

相对论问答录之二

赵 崢



问题一、相对论诞生前夜，物理界对相对性原理有什么争论？

麦克斯韦电磁理论出现之后，一些人对相对性原理产生了怀疑。这是因为在电磁理论中，真空中的电磁波速度是一个常数 c 。当时已经认识到光波就是电磁波，这就是说，麦克斯韦理论要求真空中的光速是一个常数。相对性原理要求所有物理规律在一切惯性系中都相同，电磁理论当然也不例外。这就要求所有惯性系中的光速都是同一个常数 c 。这和常识似乎大有抵触。从常识看，相对于光源静止的观测者测得的速度如果是 c ，那么迎着光束以速度 v 跑来的观测者测得的光束应该是 $(c+v)$ ，顺着光传播方向以速度 v 运动的观测者测得的光速应该是 $(c-v)$ 。怎么可能这三个观测者测得的光速都是同一个常数 c 呢？因此，以当时最卓越的电磁专家洛伦兹为代表的学者主张放弃“相对性原理”，认为光速只在相对于绝对空间静止的那种惯性系中是 c ，也就是说光速只相对于绝对空间是 c ，对于众多的相对于绝对空间作匀速直线运动的惯性系，光速就不再是 c 了。从上述情况可以看出，在洛伦兹的脑海中，牛顿的绝对时空观占统治地位。

当时最卓越的数学家庞加莱（他同时也进行理论物理的教学与研究）认为相对性原理应该坚持。他多次对洛伦兹的观点提出批评和建议，并在爱因斯坦建立相对论的前后，正确、严格地表述了相对性原理。洛伦兹也在庞加莱的批评下对自己的理论作了一些修补，但他仍没有跳出绝对时空观的束缚。实际上，庞加莱本人也没有真正放弃绝对时空观，他一直相信“以太”理论，承认“以太”实质上就是承认“绝对空间”的存在。

从目前的史料看，爱因斯坦在建立相对论时深受马赫的影响，他似乎对洛伦兹和庞加莱的工作知之不多。爱因斯坦多次谈到马赫对自己的影响。正是马赫“一切运动都是相对的”，根本不存在“绝对

空间”和“绝对运动”的论述，以及马赫对“以太”是否存在的质疑（他

认为没有任何实验证明存在“以太”），使爱因斯坦坚信“相对性原理”是必须坚持的一条根本原理，是科学的一条“真理”，而以太理论是可以放弃的。

问题二、星际飞船上的宇航员会看到什么景象？感受到哪些相对论效应？

高速飞行的星际飞船上的宇航员会看到两种景象，一种是多普勒效应造成的，另一种是光行差效应造成的。

由于多普勒效应，飞船前方的星体射来的光会发生蓝移，后方和侧面星体射来的光会发生红移。因此，宇航员觉得前方的星体颜色变蓝，后方的星体颜色变红。侧面的星体由于横向多普勒效应，也会略微变红。

光行差效应会使宇航员觉得侧面的星体向正前方聚集，后面的星体移向自己的侧面。总之，正前方好像是一个“吸引”中心，随着飞船速度的增加，所有的星体都向那里集中，后方的星体越来越少。从地球起飞，正在远离太阳系的飞船上的宇航员，会觉得太阳系不在飞船的正后方，而在侧后方，飞船越接近光速，太阳系看起来越远离正后方，随着飞船速度的增加，太阳系从自己的侧面向侧前方移动。当飞船的速度非常接近光速时，他将看到太阳系处于自己的侧前方，飞船的后方已经没有任何星体了。飞船正在逃离太阳系，而在宇航员看来，太阳系不位于飞船的后方，而位于侧前方，这是多么奇妙的情景啊！

图 1 显示当宇宙飞船向北极星飞去时宇航员看到的景象。当飞船速度远小于光速时，宇航员看到的景象与地面上的人看到的相同，北极星位于正前方，北斗、仙后等星座围绕着它，南天的星座都看不到。当速度达到光速的一半时，飞行员前方的景象大大变化了，北极星周围的星座都在向中央趋近，挤到虚线范围以内，原来出现在飞船后面的天蝎座和天狼星（大犬座 α 星）也都进入前方的视野。当

本文内容选自赵崢教授新书《相对论百问》，由北京师范大学出版社出版。

飞船速度加快到 $0.9c$ 时，南天的十字座和老人星等（这些位于南天的星，生活在地球北半球的人原本看不到）也出现在前方了。飞船速度再进一步趋近光速时，整个南天的星系就都挤到前面去了。

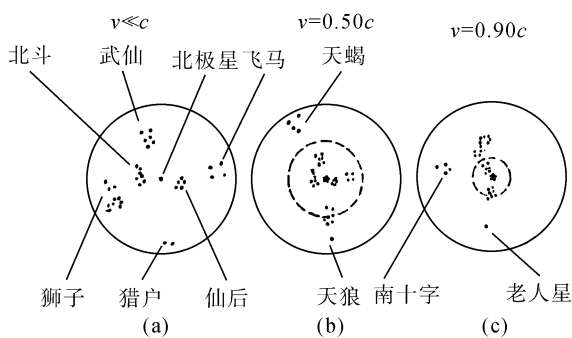


图 1 飞船速度不同时宇航员看到的景象

我们曾用打雨伞的人和接雨水的桶来比喻天文学中的光行差现象。从中容易理解，在运动观测者看来，光线（雨滴）的来源方向会向自己的正前方聚集。所以，高速飞行的飞船上的宇航员，会观察到所有星系都向正前方汇聚的现象。

上述多普勒效应和光行差现象与飞船发动机是否关闭，飞船是否作加速运动无关，只与飞船的运动速度有关。

宇航员除去看到上述两种景象之外，还会感受到其他一些相对论效应，例如失重和双生子佯谬造成的效应。

当飞船关闭发动机、加速度为零时，宇航员会处于完全失重的状态，这时飞船沿测地线飞行。当飞船加速时，宇航员将感受到惯性力，飞船转动时，他们将感受到惯性离心力和科里奥利力。由于等效原理，在飞船那样狭小的空间区域内，飞行员无法区分这些惯性效应造成的力和万有引力，因此加速度和转动形成的惯性力，可以视作人造重力来加以利用。例如，在未来的星际航行中，可以制造人造重力来缓解长期失重给宇航员生理机能带来的不利影响。

双生子佯谬效应与飞船和地球在四维时空中描出的世界线不同有关，而世界线的差别又与二者的加速度有关。宇航员感受到惯性力时，飞船的加速度是真加速度，这种加速度在物理上称为固有加速度，在数学上称为四维加速度，它是绝对的，它使飞船偏离测地线运动。我们通常说“加速运动是相对的”，指的是三维加速度。三维加速度是相对的。

如果仅仅三维加速度不为零，四维加速度仍为零，则这种加速为“假加速”，它不产生惯性力。真假加速度的物理差别在于它是否伴随惯性力的出现。产生惯性力的加速运动，飞船不沿测地线运动，飞船上的钟变慢，一切时间过程都变慢，宇航员的生理代谢也变慢。地球上的人相对于飞船仅仅三维加速度不为零，四维加速度仍为零（重力效应很小，可以忽略），地球仍沿测地线运动，时钟不变慢，所以宇航员返回地球时，会比留在地球上的双胞胎兄弟年轻。以接近光速的速度作星际飞行的宇航员，返回时将明显感受到这一效应导致的结果。

有人计算过双生子佯谬会造成多么明显的效应。如果飞船驶向距离我们 4.3 光年的比邻星，在飞行的前四个月中，火箭一直以 $3g$ 的加速度加速 (g 是重力加速度)，也就是说宇航员处于超重状态，所受惯性力是地球重力的三倍，这是人长期可以承受的“重力”。加速结束时，飞船达到 25 万千米/秒，这时关闭发动机，宇航员处于失重状态，作惯性运动。接近比邻星时再以 $3g$ 减速。访问比邻星后再以同样的方式返回。地球上的人觉得飞船往返用了 12 年，宇航员则觉得整个旅行只用了 7 年，他比留在地球上的同胞兄弟年轻了 5 岁。

再设想一艘去银河系中心旅行的用光子发动机发动的飞船。飞船先以 $2g$ 加速度加速，一直加速，不关闭发动机，飞行一半距离后，再以 $2g$ 加速度减速，到达银心后再以同样方式返回地球。计算表明，地球上的人觉得飞船返回时已过了 6 万年，但飞船上的飞行员则觉得只过了 40 年。他返航了，但他认识的人都早已作古成为了历史人物。地球上的人将热烈欢迎这位生于 6 万年前的祖宗凯旋归来。

问题三、如何理解质能关系式 $E=mc^2$? 经典力学中的动能与相对论能量之间有什么关系?

相对论还指出，物体的质量和能量之间存在本质联系

$$E=mc^2, \quad (1)$$

上式称为质能关系式。这个公式不是告诉我们质量可以转化为能量，能量可以转化为质量。而是告诉我们能量和质量是同一事物的两个方面。凡是有质量的东西都含有能量，凡是能量，也都同时具有质量。甚至一个静止的物体也含有巨大的能量。静止质量为 m_0 的物体具有能量

$$E_0=m_0c^2. \quad (2)$$

从此式不难算出，1克物质（例如1克水）蕴藏的能量如果全部以热和光的形式释放出来，相当于两万吨炸药爆炸所释放的化学能。这个公式是制造原子弹和原子反应堆的理论基础。可以说，相对论开辟了无止境的能量源泉，人类如果能够充分利用它，我们就无须再担心地球上能源的匮乏了。原子能的利用，代替了可贵的石油资源，石油是非常重要的化工原料，用来燃烧实在是太可惜了。门捷列夫曾对用燃油取暖万分惋惜：“要知道，钞票也是可以用来生火的”。

从（1）和（2）可以算出运动物体的相对论动能

$$\begin{aligned} T &= mc^2 - m_0c^2 \\ &= m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \\ &= \frac{1}{2}m_0v^2 + \frac{3}{8}m_0\frac{v^4}{c^2} + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

由上式不难看出，牛顿力学中的物体动能

$$T = \frac{1}{2}m_0v^2 \quad (4)$$

只是全部动能在 $v \ll c$ 时的最低阶近似。这个近似式只对低速运动的物体成立。当物体运动速度可以与光速相比时，计算物体动能必须考虑高阶的相对论修正。

问题四、如何确定“相继时间段”的相等？

历史上，人们用周期运动来定义时间，例如单摆运动，地球自转和公转引起的星空变化，季节变化等。但是，有什么办法来确认周期运动的每个周期经历相同的时间呢？也就是说有什么办法来确认每个周期的“时间段”等长呢？在空间测量中不存在这样的困难。用来度量的尺可以来回移动，反复测量。但是时间不同，我们不可能把一个“时间段”移往“过去”或“未来”，去与别的“时间段”比较长短。与牛顿同时代的哲学家洛克就曾明确指出，没有办法确认周期运动的每个周期是等长的，人们只能假设它们等长，或者说“约定”它们等长。庞加莱也同意这一观点，而且他指出，如果全宇宙的时间进程整体地变快变慢，并不会产生任何影响。

18世纪的数学家欧拉提出一个新思路：用运动定律来确认周期运动的每个周期是否等长。他假设惯性定律是永远正确而且放之四海而皆准的自然定

律。当时认为尺的测量不存在问题，而且可以反复移动尺作多次测量，因此确认空间段的相等不成问题。他认为，如果用一种周期运动计量的时间和尺子测量的空间距离相匹配来检验惯性定律，结果表明惯性定律成立，那就说明这个周期运动的每个周期的“时间段”相等。用这样的周期运动制成的钟就是“好钟”。如果惯性定律出了问题，就说明这一周期运动的各个周期实际上不一样长。用这种“周期”运动制成的钟不是“好钟”。

欧拉的这一思想被沿用到今天，并被进一步推广。现在“好钟”被定义为：用它标度的时间，应该保证牛顿三定律成立、麦克斯韦电磁定律成立、能量守恒定律成立……一句话，应该保证物理定律形式简单！

不过，什么样的规律形式就算简单，这个问题很难回答。

虽然“好钟”理论存在缺陷，但在我们找到更好的替代理论之前，学术界仍然采用“好钟”理论来判断“相继时间段”是否相等。

我们最近对这一问题给出了另一条思路：用约定光速来定义“时间段”的相等，有关研究正在进行当中。感兴趣的读者可看拙著《黑洞与时间的性质》（北京大学出版社2008年12月出版），及《物理学与人类文明十六讲》（高等教育出版社，2008年9月出版）。

问题五、为什么测量的光速都是双程光速？

不可能是单程光速？

在相对论诞生之前，物理学家就已认识到测量单程光速十分困难。这是因为，测量单程光速不仅需要测出 A 、 B 两点的空间距离，还要测出光信号从 A 点传播到 B 点的时间。当时没有觉得空间距离的测量有什么理论上或技术上的困难，用尺去量就行了。但要测量光从 A 运动到 B 的时间，则需在 A 、 B 两点放置两个完全一样且已校准好的钟，这在技术上十分困难。

首先，制造两个完全一样的钟就十分困难，而且如果把两个钟在 A 点对好，再把其中一个移往 B 点，很难保证在移动过程中钟的机械装置和电磁装置不发生变化。

因此，最简单可行的办法是只用一个钟，测量往返光速（双程光速）。这就避开了制造两个完全相同的钟并把它们校准的困难。这时，人们只需在 A

点放置一个钟，在 B 点不放置钟，而放一面反射镜。光信号从 A 射到 B ，再被镜子反射回 A 。利用 A 点的钟记录的光信号往返的时间差 t ，和标准尺量出的 A 、 B 两点的空间距离 l ，就可测得光速

$$c = \frac{2l}{t}。$$

但这样测得的是双程光速（往返光速），不是单程光速。

当科学技术进一步发展后，人们考虑是否可以利用高科技手段测得单程光速呢？仔细研究后，人们认识到，技术上的困难还是次要的，以相对论为核心的时空理论，从原则上否定了测量单程光速的可能性。也就是说，相对论告诉我们，我们测量的只能是双程光速。

这是因为，要测光从 A 点到 B 点单程运动的时间，就需要在 A 、 B 两点存在校准好的完全相同的钟。如果在 A 点把两个钟校准好，再把其中一个移往 B 点，不仅存在上面谈到的很难保证钟的机械电磁装置不发生变化的困难，而且还存在理论原则上的困难：相对论告诉我们，钟在运动过程中自身的时间进程会发生变化（变慢），移到 B 点后无法保证与留在 A 点的钟保持“同时”或“同步”。

因此，要想在 A 、 B 两点放置校准同步的钟，必须首先把制造好的完全一样的钟先在 A 、 B 两点分别放好，再用光信号去校准它们。我们在前面已经谈到，庞加莱与爱因斯坦对此有详尽的分析。他们明确指出，用光信号去校准不同地点的钟，必须事先对光速有一个约定：约定光速各向同性，即往返光速相同。

我们看到，要想测从 A 点到 B 点的单程光速，必须先校准 A 、 B 两点的钟，而校钟又必须事先约定光速各向同性，即约定往返光速相同。因此，用这样校准同步的 A 、 B 两点的钟，测量的单程光速，本质上仍是双程光速。

因此，我们测得的光速只能是双程光速，不可能测得单程光速。

问题六、为什么说光速在相对论中处于核心地位？

光速在相对论中有两个基本作用，这两个基本作用使光速在相对论中处于核心地位。

第一个作用是：对光速的“约定”使得时间和空间成为可以测量的量。庞加莱指出，不可测量的

量不能进入自然科学。要使空间各点有统一的时间，即校准空间各点的钟，必须事先对信号传播速度有一个“约定（或者说规定）”。他建议可以约定真空中的光速各向同性，甚至是一个常数。爱因斯坦在他创立狭义相对论的第一篇论文《论运动物体的电动力学》中，就沿着庞加莱的思路“约定”真空中的光速各向同性而且是一个常数，从而校准了位于不同地点的两个时钟。他又进一步假定“同时”这一概念具有传递性，即假定在用光信号把 A 钟与 B 、 C 两钟分别对准后， B 钟与 C 钟之间就自然对准了。有了上述假定，他就可以在一个确定的惯性系中，把静置于各空间点的钟全部对准，从而有了全空间统一的时间。后来，物理学中的空间距离采用时间的度量来定义，这里也要用到对“光速”的上述约定，用光速乘以光信号在两个空间点之间的传播时间，来定义两点之间的距离。

对每一个惯性系都定义了统一的时间并定义了长度，才有可能建立不同惯性系之间的洛伦兹变换，以讨论动钟变慢、动尺缩短等相对论效应。所以，“约定光速”是建立相对论的必要的前提条件，不过，研究相对论的人大都没有注意这一点。一方面是大家觉得“对钟”不足为奇，另一方面是“动钟变慢”、“动尺缩短”、“双生子佯谬”等效应太出人意料、太难以理解了，人们的注意力被吸引到这些相对论效应上去了。

相对论是一个时空理论，它的时间和空间的测量，都建立在“对光速的约定”上。可以说没有对光速的约定就不可能建立相对论。可见这一约定有多么重要！

“光速”在相对论中的第二个作用是“光速不变原理”。它是相对论的两块重要基石之一（另一块是“相对性原理”），“光速不变原理”不同于上述对“光速的约定”，它是说真空中的光速在所有惯性系中都相同，光速与光源相对于观测者是否运动、运动速度的大小都没有关系。爱因斯坦最先指出，“相对性原理”和“光速不变原理”的同时成立，会使“同时”这个概念变成相对的。这就是说，在惯性系 S 中看来同时发生的两个异地事件，在另一个相对于 S 以速度 v 运动的惯性系 S' 中，将不是“同时”发生的。理解“同时的相对性”是弄懂相对论的关键。爱因斯坦也是在弄清同时的相对性之后，头脑才豁然开朗的。

爱因斯坦正是在光速不变原理和相对性原理的基础上，构建起狭义相对论的宏伟大厦。

实际上，对光速的“约定”和“光速不变原理”均与时空对称性有关。约定光速就是约定时间的均匀性和空间的均匀、各向同性，光速不变原理则对应于 Boost 对称性（相应于洛伦兹变换）。总之，约定光速的上述两条性质，等价于约定时空具有庞加莱对称性。

（北京师范大学物理系 100875）

读编往来

相对论问答

编者按：郭汉英教授生前曾为我刊撰写过多篇有关相对论的文章，引起了读者广泛的兴趣，他曾建议我们就读者来信中所提的问题开展有关的讨论。这次，我们趁选登赵峥教授所著《相对论百问》的机会，请赵教授帮助回答读者来信中所提的一些问题，来开展有关相对论的讨论，作为对郭汉英教授多年来支持我刊的感谢与怀念，以慰他的在天之灵。

一、关于“狭义相对论的两条公理”

问：读者的问题是，既然“相对性原理”指的是“物理规律在所有惯性系中都相同”，而光的传播规律，或者说，光的波动方程，也是物理规律，自然也应在所有惯性系中都相同，因此，作为波动方程中一个常数参数的光速，自然也应在所有惯性系中都相同，也就是说，“光速不变原理”可由“相对性原理”导出。实际上，爱因斯坦将“伽利略相对性原理”推广为狭义相对论的“相对性原理”一个重要的实验依据就是“光速不变”。读者认为，狭义相对论的出发点应是“相对性原理”和“同时相对性”。

答：狭义相对论建立在“相对性原理”和“光速不变原理”这两条公理的基础之上，是爱因斯坦提的，相对论界一直对此没有异议。读者的想法我也曾有过，后来我是这样理解的：相对性原理指的是物理规律在所有惯性系中都相同，不是指物理参数在所有惯性系中都相同。光速虽然是一个常数，但也是一个物理参数，相对性原理不能保证光速在所有惯性系中都相等，都是同一个常数值。要求光速在所有惯性系中都是同一个值，是一个自然的想法，但已超出“相对性原理”的内容之外。因此爱因斯坦特别把“光速不变”作为狭义相对论的第二个基本假设。

从“光速不变原理”可以自然地、严格地给出

“同时相对性”的定量公式。若不用这一原理，而直接把“同时相对性”作为理论的基石，则不易给出定量公式，会使理论复杂化。

此外，“光速不变原理”可以自然得出光速是极限速度的结论。而且“光速不变原理”反映的光速绝对性，不仅反映时空的对称性，而且还可能隐含着我们至今尚不清楚的更为深刻的物理内涵。

读者反馈：“狭义相对论建立在‘相对性原理’和‘光速不变原理’这两条公理的基础之上，是爱因斯坦提的”，读者自然知道。从假想的“追光”实验到“狭义相对论”的建立，爱因斯坦一直在考虑的就是光速问题。“光速不变原理”的提出，不仅使“伽利略相对性原理”和“麦克斯韦电磁理论”得以协调，而且也为定义“同时”找到了绝对讯号。因此，“光速不变原理”作为“狭义相对论”的基础公理，在爱因斯坦心中的地位是不言而喻的。实际上，庞加莱在爱因斯坦之前就坚持“相对性原理”，只是底气不足，所以才假设“光速是常数”，爱因斯坦提出“光速不变原理”使自己对“相对性原理”由“坚持”变为“确信”，进而在弄清“同时相对性”后建立了狭义相对论，因此，他当时认为“狭义相对论建立在‘相对性原理’和‘光速不变原理’这两条公理的基础之上”不难理解，但是，并不能因为这是“爱因斯坦提的”就否认“光速不变原理”可由“相对性原理”导出。至于作者认为“相对性原理指的是物理规律在所有惯性系中都相同，不是指物理参数在所有惯性系中都相同。光速虽然是一个常数，但也是一个物理参数”，读者不敢苟同。在麦克斯韦方程组中出现的 c 本来就是一个与时空自变量无关的常数参数，只是赫兹的实验测定出它就是光速，但是它在麦克斯韦方程组中并不是以 $\frac{dx}{dt}$ 的形式出现，因此它在洛伦兹变换下本来就是不变的。况且它不是一个普通的可调参数，而是一个具有重要意义的物理常数，是光的波动方程中不可分割的一个组成部分。

另外，“从‘光速不变原理’可以自然地、严格地给出‘同时相对性’的定量公式”这句话不准确，应该是，由“光速不变原理”给出“同时”的定义，进而使爱因斯坦想到“同时”的“相对性”。至于由“洛伦兹变换”导出“同时相对性”的定量公式，是爱因斯坦当时就给出的，还是后来得到的，读者

未作过调查，不敢胡乱评论。读者认为，“光速不变原理”和“同时相对性”都是爱因斯坦原创的，正是它们促使爱因斯坦建立了狭义相对论，而且，狭义相对论作为时空理论，“相对”来自“光速不变原理”或“相对性原理”；“时空”则来自“同时相对性”，因此，读者认为，“光速不变原理”和“同时相对性”，或者说，“相对性原理”和“同时相对性”，应是狭义相对论的两大支柱。

二、关于“双生子佯谬”

问：读者有两个问题：①“双生子佯谬”应是由“时钟变慢”引出的，而“时钟变慢”是狭义相对论给出的结论，是相对惯性系而言的，也就是说，双生子 A 和 B 应处在相对运动的两个惯性系中，他们一旦分开，是不可能再相遇的，因此，在狭义相对论的理论框架里，不可能存在“双生子佯谬”；②文中用世界线来讨论“双生子佯谬”，避开了时钟变慢是出自狭义相对论，而将其推广为“动钟变慢”，用固有时 τ 来代替时间 t ，于是就出现了人的寿命如何定义的问题。显然，用可以出现负值的 $d\tau$ 来定义人的寿命是违背常理的，有“偷换概念”之嫌。

答：在相对论诞生的最初几十年，人们认为“狭义相对论”只描述平直空间中的惯性系，非惯性系和弯曲时空中的参考系均属广义相对论范畴。近几十年来，相对论界已把狭义相对论与广义相对论的分界线改划在平直时空和弯曲时空之间，把平直时空中惯性系与非惯性系的问题均归入狭义相对论范畴，《百问》一书开头第一个问题就解释了这一点。所以我在本书中也在狭义相对论范围内解释双生子佯谬，这是目前相对论学术界普遍的做法。

第二，固有时即观测者或实验质点亲身经历的时间，人们的寿命就是固有时间。这也是相对论界的共同观点。固有时间不会是负的，除非倒过来计时，这里不存在矛盾。由于本书只是科普形式的读物，所以作者对此问题没有多加解释。实际上这是一个很深刻、可以进一步深入探讨的问题。作者在即将出版的《广义相对论基础》（清华大学出版社，年底前出版）一书中对此有更多的说明。俞允强先生的《广义相对论引论》，刘辽先生的《广义相对论》和梁灿彬先生的《微分几何与广义相对论》等著作中对此均有深入的探讨。

以上意见仅供参考。

读者反馈：“人们的寿命就是固有时间”，这一

点，作为相对论的一般读者，是很难接受的。就说高能粒子吧，在它的“本身坐标系”里，它的寿命的确是固有时间，但是实验物理学家并不是在它的“本身坐标系”里测量它的寿命，难道从核乳胶照片中通过径迹测得的也是“固有时间”吗？实在不可思议！另外，作者在书中谈到，“双生子佯谬”是郎之万在相对论诞生初期提出来的，那时，郎之万肯定不会认为“人们的寿命就是固有时间”，也不会知道狭义相对论与广义相对论的分界线的重新划分，因此，在前面的问题中，读者认为“‘双生子佯谬’应是由‘时钟变慢’引出的”，而在“狭义相对论”中，“钟变慢”所涉及的显然是四维时空的时间分量。如果讨论的是“固有时间”，由于它在洛伦兹变换下是不变的，也就不存在“变慢”的问题，又怎么会引出“双生子佯谬”呢？显然，相对论界现在所讨论的“双生子佯谬”已经不是郎之万的“双生子佯谬”。



科苑快讯

单分子激光制冷首次达到接近绝对零度

分子制冷，是物理学家一直要攻克的一个难题。最近，美国耶鲁大学的两位科学家，使用了既有技术和几项新技术，把氟化铯冷冻到仅有几百微开。首先，他们选择了氟化铯，经过计算，这种分子不太可能发生振动阻碍制冷；然后，他们选择了一束彩色激光，以确保能量被分子吸收而不会让它们自旋；最后，他们用了一种预先冷冻的氟化铯，取得了良好的效果。

这种超冷分子有助于科学家研究量子力学的化学属性。超低温下，极性分子可被看作是微小的磁体，有着南北两极，研究人员可利用这一性质，构建一个反应系统，让极冷粒子在其中相互反应，而这用超冷原子是做不到的。

研究人员说，最终超冷材料将应用在量子计算机上。由于超冷分子具有“磁体”特征，这意味着分子之间能通过磁场互相反应。使它们能执行分类量子计算，可能会突破现有计算机的编码和解码问题，实现量子重叠与牵连原理产生的巨大计算能力。这是当前最大的超级计算机由于物理化学方面的限制而无法实现的。

（摘自 2010 年 9 月 21 日《科技日报》）