

## 迈克耳孙实验对创立狭义相对论起了决定作用吗？

阳兆祥

(广西大学物理系)

吴寿隤

(西安交通大学物理系)

近年来，我国物理学界对如何评价迈克耳孙实验在创立狭义相对论中的作用，发生了热烈的争论。一种意见倾向于：根据爱因斯坦本人的许多言论，迈克耳孙实验在创立狭义相对论的过程中并未起直接的作用，甚至连1905年以前爱因斯坦是否知道这个实验也还有疑问；另一种意见倾向于：爱因斯坦不仅知道这个实验，而且正如过去多数学者和教科书所说的那样，这个实验对创立狭义相对论起了决定性作用。两种意见都有爱因斯坦本人的言论为据：前者举出他晚年一系列谈话和信件，后者则根据1982年才发现的爱因斯坦1922年在日本所作的《我是怎样创立相对论的？》讲演（发表于Physics Today 1982年8月号，译文见《物理教学》1983年第4期）。

过去，由于多数人很难接触到有关的原始文献，一般都根据历来教科书上的说法来理解相对论，即认为迈克耳孙实验是决定性的实验。《爱因斯坦文集》的出版使大家惊奇地发现，爱因斯坦本人并不同意这种说法。他的否认当然具有很大的权威性。然而正当大家准备接受这一观点的时候，却又出现了1922年的那篇《讲演》，提出了不大相同的说法，这样就把人们搞糊涂了，引起这场争论是很自然的。

### 一

我们先简要介绍爱因斯坦晚年的有关言论。1950年他和香克兰谈话，在回答他是怎么知道迈克耳孙实验的这个问题时说，他是通过洛伦兹的著作知道它的，但这只是在1905年以后，它才引起他的注意！他说：“否则，我在我的论文（指1905年发表的相对论的第一篇论

文《论动体的电动力学》）中提到它的。”他又说，对他影响最大的实验结果，是对星的光行差的观察和斐索对流水中光速的测量。“它们已足够了。”（参看《爱因斯坦文集》，以下简称《文集》，第一卷第489—490页）。1952年在他同香克兰的第四次的谈话中再次谈到这个问题。他说：“这可不是那么容易回答的，我搞不清楚我第一次听到迈克耳孙实验是在什么时候。我并没有意识到，在相对论成为我的生活的那七年中间，它曾经直接影响过我。我以为我正是理所当然地认为相对论是正确的。”但是他又说，在1905—1909年间，在他同洛伦兹以及别人讨论他的关于广义相对论的想法时，他对迈克耳孙的结果想得很多。随后他领悟到，在1905年以前，他也已经意识到迈克耳孙的结果，这一部分是通过洛伦兹论文的阅读，更多的则是由于他直截了当地假定了迈克耳孙这结果是正确的。《文集》，第一卷第561—562页，着重号为本文作者所加，下同）。同年爱因斯坦在写给美国克利夫兰物理学会的信中说：“著名的迈克耳孙-莫雷实验对我自己思考的影响倒是间接的。我是通过H. A. 洛伦兹关于动体电动力学的决定性的研究（1895年）而知道它的，……在我看来，洛伦兹关于静态以太的基本假定是不能完全令人信服的，因为它所得出的对于迈克耳孙-莫雷实验的解释，我觉得是不自然的。直接引导我提出狭义相对论的，是由于我深信：物体在磁场中运动所感生的电动力，不过是一种电场罢了。但是我也受到了斐索实验结果以及光行差现象的指引。”（《文集》，第一卷第566页）。最后爱因斯坦于1954年在写给达文波特的信中说：“在我自己的[思想]发展中，迈克耳孙的结果并没有引起很大的影响。我甚至记不

起,在我写关于这个题目的第一篇论文时(1905年),究竟是不是知道它。对此的解释是:根据一般的理由,我深信绝对运动是不存在的,而我[所考虑]的问题仅仅是这种情况怎么能够同我们的电动力学知识协调起来。因此人们可以理解,为什么在我本人的努力中,迈克耳孙实验没有起什么作用,至少是没有起决定性的作用。”(《文集》,第一卷第617—618页)。

以上引文中的各种说法虽然并非完全相同,但基本思想是一致的。概括地说就是:(1)他很可能是通过洛伦兹的论文而知道迈克耳孙的工作;(2)但他当时并未重视这件事,因为他本来就不相信绝对运动的存在,因为迈克耳孙实验的零结果对他来说是理所当然的,并不感到意外;(3)直接引导他提出狭义相对论的是运动物体的电动力学问题。

爱因斯坦在1922年的《讲演》中讲到:“我最早考虑这个问题时,并不怀疑以太的存在,即不怀疑地球穿过以太的运动。……还在学生时代我就在想这个问题了。当时我知道迈克耳孙实验的奇怪的结果。如果我们承认迈克耳孙的零结果是事实,那么地球相对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。自那以后,我认识到,虽然地球在环绕太阳运动,但地球的运动不能由任何光学实验检测出来。”按照这里的说法,迈克耳孙实验就成了创立狭义相对论的决定性实验。

矛盾是显然的,到底哪一种说法才是真实的呢?

有些同志怀疑史料本身的真实性,因为上述言论大多是本人多年后的回忆或别人整理的记录稿。还有的同志提出是否应认为发表较早的回忆比较可靠,因为记忆错误的可能要小一些(例如梁绍荣同志在北京物理学史专题讲座中就提出这种观点)。我们认为,本人记忆有误或旁人记录有误的可能性虽不能完全排除,但这样的解释总还缺乏说服力,而且对于已经逝世的科学家,这类猜测很难使问题再前进一步。下面我们将从另一个角度来讨论这个问题,即认为上述史料都基本真实,探讨一下能否

从爱因斯坦在创立狭义相对论前后的活动中找到对上述矛盾的合理解释。

## 二

爱因斯坦关于狭义相对论的最早想法究竟是怎样形成的?除上述正面的回答外,1946年他在《自述》中还提供了一条重要线索:当他16岁(1895年)在瑞士阿劳中学补习时,曾在无意中想到一个“追光”的假想实验。他想:如果我以真空中的光速 $c$ 追随一条光线运动,究竟会看到什么现象呢?如果看到的仍然和在地面上看到的一样,即光仍然以 $c$ 相对于我们运动,则显然与(经典的)速度相加定律相抵触;如果看到的是一个在空间里振荡着而停滞不前的电磁场,则麦克斯韦方程组就要失效。这就出现了一个悖论。爱因斯坦直觉地认为假设的第二种情况是不会出现的,“从一开始,在我直觉地看来就很清楚,从这样一个观察者的观点来判断,一切都应当象一个相对于地球是静止的观察者所看到的那样按照同样的一些定律进行。因为,第一个观察者怎么会知道或者能够判明他是处在均匀的快速运动状态中呢?……这个悖论已经包含着狭义相对论的萌芽”(《文集》,第一卷,第24页)。

这里首先值得我们注意的是,爱因斯坦具体说明了他探索相对论的出发点是运动参考系的电动力学。“追光”假想实验的实质就是麦克斯韦方程组在运动参考系中是否仍然成立的问题,而不是寻找“以太”的问题。

我们还可以用爱因斯坦最早的原始论文《论动体的电动力学》作为旁证(用今天的术语,这篇文章应当题为“论运动参考系中的电动力学”)。它根本不是后来的回忆,自然最能可靠地反映爱因斯坦建立狭义相对论时的思想路线。文章开门见山地谈到把电动力学应用到运动物体时引起的不对称,接着详细讨论了一个磁体和一个导体作相对运动的例子。他指出:不论是导体静止磁体运动,还是磁体静止导体运动,所产生的物理效应应当完全一样,但按照

当时对电动力学的理解(存在“绝对静止”),这两种情况却会导致截然不同的结果。爱因斯坦认为这种情况是不合理的。这篇论文只在一个地方提到“以太”:“诸如此类的例子,以及企图证实地球相对于‘光媒质’运动的实验的失败,引起了这样一种猜想:绝对静止这概念,不仅在力学中,而且在电动力学中也不符合现象的特性,……”(《文集》,第二卷第83页)。不难看出,在爱因斯坦的思想中,问题的出发点和侧重点正是运动参考系中的电动力学问题而不是别的。

爱因斯坦在《自述》中还指出了他对“追光”问题的看法。他从一开始就直觉地相信麦克斯韦方程组在运动参考系中仍然成立,即相对性原理在电磁学领域内也有效。这种看法和当时绝大多数物理学家相反。他们一般都倾向于放弃电磁学中的相对性原理而谁也不怀疑经典速度相加定律的正确性,从而企图通过在地面上测量光速来发现地球相对于“以太”的“绝对运动”。迈克耳孙实验的零结果虽然使他们感到震惊和迷惘,但并未使他们改变上述看法,而是希望通过一些人人为的假设(如洛伦兹收缩)去弥补裂缝。要是仅有一个迈克耳孙实验,他们的这种努力似乎也能取得某些成功,但在一系列实验或观测事实面前,最后无例外地都归于失败。只有爱因斯坦在研究“追光”悖论时采取了与当时的潮流相反的看法,这到底是由于他具有超过常人的智慧,还是由于他具有大胆的批判精神和怀疑精神,善于独立思考而不为任何传统成见所束缚,还是由于某种机遇,或者几种因素兼而有之,这是可以继续研究的问题。总而言之,爱因斯坦跨出了正确的关键一步,虽然当时还不能克服速度相加定律的困难,却使他日后能够迅速摆脱“以太”论的纠缠,造成了最终解决问题的条件。

从运动参考系的电动力学问题出发,把相对性原理从力学推广到电磁学,通过重新定义同时性概念而达到狭义相对论,这就是《论动体的电动力学》一文的基本逻辑,也是爱因斯坦实际构思狭义相对论的主要途径。而“以太”论及

其他一些因素对这过程虽有影响,但却是次要的,第二位的。如果同意这一点,我们就可以初步确定,不管爱因斯坦在1905年以前是否知道迈克耳孙实验,这个实验对于他创立狭义相对论并没有起决定性的作用。

### 三

但是,科学的发展并非一条直线。在建立狭义相对论的过程中,爱因斯坦确实也曾重视过“以太”论,这是《讲演》提供给我们的信息。

考察“追光”假想实验,可以看作是这个过程的第一阶段。当时,“追光”悖论还是不可能解决的。正如爱因斯坦后来在《自述》中所说:“今天,当然谁都知道,只要时间的绝对性或同时性的绝对性这条公理不知不觉地留在潜意识里,那末任何想要令人满意地澄清这个悖论的尝试,都是注定要失败的。”(《文集》,第一卷第24页)。为了克服困难,爱因斯坦走了十年曲折的道路。1950年他在同香克兰谈话时说,从他当学生的时候起,这个问题总是缠着他,他曾放弃了许多无效的尝试,“直至最后,我终于醒悟到时间是可疑的!”(《文集》,第一卷第490页)是些什么无效的尝试呢?爱因斯坦没有说明。但是他在《讲演》中表明,他也曾相信过“以太”,并曾试图修改洛伦兹的理论。当然,既相信相对性原理的普遍有效,又不怀疑地球相对于“以太”的运动,他本身就是矛盾的,但这正好说明了爱因斯坦当时还没有找到克服困难的出路。他说到当时的情况是:“我的思想曾经受到了那么多神秘而复杂的事物的启发,每种思想的影响,在相对论概念发展过程中的不同阶段都不一样。”很可能由于“追光”悖论的无法解决,使爱因斯坦转而考虑当时热门的“以太”论,然而“以太”论对他的影响很短暂,他很快就看出了问题的症结。正当其他物理学家还在忙于修补“以太”论的时候,他已经认识到:“如果我们承认迈克耳孙实验的零结果是事实,那么地球相对‘以太’运动的想法就是错的。”他对相对性原理普遍成立的信念,对“绝对运动”的一

贯怀疑，使他在对“以太”论的研究中较快地达到了正确的认识。

爱因斯坦抱着怀疑的态度来看待洛伦兹从1886年到1895年间为挽救“以太”论而作的巨大努力。洛伦兹在1895年发表的《运动物体中的电和光现象的理论研究》中，从“以太”的观点证明了在 $v/c$ 级近似范围内，麦克斯韦方程对运动物体仍然成立。这就解释了企图观测地球相对于“以太”运动的许多实验结果，但还不能解释迈克耳孙实验，因为它的精度为 $(v/c)^2$ 级。为了解释迈克耳孙实验的零结果，洛伦兹在这篇论文中提出了著名的长度收缩假设（见 H.A. Lorentz, Collected Papers, Hague, Vol. 5, 1937）。爱因斯坦从一开始就觉得这样的解释不自然，他在《讲演》中谈到：他认为洛伦兹的证明只是预示了更普遍的相对性原理的正确性。他试图修改洛伦兹的理论，使麦克斯韦方程的形式与物体运动状态无关这个结论不仅适用于 $v/c$ 的一级近似，而且在理论上严格成立。然而在这样作时总是遇到那个老问题，“这些方程式在运动物体参考系中成立的假设引出了光速不变的概念，而光速不变却与力学中的速度相加定律相矛盾”。“我白白用了一年的时间……”而没有得到成功。

从历史的观点看，对“以太”论的思考在爱因斯坦建立狭义相对论的过程中只是一个插曲，是前进道路上的一次迂回。它只是澄清和加深了爱因斯坦在“追光”悖论中发现的矛盾，却没有导致问题的突破。因此在爱因斯坦晚年的回忆中，没有赋予迈克耳孙实验的作用以决定性的地位，我们认为这是合理可信的。以上可看作是这个过程的第二阶段。

#### 四

大家知道，建立狭义相对论是在同时性的相对性问题上取得突破的。我们所以肯定爱因斯坦晚年对迈克耳孙实验作用问题的论述，主要不在于他当时究竟是否知道这个实验，而在于无论从逻辑上或实际上，迈克耳孙实验的零

结果与同时性问题的解决都没有必然的联系，即使通过这一实验而否定了“以太”，也仍然没有涉及怎样才能解决相对性原理与经典速度相加定律之间的矛盾。一般教科书的叙述常给我们这样的印象，仿佛否定了地球相对于“以太”的运动就可得到狭义相对论的两个基本假设，其实二者之间还存在着初看起来几乎是不可逾越的障碍。对于当时的人们来说，谁想否定速度相加定律，简直象是置起码的常识于不顾。

爱因斯坦是怎样突破这个难关的呢？他在《自述》中回答说，这主要得益于哲学，“对于发现这个中心点所需要的批判思想，就我的情况来说，特别是由于阅读了戴维·休谟和恩斯特·马赫的哲学著作而得到决定性的进展”（同上书，第24页）。关于这方面的问题，作者之一曾在另一篇文章中详细讨论过（阳兆祥，《爱因斯坦和马赫》，《哲学研究》1983年第2期）。

在同时性问题上的突破是爱因斯坦创立狭义相对论的第三阶段，其时间大概是从1902年他在伯尔尼与索洛文、哈比希特组织读书活动（他们戏称为“奥林比亚科学院”）直到1905年论文的完成。解决同时性的相对性问题是困难的，最能表现爱因斯坦的智慧和勇气的工作，然而在许多教科书中却并不能充分反映出这一点。

当然，我们认为迈克耳孙实验在创立狭义相对论的过程中没有起决定作用并不意味着否定它的重要性。只根据这个实验事实并不能得到相对论，但是没有这个实验事实，相对论也就没有巩固的基础。当时有关的实验虽然很多，但只有迈克耳孙实验达到了 $(v/c)^2$ 级的精度，足以判断相对论的论断是否正确，否则即使爱因斯坦通过同时性等问题的突破建立了相对论，仍然不可能使广大物理学家接受。物理学归根到底是建筑在实验事实的基础上，虽然不能简单地认为任何理论发展都必须直接依赖某个实验，忽视逻辑思维的作用，然而任何理论要得到确立，都必须有可靠的实验事实从各方面加以验证。

## 五

现在还有一个疑问：为什么爱因斯坦会在《讲演》中把迈克耳孙实验否定地球存在相对于“以太”的运动，说成是引导他走向狭义相对论的最早想法？

我们认为，这和狭义相对论刚问世时遇到的阻力有关。正如霍耳通所描绘的：“在早期，比较有代表性的反应，事实上要不是完全沉默，就是象《物理学杂志》中最初提到爱因斯坦狭义相对论工作的那篇论文中所出现的那种反响。这个反响就是宣称爱因斯坦的理论已断然被实验所驳倒”（《纪念爱因斯坦译文集》，上海科学技术出版社，第329页）。多数物理学家不能接受相对论，主要是因为不肯放弃“以太”和绝对时空概念。在这方面最有代表性的是洛伦兹，他长期对相对论持保留态度。据M.玻恩回忆，直到1910年，在洛伦兹的言论中还表明他不愿放弃绝对空间和绝对时间的概念，甚至到他逝世前几年，他对狭义相对论的怀疑态度仍未改变（参看《我这一代的物理学》，商务印书馆出版，第231页）。为了说明物理学家们，爱因斯坦必须回过头来再次认真探讨有关“以太”论的实验事实，其中最重要的当然就是迈克耳孙实验。这就可以解释为什么他在晚年谈到，他在1905到1909年间和洛伦兹等进行讨论时对迈克耳孙的结果想得很多；也可以说明为什么反而是在1905年后迈克耳孙实验才引起他的重视。

如果说，在爱因斯坦通往狭义相对论的道路上，“以太”论连同迈克耳孙实验只是一般不太重要的插曲，那么对于当时大多数物理学家，他们要接受狭义相对论却必须从否定“以太”开始，迈克耳孙实验就起着决定性作用了。只有解决了这个问题，才可能进而承认相对性原理和光速不变原理。这种情况必然会影响到爱因斯坦对狭义相对论的阐述方式甚至某些思考方式。一个很好的旁证就是他1909年在德国自然科学家协会上所作的报告（《文集》，第一卷，

第51页），报告的前一部分是系统阐述狭义相对论，其逻辑顺序与1905年的《论动体的电动力学》完全不同。报告首先讲到“以太”论的由来和遇到的困难——斐索实验和光行差观测得出互相矛盾的结果，然后讲到洛伦兹1895年的 $v/c$ 的一级近似理论可以解释这个矛盾，但不能解释精度达到 $(v/c)^2$ 级的迈克耳孙实验，最后在指出洛伦兹收缩假设不能令人满意之后提出狭义相对论的两个基本假设。实际上后来的多数教科书大体上都按照这个逻辑顺序来介绍狭义相对论，教学顺序本来不一定要完全符合历史顺序，这也是可以容许的。

这种变化也可能影响到爱因斯坦本人对相对论起源这类问题的回顾和认识。他在《自述》中就曾说过，这类问题不易讲清楚，因为“任何回忆都染上了当前的色彩，因而也带有不可靠的观点”（《文集》，第一卷，第1页）。他在《讲演》中带有矛盾的说法，是否也是染上了“当前”色彩的结果呢？我们认为这是完全可能的。

## 六

围绕这个问题所进行的讨论，从一个侧面表明了科学史研究工作的复杂性。过去我们总认为，只要掌握了第一手资料，特别是科学家本人的言论，就可以弄清历史的本来面目。实际上，对于一项科学上的重大发现如何在发现者的思想中产生和成熟这样的问题，由于他本人的思想变迁，他也会说出一些前后矛盾的话来。爱因斯坦说过，要用文献来证明关于怎样作出发现的任何想法，最糟糕的人就是发明家自己（见《文集》，第一卷第623页）。这句话恐怕有相当的普遍意义。这种情况增加了科学史工作者的困难，然而也使科学史的研究工作更富有意义，更需要运用正确的思维和科学方法，才能澄清重大的科学思想和概念是怎样形成的。

这个问题的讨论还使我们发现，历史上有过两条通向狭义相对论的途径：一条就是爱因斯坦所走的道路，它体现在1905年的论文中；

（下转第160页）