

## 191 我们在教孪生佯谬？

### 主题

在中学教材、大学教材和科普读物中，都有关于孪生佯谬的讨论。在科学期刊中有数百篇这方面的文章。有些文章甚至是这方面的元文章，用直方图统计出了到目前为止所发表的这方面的科学论文数量。这是一个很小的主题，却被认为是很重要的主题。

我们把这个佯谬简要地说一下。一对孪生兄妹（我们把他们叫做威利和莉莉）核对了他们的手表。然后，莉莉乘飞船以恒定速率去遥远的天体旅行，后来又以恒定的速率回来。莉莉和威利又重新会合了，并发现威利的手表的读数大于莉莉的手表的读数。威利比莉莉更年长了。图 1 画出了威利和莉莉的位置-时刻图线，即所谓的世界线。

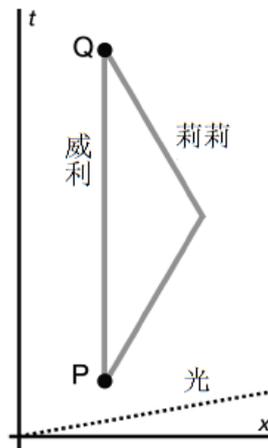


图 1. 威利和莉莉的世界线。在 P 和 Q 两个时空点之间，威利总处于“自由漂浮”状态，而莉莉则不是。

根据“时间膨胀”效应，威利和莉莉都会认为对方所经历的时间较短。这个结论看来是有矛盾的。

### 负担

亲爱的读者，我假定你已经熟悉了这个佯谬。这种佯谬司空见惯，我对破解这个佯谬并不感兴趣。

然而，我更关心的是这个主题所涉及的问题，尤其是在中学和大学教这一主

题时所涉及的问题。

为此，我稍改变一下这个佯谬中的故事。

威利和莉莉先核对了他们的手表，给出了相同的读数。然后，莉莉去了操场，威利去了商场。在傍晚，他们又见面了，发现他们的手表读数不一样了（图 2）。

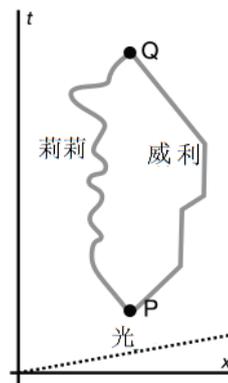


图 2. 莉莉去了操场，威利去了商场。在两个时空点之间，对他们来说所经历的时间是不同的。

当然，由于钟表的精确度不高，这个故事不大符合现实。然而，那个理想实验并不比通常所举的例子要好。并且，这个例子也是很不符合现实的。与传统的例子相比，我们所举的这个故事的优点是，它并不需要用借助于计算就能让我们比较好地理解所观察到的现象。并且，它还给出了这样一个我们必须在本质上接受的事实：空间（space）和时（time）是可以合二为一的。

利用几个公式计算时间差对于理解并不会带来多大的帮助。这一计算结果与时钟的读数一样也是难以置信的。如果我们试图用时间膨胀（对于威利来说）和时间膨胀与加速效应的综合效应（对于莉莉来说）来证明孪生兄妹的年龄差值的正确性，这对于理解也是没有多大帮助的。我们只能在相对论（Theory of Relativity，以下简称为 TR）框架下进行计算。当然，我们会认为这些计算都是正确的。

如果我们来分析一个更具类比性的情境，这种辩解和解释模式的不适合性尤其对于初学者来说显得特别明显。这一情境对所有人来说都能很好地理解，但没有人会提出佯谬。

我们用更加熟悉的另外两个维度来取代时空（space-time）的两个维度（在

TR 中，我们跟往常一样将问题局限在一个空间维度中)。这两个维度是：正常的位置空间中的两个水平分量。这是我们在地球表面上所行走的空间。

这个新的情境是这样的：威利和莉莉各驾驶着一辆汽车，从 P 点沿不同路径驶向 Q 点（图 3）。威利笔直地从 P 点到达 Q 点。莉莉也是笔直地行驶的，但其路径中有一个拐点。他们分别读出在开始和到达终点时里程表上的读数。他们发现，莉莉行驶的路程较长。

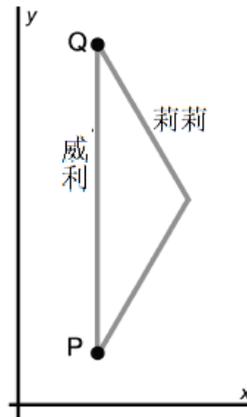


图 3. 威利和莉莉沿不同的路径从 P 点行驶到 Q 点。他们的里程表所显示的读数不相同。

如果我们假设我们不知道前（forward）和侧（sideward）是同一空间的两个维度，那么会产生下面的佯谬（类似于 TR 孪生佯谬）：威利发现，莉莉所行驶的路程必定比他自己向行驶的路程更长（图 4a）。

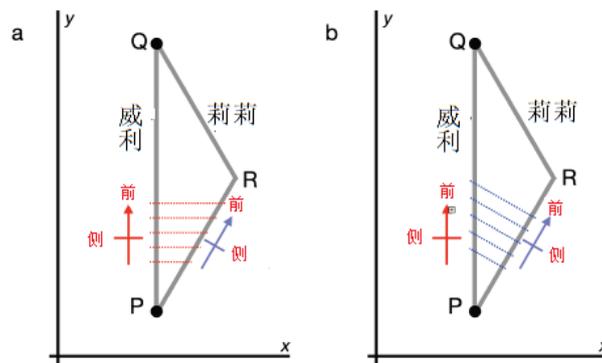


图 4. (a) 威利发现，莉莉所行驶的路程较长。(b) 莉莉发现，威利所行驶的路程更长。



里程表来进行测量。显然，它们的读数是不同的，这不足为奇。

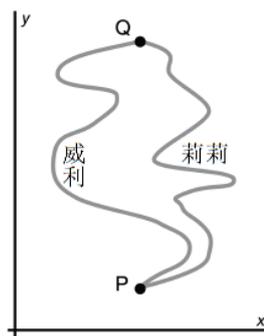


图 6. 如果我们想证明威利和莉莉所行驶的路程是不同的，是否需要用微分几何算出它们的路径长度？

同样，我们也可以这样来描述图 2 所示的情境：我们可以用他们各自的手表来局域地测量出时间的“增加”。

## 历史

这个效应早在 1905 年已经由爱因斯坦在他著名的著作中提出来了，但他当时没有把它作为佯谬提出来。

孪生佯谬在当时看来是一个很特别惊人的话题。爱因斯坦的理论挑战了人们对于时和空间的基本信念。而这一基本信念直到那时一直被认为是有效的。

时和空间可以综合为时空这一事实是逐渐被人们所认识的。帮助人们认识到这一点的重要工作是由闵可夫斯基 (Hermann Minkowski) 做的。下面是他在 1908 年写的关于这方面的一句话：

**从现在开始，空间和时本身不再是虚玩的影子了，而是两者的综合，并且是独立存在的。**

人们慢慢地接受了时空这一新的概念，也基本上接受了一个简单的事实：以前所用的三维矢量 (three-vector) 现在变成了四维矢量 (four-vector)。

尽管在这一背景下两只时钟所显示的读数存在着差异是理所当然的事，但对这一效应人们还是用孪生故事这一主题来加以描述。后来，这个故事成了其他许多重量级的物理学家们所讨论的对象。

之后，就出现了常见的现象：尽管 TR 这一新的物理学知识本来可以用更直接的方式来引入，但 TR 的教学却遵循了一条曲折的历史路径。在这条路径中伴

随着许多爱因斯坦在刚开始时所提出的一些细节：时钟同步、同时的相对性、长度缩短、时间膨胀。

每位学生都必须按这条路径学习这一新的知识。这样，他们必定都要学一下这个孪生佯谬。

最后，有一条法则也会在 TR 教学中起着作用：人们总认为，只有通过计算才能获得理解。

### 建议

如果我们一开始就清晰地认识到时和空间是可综合为时空的，所有问题就都解决了。例如，惠勒（J. A. Wheeler）以简单的方式解释了时空的实在性，不用任何坐标系或参考系给出了清晰的时空定义。<sup>[1]</sup>

首先，我们必须遵循由惠勒反复强调的一条法则：<sup>[2]</sup>

**不要去描述相对于遥远物体的运动。当我们局域地去分析时，物理学才会变得简单。**

这样，我们就能避免如下问题：莉莉的手表所显示的威利的时刻是多少？显然，这个问题一定是这样的意思：莉莉的手表所显示的威利**现在**的时刻是多少？为此，问题就出来了：你无法从威利的“现在”推断出莉莉的“现在”。

我们无法借助于同步的时钟为遥远的地方定义“现在”。“现在”只能用于“这里”。

在现代物理课程中有时空度量学的内容。在这里我们明显地知道，孪生故事并不是佯谬。

然而，即使对于初学者来说，这也不是问题。我们将图 2 所示的故事告诉给学生，并将其与图 6 所示的故事进行对比，再将以下经验告诉学生：自由漂浮体运动的时间最长，以极限速度运动不需要时间。

我们无论如何不能以莉莉为参考系来进行计算。这是因为，它违背了物理学所遵循的一条普遍法则：所选择的参考系对于解决问题来说必须是最容易的；最重要的是，不要在计算过程中变换参考系。然而，在孪生佯谬中，人们正是犯了这样的错误，并由此引起了混乱的讨论。

### 参考文献

[1] J. A. Wheeler, *A Journey into Gravity and Spacetime*, The Scientific

American Library HPHLP, New York, 1990, Chapter 3.

[2] C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, *Gravitation*, W. H. Freeman and Company, New York, 1973, p.4.

*Friedrich Herrmann*

(陈敏华, 2020年7月16日译毕于浙江省绍兴市柯桥区鉴湖中学)