

中国文库

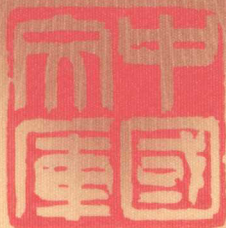
· 科技文化类 ·

科学的历程

(第二版)

(下)

吴国盛 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国文库

——人文社会科学类

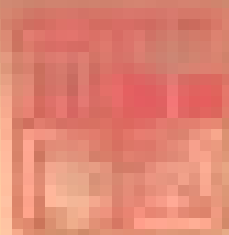


科学的历程

（第二卷）

1771—1840

吴国盛 著



世纪出版

中国文库

科技文化类

科学的历程

(第二版)

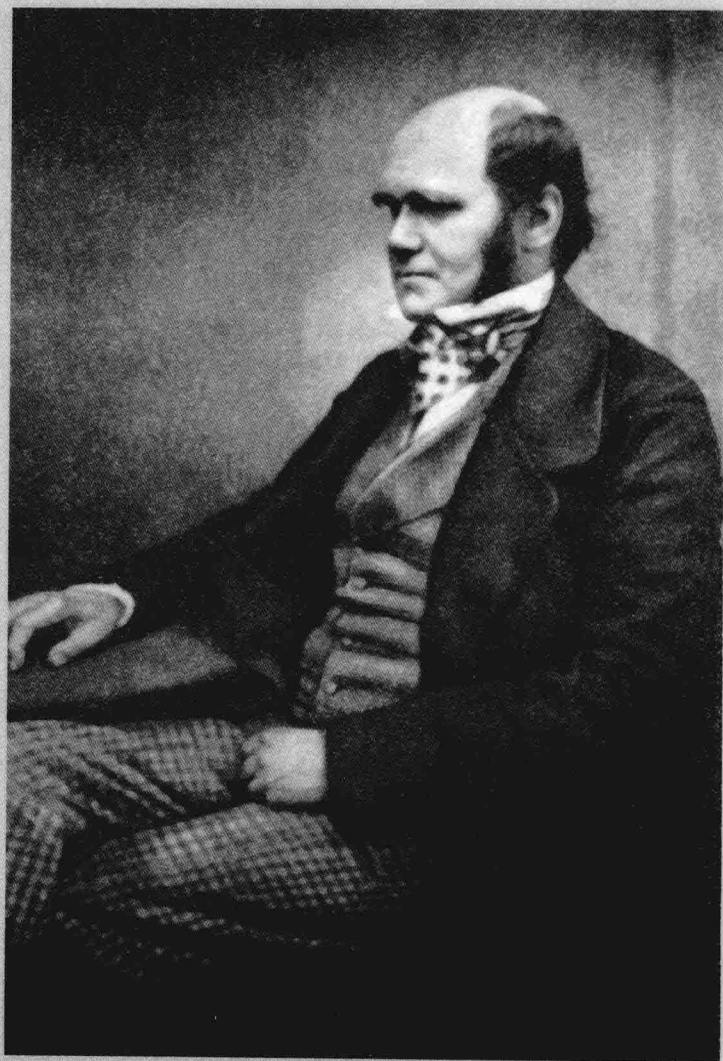
(下)

吴国盛 著

北京大学出版社

第六卷

19世纪：古典科学的全面发展



19世纪被誉为科学的世纪。在这个世纪里,自然科学的各个门类均相继成熟起来,形成了人类历史上空前严密和可靠的自然知识体系。16、17世纪,近代科学革命中形成的机械自然观被大大修正。进化、发展的观念进入了自然科学理论之中。在世纪之末,不少科学家甚至认为,自然界一些根本的问题已经解决,以后所能做的就是对计算结果再精确一些而已。造成这种错觉并不是偶然的。19世纪的自然科学确实经历了突飞猛进的发展,使古典科学达到了相当完善的程度。

26—0 自达
尔文以后,世
界就不同了。

第二十六章 19世纪的电磁学

18世纪行将结束之际,电学达到了它的最高成就库仑定律。但是电与磁之间的联系依然未被正确地认识。吉尔伯特在当时实验的基础上认为电与磁没有什么共同性。这一看法延续了很长时间。库仑也探讨过电与磁的相关性,但在实验上一无所获,结果也相信电与磁没有什么关系。19世纪电磁学的大发展正是从认识到电磁的内在统一性开始的。

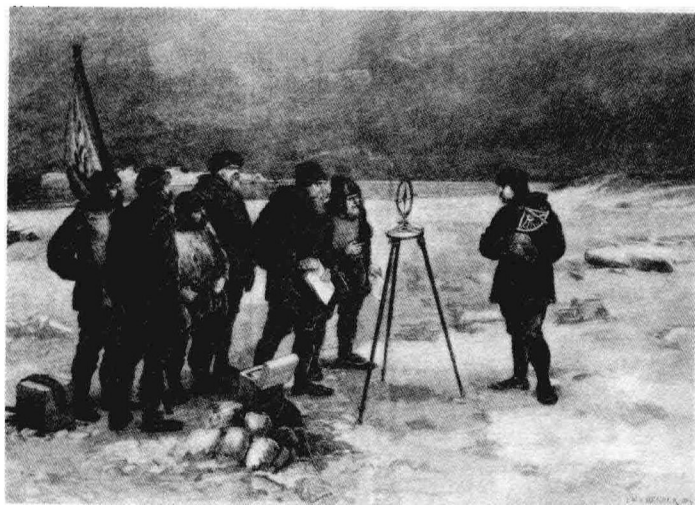
1. 电流的磁效应: 奥斯特、安培

18世纪后期在德国兴起的自然哲学思潮,弘扬自然界中联系、发展的观点,批评牛顿科学中机械论的成分,在当时的科学家中产生了重要的影响。丹麦物理学家奥斯特(1777—1851)青年时代就是康德哲学的崇拜者,1799年的博士论文讨论的就是康德哲学。后来,他周游欧洲,成了德国自然哲学学派的追随者。1806年回国后,被母校哥本哈根大学聘为教授。

基于其哲学倾向,奥斯特一直坚信电磁之间一定有某种关



26—1 奥斯特

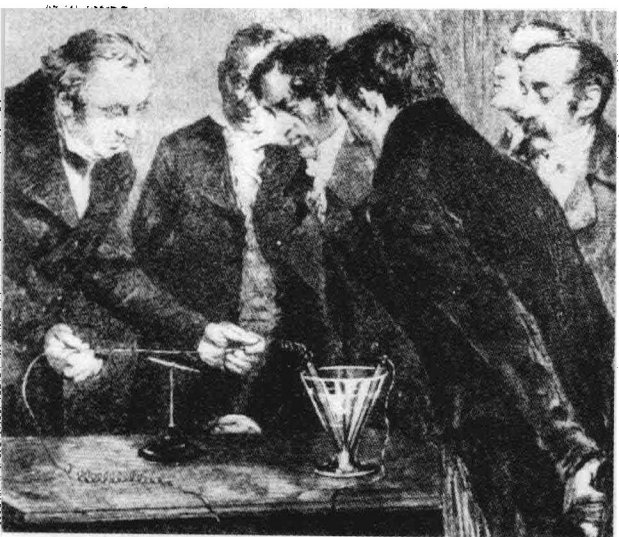


26—2 1831年,罗斯发现地磁北极,这是19世纪末的一幅图,中间的指针朝下。



26—3 奥斯特发现电流的磁效应

26—4 发现电流的磁感应



系，电一定可以转化为磁。在1812年出版的《关于化学力和电力的统一的研究》一书中，奥斯特推测，既然电流通过较细的导线会产生热，那么通过更细的导线就可能发光。导线直径再小下去，还可能产生磁效应。沿着这个思路，奥斯特做了许多实验，但均没有成功。

1819年冬天，他受命主持一个电磁讲座，有机会继续研究电流的磁效应问题。他产生了一个新的想法，即电流的磁效应可能不在电流流动的方向上。为了验证这个想法，他于

次年春设计了几个实验，但还是没有成功。1820年4月，在一次讲座快结束时，他灵机一动又重复了这个实验，果然发现电流接通时附近的小磁针动了一下。奥斯特惊喜万分，又反复实验，终于在1820年7月21日发表了《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文。论

文指出，电流所产生的磁力既不与电流方向相同也不与之相反，而是与电流方向相垂直。还指出，电流对周围磁针的影响可以透过各种非磁性物质。

奥斯特的发现马上轰动了整个欧洲科学界。当年8月，法国物理学家阿拉果（1786—1853）在瑞士听到了这一消息，迅即返回法国，于9月11日向科学院报告了奥斯特的新发现。阿拉果的报告使法国物理学界十分震惊。因为他们一直受库仑的影响，以为电与磁不可能相互作用。法国物理学家安培

(1775—1836)敏锐地感到这一发现的重要性,第二天即重复了奥斯特实验。一周后,他向科学院提交了第一篇论文,提出了磁针转动方向与电流方向相关判定的右手定则。再一周后,安培向科学院提交了第二篇论文,讨论了平行载流导线之间的相互作用问题。1820年底,安培提出了著名的安培定律。

安培生于一个富裕的商人之家。由于大革命时期父亲被处决,他的心情一直十分忧郁。拿破仑时期,他曾就任综合技术学校的数学教授。据说,他是一位心不在焉的“教授”,常常沉入思考而忘记周围的一切,有一次连皇帝拿破仑的宴会都忘了去。但安培是一位天才的物理学家,不仅有良好的数学基础,而且精于实验。奥斯特只是发现了电流对磁针有作用,安培却在极短的时间里将这一发现推广到电流与电流之间的相互作用,并接连发现了作用的方向和大小,给出了判定方向的方法及计算大小的公式。安培定律指出,两电流元之间的作用力与距离平方成反比。这一极为重要的定律,构成了电动力学的基础。“电动力学”这一名称也是安培首先提出来的,用来指研究运动电荷(电流)的科学。与之相对的是“电静力学”,库仑定律则是电静力学中的基本定律。

安培之前,“电流”的概念尚未成为一个科学的概念。正是安培首先规定了电流的方向。他大概受富兰克林影响,认为电流是电液体由正极向负极流动所致,因此,他把电流的方向规定为由正极指向负极。今天我们知道,电流的本质是电子由负极向正极的运动。安培的规定正好反了。不过,只要彻底一贯地坚持这个规定,也不会带来什么麻烦,因此物理学界依然因袭了安培的这个规定。

电流磁效应的发现也使测量“电流”的大小成为可能,从而使电动力学真正走上了定量实验的发展道路。

1821年初,安培进一步提出了分子电流假说。他认为,物体内部的每一个分子中都带有回旋电流,因而构成了物体的宏观磁性。这一假说当时不为人所重视,直到七十多年后真地发现了这种带电粒子,人们才惊叹安培过人的天才。

2. 欧姆定律

欧姆定律今天已成为中学物理课本中最浅显的一个基本定律。尽管今天看来十分简单,当初发现它却不那么容易。要知道,构成欧姆定律的“电阻”、“电压”概念尚未出现,有待欧姆本人



26—5 安培自画像

26—6 欧姆



去创造，而“电流”概念也才刚刚由安培量化。

德国物理学家欧姆（1789—1854）生于埃尔兰根的一个匠人家里，从小学到了机械制造技能。他没有正式上过大学，只在埃尔兰根大学旁听过，以后一直当中学教师。他热心于电学研究，曾多次测量过不同金属的导电率。由于他所使用的伏打电堆的电流不太稳定，使他的研究总是不理想。1822年，德国物理学家塞班克（1770—1831）发现了温差电效应，从而发明了温差电池。温差电池可以提供稳定的电流，这使欧姆的金属导电率研究有了重要的突破。

法国数学家傅里叶已经发现，热传导过程中热流量与两点间的温度差成正比。受此启发，欧姆猜测电流也应该与导线两端之间的某种驱动力成正比。他把这种驱动力叫做“验电力”，今天称为电势差。要验证这一猜想，就必须测量电流的大小。欧姆起初利用电流的热效应导致的热胀冷缩来测量电流的大小，但实际操作起来效果很差。电流的磁效应发现后，欧姆依此原理设计了一个扭秤，可以很方便地测定电流的大小。这样，他利用温差电池和电磁扭秤继续进行金属的导电实验，终于得出了“通过导体的电流与电势差成正比，与电阻成反比”的结论。这就是著名的欧姆定律。

欧姆将他的实验结果发表于1826年，次年又出版了《关于电路的数学研究》，给出了欧姆定律的理论推导。他的实验论文少有人知，而这本数学著作又遭到了非难。人们认为它仅仅是一种理论推测，并没有实验依据。但他的工作在国外越来越受到重视。伦敦皇家学会于1841年授予他科普利奖章，1842年接受他为会员。他的祖国终于认识到了他的价值。1849年，慕尼黑大学聘请他为教授，欧姆终于实现了他青年时代当一名大学教授的理想。

26—7 法拉第



3. 法拉第的电磁感应定律

既然电流有磁效应，科学家自然想到磁可能也会有电流效应。尽管许多人为此做了不少实验，但磁的电流效应并未立即被发现。直到奥斯特的发现十年后，英国物理学家法拉第和美国物理学家亨利才完成了这一壮举。

19世纪最伟大的实验科学家法拉第的一生，是在逆境中顽强奋斗的一生。他于1791年9月22日生于伦敦郊区纽因顿的一个贫



26—8 法拉第
在他的实验室里

穷的家庭。父亲是个铁匠，有十个孩子，家境不佳。少年法拉第只学会了读书写字便失学了。1804年，他进了一家印刷厂当童工，次年成为装订学徒。利用工作之便，法拉第经常禁不住翻开他要装订的书籍，读读其中的内容。正是在这样的条件下，法拉第学到了不少科学知识。业余时间，他也试着做了几个化学实验，还装了一台起电机。1812年，当时著名的化学家戴维在皇家研究院做一系列化学讲演，法拉第得到了一张票。他十分惊喜地发现自己完全能听懂戴维的讲演，这说明多少年的苦读并非徒劳。整个讲座期间，法拉第认真听讲，并作了详细的笔记。这一年，他到了一家法国人开的印刷厂当正式装订工，但工厂主对工人很不好。法拉第每每想起从事科学事业是多么光荣和崇高，可眼前的工作环境充满了欺诈和自私自利，遂决定离开这里。他先是给皇家学会的会长写了一封信，请求得到学会的推荐，在皇家研究院的化学实验室里找一份差使。这封信石沉大海，杳无音讯。法拉第又斗胆给大化学家戴维本人写信，并将自己记的戴维的讲演笔记装订得很漂亮，一起寄给了戴维。戴维为这位自学青年的才能和好学精神所感动，立即回了一封信予以鼓励，但没有答应法拉第的求职要求。后来，戴维与一位助手闹翻了，这位助手被解雇后，他想到法拉第的一再请求，便通知法拉第说实验室有一个刷洗瓶子的工作。法拉第愉快地接受了这个工作，虽然工资比当装订工时还低。

1813年，22岁的法拉第正式当上了戴维的助手，走进了他梦寐以求的科学殿堂。不久，戴维夫妇到欧洲大陆旅游，法拉第作为助手和仆人跟随。虽然戴维夫人甚至很不客气地将法拉第当奴隶使唤，他也虔诚地忍受了。这次旅行，使法拉第大开眼界。他见到了电化学的始祖伏打和其他著名的科学家。1815年回国后，法拉第逐渐在实验室里显示了卓越的实验才能。他先是与戴维一起研究矿井使用的安全矿灯，后来又投入化学研究。1816年，法拉第发表了第一篇学术论文。1823年，他发现了加压液化二氧化碳、硫化氢、溴化氢和氯气等气体的方法。1825年，又发现了苯。他还在电化学方面做出了开创性工作，“电解”、“电极”以及阳极、阴极等名词就是法拉第最先使用的。由于他在实验方面的出色成就，1824年被选为皇家学会会员，1825年被任命为皇家研究院实验室主任。戴维很快发现法拉第有着极为出色的实验天才，对他产生了妒忌。据说在选举皇家学会新会员时，只有他一个人反对法拉第当选。尽管如此，法拉第还是怀着敬慕的心情称颂戴维，感谢他早期对他的培养和教导。

奥斯特实验传到英国后，在英国物理学界也引起了强烈的反响。1821年，戴维和另一位英国物理学家沃拉斯通（1766—1828）重复了奥斯的实验，并且试图用固定的强磁铁让载流导线绕自己的轴旋转，但是没有成功。法拉第受他们的启发，在同年成功地使一根小磁针绕着通电导线不停地转动。这使他相信，电流对磁铁的作用力本质上是圆形的。法拉第实验成功的这个装置大概是历史上第一台电动机。虽然还只是玩具，但不久就改变着世界。

法拉第也像许多其他科学家一样，相信不仅有电流的磁效应，而且也应有磁的电流效应。1824年，他曾设计了一个实验以检验这种效应。他让两根导线平行放置，然后在—根导线中通电，看看另一根导线中会不会有电流感应。他当时希望看到导线中产生稳定的电流，结果瞬间的电流感应未被他注意。以后多次实验均无结果。

1831年8月29日，他又设计了一个新的实验。他在一个软铁环上绕了两段线圈，一段线圈与电池相连，另一个则与电流计相连。这时他发现，当电池接通时，电流计产生强烈的振荡，但不久回复到零位置，而当电池断开时，电流计又发生同样的现象。法拉第起先不明白这里的含义。9月24日，他将与电流计相连的

线圈绕在一个铁圆筒上,又发现每当磁铁接近或离开圆筒时,电流计都有短暂的反应。这表明,磁确实可以产生电,虽然只是短暂的。

同年10月1日,法拉第将两根绝缘铜线分别绕在同一根木头上,形成两组线圈,一组与电流计相连,另一组与电池相连。当电池接通或断开时,电流计指针跳动,随后就回到零位。17日,法拉第进一步发现,仅仅用一根永磁棒插入或拔出线圈,就能从与线圈相连的电流计中发现指针偏转。法拉第十分清楚,他已经用实验证明了感生电流的存在。11月24日,他向皇家学会提交了一篇文章,报告了他的重大发现。感生电流的发现有着重大的意义,它意味着通过连续地运动磁体可以不间断地得到电流。据说法拉第本人很快就做了一个模型发电机。电动机和发电机的问世预示着人类电气时代的到来。

1834年,法拉第发现了自感现象。单独一个线圈在接通或断开电流的一瞬间总会产生一个很强的“额外”电流,这个额外电流在断电时与原电流方向相同,试图加强它,在通电时与通电流方向相反,试图反抗它。

应该提到,另外还有一个人与法拉第同时做出了电磁感应的伟大发现,他就是美国物理学家亨利(1797—1878)。1827年8月,亨利因为试制电磁铁而发现了自感现象。1830年8月,他又初步发现了电流引起的磁场在通电或断电时能产生瞬间的电流。亨利的实验时间均在法拉第之前,但由于他的实验结果一直没有发表,人们还是将电磁感应现象的发现归功于法拉第。

这本来也是历史的公正。法拉第不仅独自发现了电磁感应现象,其研究的深度和广度无人能及,而且运用他自己创造的“场”和“力线”概念,建立了电磁感应定律。在法拉第以前,人们已经知道了许多物理作用力不是通过直接接触实现的,如牛顿的万有引力、库仑的静电力、磁极之间的作用力,以及新近发现的电流之间的磁作用力等,而且它们均遵守距离的平方反比关系。牛顿本人相信引力是即时作用,既不需要传播媒介,也不需要时间,是一种超距作用。后来的科学家均持有这种观点。但是法拉第不同意这种超距作用观,天才地创造了“场”和“力线”的概念。

法拉第认为,电磁作用力均需要媒介传递,因为他从实验中得知,电介质影响带电体之间的电磁作用。他设想,带电体或磁体周围有一种由电磁本身产生的连续的介质,来传递电磁相互作用。



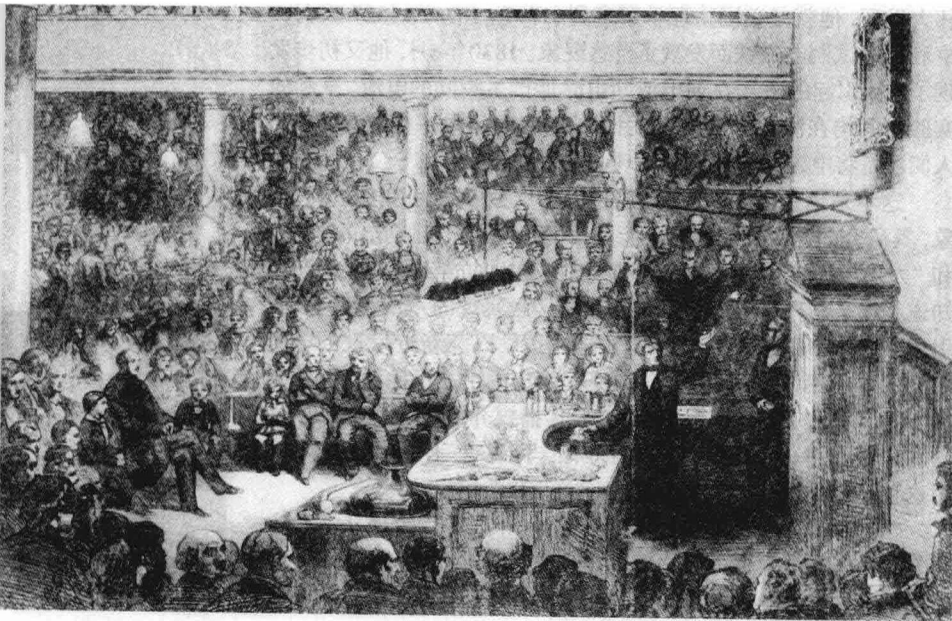
26—9 亨利

用。这种看不见、摸不着的介质，被他称做“场”。为了直观地显示“场”的存在，他又引入了“力线”的概念。他设想，电力线或磁力线由带电体或磁体发出，散布于空间之中，作用于其中的每一电磁物体。演示磁力线的实验今天为每一个初中生所熟悉。将铁屑洒在一张纸上，纸下放一块磁铁，轻轻弹动这张纸，纸上的铁屑就会排成一个规则的图形。法拉第说，铁屑所排成的形状就是磁力线的形状。

有了力线的概念，法拉第就能够进一步解释电磁感应现象。他在发表于1851年的《论磁力线》一文中说，只要导线垂直地切割磁力线，导线中就有电流产生，电流的大小与所切割的磁力线数成正比。这篇论文实际上正式将电磁感应现象确立为一条定律。法拉第由于从小没受过正规教育，其数学能力十分欠缺，但他对物理世界天才的洞察力弥补了这一不足。“力线”概念就是一种极为出色的非数学化的图像式想象，至今仍为物理教学所喜用。

1938年，在皇家学会的档案里发现了法拉第1832年3月12日写给皇家学会的一封信。信中，他先提到电力和磁力的传播需要时间，接着他说：“我认为，磁力从磁极出发的传播类似于起波

26—10 法拉第在皇家研究所给王室成员做讲座



纹的水面的振动或者空气粒子的声振动,也就是说,我打算把振动理论应用于磁现象,就像对声音所作的那样,而且这也是光现象最可能的解释。”^[1]在这封信里,法拉第实际上预言了电磁波的存在。

1845年,法拉第发现了磁的旋光效应即著名的法拉第效应。次年,他又提出光的本性是电力线和磁力线的振动。这一看法后来被麦克斯韦发展成为光的电磁说。

自进入皇家研究院实验室以来,法拉第的新发现一个接一个。及至40年代,法拉第声名大振,数不清的荣誉向他袭来,但他依然像当年那个学徒工那样对科学一往情深,对金钱和地位不屑一顾。成名之后,他热情地给普通群众主办通俗科学讲座,希望科学能像当年在他心中引起崇高的理想那样教育下一代青年人。据说法拉第是一位十分优秀的演说家,作家狄更斯以及王室成员都是他忠实的听众。有人曾建议他当皇家学会的会长,他没有答应。国王要封他爵位,他也谢绝了。50年代英俄交战时,英国政府曾请法拉第领导研制毒气,被法拉第断然拒绝。他临终前要求,葬礼尽量简朴,不要立纪念碑。1867年8月25日,法拉第在伦敦逝世,遵遗嘱没有举行大的送葬仪式。他在长达42年(1820—1862)的科研生涯中,每天坚持对当天的实验情况作详细记录。这些日记于1932年为纪念他发现电磁感应100周年而出版。煌煌七大卷、长达3236页的巨著,记载了这位科学伟人的毕生心血。生活于电气化时代的人们,全都缅怀这位电学大师的丰功伟绩。

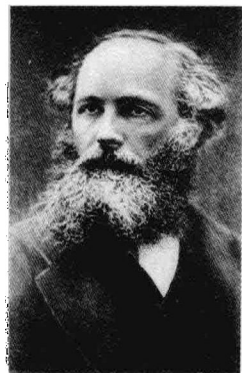
4. 电磁理论之集大成: 麦克斯韦

法拉第的创造性工作奠定了电磁学的物理概念基础,但是由于法拉第不懂数学,不能用精确的数学语言表述他的物理思想。在他总结性的著作《电学实验研究》一书里,几乎找不到一条数学公式,以致有人认为它只是关于电磁实验的实验报告,谈不上是一部科学论著。另一方面,由于分析力学的高度发达,电磁学领域每取得一个突破性的定律,就有数学—物理学家将之用严密精确的数学公式数学化。库仑定律、安培定律和法拉第电磁感应定律均很快被表述成一般的数学形式,现在就等待着一个伟大的综合出现。英国物理学家麦克斯韦担当了这一历史使命。

麦克斯韦1831年11月13日出生在爱丁堡一个名门望族,从小便显露出数学天才。15岁时写了一篇论卵形曲线的论文,发表在



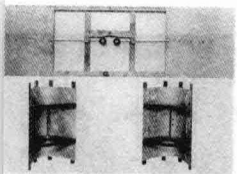
26—11 麦克斯韦的青年时代



26—12 麦克斯韦



26—13 赫兹姆荷兹



26—14 赫兹的发射装置

爱丁堡皇家学会的刊物上,令许多数学家不相信它出自一个孩子之手。1847年,麦克斯韦进入爱丁堡大学学习数学和物理学。1850年,考入剑桥大学三一学院,主攻数学物理学。1854年大学毕业,数学成绩非常优秀。1856年麦克斯韦被阿伯丁马里歇尔学院聘为教授,1860年转往伦敦皇家学院,1871年回到母校剑桥大学任实验物理学教授。据说他不是一个好的教师。他的课深奥难懂,往往只有几个特别优秀的学生才能跟得上。在剑桥期间,他出版了卡文迪许的手稿,从而使世人认识到这位科学怪人曾取得了多少远远超出其时代的成就。他还亲自创办了著名的卡文迪许实验室,任实验室主任一直到去世。

麦克斯韦的科学成就是多方面的。1857年他曾提出土星光环的颗粒构成理论。这个光环从地球上看起来很像一个圆盘,但麦克斯韦认为,如果它真是一个固体或流体的结构,那么引力和离心力等作用必定会使它分崩离析。除非它是一条带状的小天体群,否则不会保持稳定。后来的观测证明,麦克斯韦的看法是正确的。由于其杰出的数学才能,麦克斯韦还在新兴的分子运动论领域做出过重要的贡献。这一点将在第二十九章讲述。这里我们特别叙述他在电磁学理论方面的伟大工作。

1855年,麦克斯韦写了《论法拉第的力线》一文,第一次试图赋予法拉第的力线概念以数学形式,从而初步建立了电与磁之间的数学关系。麦克斯韦的理论表明,电与磁不能孤立地存在,总是不可分离地结合在一起。这篇论文于次年发表在《英国科学促进会报告集》中,使法拉第的力线概念由一种直观的想象上升为科学的理论,引起了物理学界的重视。法拉第读过这篇论文后,大加赞扬。

1862年,麦克斯韦发表了第二篇论文《论物理学的力线》。在这篇论文中,他提出了自己首创的“位移电流”和“电磁场”等新概念,并在此基础上给出了电磁场理论的更完整的数学表述。

电磁场中广泛存在的电场与磁场的交相变化,使麦克斯韦意识到它是一种新的波动过程。1864年,他向皇家学会宣读了另一篇著名的论文《电磁场的动力学理论》。该文于次年发表在学会的机关刊物《哲学杂志》上。文中不仅给出了今天被称为麦克斯韦方程的电磁场方程,而且提出了电磁波的概念。他认为,变化的电场必激发磁场,变化的磁场又激发电场,这种变化着的电场和磁场共同构成了统一的电磁场。电磁场以横波的形式在空间中传

播,形成所谓电磁波。

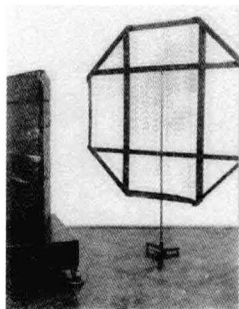
麦克斯韦推算出了电磁波的传播速度,发现与光速十分接近。他本来就猜测光与电磁现象有着内在的联系,在建立了完整的电磁理论之后,他更明确提出了光的电磁理论。麦克斯韦写道:“电磁波的这种速度与光的速度如此之接近,好像我们有充分理由得出结论说,光本身(包括辐射热和其他辐射热)是一种电磁干扰,它是波的形式,并按照电磁定律通过电磁场传播。”^[2]

1865年,麦克斯韦得了一场重病,不得不辞去皇家学院的职务回家养病。这以后,他把主要精力放在整理、总结电磁学理论已取得的成就上面。1873年,他出版了其伟大的著作《电磁通论》。这本书全面总结了一个世纪以来电磁学所取得的成果,是一部电磁学的百科全书,是集电磁理论之大成的经典著作。

1879年11月5日,麦克斯韦因长期患病,终于与世长辞,时年仅48岁。他没能看到他所预言的电磁波真的在实验室里被发现。但是今天,电磁波已经成了信息时代最基本的物质载体。

5. 电磁波实验发现: 赫兹

1878年,德国著名的物理学家赫尔姆荷兹(1821—1894)向他在柏林大学的学生们提出了一个竞赛题目,即用实验方法验证麦克斯韦的理论。赫尔姆荷兹的学生之一赫兹(1857—1894)从那时起就致力于这个课题的研究。1886年,他在做放电实验时发现近处的线圈也发出火花。他敏锐地意识到这可能是电磁波在起作用。为了更好地确认这一点,赫兹再度布置实验。他设计了一个振荡电路用来在两个金属球之间周期性地发出电火花,按照麦克斯韦理论,在电火花出现时应该有电磁波发出。然后,赫兹又设计了一个有缺口的金属环状线圈,用来检测电磁波。结果,当振荡电路发出火花时,金属缺口处果然也有较小的火花出现。这就证明了电磁波的确是存在的。赫兹还进一步在不同的距离观测检测线圈,由电火花的强度的变化大致算出了电磁波的波长。1887年11月5日,赫兹给他的老师赫尔姆荷兹寄去了论文《论在绝缘体中电过程引起的感应现象》。1888年1月,赫兹发表了《论动电效应的传播速度》,证明了电磁波具有与光完全类似的特性,还证明了电磁波的传播速度与光速有相同的量级。赫兹的实验发现不仅证



26—15 赫兹的电磁波装置



26—16 赫兹

明了麦克斯韦理论的正确，也为人类利用无线电波开辟了道路。可惜的是，赫兹英年早逝，没能在电磁波的应用技术方面做出他本来完全可能做出的重大贡献。不久以后，意大利青年物理学家马可尼就实现了无线电波通讯。