

也论电磁波的预言及其发现过程*

钱长炎[†]

(中国科学技术大学科技史与科技考古系 合肥 230026)

摘要 文章根据麦克斯韦的著作和赫兹的《综合文集》、《电波》和《回忆、书信和日记》以及相关文献,对麦克斯韦预言电磁波的问题和赫兹实验发现电磁波的过程进行了仔细考察,指出麦克斯韦没有明确预言电磁波的存在,麦克斯韦的理论不是赫兹电磁学实验研究的直接指导思想.文章认为亥姆霍兹为普鲁士科学院所提出的1879年悬赏课题对赫兹发现电磁波起到了直接的引导作用,而电磁波的发现则主要归因于赫兹精湛的实验技能和敏锐的观察力.

关键词 麦克斯韦,赫兹,电磁波

On the prediction and the process of the discovery of electromagnetic waves

QIAN Chang-Yan[†]

(Department of Scientific History and Archaeometry, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstracts A detailed investigation of the prediction and discovery of electromagnetic waves according to Maxwell's works and Hertz's *Miscellaneous Papers*, *Electric Waves* and *Memoirs Letters Diaries* reveals that these have been some misunderstandings about Hertz's contributions in this aspect. It is shown that Maxwell's magnetism could not have directed Hertz's experimental research on electromagnetism. It is concluded that Hertz's research was an abduction, Hertz's work accelerated the development of radio waves, and his work had a great influence on the development of physics from the end of the 19th century to the early 20th century.

Key words James Clerk Maxwell, Rudolph Heinrich Hertz, electromagnetic waves

麦克斯韦(Maxwell, 1831—1879)建立电磁场理论和赫兹(Hertz, 1857—1894)实验发现电磁波是19世纪物理学发展史上的重大事件.对麦克斯韦建立电磁场理论的过程及其思想方法和赫兹发现电磁波的过程进行深入研究是物理学史一个重要课题.国内外许多学者对此作过不同程度的探讨,但在麦克斯韦预言电磁波的问题上以及讨论和分析赫兹实验研究的指导思想、赫兹实验研究过程等方面还存在不少分歧和疑点,致使人们对麦克斯韦电磁场理论的实质和赫兹发现电磁波的过程难以获得全面、正确的认识.

有鉴于此,我们认为,有必要根据麦克斯韦的著作和赫兹论文集、日记、书信以及赫兹1887年实验笔记,结合国内外学者的相关研究成果,对麦克斯韦预言电磁波的问题和赫兹发现电磁波的过程进行更加深入的考察,以期对这一重大科学发现的历史过

程给予更为恰当的阐述,并力图澄清人们关于麦克斯韦电磁场理论和赫兹电磁学实验研究的一些模糊认识.

1 麦克斯韦预言电磁波问题的再考察

1855—1864年间,麦克斯韦发表了一系列电磁学的研究论文,建立起以方程组为核心的电磁场理论.在1861—1862年间发表的《论物理力线》^[1]一文的第三部分,麦克斯韦用数学的方法提出了位移电流的概念,并指出位移电流的大小等于电位对时间的变化率,并用方程描述了安培定律.他在1864年发表的《电磁场的动力学理论》(见文献[1]第254—287页)一文中,总结出有关电磁场的九个重

* 2002-04-22收到初稿,2002-06-18修回

[†] E-mail: zhyqian@mail.ustc.edu.cn

要的方程,而在1873年出版的《电磁通论》一书中,又给出了11个重要的方程.至此,麦克斯韦关于电磁场理论的整体框架的建立最终完成.

1862年,麦克斯韦在《论物理力线》一文的第三部分,首次提出了光的电磁学说的观点:“我们几乎不可回避这样的推论:光是由电磁现象引起的在同种媒质中的横波.”(见文献[1]第216页)

在1864年发表的《电磁场的动力学理论》一文的第六部分,麦克斯韦再次论述这个问题.根据静电单位和电磁单位之间的转换系数是与光速非常接近的一个数值,他指出:“这种结果的一致性似乎表明光和磁是同一种物质的属性,光是遵循电磁定律在场中传播的电磁扰动.”(见文献[1]第285页)

在1873年出版的《电磁通论》一书的第20章第四部分,麦克斯韦导出了在无源、非导电区域的矢量传播的方程,对光的电磁学说作了更完整的论述^[2].在《电磁通论》一书的最后,对已有电磁学理论进行了总结,麦克斯韦指出:“由此可见,所有的这些理论都引向一种媒质的观念,而传播就是在那种媒质中进行的,而且我认为,如果我们采纳这种媒质作为一种假说,它就应该在我们的探索中占据一种突出的地位,而且我们就应该努力构造一种关于它的作用的一切细节的思想表象,而这就一直是我在这部著作中的目标.”(见文献[2]第561页)

从这些论述可以看出,麦克斯韦清楚地认识到电磁扰动是以光的速度传播的.但是,这不足以说明他知道电流的源能够产生辐射.人们理所当然地认为,只要他赞同了光的电磁理论,他也会认识到电磁辐射的存在.事实上,麦克斯韦相信光是一种电磁现象,光所遵循的规律都可以从电磁学的规律推演出来,所有这些现象都服从关于同种媒质的理论.在上述相关论著中,麦克斯韦对这个问题的论述要点可以概括如下:

- (1)电磁作用传播速度与光速接近;
- (2)光的和电磁的以太是一种相同的媒质;
- (3)电磁现象和光现象都是这种媒质力学状态的表现形式;
- (4)建立光和电磁作用传播媒质的统一理论是电磁学理论研究的重要目标.

在麦克斯韦的这些论著中,他没有明确地预言电磁波的存在.因此,我们就能够更好地理解麦克斯韦理论不是赫兹实验发现电磁波的直接的指导思想.正如赫兹在《电波》一书的导言中所说:“尽管我对麦克斯韦的数学方法极为赞赏,但是在那时,我还

不能充分理解他所论述内容的确切物理意义.所以,麦克斯韦的著作就不可能直接指导我的实验研究工作.实际上,正是亥姆霍兹的研究工作指导了我的实验研究,这一点从我已经完成的实验研究工作中可以清楚地看到.”^[3]

2 1879年柏林大学的悬赏课题和普鲁士科学院的悬赏课题

赫兹从事电磁学实验研究是在1878年他进入柏林大学以后才开始的,而促使他研究的直接动因则是亥姆霍兹(Helmholtz,1821—1894)为柏林大学和普鲁士科学院所提出的两个1879年悬赏课题.鉴于这两个课题对赫兹电磁学研究所产生的重要影响,同时前人相关研究中存在混淆了这两个课题的现象,我们有必要对它们作较为全面的考察.

2.1 1879年柏林大学悬赏课题

对于亥姆霍兹为柏林大学所提出的1879年悬赏课题的有关情况,我们可以从赫兹的书信中找到线索.1878年11月6日,赫兹在给父母的信中写道:“悬赏课题的主要内容如下:如果导体中的电运动具有惯性,那么在某种条件下这种效应将在额外电流(电路突然接通或断开时所产生的电流)的大小中显示出来.试用实验的方法测量额外电流的大小,从而判断电运动是否具有惯性.这个课题完成的截止日期是明年5月4日,而它早在今年8月3日就公布了,很遗憾我没有能早点知道这个课题.”^[4]

赫兹决心挑战这一课题,由此也引起了亥姆霍兹对他的关注.亥姆霍兹帮助赫兹决定所需要的仪器,向他介绍恰当的技术文献,并且每天都前来与他讨论研究工作的每一步的进展.1878年10月到1879年1月期间,在亥姆霍兹精心指导下,赫兹出色地完成了这一课题的研究任务(见文献[4]第93—105页),并获得了这项奖励.赫兹这项研究的成果于1880年以题为“电路动能上限的实验研究”^[5]在《物理和化学年鉴》上发表,它不仅解决了柏林大学的悬赏课题,而且为赫兹后来从事物理学研究工作奠定了基础.

2.2 1879年普鲁士科学院悬赏课题

1879年,亥姆霍兹还提出用实验证实麦克斯韦理论的一个问题,并将它作为普鲁士科学院(柏林)1879年的一个悬赏课题公布了.关于这项课题的有关情况,普鲁士科学院当时的公告作了明确的说明:“科学院就下面的问题设立1882年的奖励项目.由法拉第提出的电动力学理论,并由麦克斯韦最终用

数学的方式完整地表达出来. 在麦克斯韦理论中, 它提出了在绝缘介质和真空中都存在介质极化和消失的现象, 这种极化过程所产生的电动力学的效应与导体中的电流所产生的效应是一样的, 同时这一过程与导体中的电流一样, 可以由电动力学上的电感应力所激发. 按照这种理论, 所提到的电流强度必须假设与导体接触面带电的电流强度是一样的. 科学院要求对以下两个问题中的任何一个作出决定性的实验证明:

证实或否定麦克斯韦所假设的在介质中所产生的电极化的形成或消失过程中所产生的电动力效应的存在, 或者, 证实或否定由电磁感应的电动力致使绝缘介质中的介质极化现象的存在.

对此问题的解决方案和实验结果必须在 1882 年 3 月 1 日以前寄往科学院. 答案根据作者的意愿, 可以用德语、拉丁语、法语或英语写成. 每份答案必须有作者的亲笔签名, 同样在邮寄信封的封面上也有作者的签名. 这项悬赏课题的奖金金额为 100 达可特, 折合 955 马克, 将在 1882 年 7 月在莱比锡召开的科学院的年会上颁发.^[6]

亥姆霍兹认为赫兹最有可能解决这个问题, 但赫兹放弃了这个课题(见文献 3]第 1—2 页). 在赫兹多年以后再从事电磁学实验研究时, 应该说他会很自然地想到这个悬而未决的问题的. 1880—1883 年, 赫兹在柏林大学工作期间也没有继续从事这项研究. 在赫兹 1886 年重新从事这项课题研究之前, 没有文献记载其他人从事与这项课题相关的研究. 但是, 有的学者认为: “这项研究成果是 1887 年 11 月 10 日向科学院通报的. 为此, 他获得了那项奖励.”^[7]持同样观点的还有: “赫兹就这样成功地证明了位移电流的存在, 因而获得了柏林科学院 1879 年的悬奖.”^[8]这种没有根据的说法, 在我们仔细考察赫兹发现电磁波的过程之后, 就会不攻自破.

3 赫兹发现电磁波的实验过程

赫兹发现电磁波是对麦克斯韦电磁场理论直接的实验证明, 已是物理学史上的一个定论. 但是, 正如上面所述, 麦克斯韦没有明确预言电磁波的存在, 从而就更不可能说明如何产生和检测这种辐射的具体实验方法. 为了对赫兹发现电磁波的实验过程获得正确的认识, 我们只有仔细考察他在实验研究期间所发表的文章、日记、书信和实验笔记.

3.1 实验证明介质中位移电流的存在

在 1887 年 11 月 5 日(见文献 4]第 233 页)完成

的题为《论介质中的电扰动所产生的电磁效应》(见文献 3]第 95—106 页)文章中, 赫兹论述了对介质中“位移电流”进行实验研究的方法和实验结果. 为了从事这项实验研究, 赫兹专门设计了特殊的感应天平. 通过反复实验, 赫兹证明了介质中的位移电流对感应天平的平衡位置影响与导体中的传导电流对其所产生的影响是完全一样的.

在《电波》一书的导言中, 赫兹明确指出这项实验研究是从 1879 年柏林科学院的悬赏课题引发而来, 实验研究的指导思想是亥姆霍兹《论静止导体电运动方程组》(见文献 3]第 6—7 页).

必须指出的是, 赫兹在这篇文章中解决了普鲁士科学院 1879 年的悬赏课题, 但这已经是五年后的事了, 因为根据上面文中所引这项课题的公告可知, 这项课题解答的最后期限是 1882 年 3 月 1 日. 赫兹的日记、书信和所有相关原始文献都没有他获得此项奖励的任何记录, 所以我们可以确定赫兹未获得这项奖励. 由此可见, 认为赫兹获得了普鲁士科学院 1879 年的悬奖(见文献 7, 8])显然是与历史事实不符的.

3.2 实验发现电磁作用以有限速度传播

在 1888 年 1 月 21 日(见文献 4]第 249 页)完成的题为《论电磁作用传播的有限速度》(见文献 3]第 103—123 页)文章中, 赫兹论证了电磁作用是以“有限速度”在空间中传播的. 他是通过对“导线波”与空气中直接传播的电磁作用之间在距离振荡器不同位置上的相互干涉效应的仔细研究所获得的.

在赫兹 1887 年的实验笔记中, 大量篇幅是对与这篇文章相应实验的详细记录, 完成这些实验的时间是从“1887 年 11 月 7 日”到“1887 年 12 月 30 日”^[9]. 赫兹的这一系列实验研究是从观测导线中产生驻波开始的, 继之, 他计划探测通过导线传播与直接作用在谐振器上所产生的干涉效应. 为此, 他设计了各种实验方案, 实验结果有成功的, 也有不成功的. 最后, 通过这些实验结果, 赫兹得到了电力以有限速度传播的结论.

在对“导线波”进行成功的观测之后, 赫兹便对空气中直接传播的电磁作用的传播速度进行了测量, 这既是赫兹实验发现电磁波最为重要的阶段, 也是赫兹实验研究中最为艰难的时期.

3.3 对“空气波”传播速度的直接测量

赫兹接着用他熟悉的驻波实验方法对“空气波”的传播速度进行更为直接的测量, 他所采用的方法是将通过计算得到的频率与测量出的波长的积

与已知的光速进行比较。

在 1888 年 3 月发表的《论电磁波在空气中的传播及其反射》(见文献 [3] 第 124—136 页)一文中,赫兹借助从发射器直接发射出的波,这种波是在空气中传播的,它是从几米远处的平面镜(金属板)反射而来,入射波与反射波叠加,从而在空气中产生与他以前实验观察到的导线中同样的驻波。赫兹沿着波的传播路线旋转圆形谐振器(谐振子),以求准确确定这种驻波的波节,通过反复实验,仔细观察,他才得出实验结果。

3.4 实验观察电磁波的偏振、反射和折射现象

通过进一步的实验和理论研究,并与当时英国物理学家之间的频繁交流^[10],赫兹对电磁波的各种属性进行更为全面的考察。在 1888 年 12 月发表的《论电磁辐射》(见文献 [3] 第 172—185 页)一文中,赫兹论述了电磁波的偏振、反射和折射现象实验研究的方法和实验结果。

这些实验充分说明了电磁波具有与光相类似的偏振、反射和折射特性,因此,赫兹在这篇文章的最后写道:“我相信,从现在起,我们应该更有信心去利用电磁波的这些具有与光相同的属性,而这些属性既能从光学的角度推演出来,也能够从电磁学的角度推演出来。”(见文献 [3] 第 183 页)

由此可见,通过这些实验研究之后,赫兹不仅自己对电磁波和光的统一性获得深刻的认识,也使得这种统一性获得了充分的实验依据,并得到广泛的承认和接受。从一定的意义上说,麦克斯韦是从理论上阐述了光的电磁属性,而赫兹是通过一系列创造性的实验证实了电磁波具有光的所有特性。

4 结论

通过对麦克斯韦著作中有关电磁波预言问题和赫兹的著作、日记、书信以及实验笔记的仔细分析,使得我们对有关电磁波的预言及其发现过程获得更为全面、深刻的认识。

诚然,麦克斯韦在建立经典电磁场理论方面的重要贡献是无可否认的。但是,尽管他认识到光具有电磁属性,然而在他的所有著述中并没有明确预言电磁波的存在,所以麦克斯韦的理论不是赫兹发现电磁波实验研究的直接指导思想。亥姆霍兹为普鲁士科学院所提供的悬赏课题对赫兹发现电磁波实验研究起到了直接的引导作用。在初期的实验研究过程中,赫兹的指导思想是亥姆霍兹的电动力学。正

如赫兹 1892 年 2 月给亥姆霍兹信中所说:“……我的工作不仅是来源于对麦克斯韦著作的直接研究,正如我一直所说的,而更为重要的是来源于阁下的著作,并且原始的动力是来源于您个人的提议”(见文献 [4] 第 321 页)。”即便如此,赫兹发现电磁波主要归因于他精湛的实验技能和敏锐的观察力。

赫兹在电磁学实验研究的过程中,设计制作了各种电磁波的发射器、接收器和探测器,为随后无线电技术的快速发展作了很好的技术准备。虽然赫兹没有认识到他实验研究成果的实用价值^[11],但是他的实验研究无疑为马可尼(Guglielmo Marconi, 1874—1937)和布劳恩(Carl Ferdinand Braun, 1850—1918)在远距离无线电通信技术的实际应用方面作出重大贡献并为获得诺贝尔物理学奖奠定了重要的基础。

参 考 文 献

- [1] Thomas K. Simpson, Maxwell on the Electromagnetic Field: A Guided Study. New Brunswick: Rutgers University Press, 1997. 143—172
- [2] 杰·克·麦克斯韦著,戈革译.电磁通论(下).武汉:武汉出版社,1994. 495—497 [James Clerk Maxwell. Gege trans. A Treatise on Electricity and Magnetism, Volume II. Wuhan: Wuhan Press, 1994. 495—497 (in Chinese)]
- [3] Hertz H. Electric Waves. Jones D E trans. New York: The Macmillan Company, 1900. 20
- [4] Hertz H. Memoirs Letters Diaries. San Francisco: San Francisco Press, Inc., 1977. 95
- [5] Hertz H. Lenard P ed. Jones D E, Schott G A trans. Miscellaneous Papers. New York: Macmillan & Co., 1896. 1—34
- [6] Bryant J. In: Davis Baird et al eds. Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. 49
- [7] D'Agostino S. Historical Studies in the Physical Sciences, 1975 6: 306; D'Agostino S. A History of the Ideas of Theoretical Physics: Essays on the Nineteenth and Twentieth Century Physics. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 148
- [8] 宋德生. 物理, 1985, 14(3): 187 [Song D S. Wuli (Physics), 1985, 14(3): 187 (in Chinese)]; 宋德生, 李国栋. 电磁学发展史. 南宁: 广西人民出版社, 1987. 328—329 [Song D S, Li G D. A History of Electromagnetism. Nanning: Guangxi People's Press, 1987. 328—329 (in Chinese)]
- [9] Hertz H G, Doncel M G. Archive for History of Exact Sciences, 1995 49(3): 235
- [10] O'Hara J, Pricha W. Hertz and the Maxwellians: A Study and Document of the Discovery of Electromagnetic Wave Radiation, 1873—1894. London: Peter Peregrinus, 1987. 22—119
- [11] Süsskind C. Isis, 1965 56: 344