

# 法拉第奇迹探源

王廷志

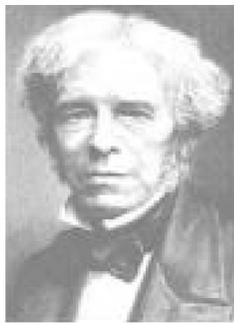


图1 迈克尔·法拉第

迈克尔·法拉第是杰出的物理学家和化学家。他不仅发现了电磁感应现象、电磁感应定律、电解定律、磁致旋光效应，还提出了场、力线和电介质的概念，并首次用“冰桶”实验证明了电荷守恒定律。通过实验，他发现了氯气液化的方法，发现了苯，发现了同分异构体的事实。他不仅发表了很多有价值的论文，而且还出版了三卷本的《电学的实验研究》、八卷本的《法拉第日记》和《化学操作》等畅销书。迈克尔·法拉第是科学史上罕见的高产科学家，而仅受过两年正规学校教育的法拉第，为什么会取得如此辉煌的成就呢？

## 感兴趣的目标

1791年9月，法拉第出生在英国伦敦市郊，全家6口人就靠父亲打铁为生。由于家境贫寒，他7岁上学、9岁退学，13岁到里波书店当送报童，1年后因勤快、爱动脑筋而被老板里波先生收为书籍装订学徒工，此后他便住在书店上面的一间小阁楼里。对法拉第来说，与家里仅有一本《圣经》相比，这里简直就是书的世界。看到不会念的字就虚心请教，读到理解不了的内容就反复琢磨——他利用工余时间阅读了《大英百科全书》《化学漫谈》等大量科学文化书籍，对自然科学产生了浓厚兴趣。在听过大化学家戴维教授的4次学术演讲后，他就把从事自然科学研究作为自己的理想。通过不懈的争取，他终于和赫赫有名的戴维教授有了一次见面的机会。他告诉戴维先生：“我对装订书籍不感兴趣，我希望到皇家学院工作，做什么都可以；我不在乎钱多少；我对买卖不感兴趣，那只是为了赚钱，自私自利。可是科学工作是为了追求真理，哲学家都具有高尚的道德感情。”在戴维的帮助下，1813年3月，法拉第终于如愿以偿地走进皇家学院实验室，成为戴维的助手，周薪25先令，外加实验室楼上的两间住房。经过近10年的奋斗，他又正式进入英国皇家学院。

在随戴维夫妇到欧洲大陆作为期两年的科学研究旅行时，他既当实验助手，又兼文书和仆人。1815年回到英国皇家学院实验室后，他既是实验助手、助教，又是技工、勤杂工。凭借出色的实验技能，他多次为戴维和皇家学院其他科学家做化学分析。通过

做化学实验，他在1816~1821年间共发表论文30余篇。

1820年，丹麦物理学家奥斯特在一次演示实验中，偶然发现了电流的磁效应，彻底否定了长期在物理学领域占统治地位的电与磁彼此无关的观点，在科学界引起强烈反响。经过许多物理学家、化学家的不懈努力，又相继得出毕-萨定律、安培定律等一批成果。1821年，英国著名杂志《哲学年鉴》的主编邀请戴维写一篇文章，综合评述自奥斯特发现电流的磁效应以来电磁学的发展概况，戴维把这个任务交给了法拉第。他用几个月时间认真研读搜集到的电、磁文献资料，并重复有关的一系列实验，终于写出了综合评述文章《电磁研究的历史概况》。一直从事化学研究的法拉第，就这样找到了自己最感兴趣的领域——电磁学。

## 积极的心态

虽然法拉第只受过两年的正规学校教育，但他从不放弃任何学习机会。14岁在书店当装订学徒工时，他不仅利用工余时间刻苦学习，还从自己微薄的收入中拿出钱来购买化学药品，把他居住的小阁楼建成一个化学实验室，边看书、边做实验。这种学习方式，不仅加深了他对理论的理解，而且还提高了实验技能。

对于一个连小学都没毕业的穷孩子来说，从事自然科学研究工作简直就是异想天开，但法拉第始终没有放弃。他首先鼓起勇气给皇家学会会长班克斯先生写了一封信，表达了从事科学工作的强烈愿望，恳求让他到英国皇家学院工作。在苦等1周不见回音的情况下，他跑到会长家门口询问，得到的回答却是：“会长说，你的信不必回。”虽然倍受打击，但他并不灰心。不久，他又给大化学家戴维教授写了一封更恳切的信，随信还寄去了他整理、装订的戴维4次演讲记录，共386页。不仅补上了许多未讲到的内容，还配上漂亮的插图——认真、细致、踏实的作风，使戴维深受感动。当晚他就给法拉第写了回信：“承蒙寄来大作，读后不胜愉快。它展示了你的热情、记忆力和专心致志的精神。最近我不得不离

现代物理知识

开伦敦,到一月底才能回来。到那时我将在你方便的时候见你。我很乐意为你效劳。希望这是我力所能及的事。先生,我是你顺从、谦恭的仆人。”自助者,天助也。就这样,法拉第不仅得以与戴维见面,而且不久就在他的举荐下,进入皇家学院实验室,成为其实验助手。

1821年4月,因发现铍和铯元素而闻名的英国物理学家沃拉斯顿,在皇家学院实验室当着戴维的面,把磁棒靠近载流导线,期望能观察到导线自转现象,结果失败了。两位大师经过认真讨论,还是无法确定失败原因。

积极的心态再次成就了法拉第,经过反复实验和思考,他认为:既然磁针试图绕着导线转,那么,根据作用与反作用原理,导线也必然试图绕着磁针转,即通电导线应绕着磁铁的磁极公转,而不是像沃拉斯顿所设想的那样自转。经过不断改进,他设计了如下实验:在玻璃杯底部装一电极,通过导线与电源一极相连。直立的磁铁棒下端固定在玻璃杯底部的中心,往杯内加入水银。在玻璃杯的正上方吊一可动导线,导线的上端与电源的另一极相接,下端浸入玻璃杯中的水银。由于水银密度大,导线会倾斜地与水银相连。这样,可动导线、玻璃杯中的水银、玻璃杯底部的电极和电源就构成了一个回路(如图2)。当回路中有电流通过时,可动导线就绕着固定在玻璃杯底部的磁铁棒的上端不停地转动。这就是著名的电磁转动实验,他据此写出论文《论某些新的电磁运动兼论磁的理论》,向世界报告了他的重大发现,引起科学界的轰动。

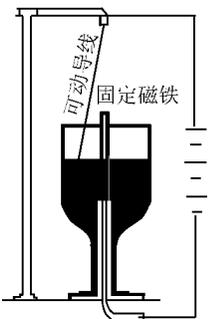


图2 法拉第电磁转动实验

### 独立的思考

法拉第从小就有极强的好奇心,对书本里的结论和权威的话,一直不轻信、不盲从,在自学《化学漫谈》时,他经常用实验验证其结论。通过分析和思考电流的磁效应实验,他成功进行了电磁转动实验,而且还利用逆向思维法提出如下疑问:既然电能转成磁,那么磁能否转成电?法拉第提出这样的问题是源于:“我因为对当时产生电的方法感到不满意,因此急于想发现电磁及感应电流的关系,觉得电学在这条路上一定可以有充分的发展。”从此,转磁为电成了他新的奋斗目标。

虽然电磁转动实验得到了各国科学家的高度评价,但这并没有给法拉第带来好运。当得知小实验员法拉第在自己失败的领域取得成功时,因虚荣心严重受挫而心生嫉妒的戴维,指责法拉第剽窃了沃拉斯顿的研究成果,虽然他知道法拉第的实验在方法、仪器、理论解释等方面都与沃拉斯顿的完全不同。从此,法拉第不得不把主要精力放到自己既无兴趣又无特长的合金钢、光学玻璃制造等技术问题上,但他一直没有放弃转磁为电的实验研究。随着沃拉斯顿和戴维的相继去世,1829年,法拉第终于重新回到他感兴趣的电磁学研究领域。

当然,研究转磁为电的并不只是法拉第一个人。早在1821年,著名物理学家安培就开始探索转磁为电的途径,由于实验在稳恒电流下进行,安培并没有观察到感生电流。1823年,瑞士物理学家科拉顿试图通过移动螺线管内的磁铁而在导线中得到电流。为避免移动磁铁对电流计指针的影响,科拉顿把电流计放在一个房间里,通过长导线与放在另一房间的螺线管相连,构成一个闭合回路。科拉顿反复从螺线管中插入和拔出磁铁棒,然后马上跑到另一房间去观察电流计。毫无疑问,科拉顿每次都看到了零结果,因为产生的感生电流是暂时的。在探索转磁为电的途径上,法拉第最初也没有发现感生电流。1831年,毫不气馁的法拉第开始反思实验的各个环节,并逐个检查实验仪器。当检查到电流计时,他突然想到:每次做实验都是先合开关、后看电流表,问题会不会就出在这里?在合上开关的瞬间,他果然看到电流表指针摆动了一下。电磁感应现象就这样被发现了,而法拉第已为此奋斗10年。

由于电磁学中的库仑定律、毕-萨定律与牛顿的万有引力定律表达式相似,受牛顿“引力作用是即时作用,不需媒介传递”的超距说影响,富兰克林、库仑、安培等物理学家都用超距作用观点来研究和解释电磁现象。法拉第一开始也是超距说的支持者,但当他在电磁转动实验中发现电磁力不是中心力后,就对超距说产生了怀疑,认为电磁力是不能凭空传递的,而是需要媒介传递的近距离作用力。凭着对电磁实验的深入分析和惊人的形象思维能力,他提出了场和力线的概念以解释近距离作用。他的近距离作用观点刚一提出,就遭到科学界的反对。英国皇家天文官乔治·埃里爵士曾说:“以超距作用为基础所做的计算与观察相互吻合,凡是了解这种情况的人

很难想象,他会在这种简单而又精确的超距作用和如此模糊而又捉摸不定的力线之间有片刻的迟疑。”然而,真理不会因遭到反对而变成谬误,场和力线的思想通过麦克斯韦的发展,到19世纪末已为物理学界普遍接受。场和力线的概念是继牛顿之后物理基本概念最重要的发展,它既是电磁理论的基础,又描绘了一幅与牛顿机械自然观截然不同的自然图景。

在向目标前进的过程中,我们会遇到各种困难,有时还会走入死胡同,要战胜困难取得成功,就必须独立思考。关于独立思考,法拉第曾在一次演讲中精辟地指出:“自然哲学家应当是这样一种人:他愿意倾听每一种意见,却下定决心要自己做出判断。他应当不被表面现象所迷惑,不对某一种假设有偏爱,不属于任何学派,在学术上不盲从大师。他应该重事不重人。真理应当是他的首要目标。如果有了这些品质,再加上勤勉,那么他确实可以有希望走进自然的圣殿。”

### 专注的奋斗

法拉第去世于1867年,在76年的人生岁月里,他做了50多年实验。1829年,当他又回到心爱的电磁学研究领域时,因高超的化学实验技能而成为实业界争夺的对象,很多企业以10倍于英国皇家学院的重金聘请他做技术顾问。法拉第在金钱和电磁学研究两者不可兼得的情况下,毫不犹豫地选择了后者。为集中精力,他于1831年给皇家学会秘书写信,希望摆脱商业性技术工作;1834年谢绝所有的宴会邀请;1835年拒绝次要的分析工作,1837年取消早上的演讲,1838年决定每周内3天不接待任何客人,1857年谢绝出任皇家学会会长。他利用一切可以利用的时间进行实验研究,每一天都是在皇家学院一栋楼内的顶层住宅和底层实验室内度过的。

专注的奋斗,换来了丰硕的成果——他于1832年提出光的电磁说,指出可能存在电磁波;1833年证明不同形式的电在本质上是相同的;1834年在《关于电的实验研究》一文中,不仅使用了阳极、电解质等一系列新术语,还提出了两条电解定律;1835年独立发现自感现象;1836年发现静电屏蔽现象;1837、1844年分别出版了《电学的实验研究》第一、第二卷;1843年首创“冰桶实验法”证明电荷守恒定律;1845年发现磁致旋光效应;1846年论述了能的统一性和多样性,指出光电磁理论的发展方向;1851年在《论磁力线》一文中,给出了电磁感应定律的完

整表述;1855年出版了《电学的实验研究》第三卷和八卷《法拉第日记》。其中,共三卷、3000多节内容的《电学的实验研究》,他竟持续写了24年。

### 一流的氛围

皇家学院人才荟萃、大师云集,在这样的科研氛围里,法拉第能够及时了解科学发展的最新动态,使自己始终奋战在科学的最前沿。

而熟悉德国哲学家康德关于力的统一和转化学说的戴维,对法拉第的思想也有着深刻影响。法拉第坚信大自然是和谐统一的,他曾明确指出:“我早已持有的一种见解,它几乎达到深信不疑的程度,而且我想这也是其他许多自然科学的追求者所持有的见解,即物质之力所表现出来的各种形式具有共同的起源;换言之,它们彼此是如此之互相依赖,以至于它们能够相互转化并具有力的当量。”正是在这种思想的指导下,他提出了转磁为电的设想,用实验证实各种电在本质上是相同的,发现磁场对偏振光产生影响的磁致旋光效应,论述了能的多样性和统一性。他提出的强磁场可能改变光源波长的设想,虽没有在验证实验中取得成功,但却被30多年后的塞曼效应实验完全证实。他在1849年的实验日记中写道:“重力,这种力与电力、磁力和其他力的实验关系一定能够找出来,从而用通过相互作用和等价效应来确定它。”虽然他的种种努力并未取得成功,但其光辉思想却在1个世纪后被爱因斯坦提出的统一场论所继承。如今,建立统一场理论仍是许多物理学家的奋斗目标。

### 高尚的品格

关于品格与成功的关系,法拉第精辟地分析道:“许多人之失败,是因为他们只求获得名誉,而不重视探求真实之知识……我可断言,我知道有许多人可以成为优良而成功之科学研究者,可以获得甚高之名望,但他们一心重视名望和报酬——世界赞美之报酬。在如此情况下,他们之心灵即有一嫉妒与悔恨之暗影,我不能想象在如此情绪下,有人尚可在科学上有所发现。”法拉第的成功正是源于这样的品格——为进皇家学院,无论干什么工作,无论给多少报酬,他都毫无怨言;为集中精力搞电磁学实验研究,他辞去了回报丰厚的商业性技术兼职,拒绝接受官方授予的贵族头衔,拒绝出任皇家学会会长。

在为人处事上,法拉第总是严于律己、宽以待人。他在寄给一位朋友的信中写道:“我总是首先对

# 哈密顿和哈密顿力学

官衍香 马秋红



## 哈密顿其人

哈密顿(William Rowan Hamilton)是英国数学家、物理学家。1805年8月4日生于爱尔兰的都柏林,父亲是一位律师。少年时代母亲和父亲相继去世,他是在叔父的悉心照料下成长起来的,少年及青年时代,哈密顿没进过正规学校,但他从小天资过人,靠自学不仅掌握了12国语言,而且自修了数学。哈密顿12岁时已经读完了欧几里得的拉丁文《几何原本》,13岁即对牛顿的《自然科学与哲学原理》产生浓厚兴趣,开始研究牛顿和拉普拉斯的著作。17岁时,向爱尔兰皇家天文学会指出拉普拉斯《天体力学》中的数学错误,因为他发现了其中关于力的平行四边形法则的证明有误,令都柏林当时的天文学教授们大为震惊。1823年,18岁的哈密顿以第一名的成绩考入都柏林大学的三一学院。在此期间他几乎囊括了各种奖项,并用纯分析的方法写成了《光线系统理论》一文,建立了光的数学理论,被其导师布林克教授称为“同龄人中第一流的数学家”。

1828年,年仅22岁的哈密顿被任命为三一学院的天文学教授,兼任学校天文台台长。大学毕业后哈密顿定居在都柏林附近的邓辛克天文台,这一工作使他有较多的时间从事数学与物理学研究,同年获得爱尔兰皇家天文学家的称号。由于哈密顿的学术成就和声望,1835年不列颠科学进步协会在都柏林召开的会议上推选他为主席,同年被授予爵士头衔。1836年,皇家学会因他在光学上的成就而授予他皇家奖章。1837年,哈密顿被任命为爱尔兰皇家科学院院长,直至1845年。1863年,新成立的美国科学院任命哈密顿为14位外国院士之一,此外,哈密顿还是英国皇家学会会员和其他国家科学院的

成员。1865年9月2日,哈密顿因痛风病故于都柏林,享年60岁。

哈密顿的研究工作涉及很多领域,其中成就最大的是力学、光学和数学(发明了四元数)。在力学方面,哈密顿的主要成就是使分析力学实现了继拉格朗日之后的又一次质的飞跃。他于1834年、1835年先后发表了《论动力学中的一个普遍方法》(*On a General Method in Dynamics*)和《再论动力学中的普遍方法》(*Second Essay on a General Method in Dynamics*)两篇重要论文,为分析力学掀开了新的一页。这样,人们把经典力学按照时间先后划分为不同力学时期,1687年自牛顿的《自然哲学的数学原理》发表以后到1788年拉格朗日的大型著作《分析力学》发表以前,称为牛顿力学;1788年以后称为分析力学;到1834年,哈密顿的著名论文《一种动力学的普遍方法》发表后,又称为哈密顿力学。

## 哈密顿力学的主要内容

**哈密顿原理** 1657年,法国数学家费马提出了一条基本原理,即光线在传播过程中总是沿着光程(光传播的路程与介质折射率的乘积)取极值的路径传播,这就是费马原理。这条原理可以解释为什么光在均匀介质中总是沿直线传播,因为两点间以直线距离最短。1833年,哈密顿把费马的这条原理引入经典力学,提出经典力学的哈密顿最小作用原理。1835年,他发表了具有深远影响的论文《变分作用原理》和《波动力学的一般方法》。在这两篇论文中,哈密顿首先从费马原理出发,发展了几何光学的定

自己采取严厉的批判态度,然后才给别人以这样的机会。即使现在,我想,对于我的观念,我能够提出的反对意见,比其他任何人都要强烈。”而对别人的批评,他却说:“真相迟早要大白于天下,而耐心回答比压服更能说服反对派,如果他们反对错了的话。”虽然曾在工作中饱受压制和打击,但是法拉第却始

终对戴维心怀感激。他不但总是制止别人议论戴维的短处,而且还为修建戴维纪念碑慷慨解囊。

执着积极,坚忍不拔,淡泊名利,锐意进取,严于律己、宽以待人。将这些难能可贵的品格集于一身,也许这就是法拉第奇迹的根源。

(江苏无锡江南大学理学院 214122)