

[物理故事]

同时的相对性

文_赵 峰

赵峰，1967年毕业于中国科技大学物理系，1981年于北京师范大学天文系获硕士学位，1987年于布鲁塞尔自由大学获博士学位。曾任北京师范大学研究生院副院长、物理系主任、中国引力与相对论天体物理学会理事长、中国物理学会理事。现为北京师范大学物理系教授，理论物理博士生导师、教育学博士生导师。



带着光速不变原理和力学速度迭加原理的矛盾问题，1905年5月的一天，爱因斯坦拜访了他的好友贝索。贝索也是奥林匹亚科学院的成员。爱因斯坦回忆，那是一个晴朗的下午，经过一个下午的讨论，他突然明白了，问题出现在“时间”上：通常的时间概念值得怀疑。“时间并不是绝对确定的，而是在时间与信号速度之间有着不可分割的联系。有了这个概念，前面的疑难也就迎刃而解了。”

5周之后，爱因斯坦建立相对论的论文就完成了。

爱因斯坦在与贝索的讨论中究竟明白了什么呢？他想明白了，两个不同地点的时间“同时”，不是想当然就存在的绝对概念。必须有一个可以操作的办法，把放在两地的钟校准，才能使它们同时或同步。

A地与B地各有一个钟，怎么才能把它们校准呢？观测者A可以从A点发射一个信号到B，告诉B点的观测者现在A处的时间，观测者B再把他的时间也调到这一时刻，这不就把两个钟对好了吗？可是，事情并不是这样简单。信号从A走到B是需要时间的，需要多少时间呢？应该首先知道信号的传播速度。但是要想知道信号传播速度又必须先把两地的钟对好。于是我们陷入了一个无法解脱的循环。

与爱因斯坦同时代的大数学家庞加莱就主张，在“对钟”之前要首先“约定”（也就是“规定”）信号的传播速度。庞加莱知道，当时已知的最快的信号速度是光速，而且他猜测光速有可能是自然界中传播最快的速度，甚至有可能是极限速度。爱因斯坦在奥林匹亚科学院的活动中，就曾读过庞加莱的书，他们这帮小青年曾为庞加莱书中的内容长时间激动不已。与贝索的讨论可能使爱因斯坦回忆起了以前读过的庞加莱的一些观点，他找到了突破口。

爱因斯坦就用光来传播信号。他约定，也就是规定，光速各向同性。也就是说，规定在真空中，光从A运动到B的时间和从B返回到A的时间相等。

他让A点的观测者在 t_A 时刻向B发射一个光信号，B处有一个钟和一面镜子，光信号到达B的时刻是 t_B ，镜子立刻把光反射回去，光信号返回到A的时候A钟

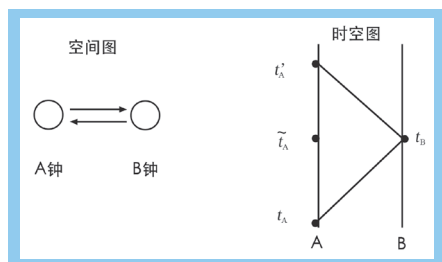


图1 用光信号对钟

的时刻为 t'_A 。爱因斯坦就定义 t_A 与 t'_A 的中间时刻 $\bar{t}_A$ 是与 t_B 同时的A钟的时刻(图1)。

这样,爱因斯坦就解决了对钟的问题,找到了定义A点和B点的钟同时的办法。

爱因斯坦认为,由于光速不变原理,各惯性系中的光速都是同一个值 c ,因此所有惯性系中都可以用这一方法对钟,定义同时。不过,各惯性系中定义的同时一般会不同。也就是说,对于A处与B处两个地点发生的不同事件,在一个惯性系中看如果同时发生,在另一个惯性系中看,就可能不同时。爱因斯坦称这种情况为“同时的相对性”。也就是说,同时,并不是像一般人想象的,是一个绝对的概念,而是一个相对的概念。

为了更好地理解同时的相对性,我们先回顾一下“同地的相对性”。众所周知,两件事情是否发生在同一个地点,是一个相对的概念。在公交车上,乘客站在售票员对面,乘客把钱给售票员,售票员撕了一张票给他。递钱和递票这两件事是否发生在同一地点呢?由于乘客一直站在售票员对面没有动,所以车上的人都认为这两件事发生在同一个地点。但在车下的人却不这么认为,他认为递钱时车刚起动,还未离开车站,递票时车已离开车站一段距离了。这两件事不是发生在同一个地点。所以,两件事是否发生在同一个地点,不同参考系中的人会有不同的看法,这一点大家都知道。

但是,依据我们的日常生活经验,两件事情是否同时发生,似乎是一个绝对的概念。例如,在一辆公交车上,有两个孩子,在车头和车尾各放一个鞭炮。如果车上的人认为他们是同时放的炮,车下的人呢?车下的人是否也认为他们是同时放的呢?按照我们的日常生活经验,车下的人似乎也会认为他们是同时放的炮。但是相对论告诉我们,只要车一直在跑,在车下的人看来,这两个炮就会是不同时放的,一个炮先响,另一

个炮后响。不过,由于汽车的速度太低,远低于光速,所以这点差异显现不出来。如果汽车的速度可以与光速相比,例如达到光速的一半,这个时候同时相对性的效应就会很明显,车下的人会很清楚地感到两个鞭炮不是同时响的。正是由于我们通常接触到的交通工具(汽车、火车、飞机等)速度都太低,同时相对性的效应显现不出来,所以我们一直误以为同时是一个绝对的概念。

光速不变原理必定导致同时的相对性。而同时的相对性正是爱因斯坦相对论的核心概念。弄懂了这一概念,相对论的所有问题就都迎刃而解了。

在相对论中,同时的相对性是洛伦兹变换的推论。从洛伦兹变换可以很容易地证明同时的相对性,读者可以在任何一本介绍相对论的教科书中找到有关证明。

爱因斯坦还认识到,物理学中长期沿用的速度迭加原理(即平行四边形法则)在相对论中不再成立,需要修改。所以,光速不变原理与速度迭加原理的矛盾,可以通过修改速度迭加原理得到解决。

在 s 系和 s' 系中沿 x 轴(当然也就沿 x' 轴)平行放置2根尺,它们静止时的长度均为 l_0 。当 s' 系沿 x 方向运动时,在 s 系中看,自己的尺是静尺,长度保持为 l_0 ,而 s' 系中的尺在以速度 v 运动。当 s 系中的观测者用自己的尺同时去量 s' 系中的尺的两端时,他发现 s' 系中的那根尺的长度缩短了,变成了 l ,这正是洛伦兹收缩。在 s' 系中的观测者看来,自己的尺是静尺,长度一直是 l_0 ,而 s 系中的尺以速度 v 反向运动。当 s' 系中的观测者用自己的尺同时去量静止在 s 系中的尺(对 s' 系是动尺)的两端时,也发现 s 系中的尺缩短了,长度缩成了 l 。

双方都认为对方的尺缩短了,都认为对方的尺产生了洛伦兹收缩。谁对呢?都对。这是因为双方都依据自己的钟同时去量对方尺的两端。而 s 系中的同时,不是 s' 系中的同时;反过来 s'

系中的同时也不是 s 系中的同时。

测静尺不需要同时去量它的两端,因为静尺不会动,老停在那里,是否同时去量两端没有关系。而量动尺的长度则必须同时去量它的两端,否则它就移动了,跑过去了,不可能确定它的长度。

当 s 系中的观测者同时去量静止于 s' 系中的尺(即动尺)的两端时, s' 系中的观测者用自己的钟判断,认为 s 系中的观测者并未同时去量自己尺的两端,而是先量了自己尺的一端,然后才量另一端,所以会认为自己的尺缩短了。 s 系中的观测者也有类似的看法,认为 s' 系中的观测者并未同时测量自己尺(即静止于 s 系中的尺)的两端,所以才会认为自己的尺缩短了。

相对论的这一动尺收缩结论与洛伦兹的收缩观点不同。相对论认为动尺收缩是一个相对的概念。洛伦兹则认为,自己提出的动尺收缩效应是绝对的。相对于绝对空间和以太静止的尺不会收缩,收缩的只是那些相对于绝对空间运动的尺。洛伦兹还认为,自己提出的洛伦兹收缩是一个真实的物理效应,运动的原子会由于收缩而变扁,内中的电荷分布会发生变化。相对论则认为动尺收缩只是一种时空效应,运动的原子不会真的变扁,电荷的分布也不会发生变化。

相对论中的动尺收缩效应,后来依然称为“洛伦兹收缩”,但含义已不是洛伦兹的原意了;“洛伦兹变换”的名称也依然保留,但也与洛伦兹当年的理解不同了。

洛伦兹刚开始时反对爱因斯坦的理论。他觉得自己的理论与爱因斯坦的理论形式相似,公式相同,别人不好区分,就建议把爱因斯坦的理论称为“相对论”。爱因斯坦觉得这个名称还可以,就同意了,这就是相对论名称的由来。经过多次讨论,后来洛伦兹接受了爱因斯坦的理论,承认了相对论的正确性。■

本文节选自上海教育出版社出版的《爱因斯坦与相对论——写在广义相对论创建100周年之际》,有删改。