

# “科学的艺术家”

——纪念迈克耳孙-莫雷实验一百周年

宋德生

(桂林电子工业学院)

今日几乎没有人再承认以太,而在1905年以前谁要是怀疑以太存在肯定会被视为是荒诞无稽的。迈克耳孙(A. A. Michelson, 1852—1931)生活在充斥着以太气氛的时代,他虽然可以撇开以太问题,但他的智慧终究被那个时代带入了以太的迷宫。他屡次试图证明以太存在,但却每次被他的否定结果所困惑。现在人们知道,迈克耳孙最善于寻找技术途径解决理论的症结。他对“以太风”的判别实验实际上已达到了目的,但是那凝重的以太“乌云”压得人们抬不起头来,以致“迈克耳孙-莫雷实验被认为是失败的”,<sup>[1]</sup>迈克耳孙的伙伴莫雷(E. W. Morley, 1838—1923)“被认为是一个可怜的家伙”。后来洛伦兹长度收缩假说“解放”了他们,那只不过是错误的理论解释了具有否定结果的正确实验,或者说将这个正确的实验的否定结果再度纳入了以太的框架。我们暂且不讨论这个实验对爱因斯坦有多少影响(何况爱因斯坦承认这种影响是间接的)<sup>[1,2]</sup>,只要看看爱因斯坦的评价我们就会知道这个实验在科学思想史上应占什么位置。爱因斯坦说:“有许多否定的结果不是都十分重要的,但是迈克耳孙实验却给出了一个任何人都应当理解的正确伟大的结果”<sup>[3]</sup>。

## 一、迈克耳孙第一次测量“以太风”

十九世纪光波动论要求光有一载体,它就是以太。杨(T. Young)最先提出以太是绝对静止的,它不仅是光波的载体,而且也是光的

物理

参照系。这就是历史上著名的“以太不动论”。在牛顿-伽利略力学体系中,惯性运动与参照系无关,而非惯性运动得有一个优先的参照系。由于这种原因以太不动论便构成了牛顿力学及经典物理学的一块基石,以致斯托克斯在1845年提出地球曳引以太一起运动的以太运动论,在历史上未曾占有过重要地位。

麦克斯韦的电磁学更依赖于以太这副绝对参考框架。他的理论运用于动体时带来的某些不对称性,似乎只能用以太不动论来解释。既然以太绝对静止,地球运动必招致“以太风”袭击;“以太风”横扫地球,穿过实验室,虽然它不产生生理效应,但总应产生电学的或光学的效应。多少年来人们一直以天文现象间接证明“以太风”的一级效应,光行差便是一例。“以太风”一级效应,是指与地球速度和光速之比( $v/c \cong 10^{-4}$ )有关的光学现象。但是,利用地球上的光源来观察一级效应从未实现过。要观测二级效应( $v^2/c^2 \cong 10^{-8}$ )就更困难了。举例说:设在平行于地球运动方向上有A、B两站,光从A发出,经B反射再回到A。如果地球曳引以太一起运动,光去返两程所需时间 $t_1 = 2L/c$ ,  $L = \overline{AB}$ 。但这不是麦克斯韦所希望的。他既然要求以太绝对静止,那么光在去返路程上所需时间就应当是

$$t_2 = \frac{L}{c+v} + \frac{L}{c-v} \\ = \frac{2L}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1},$$

其中 $v^2/c^2$ 等于一亿分之一。

当时的实验技术的确还达不到测量二级效应的水平。麦克斯韦在 1879 年为《不列颠百科全书》(第九版第八卷)所写的《以太》条目<sup>[3]</sup>,反映出他临终前的这种失望的心情。他只好又转向了天文方法。他在 1879 年 3 月 19 日给美国航海年鉴局多德 (D. P. Todd) 的信中问及,是否可用木卫食的观测方法来验证“以太风”二级效应。迈克耳孙当时在航海年鉴局工作,得知此事,他决心寻求技术途径来解决麦克斯韦的难题<sup>[4]</sup>。

1880 年 9 月,年仅 28 岁的迈克耳孙带着纽康卜 (S. Newcomb) 的推荐信到了欧洲,在伦敦和巴黎稍事停留后便径直到了柏林的亥姆霍兹实验室。根据物理学家香克兰 (R. S. Shankland) 的分析,迈克耳孙很可能从雅满 (Jamin) 干涉仪得到启发,拟用光干涉原理来观测“以太风”<sup>[5]</sup>。他问亥姆霍兹此法是否可行?亥姆霍兹认为从原理上讲没有问题,但指出干涉仪必须放置在恒温室内,柏林不具备这种条件,恐怕要等他回美国后才能实验。对于迈克耳孙至关重要的不是这些条件,而是设法弄到钱将设备造出来。同年 11 月 22 日,他写信给纽康卜说:“还有另一个没想到的困难,我害怕[它]会迫使实验无限期地拖延,那就是所需的资金看来没有指望”<sup>[6]</sup>。

纽康卜为之周旋,从电话发明人贝尔 (A. G. Bell) 那里获得了 100 镑资助。迈克耳孙用这笔钱在柏林请仪器制造商按要求造出了一台测量“以太风”的光干涉仪,它后来被人们称为迈克耳孙干涉仪。干涉仪有两个相互垂直的光臂,同处于水平面内,各臂长 120cm,可调。实验时使一束光经一个半透镜分解为两束相干光,沿两光臂前进,经置于末端的反射镜回到半透镜上,相干形成条纹。若令一光臂平行于地球运动方向,光在这个光臂上去返所需时间为

$$t_{\parallel} = \frac{2L}{c} (1 - v^2/c^2)^{-1} \approx \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right). \quad (1)$$

而光在垂直光臂上去返所需时间(推导从略)为

$$t_{\perp} = \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right). \quad (2)$$

这样,光束在两光臂上的时间差

$$\Delta t = \frac{L}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^2.$$

如果在实验中转动干涉仪的两个光臂,干涉条纹就会产生位移。拿旋转 90° 的情况来说,理论计算的条纹位移量为  $N$  个条纹宽度,即

$$N = \frac{2L}{\lambda} \left(\frac{v}{c}\right)^2,$$

此处  $\lambda$  表示波长。

迈克耳孙原打算在柏林大学物理研究所进行实验,由于大街上车辆行驶引起震动,实验无法进行。经亥姆霍兹介绍,迈克耳孙带着实验设备来到波茨坦物理天文观测站。那里有一个赤道仪的防震井架,防震条件极好。迈克耳孙在那个防震井的底部进行了第一次实验,那时正是 1881 年 4 月上旬。他用的是波长 5700 Å 的钠光,他将两光臂都调到 120cm,相当于  $2 \times 10^6$  个波长。根据(3)式,当干涉仪旋转 90° 时,应当产生 0.04 个条纹的位移量,可是他观测的值远远低于理论值,且无规律。他因此得出这样的结论:“这些结果的解释是没有干涉条纹的位移。静止以太假说的结果因此证明是不正确的。”<sup>[7]</sup>

## 二、疑云重起,以太仍在“飘移”

波茨坦实验结束后,迈克耳孙到了海得尔堡 (Heidelberg), 他在那里听了奎因克 (G. H. Guincke) 和本生 (R. W. E. Bunsen) 的课程。此时正值美国克利夫兰市的“开斯应用科学学校” (Case School of Applied Science) 创立,他受聘到该校任教。经校方批准,他仍可逗留在欧洲,负责为学校购置实验设备。至 1882 年 7 月他才回校正式上课。

他在此后两年中主要从事光速测量和介质中群速度的测量。纽康卜把从美国科学院得到的 1200 美元基金转交给他,让他用来在克利夫

兰 (Cleveland) 测量光速。他这次测得的光速为  $299850\text{km/s}$ , 成为当时的推荐值, 一直被沿用到 1927 年。他又测量了光在蒸馏水和二氧化碳中的群速度, 不甚精确, 但由于第一次证明了瑞利勋爵的理论预言, 他倍受瑞利勋爵推崇, 从此建立起两人间的学术联系。1884 年, 瑞利在蒙特利尔 (Montreal) 举行的英国科学促进会 (BAAS) 的年会上致词时, 特别强调了迈克耳孙的工作, 从此又引起了开耳芬勋爵的注意。

开耳芬在蒙特利尔会议后旋即来到美国霍普金斯大学, 在那里作了“巴尔迪摩讲演”(因霍普金斯大学所在地而得名)。参加这次讲演的听众 21 人, 其中包括罗兰 (H. A. Rowland)、迈克耳孙和莫雷。以太是这次讲演的一个中心议题, 开耳芬曾给以太定了 21 个系数, 恰与听众人数相同。这种巧合竟导致了把这些听众当作“21 个系数”的美谈。

开耳芬最关心的是经典物理学理论赖以建立的以太这块“基石”。迈克耳孙在 1881 年实验的否定结果不能不使他有所担心。他指出, 这个实验与斐索在 1851 年进行的测量光在流动的水中的实验严重相冲突, 因为那个实验毕竟证明了菲涅耳在 1818 年提出的物体运动可以部分曳引以太的假说, 并且结论中恰好出现了菲涅耳曳引系数  $1 - \frac{1}{n^2}$  ( $n$  为水的折射率)。

1885 年 1 月 30 日, 迈克耳孙写信给纽康卜, 信中说: “威廉·汤姆孙[开耳芬勋爵]先生和瑞利勋爵要求我重复斐索试探运动介质对光速的影响问题的实验, 我能将我余下的那部分钱用于这个目的吗?”(这里所说的“那部分钱”, 是指那 1200 美元中剩余的部分)。纽康卜答应了他的要求。于是, 迈克耳孙开始了与莫雷的合作, 不料他中途病倒, 同年 9 月被迫前往纽约就医。他还以为再也无法恢复健康, 就把设备和费用交给了莫雷。不久, 他的身体奇迹般地好转起来, 他于年底赶回克利夫兰, 并在 1886 年初与莫雷一道进行了实验, 得到的结果是对斐索实验的肯定<sup>[4]</sup>。3 月 27 日, 他给开耳芬的信上说: “你将不会再怀疑……我的结果

肯定了斐索的工作”。

### 三、1887 年的迈克耳孙-莫雷实验

既然 1886 年迈克耳孙和莫雷的实验再次证明了菲涅耳的曳引以太的假说, 那多少说明以太仍然存在, 尽管它不是绝对静止的东西。如果真是如此, 地球相对以太的速度就不再是  $30\text{km/s}$ , 可能是  $15\text{km/s}$ , 或更小一些, 也就是说“以太风”比原来设想的要小得多。洛伦兹按照菲涅耳曳引系数重新计算了迈克耳孙 1881 年实验的干涉条纹, 指出迈克耳孙的理论值至少偏大了一倍。瑞利提醒迈克耳孙注意洛伦兹的纠正, 敦促他重复 1881 年实验。迈克耳孙给瑞利回信说: “你的信再次激起了我的热情, 迫使我决定立即开始实验。”<sup>[5]</sup>

1887 年 7 月, 历史上著名的迈克耳孙-莫雷实验开始了。这次实验与 1881 年实验的原理完全相同, 不过设备有很大的改进。他们将迈克耳孙光干涉仪放在一块面积为 5 平方英尺, 厚为一英尺的砂石板上, 石板又放在一块门形环状木块上, 木板座入一个环形铸铁槽内, 槽内的水银将木板平稳地托起。这样, 干涉仪既能随石板和木板在水平面内自由旋转, 又不受震动的影响。水银承托设备的方案归功于莫雷。他曾获得耶尔大学赖特 (Wright) 教授发明的水银真空提炼设备, 并在 1884 年准备了大量水银, 为这次实验提供了物质基础。

迈克耳孙在干涉仪部分进行了重要改进, 他利用两组平面镜来回反射两束相干光, 使光程加大到  $11\text{m}$ , 接近于 1881 年实验中的光程的 10 倍。根据(3)式可知, 如果按照以太静止论, 应当能够观测到 0.4 个条纹的位移量; 如果按照菲涅耳假说, 也应当能够观测到 0.2 个条纹的位移。迈克耳孙和莫雷经过 7 月 8 日、9 日、11 日和 12 日的几天紧张观测, 未能得到与理论计算接近的结果, 大失所望。他们所能得到的最接近的数据莫过于 0.01 个条纹宽度<sup>[4]</sup>。

应当说明, 迈克耳孙没有而且也不可能认识到实验是成功的, 他反而认为实验是“失败”

的。如果说当时对他还有所安慰的话,是他发明了光干涉仪。在他看来,成功不是实验本身而是工具。他后来用他的干涉仪研究物质的光谱、测定标准长度,从而获得了诺贝尔物理学奖金。他在《光波及它们的用途》(Light Waves and Their Uses)一书中这样说:

“这个实验对我说来应是具有丰富的历史意义的,因为正是为了解决这个问题导致了干涉仪的发明。我认为这个问题是值得肯定的,即是说,由于导致了干涉仪的发明而对这个特殊实验产生的否定结果的事实作出了更多的补偿。”<sup>[11]</sup>

迈克耳孙-莫雷实验的否定结果,使洛伦兹大失所望。他在1892年8月18日给瑞利的信上说:

“……菲涅耳的假说,连同他的系数  $1 - 1/n^2$ ,如果不是因为迈克耳孙实验的话,极可以用来说明所有被观察到的现象。……我完全难于排除这个矛盾。但是,我相信如果我们要放弃菲涅耳的理论,我们则根本没有合适的理论,斯托克斯先生强加给运动以太的条件是互不协调的”<sup>[12]</sup>。

不久,洛伦兹便提出长度收缩假说来解释迈克耳孙实验的否定结果,又回到了静止以太上来,并使人们更加相信存在以太这副绝对参考框架。然而这不是革命的,而是修补性的努力。迈克耳孙并不太相信物体在运动方向上的长度会缩短,他或多或少倾向于斯托克斯的以太运动论,认为以太具有粘性,地球运动在其表面要拖动以太一起运动。1897年,他在芝加哥观测不同高度对以太的拖动程度,但结果一无所获<sup>[13]</sup>。奇怪的是,在爱因斯坦提出狭义相对论后,他既承认相对论却又不放弃以太的观念,他希望调合二者的矛盾。直至1927年,他还在谈论“亲爱的老以太”<sup>[14]</sup>。

从1887年后,迈克耳孙再次回到测量光速

方面,并开辟了光学实验研究的许多新领域,如用干涉仪观测氢的精细结构及水银和铯的超精细结构,用干涉仪检定作为国际长度标准的铂铱合金米尺,甚至首创了用干涉仪测量恒星角直径的方法。他一生都依据光波,将视野张角伸向无限和无穷小的两个极端领域。他的最后一部著作——《光学研究》(Studies in Optics)<sup>[15]</sup>的最后一章所用的标题,充分反映了他的方法论,该章标题是:“作为探寻无限和无穷小的量尺的光波”(Light Waves as Measuring Rods in Sounding Infinite and Infinitesimal)。正因为他的这种独有的风格,爱因斯坦在1952年在给克利夫兰市举行的迈克耳孙百年诞辰纪念会的信中,把迈克耳孙高度评价为“科学艺术家”<sup>[12]</sup>。

致谢:笔者承蒙中国科学院物理研究所李国栋先生的帮助和指导,在此谨表谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] 许良英、范岱年编译,《爱因斯坦文集》,第1卷,商务印书馆(1976),562.
- [2] 同上,第566页.
- [3] J. C. Maxwell, The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, New York, Dover Publications Inc., Vol. 2, (1952), 763.
- [4] R. S. Shankland, *Amer. J. Phys.*, 32(1964), 17.
- [5] *ibid.*, p. 18.
- [6] *ibid.*, p. 19.
- [7] A. A. Michelson, *Amer. J. Sci.*, 22(1881), 120.
- [8] A. A. Michelson and E. W. Morley, *Amer. J. Sci.*, 31(1886), 377.
- [9] *ibid.*, p. 29.
- [10] A. A. Michelson and E. W. Morley, *Phil Mag.*, 24(1887), 449.
- [11] A. A. Michelson, *Light Waves and Their Uses*, Chicago, University of Chicago Press, (1903), 159.
- [12] *ibid.*, p. 32.
- [13] A. A. Michelson, *Amer. J. Sci.*, 3(1897), 478.
- [14] G. Holton, *ISIS*, 60(1969), 139.
- [15] A. A. Michelson, *Studies in Optics*, Chicago, University of Chicago Press, (1927).