

漫谈两个基本假设与相对论时空观

周长春

爱因斯坦是人类历史上最具创造才智的科学家,他一生开创了物理学的四个领域——狭义相对论、广义相对论、宇宙学和统一场论,他是量子理论的主要创建者之一,有人说爱因斯坦应该拿6个诺贝尔奖,足见他物理学和对社会的贡献。

一、爱因斯坦创立狭义相对论经历了三个阶段

爱因斯坦16岁时就提出“追光”假想实验,这是萌发狭义相对论思想的第一个阶段;爱因斯坦对光、麦克斯韦方程、电磁波、以太、地球运动等问题的深入思考,最初起源于消除电磁学理论中的不统一性,可以看作他思想发展的第二阶段;重审、放弃传统的时间观念,在同时性问题上的突破,可看作第三个阶段。由于爱因斯坦大胆抛弃了牛顿的绝对时空观,放弃了牛顿力学的速度合成法则,仅仅用5周的时间,就完成了狭义相对论。

二、爱因斯坦的两个基本假设是

建立相对论时空观的基础

爱因斯坦16岁提出“追光”设想,用了10年时间,经过对当时物理学中各种相互矛盾观点的分析与思考,放弃许多无效的尝试,“终于醒悟到时间是可疑的”,大胆地放弃了牛顿的绝对时空观,以此为突破口,从同时性的相对性入手,提出了两个基本假设,即相对论基本原理。

第一是相对性原理:一切惯性系都是平等的,不存在绝对静止的“特殊参考系”,静止和运动是相对的,一切物理规律(不论是力学的、光学的或电磁学的)在所有的惯性参考系中都相同。

第二是光速不变原理:光在真空中的速度,对于一切惯性参考系来说,都是相同的,它与光源的运动速度无关,也跟观察者或测量仪器的运动速度无关。光速不变原理突破了同时性的绝对性,光速不变的含义是:在真空中光速的大小不变、各向同性、与物质无关、与光源运动状态无关、与观察者的运动状态无关等多层意思。光速还以一个普适常数同时出现在电磁关系、洛伦兹变换、时空联系、质能关系、质点的能量质量与动量相联系等公式中,成为物质若干基本性质之间的重要桥梁,成为信号传递不可逾越的界限,揭开了人类认识史上新的一页,形成了20

世纪物理学发展的重要支柱之一。光速不变原理虽然跟经典时空观是矛盾的,但它作为爱因斯坦的两条基本假设,是建立相对论时空观的基础,现已被科学实验间接证实。

通过两个基本假设,可得到不同惯性系的坐标变换关系式 $x' = (x - vt) / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ 、 $y' = y$ 、 $z' = z$ 、 $t' = (t - vx/c^2) / \sqrt{1 - v^2/c^2}$,式中 c 为光速, x 、 y 、 z 、 t 为 S 惯性系的时空坐标, x' 、 y' 、 z' 、 t' 为 S' 惯性系中的时空坐标, S' 惯性系相对 S 惯性系沿 x 轴以速度 v 运动。

将这个时空变换用到麦克斯韦电磁场方程,可证明相对性在不同的惯性参考系中电磁场方程的形式保持不变;再利用上述关系,可导出相对性速度加法公式 $u = (u' + v) / (1 + vu'/c^2)$,式中 u' 表示物体在惯性参考系 S' 系中的速度, u 表示物体在 S 惯性参考系中的速度。此式表明速度合成法能满足光速不变原理,从而消除了光速不变与经典速度合成法则的表观矛盾。如果 u' 和 v 都很小,则 $u = u' + v$,这就是经典力学中的速度合成公式;如果 u' 和 v 都很大,例如十分接近光速,它们的合速度也不会超过光速,也就是说光速是速度的极限;此外,当 $u' = c$ 时,不论 v 取什么值,总有 $u = c$,这表明,从不同参考系中观察,光速都是相同的。

1915年,爱因斯坦在狭义相对论的基础上,又创立了广义相对论。广义相对论的创立为物理学理论更广泛的统一奠定了基础,同时开辟了现代宇宙学发展的道路。

三、爱因斯坦的两个基本假设是

理解相对论时空观的基石

同时的相对性是由两个基本假设直接导出的,同时的相对性是理解时间间隔相对性的基础,长度的相对性是由同时的相对性导出的,理解时间和空间的相对性必须注意这种逻辑关系。

首先谈一谈如何理解同时的相对性。同时性的相对性,是针对发生在不同地点的事件而言的。因为如果两个事件同时发生在位置坐标上的同一点,那么这两个事件光信号的传递就是相同的过程。在

这种情况下,不论是在静止参考系观察还是在运动参考系观察,都不会出现先后接受到光信号的问题,此时同时就是绝对的,与参考系的选择无关。如果两个事件发生在位置坐标上的不同点,针对观察者来说才会有是否同时接受光信号的问题。根据光速不变原理,此时同时的概念并不是绝对的,它跟参考系的选择有关,在运动的惯性参考系中同时发生的两件事,在静止参考系中的观察者所看到的就不是同时发生的,反之在静止参考系中同时发生的两件事,在运动惯性系中的观察者所看到的就不是同时发生的,这就是同时性的相对性。

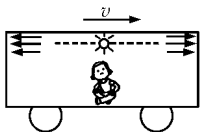


图 1

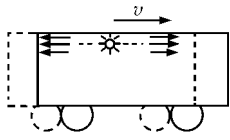


图 2

用爱因斯坦的假想火车实验可加深对这个问题的理解,假设一列很长的火车沿平直轨道飞快地匀速行驶,车厢中央有一个光源发出一次闪光,车上的观察者认为闪光同时到达前后两壁,如图 1 所示;而车下的观察者认为闪光先到达后壁、后到达前壁,如图 2 所示。很多同学对这个问题不理解,我们可用极端思考法来加深理解,假设火车以光速做匀速直线运动,则车速与光速一样,根据光速不变原理,对地面观察者来说,光永远无法到达车的前壁,而对火车观察者来说,认为火车是静止的,因光速不变,所以闪光同时到达前后壁。由此可知,对火车观察者来说是同时发生的事件,对站台观察者来说是不同时的,两个事件是否同时发生与参考系的选择有关。

【例 1】A、B、C 三个完全相同的时钟, A 放在地面上, B、C 分别放在两架航天飞机上, 航天飞机沿同一方向高速飞离地球, 但是 B 所在的飞机比 C 所在的飞机飞得快, B 所在飞机上的观察者认为走得最快的钟是_____, 走得最慢的钟是_____。

【解析】以 B 所在的飞机为参考系, B 所在的飞机是静止的, 地面相对 B 所在飞机的运动速度最快, 由于运动的时钟变慢, 所以 A 钟走得最慢、B 钟走得最快的。

接着谈一谈如何理解时间的相对性。时间的相对性, 是针对不同参考系的观察者而言的。在同一参考系中, 时间标准是相同的, 但在不同参考系, 时间标准不同; 在同一参考系中, 时间长短是绝对的, 但在不同参考系中, 时间长短就不是绝对的, 而跟参

考系的选择有关, 这种现象叫做时间的相对性, 已被科学实验证实。时间可用钟表测量, 每一种时间测量工具都可看作钟。以高速火车为例, 假设车厢地板上有一光源发出闪光, 对于车厢上的人来说, 光是按如图 3 所示的路径传播, 即车上的人认为光是沿竖直方向到达小镜后又沿竖直方向被反射, 闪光被小镜反射后回到光源位置所用的往返时间 $t_0 = 2h/c$, 而对于地面上的观察者来说, 在光的传播过程中, 火车向前运动了一段距离, 因而被小镜反射后又被光源接收的闪光是沿路径 AMB 传播的, 如图 4 所示, 如果火车速度为 v , 则地面观察者测得的闪光从出发到返回光源所用时间 t 可由关系式 $(vt/2)^2 = (ct/2)^2 - h^2$ 求出, $t = t_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$, 由此可知地面上测得的时间要长一些, 即地面上的观察者认为火车上的钟要慢一些。可是车上的人反而认为路面正朝反方向运动, 地面上的时间进程比火车上的要慢。这两个观点都正确, 这就是时间的相对性。

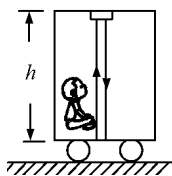


图 3

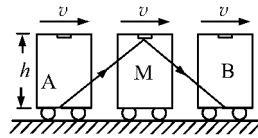


图 4

【例 2】孪生子佯谬问题。孪生子佯谬问题是狭义相对论中关于时间延缓的一个似是而非的疑难问题。按照狭义相对论, 运动的时钟走得较慢是时间的性质, 一切与时间有关的过程都是因运动而变慢, 变慢的效果是相对的, 于是有人设想一次宇宙航行, 一对孪生兄弟在过 20 岁生日那天, 哥哥阿明乘高速飞船到宇宙空间去旅行, 设飞船一去一回相对地球都做匀速直线运动, 速度的大小为 $v = 0.9998c$, 阿明按照飞船上的时钟和日历, 在飞船上生活整整 1 年后回到地球上。在地球上观察这段时间间隔为 $t = t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} = 1 / \sqrt{1 - 0.9998^2}$ 年 = 50 年。当阿明 21 岁旅行归来时, 迎接他的是一直住在地球上的 70 岁弟弟阿亮。上述过程反过来分析, 也可以看成飞船不动, 而地球以 $v = 0.9998c$ 反方向一去一回, 如果在地球观察的时间也是 1 年, 那么飞船上观察的时间将是 50 年, 所以当阿亮过 21 岁生日时, 赶回来祝贺他的将是 70 岁的阿明, 现在人们要问: 当阿明乘坐飞船回到地球时, 阿明和阿亮究竟谁年轻? 这就是有名的孪生子佯谬问题。

【解析】对孪生子佯谬的正确理解要抓住下列两点：第一，相对论运动的时钟变慢的结论适用于两个作相对运动的惯性系，若飞船相对地球作匀速直线运动，从地球上看来，惯性系飞船上的阿明变年轻了；而从飞船上看，反方向作相对运动地球上的阿亮也变年轻了，这两个结果都是对的，因为相对性是针对两个相互做匀速直线运动的惯性系而言的，这两个参考系是对称的。而当飞船飞出去后又飞回到地球上，必定要经历加速—匀速—减速，掉头后再次经历加速—匀速—减速的过程，这样飞船就不能看成一个参考系，而是处于不同的参考系中，而留在地球上的阿亮始终处在同一个参考系中，所以上述推论是荒谬的。第二，狭义相对论不能回答谁更年轻的问题，但对于非惯性系，按照广义相对论理论，在变速系统中发生的时间变慢是绝对的，考虑到这一事实，则飞船上的钟比地球上的钟慢，即阿明比阿亮年轻。这个结论已被科学家设计的原子钟实验和 μ 子的衰变实验所证实。即让飞机携带铯原子钟以270m/s的速率绕地球飞行一周，实验结果证明了绕地球航行的钟比地球上的静止钟走得慢，如让 μ 子高速匀速运动或沿圆形轨道高速飞行，实验测得 μ 子的寿命比地面上的静止 μ 子要长。

最后谈一谈如何理解空间的相对性。要理解空间的相对性就必须先理解长度的相对性，长度的相对性也是针对不同参考系的观察者而言的。在同一惯性系中物体的长度是绝对的，但在不同惯性系中，物体的长度就不是绝对的，而跟参考系的选择有关，这种现象叫做长度的相对性。用雷达钟来讨论，设雷达天线跟反射板间的距离等于1根直尺的长度，如图5所示，这把直尺在静止参考系中长度是 l_0 。让雷达钟沿直尺方向以速度 v 运动，雷达钟从天线A发出的信号经反射板B反射后又被雷达接收，如图6所示。从相对雷达钟为静止的观察者来说，信号往返所经过的时间为 t_0 ，则

$$ct_0 = 2l_0 \quad (1)$$

但从静止于地面的观察者来说，这段时间等于 t ， t 和 t_0 的关系是

$$t = t_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (2)$$

设信号从A运动到B的时间为 t_1 ，地面上的观察者看到直尺已到达 A_1B_1 位置，再从B返回到A的时间为 t_2 ，直尺已到达 A_2B_2 位置，则由 $ct_1 = l + vt_1$ 、

$ct_2 = l - vt_2$ ，可得 $t_1 = l/(c - v)$ 、 $t_2 = l/(c + v)$ ；因为 $t = t_1 + t_2$ ，所以

$$t = 2cl / (c^2 - v^2) \quad (3)$$

由(1)(2)(3)式可得 $l = l_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ 。

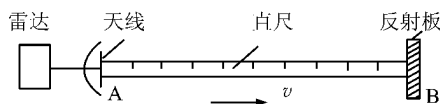


图5

这表明运动尺的长度 l 小于 l_0 ，随着相对速度的变化而变化，这就是长度的相对性。运动的长度收缩是相对的，如若将上述直尺放置在地面上，观察者沿长度的方向运动，则观察者认为地面上的直尺收缩。必须注意物体沿运动方向的长度缩短，但与运动方向垂直方向的长度并不收缩，若将正方形宣传画贴在铁路旁的墙上，超高速列车上的乘客看到的是长方形宣传画，所以空间是相对的。

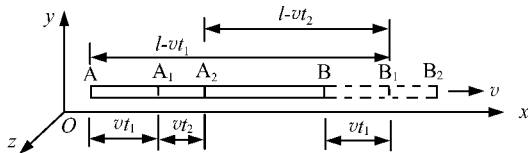


图6

【例3】假设宇宙飞船从地球发射出去，沿直线到达月球，距离是 3.84×10^8 m，它的速率 v 在地球上被量得为 $0.3c$ 。根据地球上的时钟，这次旅行花多长时间？根据宇宙飞船所作的测量，地球与月球的距离是多少？怎样根据这个算得的距离，求出宇宙飞船上时钟所读出的旅行时间？

【解析】地球距离月球 $l_0 = 3.84 \times 10^8$ m，是在静止参考系中看到的距离，由运动学公式可得飞船从地球飞到月球所需时间为 $t = l_0/v = 4.27$ s。在飞船上测量地球与月球间的距离为 $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = 3.66 \times 10^8$ m。从飞船上观察，飞船到月球所需时间 $t = l/v = 4.07$ s 或 $t = t_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} = 4.07$ s。

四、爱因斯坦相对论的重要意义

爱因斯坦的相对性理论对物理学、哲学和社会的发展都有重大意义。首先，狭义相对论已成为物理学的经典内容，狭义相对论与量子力学结合，成为现代物理学发展的主流；微观、宏观、宇宙观的研究都离不开相对论，天体演化、生命起源、粒子结构是现代科学的三大前沿阵地，其中在天体演化、粒子结构的研究中，相对论都起着支柱作用；另外，爱因斯坦

今日美国的科研关注与经费投向

童国梁

美国是当今世界唯一的超级大国,也是世界第一科技强国。美国政府长期执行重视科学、重视教育的政策,在科研上给以庞大的经费支持,并引入积极的竞争机制,近百年来,成果斐然、人才辈出。由于战争(特别是伊拉克战争)、反恐以及赤字的大幅增加限制了布什



政府近年来的研发(R&D)预算。最近几年, *Physics Today* 等有代表性的科学杂志经常刊登一些美国科学家、有关的国会议员以及政府官员关于美国政府科学和研究经费预算的评论和讨论。通过这些文章,可以了解今天美国的科研关注、经费预算规模以及各领域科学研究的经费投向,也可以看到今天战争、恐怖主义和巨大赤字对美国研发政策的影响。这些内容对于扩大我国广大科学工作者和本刊读者的视野是有帮助的。

一、2006 财政年度美国联邦政府的研发经费建议

我们首先看看今天美国的经济实力以及财政状况。表 1 给出了 2005~ 2006 年美国国内生产总值(GDP)以及美国政府这两年的财政情况。表中的“非国防”是指政府预算中除“国防”外的年度预算总和。美国每年的年度预算案是由总统和国会决定的,它包括美国联邦调查局、海岸防卫、教育、空间探索、公路建设、国防、对外援助等等诸多方面的开销。本文所要讨论的美国研发经费分布于各有关部门。表中“法定开支”是指美国永久法律要求提供的开

支,而不是年度预算法案,如社会保险以及学生贷款计划。“政府收入”主要是各种税收,例如所得税、薪水税、特许权税和进口税等。表中的具体数值与实际值可能有些出入,因为“年度”的算法不完全一致,有的用日历年、有的用财政年度。美国的财政年度是这样计算的,即从上一年度的 10 月 1 日到这一年的 9 月 30 日。但是,这些不会影响我们对美国经济和科研情况的一般性了解。

美国的科学研究除了政府的财政支持外,企业界也给以很多投入,但企业支持的研究领域多集中在应用研究以及产品开发方面。基础研究,包括大型科学实验和国家实验室,则主要由美国政府的财政经费支持。到 2005 年初,美国财政赤字达 4000 多亿美元。面对反恐战争和赤字不断增加的压力,2006 财政年度民用科学和技术的预算也受到影响。2006 财政年度美国的研发总预算为 1323 亿美元(请注意,这里仅包括有关研发经费部分),比 2005 年增加了 7.33 亿美元。插图是 2006 财政年度美国联邦政府研发总经费预算的分配比例示意图。

2006 年度,国防部(DOD)又成为美国政府研发预算的最大领受者,其研发预算占总预算的 53%。美国全国卫生研究所(NIH)排名第 2,得到 287 亿美元,约占 22%,比去年增加了 0.5%。NIH 研究经费增幅也为 0.5%,达到 279 亿美元。美国国家航空和宇宙航行局(NASA)的经费预算排名第 3,

坦创立相对论时阐述的方法论,对于物理学的发展有重大的启发作用。第二,相对论从根本上改变了牛顿的绝对时空观,改变了人们对世界的根本看法,极大地丰富了哲学的内涵。第三,得益于相对论理论的重大发明正在造福人类社会。狭义相对论深刻揭示了能量与质量的相互联系 $E = mc^2$,这一关系式是粒子物理学以及核能应用的基本规律,质能关系式为核能的应用提供了坚实的理论基础,爱因斯坦

坦认为质能关系式是狭义相对论中最有意义的结果;全球定位系统之所以能将物体的位置精确到米,正是根据狭义相对论对地球卫星发出的信号进行修正;狭义相对论与量子理论结合,指出存在反物质,科学家们利用正电子,即反“电子”,通过 X 射线层析照相术研究大脑活动。因此可以说相对论对社会发展也具有重大意义。

(广东省佛冈县佛冈中学 511600)

现代物理知识