

# 狭义相对论的创立与爱因斯坦的创新思维

乔灵爱 魏全香

1905年,爱因斯坦(A.Einstein, 1879~1955)发表了具有划时代意义的论文《论动体的电动力学》,创立了狭义相对论。他把力学现象和电磁现象的规律平等统一在相对性原理之下,得到一系列不同于牛顿力学的重要结论,解释了与牛顿理论相矛盾的全部实验现象,从根本上改变了传统的时空观念,解决了许多重要的物理问题。不仅如此,他思考问题、研究问题的创新思维带给人们更多的思考。追溯爱因斯坦狭义相对论思想的发展线索,透视其科学创新思维方法,将有助于我们深入理解他的科学思想,并从认识论、方法论的高度得到提升。

## 狭义相对论产生的历史背景

狭义相对论的产生有着深远的历史根源,正如爱因斯坦所说,“是一条可以追溯很多世纪的路线的一种自然发展的问题”。

众所周知,牛顿力学是整个经典物理学的基础。牛顿(I.Newton, 1642~1727)的《自然哲学之数学原理》(简称《原理》)不仅奠定了近代力学的基础,而且提示了近代科学的最初理论体系。就是在《原理》中他提出了绝对时间、绝对空间的概念,亦为牛顿力学提供了一个理想的惯性参考系。牛顿承袭了人们自古以来认为空间和时间与物质及其运动相对独立而无关的直觉,被大多数人所接受。他的绝对时空观统

治物理学长达近300年。

以太问题是与狭义相对论产生相关的问题,它发展的早期是就光本性的争论。17世纪上半叶,笛卡尔(R. Descartes, 1596~1650)最早提出“以太”假设。19世纪上半叶,菲涅耳(A.-J.Fresnel, 1788~1827)提出静止以太理论。依照该理论,相对于地球上的观察者将有以太风存在。从此,人们开始了探索以太风的实验(表1列举了一些著名的以太漂移实验)。

表1 著名的以太漂移实验

|         |   |
|---------|---|
| 光行差实验   | 布拉德雷(1728)、阿拉果(1810)、爱里(1871)   |
| 部分曳引实验  | 斐索(1851)、霍克(1868)、迈克耳逊-莫雷(1886),肯定了菲涅耳部分曳引假说                            |
| 偏振面旋转实验 | 法拉第(1845年发现)、马斯卡特(1872)、瑞利(1902)、布雷斯(1905)、洛伦兹理论预计有 $10^{-4}$ 的效应,实验未得到 |
| 干涉仪实验   | 迈克耳逊(1881)、迈克耳逊-莫雷(1887),有利于斯托克斯完全曳引假说                                  |
| 转盘实验    | 洛奇(1892)  |
| 磁流实验    | 洛奇(1897),对拉摩理论有很大影响   |
| 双折射实验   | 瑞利(1902)、布雷斯(1904),精度达 $10^{-13}$                                       |
| 电容器扭转实验 | 特劳顿与诺伯尔(1903)   |
| 单极感应实验  | 法拉第(1831年发现)、勒赫特(1895),找不到统一的解释   |

最后,让我们简单说一下物理科学中的不对称性。在弱相互作用中发现的宇称不守恒现象是物理规律的不对称的表现,粒子-反粒子数量的不对称也是物理规律中非对称性的一个例子,从宏观上看外观是左右对称的动物和植物,从微观的分子水平上观察,构成他们的蛋白质的分子却几乎都是由左型氨基酸组成的,而不是与其左右对称的右型氨基酸。这个问题仍是生物物理学界的一个研究课题。还有,人们日常见到的许多宏观现象都不具有时间反演对称性,时间流动方向的破缺至今我们也不能给出任何合理的解释,所有的动物、植物都遵守从小到大的成长规律,而不能有相反过程。泄露在空气中的有害气体,不会自动再

聚合成原来的体积。也就是说,宏观现象都是不可逆的,都不具有时间反演对称性。但我们必须指出,物质的微观运动几乎都是可逆的,宏观现象是微观运动的统计结果,大量微观粒子的运动要遵从热力学第二定律,该定律指出了由大量微观粒子组成的系统总是沿着熵增的方向(即混乱度增加的方向)发展。热力学第二定律对人们理解时间概念产生了很大的影响,不可逆赋予时间以确定的方向,使人们认识到了时间的单向性,因而才有了真正的时间概念。我们的宇宙就是沿确定的方向演化和发展的,我们的大自然就是处于基本上对称而又不完全对称的和谐统一状态。

(河北省廊坊市华北航天工业学院物理系 065000)

著名的迈克耳逊-莫雷 (E. W. Morley, 1838~1923) 实验(1887年)的零结果与静止以太理论不相容,引起了物理学界的震惊。它长期困扰着经典物理学家的头脑,迈克耳逊 (A. A. Michelson, 1852~1931) 本人亦曾认为自己的实验是失败的。为了解释该实验,斐兹杰惹 (G. Fitzgerald, 1851~1901)、洛伦兹 (H. A. Lorentz, 1853~1928) 曾先后独立提出了收缩假设。洛伦兹在科学上是敏锐的,1881年,迈克耳逊第一次发表测量以太漂移的实验研究,他就认识到其重要性。当1887年迈克耳逊实验研究再次发表后,他很快开始理论研究,并密切关注有关实验的进展,还进行了一系列分析。1892~1904年,洛伦兹不仅提出了“长度收缩”假说,还引入了“地方时”概念,研究了相互作用匀速运动的参考系中的坐标变换和电磁变换,提出了后来以他名字命名的变换式。他试图用一些基本假设来建立新的电磁力学理论,但他没有实现这一目标。他没有认识到洛伦兹变换的革命意义,始终没有摆脱绝对时空观的束缚,也始终没有放弃静止以太的假设。历史上,物理学家曾一度把洛伦兹理论看作是长期寻找以太问题最满意的答案。然而,客观地说,洛伦兹只是一位善于对旧理论进行修补的巧匠,并不是建造新理论的建筑师,从突破基本观念来看,他一直徘徊在相对论理论的大门之外。

庞加莱 (H. Poincaré, 1854~1912) 围绕迈克耳逊-莫雷实验也作了很多工作。1895年,他首次提出反对绝对运动的观点。1904年又首先提出“相对性原理”一词。他说:“按照相对性原理,物理现象的规律对一个固定的观察者像对一个相对于作匀速平移运动的观察者一样是相同的。所以,我们没有也不可能有任何方法来辨别我们是不是处于这样一个匀速运动系统中。”他曾敏锐地预感到一种新力学即将出现,认为“也许我们应该建立一门崭新的力学”。但遗憾的是,他并没有找到一种适当的方案来实现自己的预见,其主要努力仍然是把洛伦兹的电子论完善化,也没有做出根本性的理论突破。

#### 狭义相对论思想发展线索

爱因斯坦创立狭义相对论,经过了10年沉思。他的全部进展由许多微小而几乎不证自明的思维步骤所组成。

少年时代的爱因斯坦就显露出抽象思维方面的特殊才能——他11岁开始阅读通俗科学读物,从中领略到了自然科学领域的重要成果和方法;12岁开始自学欧几里得几何;13岁阅读康德的哲学名著《纯粹理性批判》;还在中学读书时,他就已经开始思索时间、空间问题。在《自述》中爱因斯坦强调,他16岁时所发现的“悖论”中已经包含着狭义相对论的萌芽。在京都大学的演讲中他谈到,相对论思想的发展是在大学(苏黎世工业大学)第二年,从考虑以太漂移实验开始的。他说:“我试图从物理文献中寻找以太流动的明显实验证据,但没有成功。”“后来,我想亲自证明以太相对于地球流动,或者说证明地球在运动。”他曾设想使用两个热电偶的实验,以证实以太的存在,但未能付诸实践。

1898~1902年,爱因斯坦在给未婚妻米列娃·玛利奇 (M. Maric) 的私人信件中,有不少关于科学志趣的描述,反映出他对狭义相对论问题的相关思考。1899年8月,他在信中说:“我越来越相信现行的动体电动力学是不正确的,应该是可能以较简洁的方式来描述的。在电磁理论中引入‘以太’建立介质概念,而能谈到它的运动,我认为这种说法无法赋予任何物理意义”。同年9月,他在信中提到:“在阿劳(爱因斯坦当时刚访问过的一个瑞士城镇)时我想到一个好办法,研究物体相对于光以太的运动究竟是怎样影响透明物质中光传播的速度。我也想到了一种理论,我觉得用来处理这个问题会很适宜”。半个月后,他又在信中说起“给阿肯的维恩教授去信,讨论光以太对可称物质的相对运动方面的工作。”这些信件说明,1899年爱因斯坦就开始考虑动体的电动力学的理论和实验了,而且,以太漂移实验是他思考的重点。

在京都大学的演讲中也谈到迈克耳逊实验零结果对他的影响,他说:“还在学生时代,我就想到这个问题了,当时我知道迈克耳逊实验的奇怪结果,不久我得到这个结论:如果我们承认迈克耳逊的零结果是事实,那么地球相对于以太运动的想法就是错的,这是引导我走向狭义相对论的最早想法。”当迈克耳逊实验的零结果使一些物理家震惊、迷惘并忙于修补以太理论时,爱因斯坦却得出“地球相对于以太运动的想法是错误的”结论。这与他在“追光”中的思想一脉相承。

爱因斯坦从16岁产生相对论思想的萌芽到相对论创立期间,物理学本身的发展是促成相对论产生的科学方面的原因。19世纪末到20世纪初,被多数权威物理学家认为穷尽了科学真理的牛顿经典力学,遇到了前所未有的困难。与相对论创立相关的是电动力学和光学飞速发展带来的一些经典力学体系所不能解决和解释的物理事实和现象。爱因斯坦恰在这时登上科学舞台。他在大学里把主要时间花在实验和自学一些著名物理著作上。他以“虔诚的狂热”拜读了赫兹(H. R. Hertz, 1857~1894)、玻耳兹曼(L. Boltzmanm, 1844~1906)、洛伦兹、麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831~1879)的主要著作,从中提取出光速不变性以及电磁场方程协变性的概念。年轻的爱因斯坦深思了光现象和电磁现象与观察者运动的关系问题。他试图用麦克斯韦-洛伦兹方程处理斐索(A. H. Fizeau, 1819~1896)关于曳引系数的实验,可这与力学中所了解的速度合成法则格格不入。

爱因斯坦对电磁场的对称性进行了思考。他一直寻求电磁学关于运动相对性的统一,想得到一种与相对运动有意义的电磁理论。他不能接受这是两种基本不同情形的思想,宁可认为“是参考点选择的差别”。也正是对电磁感应现象的思考,迫使他假设狭义相对论原理。

早在1900年,爱因斯坦就思索运动和电磁现象的关系问题了。在考虑普朗克辐射理论的结果时,他已能在一个宽广的视野内看待问题,认为有必要在一些形式原理上重建物理学。他特别关心各种物理理论之间形式上的不协调,相对性原理就是他努力消除这种不协调的成果。这是洛伦兹、庞加莱以及同时代的物理学家所不及的。

爱因斯坦从小对哲学有浓厚兴趣。大学2年级(大约1897年),他阅读了马赫(E. Mach, 1836~1916)的《发展中的力学》。马赫最击中要害的是对牛顿力学绝对时空观念、绝对运动观念和惯性观念的批判,揭示了经典力学理论体系的内在矛盾。这无疑对爱因斯坦酝酿时间和空间的相对性概念具有建设性。休谟(D. Hume, 1711~1766)的空间和时间观念对爱因斯坦思想发展亦有比较直接的影响。1902~1905年,爱因斯坦在著名的“奥林比亚科学院”,他除独自沉思外,还同索洛文(M. Solovine)、哈比希特(C. Habicht)和贝索(M. Besso)

等人经常一起阅读斯宾诺莎(Spinoza, 1632~1677)、休谟、赫姆霍兹(H. von Helmholtz)、马赫、庞加莱等人的科学哲学著作,讨论科学哲学问题。据索洛文回忆,对于戴维·休谟关于实体和因果性的特别聪明尖锐的批判,他们讨论了几个星期。爱因斯坦正是从历史上的哲学大师和哲人科学家那里,尤其从批判学派汲取了丰富的哲学营养,使他比当时的其他物理学家站得高,看得远。当他企图在洛伦兹基础上解决光速不变和速度合成之间的矛盾一无所获时,他“从有点像马赫的那种怀疑的经验论的观点出发”,认识到必须“对理论基础做出批判性思考”。把怀疑的目光停留在牛顿理论上,他发现牛顿的所谓“绝对时间”“绝对空间”和“同时性绝对性”概念没有经验事实根据,认为应该抛弃。一方面,他看到科学的基础和理论并不是一成不变的,另一方面也看到变革中存在着继承。“放弃了许多无效的尝试”后,他选取了有经验事实做依据的光速不变性和运动相对性原理作为公设,把当时物理学中的一些矛盾转移到同时性的问题上。借助于量尺和时钟,以定义空间和时间为开端,5个星期他完成了划时代论文《论动体的电动力学》。

#### 爱因斯坦的科学创新思维

回顾狭义相对论从孕育到诞生的过程,我们可以领略到爱因斯坦创造性思维的不朽神韵和无穷魅力。

狭义相对论的创立,首先表现在爱因斯坦怀疑传统、摆脱束缚和抛弃陈规的胆略和勇气上。从他给未婚妻的私人信件中可以看出,大学里他就已经开始怀疑可动以太概念了。而对于经典理论来说,他更称得上是“具有新精神的叛逆者”。正是对牛顿的绝对时空观的怀疑才使他提出相对论的时空观。洛伦兹建立在经典理论基础上的“电子论”理论,已经被历史遗忘,而相对论至今仍闪着耀眼的光辉。如果没有这种敢于对旧理论的怀疑、批判和叛逆的思维,爱因斯坦是难以跃上新科学境界的。应该说,他全部理论思维中的创造性,是叛逆传统思维风格的写照。

爱因斯坦创立狭义相对论所走过的是一条大胆的探索性演绎思维道路。他通过艰苦的探索,认识到仅从个别的经验事实进行归纳是建立不了新理论的。他认为“科学并不就是一些定律的汇集,

也不是许多各不相关的事实目录，它是人类头脑用其自由发明出来的观念和概念所做的创造。”他认为，通向基本概念和基本原理并没有逻辑道路，只能依靠“思维的自由创造”“理智的自由发明”“自由选择的约定”去直觉地领悟。他不仅重视理性思维，而且也非常重视非理性思维。正是敏锐的直觉鉴赏力和洞察力，使他能居高临下，从整体上一览真正科学的理论结构或构架。最早他从“追光悖论”中，凭直觉洞察到经典理论体系之间的裂痕；从世纪之交物理学纷繁复杂的纠葛中，看出经典力学和经典电动力学都无法充当物理学基础；从前人及自己通过构造性的努力尝试建立理论的失败中，看到必须把相对论原理和光速不变原理提升为公设，建立公理化的“原理理论”。爱因斯坦还凭借想像的“翅膀”，天才地设计出一些思想实验，成为科学艺术的杰作，使他的思想步步深入。“追光”实验，孕育出狭义相对论的萌芽；“导体和磁体相对运动”实验揭示了电磁感应中并非现象所固有的不对称；“爱因斯坦列车”帮助他定义了同时性，使他取得了相对论的关键性突破……创立狭义相对论的过程中，爱因斯坦逻辑和非逻辑思维交织在一起，在许多逻辑的通道中穿插着非逻辑的“云梯”。他确信，只有大胆的探索性演绎思维，才能取得最终成功。

狭义相对论从孕育到诞生、成长各个阶段，始终都既汲取科学的营养，又得到哲学的滋润。爱因斯坦既面向科学，又面向哲学，从科学中发现哲学问题，从哲学中寻找科学的突破口。狭义相对论的两大公设，从经典力学的角度看是对立的，不相容的。爱因斯坦长期思考这一矛盾，既受斐索测定光在水中速度等实验的指引，又受马赫对牛顿时空观批判的启发，创造性地把表面上相抵触的两条原理同时作为公设，求得了牛顿力学和麦克斯韦电磁理论的统一；同时性相对性的突破，也并非他纯粹思维的结果，亦非超越灵感的恩赐，一个重要的原因在于他比其前辈更深入地思考哲学问题。爱因斯坦自己也承认“与其说我是物理学家，倒不如说我是哲学家”。创立狭义相对论是物理学上的奇迹，也是哲学上的奇迹。爱因斯坦及狭义相对论给哲学带来了强烈而持久的影响。相对论所揭示的物质、运动、时间、空间的关系，极大地丰富和发展了有关哲学内容，在认识论和方法论方面，深刻

地改变了传统观念。他的思想已经深深地渗透到了当代哲学中。

爱因斯坦深信世界的内在和谐与统一，他赋予科学美以“和谐”“统一”“对称”“简单性”等含义。狭义相对论中“和谐”“统一”是就理论的内容而讲，“对称”是就其形式上讲，而“简单性”则是针对逻辑基础而言的。追求逻辑简单是爱因斯坦科学活动的一条重要原则，正是从逻辑简单性方面的考虑，才促进他发现了物理理论基础中存在着的许多困难。狭义相对论假设的简单性与洛伦兹假设之繁杂恰恰形成鲜明对照，给人以深刻印象。爱因斯坦崇尚科学美的思想，为许多后来的著名物理学家所推崇。

爱因斯坦这位 20 世纪的伟大思想革新家，在创立相对论的过程中，开创了一套崭新的创新思维方法，形成了他科学创造的独特风格。他对科学美的追求是成功的内动力，他独立的怀疑、批判和叛逆性思维是破旧的武器和成功的契机，他科学与哲学的交汇思维是成功突破的关键，他大胆的探索性演绎思维是成功的保证。

今天，现代科学向宇观拓展，向微观深化，离经典的直观越来越远，抽象程度越来越高。但是，爱因斯坦的创新思维方法仍不失为我们科学研究与科学创造的指路明灯。

(乔灵爱 晋中学院物理系 030600; 魏全香 山西大学物理电子工程学院 030006)

#### 封底照片说明

莫斯科当地时间 6 月 21 日晚 11 时 46 分(北京时间 22 日凌晨 3 时 46 分)，由在巴伦支海的俄罗斯潜艇发射的全球首艘太阳帆飞船“宇宙一号”，因火箭推进器出现故障，发射仅 83 秒即宣告此次计划失败。迄今为止，人类的航天飞行都是用化学火箭作为动力，这就需要携带大量化学推进剂。随着航天飞行距离越来越远，所需的推进剂就越多，这给航天飞行带来了许多困难。而太阳帆动力飞船是以光压力作为动力的，由于太阳号称是取之不尽的能源，同时太阳帆动力飞船具有清洁、安全的特点，所以太阳帆动力飞船一直是科学家们探索的目标。这次飞行虽然失败了，但是科学家们不会停止探索的脚步。

(李博文)