟是对准的。起飞时，地球和飞船的钟指示 $t = t` = 0$，求：飞船起飞，到达天体，返回地球，对应于宇航员所在参考系，三时刻所有钟的读数。

解：$v = 0.8c$，
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} = \frac{5}{3}$$

K系 天体距地球 $8c$年，10年飞到

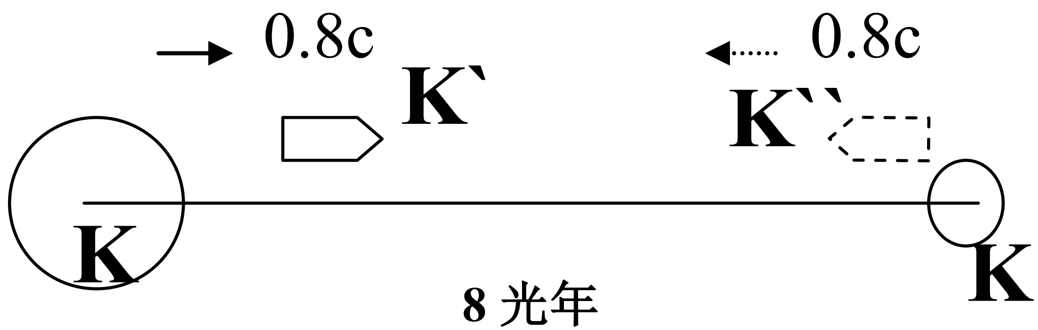
K`系 天体距地球 $x/\gamma = 4.8c$年，6年飞到



起飞时K系看，地球、飞船、天体处的钟都是0

起飞时：跳上 K`系，地球：$t=0$，飞船：$t`=0$，$x`=4.8c$，

天体钟快进： $t=\gamma(t'+x'\beta/c)=5/3(0+4.8\cdot 0.8)=6.4$ **年**



起飞时K系看，地球、飞船、天体处的钟都是0

起飞时：跳上 K`系，地球：*t* = 0，飞船：*t*` = 0，*x*`=4.8*c*，

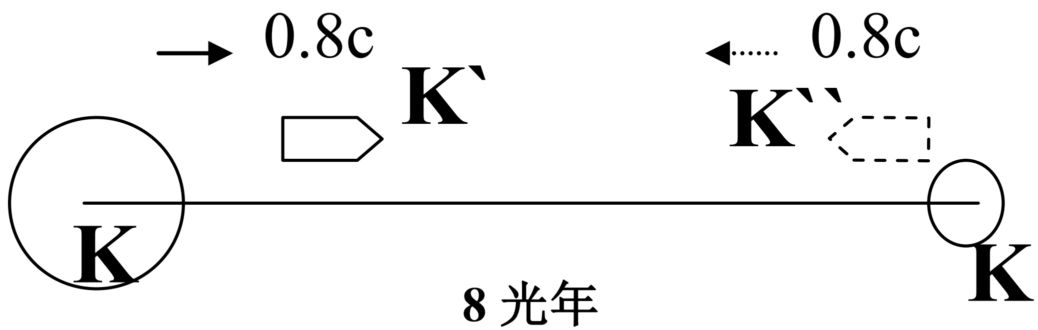
天体钟快进：$t=\gamma(t'+x'\beta/c)=5/3(0+4.8\cdot0.8)=6.4$ **年**

到达天体时在**K**`系看，飞船：***t***`**= 4.8c/0.8c = 6**年，

地球**K**系相对飞船在运动，时钟变慢 ***t* = *t*`/*γ*=**3.6年

天体也在**K**系：***t* = 6.4+3.6 = 10**年

从飞船跳到天体的时刻：**地球钟从3.6年快进到10年**



返回时跳上K``系：飞船 $t$``= 6年，天体 t = 10年，

地球 t 比当地时间超前6.4年，t = 10+6.4 = 16.4年

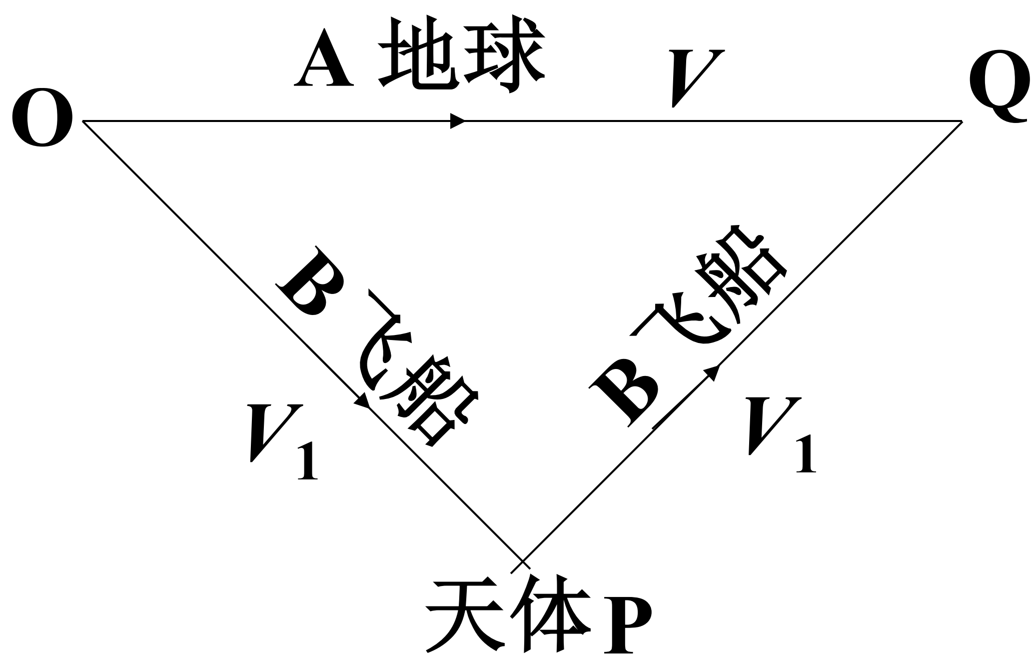
$$\Delta t=\gamma\left(\Delta t''+\frac{\beta}{c}\Delta x''\right)=6.4\text{年}$$

在K``系看，6年后到达地球：飞船 $t$``= 6+6 = 12年，

天体和地球时间又增长3.6年，

天体 t = 13.6年，地球 t = 20年。

宇航员年轻 8 年



在A参考系
B离开又回

A经历时间 $\tau_A = \dfrac{\overline{OQ}}{V\gamma}$

B经历时间 $\tau_B = \dfrac{\overline{OP}+\overline{PQ}}{V_1\gamma_1}$

$$\frac{\tau_A}{\tau_B} = \frac{\dfrac{\overline{OQ}}{V\gamma}}{\dfrac{\overline{OP}+\overline{PQ}}{V_1\gamma_1}} = \frac{\gamma_1}{\gamma} > 1$$

$(V_1 > V, \gamma_1 > \gamma)$