



## 狭义相对论综合练习题

1. 关于经典力学和相对论，下列说法正确的是：

解析：经典力学和狭义相对论并不是互不相容的，只是适用的条件不一样。根据相对论可知，当物体以接近光速运动时，就要考虑相对论；然而当物体以低速运动时，则可回到经典力学的情况。因此经典力学也包含于相对论中，并且是当速度远远小于光速时的特例。故**选D**

2. 以下效应不属于狭义相对论的是：

解析：时间延缓、长度收缩、质量变大都属于狭义相对论；然而时空弯曲却属于广义相对论的范畴。

故**选D**



3. 武汉长江大桥全长1250m，在1000m高空有一架与大桥平行匀速飞行的客机，  
客机上的乘客小明看到的大桥长度是：

解析：如图所示，因为长江大桥相对地球静止，在地球上（S系）观测到的大桥  
长度为固有长度： $l_0=1250\text{m}$ ，物体的固有长度最长；

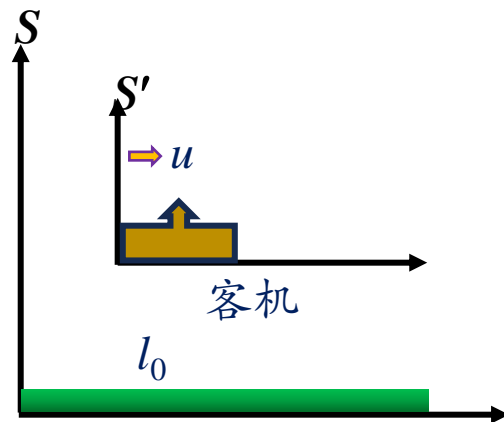
因此，在客机上的观测到的长度为大桥的运动长度（动尺变短）为：

$$l' = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

可得：

$$l' = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} < l_0$$

**故选B**





4. 两个惯性系 $S$ 和 $S'$ ，沿 $x(x')$ 轴方向作匀速相对运动，相对速度为 $u$ 。设在 $S'$ 系中某点先后发生两个事件，用静止于该系的钟测出两事件的时间间隔为 $\tau_0$ ，而用固定在 $S$ 系的钟测出这两个事件的时间间隔为 $\tau$ 。又在 $S'$ 系 $x'$ 轴上放置一静止于该系且长度为 $l_0$ 的细杆，从 $S$ 系测得此杆的长度为 $l$ ，则：

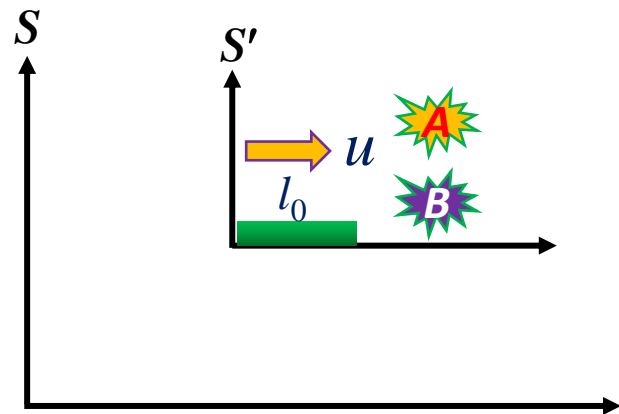
解析：如图所示，因为两事件是在 $S'$ 系中某点位置处发生的，因此两事件所在地相对 $S'$ 系静止，即在 $S'$ 系中观测到的两个事件的时间间隔为固有时间： $\tau_0$ 。因为固有时间最短，所以在 $S$ 系中观测到的时间间隔 $\tau$ 应该大于 $\tau_0$ ，即：

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (u/c)^2}} > \tau_0$$

又因细杆相对于 $S'$ 系静止，所以在 $S'$ 系中测出的细杆长度为固有长度为： $l_0$ （固有长度最长），则在 $S$ 系中测得的长度为运动长度（小于固有长度）：

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2} < l_0$$

故选D





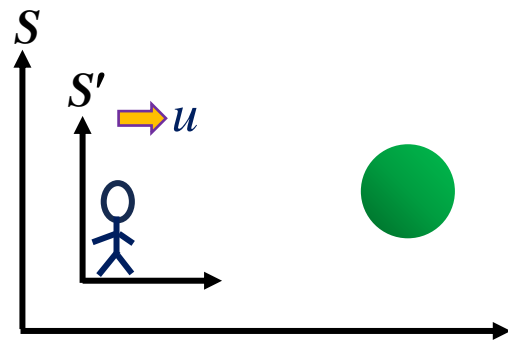
5. 如果你以接近于光速的速度朝一行星飞行，你是否可以根据下述变化发觉自己是在运动：

解析：如图所示，当你自己在 $S'$ 系中时，自己相对于 $S'$ 系一直是静止的，在 $S'$ 系观测到的自己的质量为静止质量，无法判断运动情况；在 $S'$ 系中观测自己的时间是固有时间 $\tau_0$ ，也无法判断运动情况；同样在 $S'$ 系中观测自己的身高，假设身高方向平行于运动方向，则其身高属于固有长度 $l_0$ ，也无法判断运动情况。

由于自身永远相对自身参考系是静止的，所以在自身所在 $S'$ 系中，自己观测到的自身的质量、时间和身高都是与自己运动速度无关的常量，没有相对论效应，即无法通过观测它们的变化情况来判断自己的运动情况。

即你自己永远不能由自身的变化知道你自己的速度。

**故选E**





6. 一根10m长的梭镖以相对论速度穿过一根10m长的管子，它们的长度都是在静止状态下测量的。以下哪种叙述最好地描述了梭镖穿过管子的情况？

解析：如图所示，梭镖和管子的固有长度都为10m。

根据相对论效应可知，动尺会变短（ $l = l_0 \sqrt{1 - (u/c)^2} < l_0$ ）。因此对于选定的不同参考系，当梭镖和管子相对的参考系具有不同的运动速度时，它们在参考系中观测到的长度也会不同。

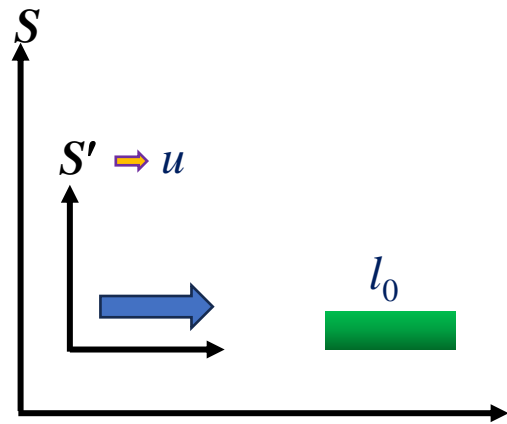
当参考系相对管子静止，相对梭镖运动时，管子长度为固有长度最长，梭镖是运动的，梭镖收缩变短，因此管子能完全遮住它；

当参考系相对梭镖静止，相对管子运动时，梭镖长度为固有长度最长，管子运动的，管子收缩变短，因此梭镖从管子两端伸出来；

当梭镖和管子相对参考系具有相同大小的运动速度时（运动方向可以相反），梭镖和管子在该参考系中同时收缩并收缩量相等，因此管子恰好能遮住梭镖；

即以上这些情况都与观测者的运动情况（参考系的选择）有关。

故选D





7. 质子在加速器中被加速，当其动能为静止能量的4倍时，其质量为静止质量的：

解析：相对论中，质子的静止能量为： $E_0 = m_0 c^2$

其动能为：

$$E_k = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right) = 4m_0 c^2$$

即： $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{1}{5}$

则： $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 5m_0$

故选B



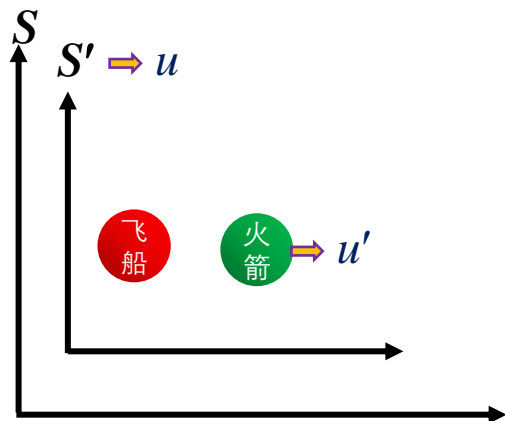
8. 飞船以 $c/2$ 的速度从地球发射，在飞行中飞船又以相对于自己为 $2c/3$ 的速度向前发射一枚火箭，地球上的观察者测得火箭的速度为：

解析：如图所示，以地球为 $S$ 系，以飞船为 $S'$ 系，并且在 $S'$ 系中观测到的火箭运动速度为 $u'=2c/3$ 。

由题意可知，已知牵连速度 $v$ 和物体在 $S'$ 系中的速度 $u'$ ，求物体在 $S$ 系中的速度 $u$ ，应该用洛伦兹变换的逆变换公式：

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{v}{c^2} u'} = \frac{\frac{2}{3}c + \frac{1}{2}c}{1 + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3}} = \frac{\frac{7}{6}c}{1 + \frac{1}{3}} = \frac{7}{8}c$$

故选A





9. 关于时间间隔的相对性，火车在高速前进时，下列说话中正确的是：

解析：首先当观测者在火车上时，观测者观测到火车上的时钟间隔为固有时间  $\Delta\tau_0$ （最短）；则其观测到地面上的时钟间隔为动钟时间（动钟变慢）为：

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} > \Delta\tau_0$$

因此，观测到地面上的时钟走的慢了，选项B正确。

另外，对于地面上的观测者来说，观测者观测到地面上的时钟间隔为固有时间  $\Delta\tau_0$ （最短）；同理其观测到火车上的时钟间隔为动钟时间（动钟变慢）为：

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} > \Delta\tau_0$$

即，此时火车上的时钟要比地面上的慢些，选项D正确。

故选BD





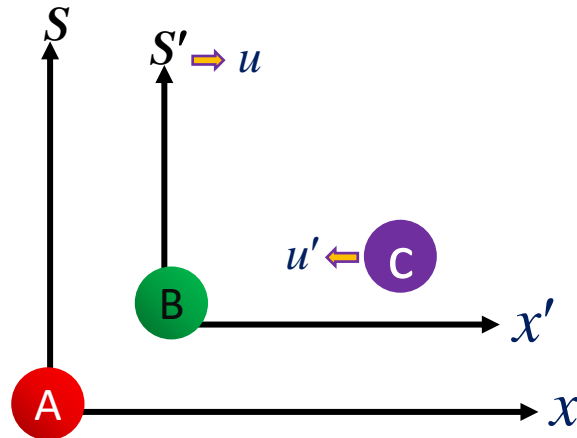
10. A、B、C是三个完全相同的时钟，A放在地面上，B、C分别放置在两架航天飞机上，航天飞机沿同一方向高速飞离地球，但B所在的飞机比C所在的飞机飞的快，B所在的飞机上的观察者认为走得最快的钟是：         走的最慢的钟是：        

解析：如图所示，以A建立S系，B建立S'系（牵连速度为 $u_B$ ），因为相对于地面来说B比C飞的更快，也就是B相对于A的速度大于C相对于A的速度，即 $u_B > u_C$ ；因此A相对于B的速度应该为 $u_A' = -u_B$ 。设C相对于B的速度应该为 $u_C'$ ，利用洛伦兹速度变换式可得：

$$u_C' = \frac{u_C - u_B}{1 - \frac{u_B}{c^2} u_C} < 0 \Rightarrow u_C' - u_A' = u_C' + u_B = \frac{u_C - u_B}{1 - \frac{u_B}{c^2} u_C} + \frac{u_B - \frac{u_B^2}{c^2} u_C}{1 - \frac{u_B}{c^2} u_C} = \frac{c^2 - u_B^2}{c^2 - u_B u_C} u_C > 0$$

因为 $u_C'$ 和 $u_A'$ 都是小于0的数，且 $u_C' > u_A'$ ，可得 $u_C'$ 的绝对值应小于 $u_A'$ 的绝对值，即A相对于B运动的绝对速度大于C相对于B运动的绝对速度。根据相对论中的动钟变慢（时间膨胀）效应： $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} = \gamma \tau_0$

可得，谁相对B运动越快，谁的钟走的越慢；因此B中观测者观测到的走的最快的钟是相对自己静止的B钟，走的慢的是A钟。





11. 速度为：            $c$  的粒子其动能等于它的静止能量。

解析：在相对论中，粒子的静止能量为： $E_0 = m_0 c^2$

动能为：

$$E_k = mc^2 - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - 1 \right) = m_0 c^2$$

即：

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{1}{2}$$

则速度为： $v = \frac{\sqrt{3}}{2} c = 0.866c$

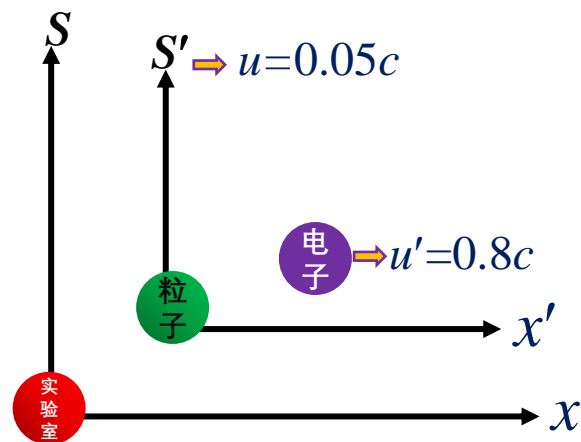


12. 设想有一粒子以 $0.05c$ 的速率相对于实验室参考系运动，此粒子衰变时发射一个电子，电子的速率为 $0.8c$ ，电子速度的方向与粒子运动方向相同。则电子相对实验室参考系的速度为：

解析：如图所示，以实验室中的观测建立 $S$ 系，而以粒子的运动建立 $S'$ 系：

由题意可知，题中已知牵连速度 $v$ 和物体在 $S'$ 系中的速度 $u'$ ，需求物体在实验室参考系（ $S$ 系）中的速度 $u$ ，应该用洛伦兹变换的逆变换公式：

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{v}{c^2} u'} = \frac{0.8c + 0.05c}{1 + \frac{0.05c \times 0.8c}{c^2}} = \frac{0.85c}{1 + 0.04} = 0.817c = 2.451 \times 10^8 \text{ m/s}$$





13. 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是：

解析：如图所示，在S系中星球离地球的距离为5光年，即为固有距离为 $l_0$

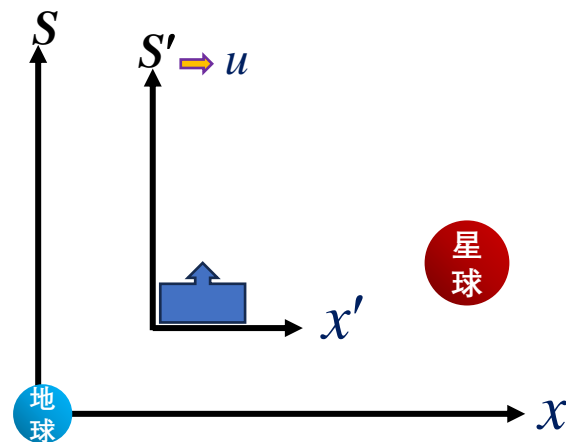
当宇航员要使距离为3光年 $l$

即：

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2}$$

得速度为：

$$u = 0.8c = 2.4 \times 10^8 \text{ m/s}$$





14. 一张宣传画5m见方，平行地贴于铁路旁边的墙上，一超高速列车以 $2 \times 10^8$  m/s的速度接近此宣传画，这张画由司机测量将成为什么样子。

解析：如图所示，宣传画位于 $S$ 系中，高速运行的列车为 $S'$ 系。

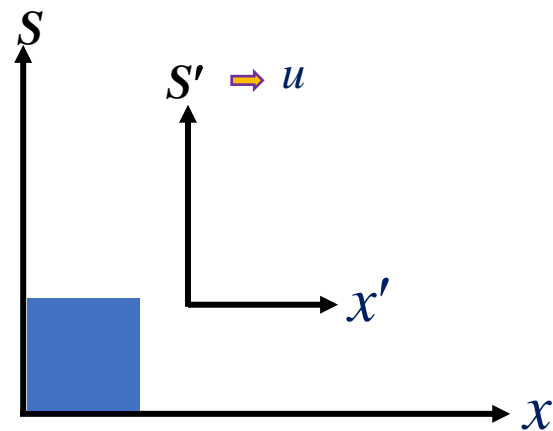
则在 $S$ 系中观测到的宣传画的固有长度和高度为： $l_x = a = 5\text{m}$ ； $l_y = a = 5\text{m}$ 。

根据动尺变短效应可知，在 $S'$ 系相对 $S$ 系运动的 $x$ 方向上，宣传画的长度将发生收缩，而垂直于 $x$ 的方向上宣传画的高度将保持不变，即

$$l'_x = l_x \sqrt{1 - \left(\frac{u_x}{c}\right)^2} = a \sqrt{1 - \left(\frac{u_x}{c}\right)^2} = 5 \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 10^8}{3 \times 10^8}\right)^2} = 3.73\text{m}$$

$$l'_y = l_y = a = 5\text{m}$$

因此司机测量到的宣传画是一个长方形的。





15. 两个惯性系中的观察者 $O$ 和 $O'$ 以 $0.6c$ 的相对速度相互接近，如果 $O$ 测得两者的初始距离是 $20\text{m}$ ，则 $O'$ 测得两者经过多少时间相遇？

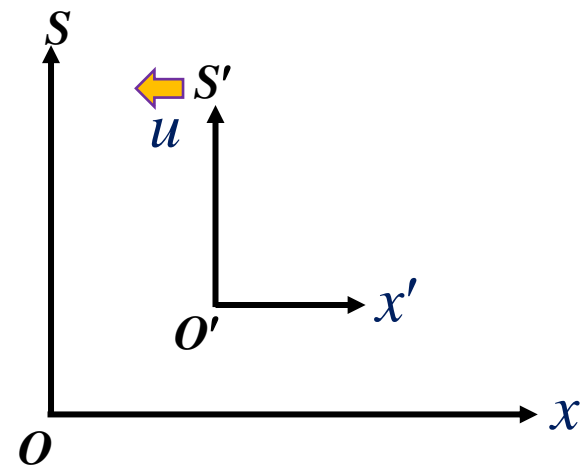
解析：如图所示，以 $O$ 中观察者建立 $S$ 系，以 $O'$ 中观察者建立 $S'$ 系；则 $S$ 系中观察者测得固有距离为： $l_0=20\text{m}$

则 $S'$ 系中观测者测到的距离为：

$$l' = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{u}{c}\right)^2} = 20 \sqrt{1 - \left(\frac{0.6c}{c}\right)^2} = 16\text{m}$$

$S'$ 中观察者，观察相遇时间为：

$$t' = \frac{l'}{v} = \frac{16}{0.6c} = 8.89 \times 10^{-8} \text{s}$$





16. 一电子在电场中从静止开始加速，电子的静止质量为 $9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$ 。问：电子应通过多大的电动势差才能使其质量增加0.4%？此时电子的速率是多少？

解析：在相对论中，电子的质量为：
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

要使电子的质量增加0.4%，则：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 1.004m_0$$

得电子得速率为： $v = 0.0892c = 2.675 \times 10^7 \text{ m/s}$

则需要加得电势差为：
$$U = \frac{mc^2 - m_0c^2}{e} = \frac{1.004m_0 - m_0}{e} c^2 = 2.05 \text{ kV}$$



17. 一只装有无线电发射和接收装置的飞船，正以 $\frac{4}{5}c$ 的速度飞离地球。当宇航员发射一无线电信号后，信号经地球反射，60s后宇航员才收到信号。

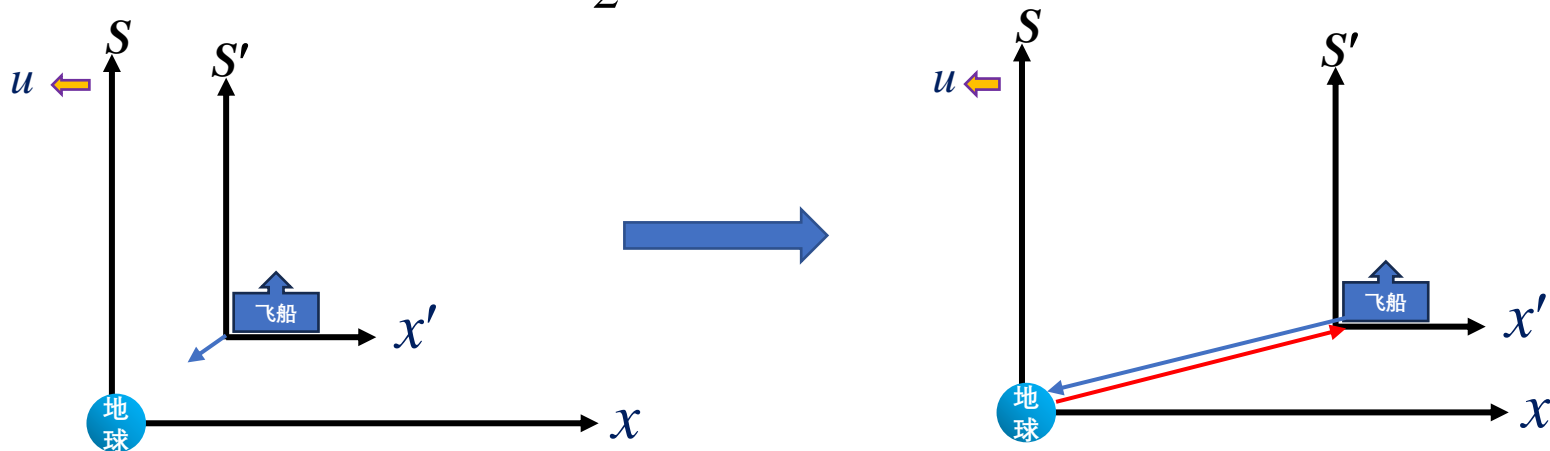
(1)在地球反射信号的时刻，从飞船上测得的地球离飞船多远？(2)当飞船接收到反射信号，地球上测得的飞船离地球多远？

解析：（1）求在飞船上所测的距离？

我们应该将飞船看成静止坐标系，地球看成运动的。

设地球反射信号时，在飞船上的观察者观测到飞船离地球的距离为 $l$ ，那么在宇航员发射到接收信号的过程中，信号总共走过的路程为 $2l$ ，时间为 $\tau_0=60\text{s}$ ，因为信号的速度为光速，因此可得 $l$ 为：

$$l = \frac{\tau_0}{2} \times c = 9 \times 10^9 \text{ m}$$







17. 一只装有无线电发射和接收装置的飞船，正以 $\frac{4}{5}c$ 的速度飞离地球。当宇航员发射一无线电信号后，信号经地球反射，60s后宇航员才收到信号。

(1)在地球反射信号的时刻，从飞船上测得的地球离飞船多远？(2)当飞船接收到反射信号，地球上测得的飞船离地球多远？

解析：(2) 求地球上所测的距离？我们应该将地球看成静止坐标系，飞船在运动。由于信号是在飞船上发射和接收的，所以宇航员测得的发射到接收的时长为固有时长，即 $\tau_0=60\text{s}$ 。根据动钟变慢效应可知，在地球上测得的这段时长

应该为：

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{60}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}} = 100\text{s}$$

设飞船发射信号时，飞船到地球的距离为 $l_1$

飞船接收信号时，飞船到地球的距离为 $l_2$ 。

根据光线的传播路径可得： $l_1 + l_2 = c\tau$ ，且 $l_2 - l_1 = v\tau$

联立可得：

$$l_1 = 10c = 3 \times 10^9 \text{ m}$$

$$l_2 = 90c = 2.7 \times 10^{10} \text{ m}$$

