

# 太空旅行真能延缓人的衰老吗

赵 勋 国

(丹阳市化工轻工总公司)



一

相对论认为,一切发生在运动物体上的过程,在静止观测者看来,都会变慢,这就是相对论中十分重要的“时间变慢”效应,这一效应的定量关系是:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (1)$$

式中  $\Delta t'$  是运动物体上时钟的时率,  $\Delta t$  是静止物体上时钟的时率,  $v$  是运动物体的速度,  $c$  是光速(30 万千米/秒)。假设有一对孪生兄弟甲和乙,在他们满 20 岁那天,甲乘飞船离开地球去太空旅行(飞行速度  $v = 0.8c$ ),乙留在地球上。在乙满 60 岁那天,甲结束太空旅行回到地球,这时地球上的人根据式(1)知道,甲在飞船上才度过了 24 年。对这一事件人们可以有两种理解:①在飞船接触到地球的那一瞬间以前,甲在飞船上是 44 岁,比地球上的乙要年轻 16 岁。从飞船接触到地球的那一瞬间起,甲就仍然是 60 岁,并不比乙年轻。甲的年轻不是真的,只是地球上的人根据式(1)观测他在飞船上比乙年轻了 16 岁;②由于飞船上的时率及发生在上的一切过程都要比地球上的慢(不只是被地球上的人观测到变慢),因此,当飞船降落在地球上,甲走出船舱时,迎接他的人将看到他还是一个 44 岁的年轻人,而甲看到乙却已是一个 60 岁的老人了,甲真的比乙年轻了 16 岁。这两种理解哪种对呢?从现有的科技文献来看,不仅科普书刊,就是相对论专著和大学物理课本,在论及“孪生子佯谬”时,都倾向第二种理解,认为甲真的要比乙年轻,一些专著对此还作了繁复的论证。这样,就把一种由相对论引起的假想当作了物质世界的真实存在。对相对论的“时间变慢”效应的这种绝对化理解对不对呢?本文就想对此做些探讨,希望能有助于对“时间变慢”效应的深入研究。

二

证明“时间变慢”效应的重要实验,是宇宙线产生的  $\mu$  子衰变实验。然而,这个实验真能证明“时间变慢”是绝对的吗?

16 卷 6 期(总 96 期)

$\mu$  子是不稳定的,带负电的  $\mu$  子( $\mu^-$ )会自动衰变为一个电子  $e^-$  和两个不同性质的中微子  $\nu_\mu$  和  $\nu_e$ ,其衰变过程是按指数规律进行的,可用下式表示:

$$N = N_0 \times e^{-t/\tau_0} \quad (2)$$

式中:  $\tau_0$  是静止  $\mu^-$  子的平均寿命;  $t$  是衰变时间(衰变一半所需的时间  $T_{\frac{1}{2}}$  称为半衰期);  $N_0$  是衰变开始( $t = 0$ )时的  $\mu^-$  子数;  $N$  是经过时间  $t$  衰变后剩下的  $\mu^-$  子数。当  $t = T_{\frac{1}{2}}$  时,由式(2)可得

$$N = N_0/2 = N_0 e^{-T_{\frac{1}{2}}/\tau_0}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 0.693 \tau_0$$

由实验测得  $T_{\frac{1}{2}} = 1.53 \times 10^{-6}$  秒(1.53 微秒),因此,静止  $\mu^-$  子的平均寿命是:

$$\tau_0 = T_{\frac{1}{2}}/0.693 = 1.53 \text{ 微秒}/0.693 = 2.21 \text{ 微秒}$$

证明“时间变慢”效应的  $\mu^-$  子衰变实验,由不同学者在不同时间做过多次,现就其中 1963 年做的一次做些分析,看看该实验的结果是否真能证明高速运动物体上的“时间变慢”是绝对的。

1963 年的  $\mu^-$  子衰变实验是在 1910 米高的山顶上做的。实验者在山顶上测得以  $0.9952c$  垂直向下运动的  $\mu^-$  子数平均每小时有  $563 \pm 10$  个,然后在离海平面 3 米高处测得相同速度  $\mu^-$  子数平均每小时有  $408 \pm 9$  个,并测得  $\mu^-$  子从山顶运动到离海平面 3 米处所需的时间是  $t' = 6.4$  微秒( $1907 \text{ 米}/0.9952 \times 3 \times 10^8 \text{ 米/秒}$ ),而且由式(2)求得  $\mu^-$  子在这种情况下的平均寿命  $\tau_0' = 20.1$  微秒( $408 = 563 \times e^{-6.4/\tau_0'}$ )。这就是说,山上实验者观测到的运动  $\mu^-$  子的平均寿命是静止  $\mu^-$  子的 9.1 倍( $20.1/2.21$ ),可见运动  $\mu^-$  子的衰变过程是变慢了(慢了 8.1 倍)。那么,这是不是就证明  $\mu^-$  子的衰变过程真的因高速运动而比静止时绝对变慢了?实际情况并不是这样。

(一)假设有一观测者 M 在 1910 米高的山顶上和观测到的 563 个  $\mu^-$  子以同样速度垂直向下运动,如果  $\mu^-$  子的衰变过程确实因高速运动而绝对变慢了,当观测者 M 观测到 563 个  $\mu^-$  子衰变到 408 个时,经过的时间就应该也是 6.4 微秒,  $\mu^-$  子的平均寿命也应该仍是 20.1 微秒。然而,因为此时在观测

者 M 看来,  $\mu^-$  子是静止的, 而静止  $\mu^-$  子的平均寿命是唯一确定的, 且已由实验测得是  $\tau_0 = 2.21$  微秒, 而不是 20.1 微秒, 所以, 观测者 M 观测到的  $\mu^-$  子的平均寿命就只能 是 2.21 微秒; 由 563 个衰变到 408 个所需的时间, 根据式 (2) 也就只能是  $t = 0.7$  微秒 ( $408 = 563 \times e^{-t/2.21}$ ), 而不是 6.4 微秒。这就说明, 虽然在山上实验者看来, 运动  $\mu^-$  子的衰变过程是变慢了, 而实际上却仍和静止时一样, 并未真正变慢。

(二)  $\mu^-$  子的平均寿命, M 观测到的是静止时的 2.21 微秒, 山上实验者观测到的是以  $0.9952c$  运动时的 20.1 微秒; 从 1910 米高的山顶到离海平面 3 米处的高度, M 观测到的是 209 米 ( $0.9952 \times 3 \times 10^8$  米/秒  $\times 0.7 \times 10^{-6}$  秒), 山上实验者观测到的则是 1907 米;  $\mu^-$  子从 563 个衰变到 408 个所需的时间, M 观测到的是 0.7 微秒, 山上实验者观测到的是 6.4 微秒。从两处观测者观测到的这些结果可以看出, 虽然山上实验者观测到的运动  $\mu^-$  子的平均寿命要比 M 观测到的静止  $\mu^-$  子的长 8.1 倍, 但是山上观测者观测到的从 1910 米高的山顶到离海平面 3 米处的高度, 也要比 M 观测到的高 8.1 倍, 因而对于  $\mu^-$  子穿过这一高度所需的时间, 山上实验者观测到的就同样要比 M 观测到的长 8.1 倍。于是, 当 563 个  $\mu^-$  子穿过这一高度时, 两处观测者观测到的衰变结果自然也就是一样的了 (都从 563 个衰变到了 408 个)。  $\mu^-$  子衰变的这种殊途同归的结果说明, 两处观测者观测到的实际上是  $\mu^-$  子衰变的同一过程和同一状态, 他们观测到的不同 (如运动  $\mu^-$  子的衰变过程要比静止  $\mu^-$  慢), 只不过是不同惯性系里的不同观测者对同一衰变过程的不同描述, 并不是  $\mu^-$  子衰变过程本身有了实质性的不同。

(三) 由于  $\mu^-$  子所在惯性系 (动系) 以  $0.9952c$  相对于实验者所在惯性系 (静系) 运动, 这两个惯性系的时空坐标间就存在着洛伦兹变换关系。因此, 在该实验中, 要把静系里  $\mu^-$  子在 6.4 微秒的时间内穿过了 1907 米高这一事件的时空特性表示在动系中, 还必须将静系里这一事件的时空坐标乘以洛伦兹变换因子  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  (在这里是  $\sqrt{1 - (0.9952)^2} = 0.098$ ) 才正确。所以, 当这一事件的时空坐标表示在动系中时,  $\mu^-$  子经历的时间就不是 6.4 微秒, 而是 0.63 微秒 ( $6.4 \text{ 微秒} \times 0.098$ ), 与由式 (2) 求得的 0.7 微秒只差 0.07 微秒; 通过的高度也就不是 1907 米, 而是 187 米 ( $1907 \text{ 米} \times 0.098$ ), 与由实验测算得的 209 米只差 22 米; 相应地, 这时用式 (2) 算得动系中

563 个  $\mu^-$  子经过这段时间 ( $0.63$  微秒) 的衰变后, 剩下的  $\mu^-$  子数是 422 个 ( $N = 563 \times e^{-0.63/2.21}$ ), 这一结果与实验者实测到的 408 个只差 14 个, 也符合。可见  $\mu^-$  子的衰变过程并未因它的高速运动而真正变慢。

以上分析表明,  $\mu^-$  子衰变实验并未证明高速运动物体上的时间和过程会绝对变慢, 只是证明了在静止观测者看来变慢了, 且变慢的量可用洛伦兹变换求得。因此, 该实验实际上只是证明了在观测高速运动物体上的变化过程时, 必须把洛伦兹变换关系考虑进去才能得到正确的结果。

### 三

有著作引证说, 1971 年 10 月, 在美国曾用两套铯原子钟  $S_1$  和  $S_2$  作实验,  $S_1$  放在实验室里不动,  $S_2$  放在喷气式飞机  $P$  上。  $P$  连续向东绕地球飞行, 当它绕地球一周回到原地时, 取下  $S_2$  和  $S_1$  比较, 发现  $S_2$  真的比  $S_1$  慢了 0.203 微秒, 这样就证明动钟走时确实是比静钟走时绝对慢了 (为便于叙述, 该实验在下文简称  $P$  实验)。对  $P$  实验的结果当然不能凭空怀疑, 可是, 对与这一结果相关的一些现象和问题, 人们又该怎样去解释和理解呢?

(一) 假设有三只标准钟  $O_1$ 、 $O_2$  和  $O_3$ ,  $O_3$  放在实验室里不动,  $O_1$  放在航天飞机  $P_1$  上,  $O_2$  放在航天飞机  $P_2$  上, 三只钟同时校准。在某天零点,  $P_1$  和  $P_2$  同时离地球冲向太空, 向着同一方向沿闭合曲线轨道飞行,  $P_1$  的速度是  $0.8c$ ,  $P_2$  是  $0.4c$ ,  $P_1$  相对  $P_2$  也是  $0.4c$ 。在  $O_3$  钟正好走到当天 24 点时, 两机同时回到出发地, 取下  $O_1$  钟、 $O_2$  钟并与  $O_3$  钟比较, 如果  $P$  实验的结果是真实的, 根据式 (1), 这时  $O_1$  钟才走到当天 14 点 24 分 (比  $O_3$  钟慢 9 小时 36 分),  $O_2$  钟才走到当天 22 点 (比  $O_3$  钟慢 2 小时); 与此同时, 由于  $P_1$  也以  $0.4c$  的速度相对  $P_2$  飞行, 因此, 当  $O_2$  钟走到当天 22 点时,  $O_1$  钟也应该走到当天 20 点 9 分 48 秒了 ( $O_1$  钟只比  $O_2$  钟慢 1 小时 50 分 12 秒)。这就是说, 此时  $O_1$  钟必须同时既指在 14 点 24 分, 又指在 20 点 9 分 48 秒。同一只钟同时有两种走时, 同时指在两个不同的时刻上, 显然这是不可能的。所以,  $P$  实验的结果不能认为是真实的。

(二) 相对论源于相对性原理和光速不变原理。相对性原理说的是: ①物理定律与以两个相互作用匀速直线运动的惯性系中的哪一个作参考是没有关系的, 同一个实验, 不管是在静止的惯性系中做, 还是在作匀速直线运动的惯性系中做, 都是等效的, 结果

都是一样的; ②在密闭的静止或做匀速直线运动的惯性系中做各种实验, 可以总结出相应的自然规律, 但是, 无论如何也不能由这些实验来确定该惯性系的运动状态, 该惯性系运动得快、慢或静止, 对实验的结果都没有影响。如果 P 实验的结果是真实的, 那就表明: ①运动物体上时钟时率的变慢是绝对的, 这样, 在两个互做匀速直线运动的惯性系中做同一个实验, 就会得到不同的结果, 如在太空旅行的孪生子甲要比留在地球上的乙绝对年轻些、运动  $\mu^-$  子的衰变过程要比静止  $\mu^-$  子的绝对慢些等; ②如果在密闭的静止或作匀速直线运动的惯性系中做各种实验, 该惯性系的运动状态就会影响实验的结果, 因而只要根据不同的实验结果, 就可以知道该惯性系的运动状态(快、慢或静止), 例如: 由于不同运动状态下的时钟有不同的时率, 因而根据密闭惯性系里时钟走时的快慢, 就可以知道该惯性系的运动状态(快、慢或静止), 当钟的走时慢到几乎要停止时, 就知道该惯性系的运动速度要接近光速了。很明显, 这两种情况都违反了相对性原理。这样, 就形成了一种悖论, 如果要把时间的相对性理解为不同运动状态下的时钟有不同的时率, 就得证明运动物体上时钟的走时会绝对变慢(不只是在静止观测者看来变慢了); 然而, 如果运动物体上时钟的走时真地绝对变慢了(如 P 实验的结果), 相对性原理又不能成立。问题何在? 是相对性原理错了? 还是 P 实验的结果有误? 如果说相对性原理已为许多实验和生活观测所证明, 其真理性已为人们公认, 那么, P 实验结果的真实性和基于这一结果的对时间相对性的理解的正确性, 就不得不使人怀疑了。

#### 四

有作者论证说, 可以将地球与某天体当作一个惯性系  $S$  (地球与某天体相距 8 光年), 飞船由地球飞往某天体时为惯性系  $S_1$  (飞船的飞行速度  $v = 0.8c$ ), 由某天体以同样速度飞回地球时为惯性系  $S_2$ 。由于飞船起飞、降落必须经历一段变速过程, 此时的飞船就不是一个惯性系了。当飞船到达某天体调头返回时, 则是从一个惯性系跃变到另一个惯性系, 这时地球上的时间也相应地有一个跳跃式变化。飞船上的孪生子甲之所以要比地球上的乙绝对年轻, 正是因为飞船系有这样的非惯性运动, 还有一种从一个惯性系到另一个惯性系的跳跃式变化, 而地球系却没有这些。这样的论证对吗? 下述的实验和分析可以回答这个问题:

(一) 在 1966 年的一个实验里,  $\mu$  子以  $0.9965c$  的速度绕圆形轨道运动, 由式(1)得到  $\mu$  子此时的平均寿命是:

$$\begin{aligned} (\tau_0)_{\text{计}} &= \tau_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \\ &= 2.21 \text{ 微秒} / \sqrt{1 - (0.9965)^2} \\ &= 26.40 \text{ 微秒} \end{aligned}$$

实测到此时  $\mu$  子的平均寿命是  $(\tau_0)_{\text{实}} = (26.15 \pm 0.03) \text{ 微秒}$ , 两种结果只差  $(0.25 \pm 0.03) \text{ 微秒}$ 。这个实验表明, 对静止观测者而言, 做变速运动的物体上的时率变化只与运动物体的速度有关, 而与它的加速度无关; 他们的时率与静止物体上的时率的变换关系, 与做匀速运动物体上的时率一样, 也都是一种洛伦兹变换关系, 两者并无根本区别。既然匀速运动物体上的“时间变慢”效应不能使作太空旅行的孪生子甲比地球上的乙绝对年轻, 那么变速运动物体上的“时间变慢”效应自然也就不可能有这样的作用。

(二) 飞船到达某天体后调头返回地球时, 地球上的时间会有一个跳跃式的变化, 持此论点的学者是这样论证的:

从飞船上的甲看来, 飞船( $S_1$ 系)在飞离地球的那一时刻  $t'$ , 可以同时与  $S$  系中的地球钟时刻  $t_e$  及某天体钟时刻  $t_c$  作洛伦兹变换, 因而有

$$t' = \frac{t_e - vx_e/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (3)$$

$$t' = \frac{t_c - vx_c/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (4)$$

由此二式消去  $t'$ , 经简单运算, 即得

$$t_e - t_c = 0.8(x_e - x_c) \quad (5)$$

已知  $x_e$  是地球钟的空间坐标 ( $x_e = 0$ ),  $x_c$  是某天体钟的空间坐标 ( $x_c = 8 \text{ 光年}$ ), 代入式(5)就得到  $t_e - t_c = -6.4 \text{ 年}$ 。这一结果说明, 对  $S_1$  系来说, 某天体钟的走时要超前地球钟 6.4 年。飞船到达某天体后调头(由  $S_1$  系变为  $S_2$  系)返回地球时, 根据同一理由, 地球钟的走时又要超前某天体钟 6.4 年。所以, 飞船这一调头, 地球上的时间就跳跃式地超前了飞船 12.8 年。

可以这样论证吗? 即从飞船上的甲看来, 飞船在飞离地球的那一时刻  $t'$ , 能同时与  $S$  系中的时刻  $t_e$ 、 $t_c$  作洛伦兹变换吗? 显然不能, 理由如下:

1. 洛伦兹时空坐标变换关系来源于对两个作相对运动的惯性系中的同一时空点事件的时空坐标关系的研究, 它揭示的只是这同一时空点事件在这两个惯性系中的时空坐标关系。有了这个关系, 我

们就可以把一个惯性系中的某一时空点事件的时空坐标变换成另一惯性系中同一时空点的时空坐标,而使这一时空点事件等效,结果一样。很明显,洛伦兹变换涉及的只是做相对运动的两个惯性系中的同一时空点事件的时空坐标关系,并不涉及他们的不同时空点事件的时空坐标关系。在分别处于两个做相对运动的惯性系中的不同时空点事件的时空坐标间,是不存在洛伦兹变换关系的。在上述论证中, $t'$ 和 $t_e$ 是飞船系( $S_1$ 系)和地球——某天体系( $S$ 系)中的同一时空点事件分别在这两个惯性系中显示的时刻,他们之间存在洛伦兹变换关系,因而式(3)是正确的; $t'$ 和 $t_e$ 则是分别发生在 $S_1$ 系和 $S$ 系中的不同时空点事件的时刻,他们之间不存在洛伦兹变换关系,也用洛伦兹变换来表示他们的关系,就是误用了,因而式(4)是不存在的。

2. 如果式(3) = 式(4)成立,那就意味着对两个做相对运动的惯性系来说,其中一个惯性系中的一时空点事件的时空坐标,除了能与另一惯性系中的同一时空点的时空坐标作洛伦兹变换外,还能与这个惯性系中的任一其他时空点的时空坐标作洛伦兹变换,从而得到无限多个变换值,使这两个惯性系的时空坐标间不再有只与相对运动速度有关的确切的定量关系。这样,就失去了洛伦兹变换的认识作用和实用价值,否定了它的真理性。

上述分析揭示了,根本不可能存在式(3) = 式(4)那样的洛伦兹变换关系。因此,飞船飞往某天体时,由式(3) = 式(4)求得的某天体钟要超前地球钟6.4年,飞船到达某天体后调头飞回地球时,地球钟又要超前某天体钟6.4年,地球上的时间要跳跃式地超前飞船12.8年,这样的时间变化都是不可能的。

## 五

综上所述,可以确认,对“时间变慢”效应的绝对化理解(动钟时率要比静钟时率绝对慢)还无有力的依据,而且还与相对论的相对性原理相悖;把这一效应视为洛伦兹时空坐标变换关系,只是静止观测者对高速运动物体的时空特性的观测结果,却能很好说明高速运动物体上的时空特性,且与相对论的相对性原理相符。所以,对本文所论问题可作结论:

(一) 对两个互作匀速运动的惯性系来说,静系中的观测者观测到动系中的时率和过程都变慢了,但是,这种变慢只是对静止观测者有效;对动系中的观测者而言,动系中的时率和过程仍和静止时一样,并未绝对变慢。“时间变慢”效应关系式(1)所表示

的,也不是动系中的时率和过程的绝对变化量(时率和过程绝对变慢了多少),而是这两个惯性系内同一时空点的时空坐标的洛伦兹变换量。利用洛伦兹变换可以将其中一个惯性系中的时空点事件的时空坐标,变换为另一个惯性系中同一时空点的时空坐标,而使该时空点事件殊途同归,结果一样。因此,洛伦兹变换是观测相对地球作高速运动的物体(如飞船、 $\mu$ 子等)的运动状态的有效方法。

(二) 在太空旅行的人不会比生活在地球上的人真正衰老得慢。以人的自然寿命为例(有生物学家认为,动物的自然寿命是其细胞分裂次数与分裂周期的乘积,人体细胞分裂的次数为50~60次,分裂的周期是2.4年,所以,人的自然寿命至少应该是120岁——关于人的自然寿命,生物学家有多种推算方法,这是其中一种,但是对所说明的问题,已足具代表性):假设有一对孪生子甲和乙,在他们出生那天,父亲就带甲乘飞船离开了地球,此后他们就一直在太空飞行,飞行速度是 $0.8c$ 。在乙满120岁那年,甲结束飞船生活回到了地球。这时,地球上的人由式(1)知道,甲在飞船上才度过了72年。对这一结果,人们自然就以为甲比乙慢衰老了48年,甲的自然寿命就要比乙长48年了。可是事实不会是这样,因为用式(1)将地球时间120年变换成飞船时间72年时,地球上人体细胞的分裂周期2.4年同样要经式(1)变换成飞船上人体细胞的分裂周期,这个周期只有1.44年。这就是说,将地球时间变换成飞船时间时,飞船上地球人的自然寿命就只有72岁了( $1.44 \text{年} \times 50$ )。可见飞船上的72年和地球上的120年是等效的。如此说来,生活在飞船上的地球人就不但不比生活在地球上长寿,反而好像还比生活在地球上短寿了!事实也并非如此,因为飞船上人的这个自然寿命(72岁)和细胞分裂周期(1.44年)是地球上的人用洛伦兹变换式(1)变换得来的,并不是飞船上人的实际自然寿命和实际细胞分裂周期。对飞船上的或相对飞船静止的观测者来说,飞船上人的自然寿命仍是120岁,人的细胞分裂周期仍是2.4年。所以,就人的自然寿命而言,不管是生活在高速运动的飞船上,还是生活在相对静止的地球上,都同样是120岁。乘飞船作太空旅行的孪生子甲和留在地球上的乙,不管他们分别了多少年,只要是在他们的有生之年再相聚,他们的年龄就都是一样的,谁也不会比谁年轻,谁也不会比谁长寿。