

亥姆霍兹对电动力学发展的重要影响*

罗 平

(巢湖师范专科学校物理系 安徽 238000)

摘 要 文章结合 19 世纪 70 年代电动力学发展的特殊历史背景,从理论和实验两个角度讨论了亥姆霍兹在电动力学方面的重要工作,指出他在促使人们接受麦克斯韦理论以及引导赫兹成功地发现电磁波方面都发挥了重要作用,对赫兹和洛伦兹的电动力学理论研究产生了重要而又深远的影响,从而极大促进了经典电动力学的发展。

关键词 亥姆霍兹,电动力学,韦伯理论,麦克斯韦理论

19 世纪,物理学上最重要的理论发现当属麦克斯韦的电磁场理论,它的建立标志着电磁理论和光理论的统一。赫兹的电磁波实验不仅证实了麦克斯韦预言的电磁波的存在,给麦克斯韦的电磁场理论提供了引人瞩目的证据,而且也为人类利用无线电奠定了重要的实验基础。然而不容忽视的是,无论是在促使人们接受麦克斯韦的理论,还是在为麦克斯韦的理论寻找实验证据,引导赫兹成功地发现电磁波等方面,亥姆霍兹(Hermann von Helmholtz, 1821—1894)都发挥了重要的作用。可是在许多科学史著作,特别是物理学史著作中,在盛赞麦克斯韦和赫兹丰功伟绩之时,对亥姆霍兹的贡献却鲜有讨论。偶有国外学者撰文^[1]讨论亥姆霍兹在电动力学方面的贡献,但却侧重于其研究工作本身。有鉴于此,本文拟在讨论亥姆霍兹的电动力学研究工作的基础上,进一步就其对电动力学发展所产生的重要影响作一探讨。

1 历史背景

在 19 世纪 70 年代以前,电动力学处于一片混乱的状态,出现了各种不同的理论,其中最具代表性的有欧洲大陆盛行的韦伯理论、诺埃曼理论以及当时并不被绝大多数大陆物理学家所接受的麦克斯韦理论。

1.1 韦伯理论

韦伯(W. E. Weber, 1804—1891)的电动力学理论是在安培电动力学基础上发展起来的。1820 年,奥斯特(H. C. Oersted)发现了电流的磁效应。1820 年 10 月,安培在此基础上,通过反复实验,提出了分子电流假说,1827 年又在大量实验基础上导出了电

流元之间作用力的数学表达式,即安培定律。安培试图仿照力学的理论结构来建立电磁理论,他认为最核心的概念应该是与质点对应的实体电流元以及它们之间能产生超距作用力。他把其理论称为电动力学,即,关于电的动力学。安培理论的一个致命的弱点是无法说明法拉第(M. Faraday, 1791—1867)在 1831 年发现的电磁感应。但是韦伯深信安培理论的正确性,他于 1846 年利用莱比锡大学物理学教授费希纳(G. T. Fechner, 1801—1887)提出的假说(认为导线中的电流是由沿着相反方向以相同速度运动的数量相等的正负电荷所组成的,正负电荷的绝对值相等,各电流元的电流强度与电荷和速度的乘积成正比)对安培理论作了补充,提出了两个电荷间的作用力定律——韦伯电作用定律,即

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2} \left| 1 - \frac{1}{c^2} \left| \frac{dr}{dt} \right|^2 + \frac{2r}{c^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right|, \quad (1)$$

其中 f 为相距 r , 且 r 随时间变化的电荷 e_1 和 e_2 之间的作用力, c 表示电荷的电动力学单位对静电单位的比值(在理论上等于光速的 $\sqrt{2}$ 倍)^[2]。式中第一项为静电力,第二项表示因电荷运动形成电流所产生的相互作用力,第三项表示电荷加速运动,形成变化电流所产生的电磁感应力。可见韦伯理论将库仑力、安培力和法拉第电磁感应力统一在一个公式中,一方面保持了安培电动力学精神,另一方面又能解释电磁感应现象。由于韦伯定律是仿照牛顿力学体系,寻求以数学形式来表示自然界的吸引和排斥作用,代表了当时大多数欧洲大陆物理学家一直采用的一种方法,因而倍受青睐,盛极一时。当然,韦伯理论也存在一些缺陷,如作用力定律中出现的运动是

* 1999 - 12 - 06 收到初稿, 2000 - 04 - 10 修回

相对的还是绝对的,韦伯电作用力与动力学原理的关系,特别是与能量守恒原理的关系是什么等等都是不清楚的.

1.2 诺伊曼理论

诺伊曼(Franz E. Neumann, 1798—1895)是理论物理学的重要创始人之一,他在与安培、韦伯不同的方向上发展了超距作用的电磁感应理论.诺伊曼在1845年和1847年发表的两篇论文中探讨了电磁感应的数学定律——诺伊曼电势定律,即作用于两个闭合回路之间的力可由电势(今天称为电动力学势)推导出来:

$$-\frac{1}{c^2} i_1 i_2 \frac{d\mathbf{l}_1 \cdot d\mathbf{l}_2}{r}, \quad (2)$$

上式表示相距为 r 的两个电流元 $i_1 d\mathbf{l}_1$ 和 $i_2 d\mathbf{l}_2$ 之间的电动力学势.从诺伊曼的电动力学势可以分别导出安培定律和法拉第定律,因而在这种意义上,诺伊曼势公式使安培定律和法拉第电磁感应定律的数学描述实现了统一化^[2].

1.3 麦克斯韦理论

由安培首创并为诺伊曼、韦伯及其继承者所追求的理论被称作大陆派电动力学,而在英国却出现了在法拉第电磁感应基础上发展起来的大不相同的理论.麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)吸取了法拉第和威廉·汤姆孙(William Thomson, 1824—1907)的成果,在1855年、1861年和1862年先后发表了“论法拉第的电应力状态”、“论物理的力线”以及“电磁场的动力学理论”等论文,1873年又发表了集大成的著作《论电和磁》.他否定了大陆派电动力学理论的超距作用和微粒电流体概念,而将理论建立在电磁介质概念的基础上,试图从具有力学性质的介质的状态变化来理解电磁作用.他认为所有的电动力学作用都是通过相邻介质的渐进极化作用而传播的,并且预言了光是一种电磁现象.

然而,尽管麦克斯韦的电磁理论思想自始至终保持一致性,但在提出他的理论时并不总是清楚的,他的理论恰好有一些与大陆派理论不同的基本点上是不清楚的.如他没有阐述电荷的性质,他只承认电荷是一物理量,避免作出诸如电荷是否为物质、是否为能量、或者是否属于任何已知范畴的物理量之类的假设,相反地,在超距作用理论中,用微粒电流体术语来解释电荷概念却是清楚的;麦克斯韦的电磁场概念同样是难以掌握的,其基本原理也与人们习以为常的观点相差甚远,再加上它最初并不是以简单的场的形式出现的,因此当时绝大多数的物理学

家对这种理论是否真实地反映电磁现象的本质表示怀疑,即使在英国,麦克斯韦理论也没有立即引起人们的过多关注.麦克斯韦理论使同时代的人感到迷惑,一些想了解其理论精髓的热心的读者最终也放弃了这种尝试.除了散见于各种文献中的抱怨外,从赫兹的《电磁波》^[3]一书的前言中,也可以看出当时关于麦克斯韦理论存在的各种困难的详细讨论.

上述三种理论在解决当时已知的一些有关闭合电路的问题时都能产生较为满意的结果(其中诺伊曼理论只适用于闭合电路),但对于非闭合电路,从韦伯理论和麦克斯韦理论所得出的结论并不相同,而且它们各自也存在一些不足之处.

总之,19世纪70年代以前,各种电动力学理论并存,究竟哪一种理论真实地反映了电磁现象的本质尚无法确定,因此急需具有深厚物理理论功底又精通实验研究的人来对各种理论进行整理讨论,并进行实验验证.亥姆霍兹正是在电动力学发展的这一特殊历史时期开始从事电动力学研究的,并在客观上为推动电动力学的发展作出了重要贡献.

2 亥姆霍兹的电动力学理论

亥姆霍兹对电动力学的研究兴趣和他早期对能量守恒研究一样,也是缘自他对生理学的研究.为了解释神经脉冲传播问题,他需要理解导体中电流的运动情况,特别是非闭合电路中的感应电荷运动情况.由于当时以韦伯理论和麦克斯韦理论为代表的各种理论所预测的非闭合电路的结果各不相同,而且都未得到实验验证,为此亥姆霍兹决定对各种理论进行整理.其目的是:(1)检验各种相互冲突理论与公认的力学及动力学原理间的一致性;(2)从各个理论中得到不同的理论预见;(3)进行实验以检验各种不同理论的正确性^[4].正如他自己所说:“面对(诺伊曼、韦伯和麦克斯韦)理论之间的矛盾冲突,对我来说,宁愿尽可能地保留以事实为基础的部分,而放弃还不能由实验决定的理论的待定的部分”^[5].为此,他首先开始了理论上的探讨.

1870年,亥姆霍兹发表了他在电动力学方面的第一篇论文“电动力学理论之一:论静止导体的电运动”.由于他认为韦伯理论和能量守恒原理相矛盾,而麦克斯韦理论也需要进一步的检验和证明,因此亥姆霍兹决定从诺伊曼的电动力学势入手,试图寻找一个更一般化的电动力学势,从而将三种理论的基本定律归纳整理为一个数学表达式.

他认为两个线性电流元 $i_1 d\mathbf{l}_1$ 和 $i_2 d\mathbf{l}_2$ 之间的最一般形式的电动力学势应为

$$-\frac{1}{2c^2} i_1 i_2 \left[(1+k) \frac{d\mathbf{l}_1 \cdot d\mathbf{l}_2}{r} + (1-k) \frac{\mathbf{r} \cdot d\mathbf{l}_1 \mathbf{r} \cdot d\mathbf{l}_2}{r^3} \right], \quad (3)$$

其中 r 为两电流元之间的距离, k 为未定的常数, 可以取不同的值^[5]。

亥姆霍兹当时是如何得出这个一般电动力学势定律已不得而知, 鉴于他研究的出发点, 并考虑到从韦伯的电作用力定律可以导出两个电流元之间的电动力学势为^[6]

$$-\frac{1}{c^2} i_1 i_2 \frac{(\mathbf{r} \cdot d\mathbf{l}_1)(\mathbf{r} \cdot d\mathbf{l}_2)}{r^3}. \quad (4)$$

可以推断, 亥姆霍兹的一般电动力学势实际上是诺伊曼电动力学势和由韦伯理论导出的韦伯势的一种组合, 因此它仍然是建立在超距作用的基础上的. 当 $k=1$ 时, 从(3)式可得到诺伊曼的电动力学势形式; $k=-1$ 时, 可得到韦伯势形式; 而在 $k=0$, 且引入极化介质的情况下, 则可以得到麦克斯韦理论. 如果两电流元之一所在的电路是闭合的, 则(3)式对该电路积分后, k 消失, 因而各种理论结果相同. 由于 $k=1$ 对应的诺伊曼理论只是对闭合电路而言的, 因而在非闭合电路情况下, 只需探讨韦伯理论. 麦克斯韦理论以及亥姆霍兹理论与动力学原理的一致性.

为了在更广泛意义上发展电动力学, 亥姆霍兹还进一步将一般电动力学势从线电流推广到三维导体中的体电流. 接着, 亥姆霍兹着手证明 $k=-1$ 所对应的韦伯理论的不充分性. 早在 1847 年关于能量守恒的论文中, 亥姆霍兹就已经指出由于韦伯力与速度、加速度有关, 因而不遵守能量守恒定律. 1848 年, 韦伯曾对此作出辩解, 指出两个电荷之间的势能也与速度有关, 因而总能量可以守恒. 可亥姆霍兹仍然认为韦伯定律所给出的力尽管不是明显的违背能量守恒原理, 也与能量守恒原理存在着物理上的不相容性. 在这篇文章中, 他公开了对韦伯电动力学理论的批判, 指出至少在两种情况下, 韦伯定理预测的物理现象是不合理的:

其一, 根据韦伯理论, 可以得出: 电荷系统在运动时的能量应小于该系统静止时的能量, 因此至少有一些静电平衡是不稳定的.

其二, 根据韦伯理论, 还可以得出在一定的条件下, 带电粒子的速度可以变成无限大的结论.

在证明了韦伯理论的不充分性后, 亥姆霍兹又

转而讨论麦克斯韦理论. 像英国的物理学家一样, 他相信由法拉第实验, 特别是抗磁现象所强烈支持的以太介质的存在性. 在 1870 年的论文的最后部分, 为了得到和麦克斯韦理论相类似的结论, 亥姆霍兹引入了可极化和磁化的以太介质的概念. 他认为“电的运动和发光以太之间的值得注意的类似性, 既是麦克斯韦的特殊假设的结果, 也是超距作用理论的结果”^[5]. 因此断言不需要对超距作用的电动力学的基础作根本的改变, 在考虑介质的极化, 并作如下假定后, 也能从他的一般电动力学势定律导出在介质中以有限速度传播的极化波的波方程. 这些假定是: (1) 在空气和真空中发生的电磁现象与电介质中发生的电磁现象相同; (2) 电介质极化的变化所产生的电磁力与同等变化的电流所产生的电磁力相等; (3) 无论是电磁力还是静电力都会产生电介质极化现象^[3].

在仅考虑均匀电极化的情况下, 亥姆霍兹从他的一般电动力学势推出极化波方程为

$$\frac{k\chi_e}{1+\chi_e} \cdot \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \Delta \varphi = 4\pi \frac{\rho}{1+\chi_e}, \quad (5)$$

$$\frac{\chi_e \partial^2 \mathbf{A}}{c^2 \partial t^2} - \Delta \mathbf{A} = \frac{4\pi \mathbf{j}}{c} - \frac{1}{c} (1+\chi_e-k) \frac{\partial}{\partial t} \nabla \varphi, \quad (6)$$

其中 φ 为静电势, ρ 为电荷密度, \mathbf{A} 为矢势, \mathbf{j} 为电流密度.

亥姆霍兹从他所导出的波方程中, 可以得出在电介质中传播的纵波和横波的速度分别为^{[5], [1]}

$$c_{\parallel} = c_0 \sqrt{\frac{(1+\chi_e)(1+\chi_0)}{k\chi_e}}, \quad (7)$$

$$c_{\perp} = c_0 \sqrt{\frac{1+\chi_0}{\chi_e}}, \quad (8)$$

其中 c_0 为真空中的光速, χ_0 为真空的磁导率, χ_e 为介质的极化率.

由于麦克斯韦理论中只有横波, 所以亥姆霍兹假定 $k=0$, 这时纵波速度为无限大, 从而纵波消失. 如果真空可以无限极化, 其极化率为无限大, 即(8)式中 $\chi_e = \chi_0 \rightarrow \infty$, 则真空中的横波速度为 $c_{\perp} = c_0$, 即为真空中的光速, 这和麦克斯韦理论预测的结果一致.

可见, 在 $k=0$ 时, 麦克斯韦理论成了亥姆霍兹理论在 $\chi_0 \rightarrow \infty$ 情况下的一个特例, 即作为公认的超距作用思想的极限出现的. 亥姆霍兹的这种理论表

1) 这里已将公式从高斯单位制换算成国际单位制

述使麦克斯韦理论易于被那些受欧洲大陆传统熏陶的物理学家接受,欧洲大陆的许多物理学家正是通过亥姆霍兹的论文,才开始逐步认识和了解麦克斯韦理论.

必须指出的是,尽管麦克斯韦理论和亥姆霍兹理论在这里具有一定的等价性,但它们却是建立在不同的物理图像上的.麦克斯韦理论的最基本的概念是充满空间的各向异性的电介质,电荷和电流是这些不均匀性的导出概念.而在亥姆霍兹的理论中,超距作用的电荷和电流是最基本的概念,介质的极化是用物质分子的位移极化来解释的.

令人遗憾的是,一方面亥姆霍兹没有注意到,只要假定真空极化率 $\chi_0 \rightarrow \infty$,而不必假设 $k=0$,就可以得到麦克斯韦理论.因为无论 k 取何值,只要 $\chi_0 \rightarrow \infty$,纵波速度就为无限大,而且考虑真空为无限极化时,开路电流可以看成闭合电路, k 也会消失.另一方面他也没有明确地讨论其理论和麦克斯韦理论的差别所在.

3 亥姆霍兹的实验研究工作

尽管亥姆霍兹十分欣赏麦克斯韦理论的成就,但直到1874年他仍然愿意保留其势理论.“对我来说,势定律似乎是最成功的理论.就目前的知识状况而言,我认为它是电动力学领域的一种最可靠的指导性理论,并且它是诺伊曼的一种最富创见、最有成效的思想”^[7].亥姆霍兹认为他的势理论似乎比麦克斯韦理论具有更广泛意义,然而1875年以后,他和他的学生所做的实验研究工作使他不得不改变了这种看法.

亥姆霍兹虽然在1870年的论文中证明了韦伯理论存在的困难,但还是缺乏令人信服的实验证据,此外常数 k 有没有任意的非负值,究竟哪一种理论是正确的等问题都有待实验的检验.1871年,亥姆霍兹成为柏林大学的物理学教授后,筹建物理研究所的工作使他迟迟没有时间进行检验各种理论的工作.尽管如此,在1871—1874年期间,他仍然提出了一系列实验建议,并详细地描述了有关细节以及预期的实验结果,然后安排助手和学生去进行实验^[8].其间,来自奥地利的玻尔兹曼(L. E. Boltzmann, 1844—1906)最先得出对麦克斯韦理论有利的实验结果.1871—1872年间,玻尔兹曼在亥姆霍兹的实验室中,主要研究测量绝缘物质的介电常数,起初他和亥姆霍兹都认为介电常数 ϵ 和光的折

射率 n 相等,而实验结果却表明物质的介电常数“都接近等于折射率的平方”,与麦克斯韦理论的结果 $n = \sqrt{\epsilon}$ 相同^[8].这从一个侧面为麦克斯韦理论提供了一个有利的证据,但还不能完全证明麦克斯韦理论的正确性.

1874年,亥姆霍兹发表了“电动力学之三:运动导体中的电动力”一文.正是在这篇论文中,他发现了一种在实验上检验各种理论的可行的方法^[4].从其势理论,亥姆霍兹得出有质动力(导体本身运动产生的力)效应的产生是由于自由电荷聚集在非闭合电路的端点所致的结论.据此他设计了一个研究闭合电路的电流元与非闭合电路的端点电荷作用的试验,即通过模拟放电实验来确定在非闭合电路的端点是否产生有质动力效应,并和学生席勒(N. Schiller)在这年的夏天进行了实验.正是这个实验的结果使他的势理论第一次陷入困境.

他们在一个金属罩内悬挂一个磁化的钢环,一个静电起电机在其附近一点放电.如果把这一点当成是非闭合电路的端点,由这一点作用在处于磁场中的分子电流上的电动力将会引起环的转动,然而实验结果是否定的.亥姆霍兹注意到:实验中,通过空气粒子的对流运动,电荷不断地从静电起电机的放电点被带走,因此猜测除了有非闭合电流产生的有质动力效应外,可能还有另一种由运流电流引起的电动力学效应.然而就在“电动力学之三:运动导体中的电动力”一文中,亥姆霍兹还曾依据势理论否定了这种运流电流会产生电动力学效应^[9].

1875年,来自美国的罗兰(A. Rowland, 1848—1901)在亥姆霍兹的实验室中完成了揭示运流电流可以产生电动力学效应的著名实验.在这个实验的报告中,亥姆霍兹虽然承认用韦伯理论可以对此作出最直接的解释,但同时又指出,用麦克斯韦理论原有的形式或用引入介质的亥姆霍兹的势理论也都可以解释这种作用.因为在运动电荷周围的介质极化会形成一个极化电流.正如他自己所说:“对于已有的电动力学理论来说,这个实验有如下的意义,它的结果和韦伯理论一致,但同时又能从麦克斯韦理论或从考虑极化的势理论中导出”^[10].

1875年,亥姆霍兹自己所做的另一个实验再一次使其势理论陷于困境.他在一个均匀的磁场中旋转一个同轴的圆柱形电容器的一个极板时,观察到极板受到了感应力的作用,而在此过程中,系统的势并没有变化.这个结论很显然与超距作用的势理论相矛盾,只有像1870年论文的后部分一样,假定导

体间存在着具有较高极化能力的介质,才可以圆满解释这个实验的结果^[11].

至此,亥姆霍兹首先以理论分析淘汰了韦伯理论,继而以实验证据显示了势理论存在不足而又淘汰了势理论,最终只剩下了以亥姆霍兹方式重新描述过的麦克斯韦理论.到1876年末,尽管还没有决定性的实验,但实际上,亥姆霍兹已逐渐认为以太介质是必须的,麦克斯韦理论是正确的.他在思想上已明确地认识到,若要最终证明麦克斯韦理论是正确的,就必须从实验上证明他在1870年论文中,引入极化介质时所作的假定是正确的.为此,1879年,他给柏林科学院提出的悬赏实验课题^[12]就是有关这些假定的.“其目的就是为了从实验上建立电磁力和介质极化之间的关系”^[13].

1881年,亥姆霍兹在伦敦化学学会所作的“关于法拉第电概念的现代发展”的演讲中已声称他选择法拉第-麦克斯韦理论.“科学现在的发展显示,法拉第的基本概念在不久的将来得到普遍的承认是大有希望的.的确,他的理论与所观察到的事实是最相符合的,而且没有超出事实范围,没有任何与动力学原理相冲突的地方”^[13].

可见,到70年代后期,亥姆霍兹仅从他的早期理论中保留了在无限极化的真空条件下的一种极限理论,他赞成英国法拉第-麦克斯韦派认为电磁效应可以传播的观点.因此我们可以说:亥姆霍兹理论和麦克斯韦理论的真正差别不是在于电的本质,而是在于介质与电荷、电流的相对地位.对于麦克斯韦来说,介质的性质是最基本的,电荷和电流的性质是导出的;相反,对于亥姆霍兹而言,电荷和电流的概念是最基本的,而介质的性质是导出的.

值得一提的是,尽管亥姆霍兹非常欣赏麦克斯韦的动力学方法,以及介质中电流连续的特殊思想,但他并不接受麦克斯韦认为电流是由介质的极化形成的观点,而是坚信电最终是由离散的电荷组成的.在1881年所作的关于法拉第的演讲中,亥姆霍兹提出了他的“电原子”理论.他深信自然界中的化学力最终是电力.今天所说的电动力学则正是这种电的原子概念和麦克斯韦的场方程的结合——洛伦兹电子理论(即场的理论和粒子性的综合).这从一个侧面体现了亥姆霍兹作为一代宗师的敏锐的洞察力.

4 亥姆霍兹对经典电动力学发展的影响

纵观亥姆霍兹对电动力学所做的工作可以看

到,其理论本身尽管远不如麦克斯韦的电磁场理论以及赫兹、洛伦兹后来的工作成功,而且今天看来已成为过时的理论,但是勿容置疑,其理论与实验研究工作在对电动力学发展过程中发挥了极其重要的作用,产生了极其深远的积极影响.

4.1 促进了欧洲大陆物理学家开始逐步认识和了解麦克斯韦理论

一方面,亥姆霍兹1870年的论文,证明了韦伯理论的不充分性,引起了他与韦伯及其理论追随者之间持续多年的论战.针对亥姆霍兹所指出的困难,韦伯辩解说,只要在微观上适当地修正他的定律,就可以解决.但亥姆霍兹在1873年发表的论文“电动力学之二:批判”一文中又一次证明韦伯是错的,并进一步指出“电磁现象和电动力学现象并不与通常的力学现象有什么不同,并不需要一种既和相互作用物体的位置有关又和它们的速度有关的新的基本力,这是麦克斯韦理论的结果”^[14].由于亥姆霍兹的理论完全是对宏观现象而言的,而韦伯的理论是对微观电荷而言的,因而争论双方很难沟通和理解.尽管这场争论最终没有得出明确的结论,但却极大地动摇了欧洲大陆物理学家对韦伯理论的信心,削弱了韦伯理论的主导地位,为人们关注和接受麦克斯韦理论开辟了一条道路.需要说明的是,这场争论也使亥姆霍兹和韦伯两人之间的友好关系逐渐恶化,以致于在1881年的第一届国际计量大会上,亥姆霍兹坚持采用“安培”而不用“韦伯”来表示电流的单位^[1].

另一方面,由于麦克斯韦理论自身存在的困难,使想了解其理论的人望而却步,而亥姆霍兹在超距作用的势理论的基础上,引进了极化介质概念,将麦克斯韦理论作为其在 $k=0, x_0 \rightarrow \infty$ 的情况下的一个特例,使它易于被接受了.欧洲大陆物理学家正是通过亥姆霍兹的工作来认识和了解麦克斯韦理论的精髓的.正如赫兹所说:“曾热衷于麦克斯韦理论的许多人,即使不为罕见的数学困难所吓倒,也终究被迫放弃了使自己的思想与麦克斯韦思想一致的希望.虽然我对麦克斯韦的数学思想极为崇拜,但是我并不总是觉得我能非常准确地把握他的理论的物理意义.因此,对我来说,用麦克斯韦的书来直接指导我的实验是不可能的,指导我的只有亥姆霍兹的工作”^[3].

4.2 吸引并培养了一大批年轻的物理学家对电动力学进行研究

亥姆霍兹早期对能量守恒的贡献以及在生理光

学和生理声学等领域的巨大成就,使他蜚声世界. 1871年,他被聘任为柏林大学物理学教授后,就着手筹建柏林大学物理研究所并使之很快成为世界著名研究所.他的声望、学术成就及其超凡的理解力和洞察力吸引了一大批年轻的物理学工作者从世界各地慕名而来,在他的研究所、实验室从事研究,而他则为他们提供实验方法和手段.像前面提到的玻尔兹曼、雪莱、罗兰、以及赫兹等人,都曾在亥姆霍兹的指导下进行研究,得到了很好的锻炼和培养,后来在电动力学和物理学的其他领域中都作出了重要贡献.特别是亥姆霍兹以科学家的敏锐的眼光发现了赫兹的卓越的才能,并从各方面帮助赫兹发展他的才能,为赫兹后来在电动力学方面取得重大成就准备了条件,奠定了基础.他们师生情意深厚,成为科学史上的佳话.

4.3 为电动力学研究指明了正确的方向,促进了经典电动力学体系的形成

随着亥姆霍兹对电动力学研究的逐步深入,到19世纪70年代末,他在思想上已基本承认了麦克斯韦理论的正确性,但他的这一认识并不能被当时所有的欧洲大陆物理学家所接受.他对韦伯理论的批判,对麦克斯韦理论的支持似乎没有立即产生十分强烈的反响,其主要原因在于缺乏令人信服的实验证据.然而,他的工作对后来欧洲大陆电动力学的发展产生了极其重要的影响,因为这一领域未来的两个杰出人物赫兹和洛伦兹都是在他的研究工作(而不是麦克斯韦的理论)的基础上取得了重大突破.

1879年,柏林科学院设立前面提到的悬赏实验课题之时,赫兹并没有接受亥姆霍兹的建议立即去做这些课题.尽管直到1887年,他才转向这些课题,但很快就取得突破性进展,证明了在电磁振荡作用下电介质极化像传导电流一样发生电磁作用,并于1887年11月发表了论文.接着他继续实验,于1888年1月21日完成了“论电动力学作用的传播速度”一文,证实了电磁波的存在并确定了电磁波以光速传播,从而证明了麦克斯韦理论的正确性.这充分说明了亥姆霍兹为赫兹指明了正确的研究方向.

和赫兹一样,洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)研究光的电磁理论也是以亥姆霍兹所改写的麦克斯韦理论为依据的.亥姆霍兹在1870年的论文的一个脚注中指出:他注意到介质理论方程给出了在两个透明媒质表面反射和折射的边界条件,并由此认识到光学中的难题可能与电动力学中难题的解

决有关.他认为,如果把光看成是电的或磁的振动,就能解决弹性波动理论在讨论两种媒质交界面处的光的反射和折射时碰到的纵波困难.这是麦克斯韦没有考虑到的一个问题,而这种清楚的认识后来成为洛伦兹光学研究的出发点^[14].洛伦兹的博士论文“论光的折射和发射理论”就是以亥姆霍兹的这个脚注为出发点^[15].从此洛伦兹走上光的电磁理论研究之路,取得了令人瞩目的成就,最终建立了我们今天所说的经典电动力学——洛伦兹电子理论.

总之,虽然亥姆霍兹促使人们认可的是麦克斯韦理论,而不是他自己的理论,虽然他为年轻的学者提供实验方法和手段,而不是他自己直接进行实验研究,虽然他的理论更多的是作为中间媒介进行传递和评价,而不是直接的决定性的理论,但是他对经典电动力学体系的形成和发展产生的影响却是极为深远的.可以设想,如果没有亥姆霍兹促使人们接受麦克斯韦理论,引导赫兹用实验方法证明电磁波的存在,引导赫兹和洛伦兹等人对电动力学研究,那么人类认识光和电磁现象的统一性,利用无线电等技术的进程将有可能推延.作为当时“科学帝国的首相”,亥姆霍兹对电动力学发展起到一种积极的助推作用,他的电动力学研究及其在流体力学、热力学等方面所取得的成就,极大地促进了整个经典物理理论体系的形成.

参 考 文 献

- [1] Woodruff A E. Isis, 1968, 59:300
- [2] [日] 广重彻著, 祁关泉等译. 物理学史. 上海: 上海教育出版社, 1996. 261—262 [GUANG Zhong Che. QI Guan Quan et al. trans. History of Physics. Shanghai: Shanghai Education Press, 1996. 261—262 (in Chinese)]
- [3] Hertz H. Jones D E trans. Electric Waves. London: 1893
- [4] Gillispie C C. Dictionary of Scientific Biography VI. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. 250
- [5] Helmholtz. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz (Vol. 1). Leipzig: 1882. 546
- [6] Darrigol O. Archive for History of Exact Science, 1993, 26 II, 45(3): 230
- [7] Helmholtz. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz (Vol. 1). Leipzig: 1882. 773
- [8] Jungnickel C, McCormach R. Intellectual Mastery of Nature 2. Chicago: The University of Chicago Press, 1986. 26
- [9] Helmholtz. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz (Vol. 1). Leipzig: 1882. 712
- [10] Helmholtz. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz (Vol. 1). Leipzig: 1882. 797

(下转第 572 页)