

徐在新 宓子宏 著

从法拉第到麦克斯韦



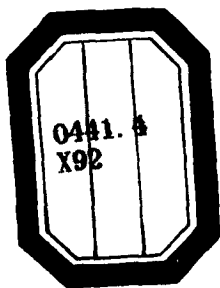
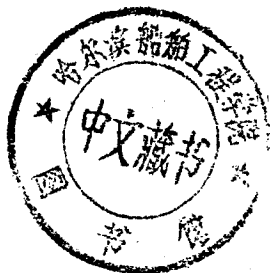
理 学 基 础 知 识 丛 书

科学出版社

物理学基础知识丛书

从法拉第到麦克斯韦

徐在新 宓子宏 著



00428194

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书以麦克斯韦方程的建立为线索,按历史的发展顺序系统阐述了电与磁的理论及实际应用,着重描述了电磁场的波动性、物质性、粒子性。较详细地介绍了一些对电磁理论作出重大贡献的科学家。书中还配有许多生动形象的插图。

本书可供具有中等文化程度的青年学生、科学工作者和中学教师等读者阅读。

DU87/07

物理学基础知识丛书
从法拉第到麦克斯韦

徐在新 赵子宏 著

责任编辑 姜淑华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年11月第一版 开本: 787×1092 1/32

1992年12月第二次印刷 印张: 5 1/4

印数: 3 601—7 600 字数: 114 000

ISBN 7-03-003301-9/O·599

定 价: 2.60 元

《物理学基础知识丛书》第二届编委会

主 编: 马大猷

副主编: 【美】吴家玮 汪 容

编 委 王殖东 陆 琰 冯 端 杜东生
陈佳圭 赵凯华 赵静安 俞文海
潘桢毓 张元仲 姜淑华

本书责任编辑: 赵凯华

丛 书 序

1978年8月，中国物理学会在庐山召开年会，不少物理学工作者有感于物理学在提高全民族科学文化水平和实现“四化”中的伟大作用，建议中国物理学会与科学出版社合作，编辑出版一套《物理学基础知识丛书》，有计划有系统地普及物理学的基础知识和物理学的新发展。这一倡议当即得到了广泛的响应。为此，中国物理学会理事会进行了认真讨论，积极热情地支持了这一建议。于是，就在风景绮丽的庐山，在中国物理学会和科学出版社的共同主持下，正式成立了本丛书的编委会，讨论和制定了丛书的编辑方针和选题计划，正式开始了丛书的编辑出版工作。

物理学研究物质的运动规律，物质的结构及其相互作用，它是许多科学技术的基础。从本世纪开始，物理学经历了极其深刻的革命，从宏观发展到微观，从低速发展到高速，由此诞生了量子物理学和相对论，并在许多科学技术领域引起了深刻的变革。本世纪以来物理学在认识和改造物质世界方面不断取得伟大成就，不断揭开物质世界的奥秘。原子能的利用，使人类掌握了新的能源；半导体科学技术的发展，导致了计算技术和自动控制系统的革命；激光的出现焕发了经典光学的青春；凝聚态物理学的发展，使人们不断创造出许多性能大大提高的材料……因此，向广大读者宣传物理学的基础知识以及物理学的新发展，乃是提高全民族科学文化水平和实现“四化”的需要。我们编辑出版本丛书的目的，就是试图在这方面贡献一份力量。

本丛书将着重介绍现代物理学的基础知识，介绍物理学的最新发展，要求注重科学性。我们希望作者发扬创新精神，力求做到题材新颖，风格多样，勇于发表独创性、探索性的见解，以活跃读者思路。在文风上则要求做到准确、鲜明、生动，深入浅出、引人入胜，以说透物理意义为主，尽量少用数学公式。

在编辑出版丛书工作中，我们得到了广大物理学工作者的热情支持和鼓励，还得到老一辈物理学家严济慈、钱临照、陆学善等同志的热情赞助和关怀。香港科技大学校长吴家玮教授应邀积极参加编委会工作，并邀请了美籍学者为丛书撰稿。我们一并在此致以谢意。

《物理学基础知识丛书》编委会

目 录

第一章 电荷与电场	(1)
§ 1.1 吉尔伯特的发现	(1)
§ 1.2 两类电荷	(3)
§ 1.3 平方反比定律	(7)
§ 1.4 $1/10\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ 的精度	(11)
§ 1.5 法拉第的“力线”观念	(14)
§ 1.6 电场是一种矢量场	(18)
§ 1.7 标量场的微商	(20)
§ 1.8 “发散程度”和“涡旋程度”	(22)
§ 1.9 静电场的基本方程	(25)
§ 1.10 用标量场代替矢量场	(28)
§ 1.11 感应	(30)
§ 1.12 “位移极化”和“取向极化”	(34)
第二章 电流与磁场	(37)
§ 2.1 伽伐尼的发现	(37)
§ 2.2 伏打的“礼物”	(39)
§ 2.3 接触电和温差电	(41)
§ 2.4 开创性的伟大发现	(43)
§ 2.5 安培的贡献	(45)
§ 2.6 又一个平方反比定律	(46)
§ 2.7 引进场作用的观点	(48)
§ 2.8 为应用打开了前景	(50)
§ 2.9 应用最广的电学定律	(51)
§ 2.10 静磁场的基本方程	(55)
§ 2.11 抗磁、顺磁和铁磁	(58)
§ 2.12 进一步的认识	(60)

第三章 变化的电磁场	(63)
§ 3.1 新的突破	(63)
§ 3.2 楞次的发现和亨利的沮丧	(65)
§ 3.3 包含新的见解	(66)
§ 3.4 “初生婴儿的成长”	(70)
§ 3.5 麦克斯韦的成就	(72)
§ 3.6 用精确语言表达力线观念	(74)
§ 3.7 关键性的一步	(76)
§ 3.8 将数学“翻译”为物理	(79)
§ 3.9 赫兹实验	(83)
第四章 电磁场的波动性	(88)
§ 4.1 牛顿的微粒说	(88)
§ 4.2 惠更斯的波动说	(91)
§ 4.3 杨氏改变了舆论	(92)
§ 4.4 波动说的“暂时”胜利	(95)
§ 4.5 一切可从麦克斯韦方程得到	(98)
§ 4.6 怎样得到反射和折射定律	(101)
§ 4.7 基尔霍夫衍射积分公式	(104)
§ 4.8 电磁波谱	(106)
§ 4.9 向更短波区扩展	(108)
第五章 电磁场的物质性	(112)
§ 5.1 电磁场的能量	(112)
§ 5.2 电磁能量流	(115)
§ 5.3 电磁动量和动量流	(117)
§ 5.4 并非题外话	(120)
§ 5.5 守恒定律与对称性	(121)
§ 5.6 相对论是从场的问题上兴起的	(123)
§ 5.7 不能截然区分的电场和磁场	(126)
§ 5.8 极限速度	(128)
§ 5.9 自由磁荷存在吗?	(129)

第六章 电磁场的粒子性	(133)
§ 6.1 争论重新引起	(133)
§ 6.2 构成电磁场的基本粒子——光子	(135)
§ 6.3 电磁场的波粒二象性	(138)
§ 6.4 狄拉克的预言	(140)
§ 6.5 场和实物粒子的相互转化	(142)
§ 6.6 真空极化	(145)
§ 6.7 物质粒子的电磁性质	(147)
§ 6.8 质子结构和分数电荷	(149)
§ 6.9 四种基本相互作用	(151)
§ 6.10 弱电统一	(154)
§ 6.11 梦想最终能否实现	(156)

第一章 电荷与电场

§ 1.1 吉尔伯特的发现

人类对于电磁现象的认识开始很早。公元前人们就已经知道摩擦过的琥珀会吸引丝线，磁化的物体会相互吸引或相互排斥。

在我国东汉时代，王充在《论衡·乱龙篇》中有“顿牟缀芥，磁石引针”的记载。顿牟就是琥珀，它能吸引轻小芥子，这显示了摩擦生电现象。这里，王充把摩擦生电现象与磁石吸铁现象并列起来，在当时是很不容易的。

在西方哲学史上也有过类似的记载。米利都人泰勒斯 (Thales, 约公元前600年) 最早注意到摩擦后的琥珀吸引轻小物体和磁铁吸铁等现象。后来希腊作者把许多本不属于他的发现强加于他。也许正是他，将巴比伦人的知识收集起来传给了古希腊人。据说他的最辉煌的成就是预言了公元前585年的那次日蚀。后来日蚀果然发生了！

科学始于好奇，不可遏止的求知欲望。或许正是这个原因促使古希腊人与神话分离，开始了总结对于客观世界的认识，并用自然的原则解释客观世界，使之系统化。

现代意义上的科学是与生产发展密切相关的。作为科学家，除了进行观察，还必须运用当时物质生产所能提供的一切手段。近代关于电磁现象的实验研究可以说是从英国的吉尔伯特 (W. Gilbert, 1544—1603) 开始的。吉尔伯特是当时英国女王伊丽莎白一世的御医，也是一位有代表性的科

学家。在电学方面，他通过实验发现，不仅琥珀经摩擦后能吸引轻小物体，而且还有许多物质如金刚石、水晶、硫黄、玻璃、松香等在摩擦后也有“琥珀之力”。于是他根据希腊文的“琥珀”（ελεντρον）一词创造了“电”这个名称，并把上述经过摩擦后的物体称为电化了的或带了电的物体。此外，他还制作了第一只验电器，以使用它来检验物体是否带电。

在磁现象方面，吉尔伯特也做出了许多贡献。他曾经用一个球形磁石模拟地球做实验，考察放在球面上小磁针的指向。于是他发现小磁针的行为与它们在地球上时一样，从而得出了地球本身是一个巨大磁石的结论。经过约400年后的今天，我们对于地磁场的认识当然更进了一步，不过基本特征仍然如此。现在知道，地磁两极位置与地理两极并不重合，且随时间有缓慢的移动。目前地磁北极在南纬 67° 、东经 143° 处；地磁南极在北纬 75° 、西经 101° 处。另外，地球虽然是一个巨大的磁体，但其表面的磁场却很弱。两极附近的强度约为 $0.6-0.7$ 高斯*；赤道附近约为 $0.3-0.4$ 高斯。我们还知道，地磁场可分为稳定磁场和变化磁场两部分。后者主要起因于电离层中存在的电流和太阳喷射出来的带电粒子流。对于前者，即对于约占地磁场94%的稳定磁场部分起因的认识目前仍未解决，对此人们虽已经提出了多种假说。如一种假说认为这起因于地核中物质对流运动所形成的涡电流。

而且，随着人们的观察视野和实验范围的扩大，我们已经发现不仅地球有磁场，一般星球天体也有磁场。例如太阳的平均磁场约为1高斯，显然比地球的强些。有些天体的磁场非常强，如白矮星的磁场可达1千万高斯；脉冲星的磁场可达1千亿高斯！与此相比较，目前利用超导磁铁人们可以得

• 1高斯 = 10^{-4} 特。

到的稳定磁场最强也不过约1百万高斯。

现在人类对于自然界的认识无论从深度和广度来说都不知要比吉尔伯特时代大多少倍。但是奇怪的是在某些方面，例如在地球磁场的基本特征及地磁场的起源等方面，迄今的认识看来似乎并不比那时多许多。

吉尔伯特还试图把制约天体运动的力归因于磁力。其后，开普勒（J. Kepler, 1571—1630）在探索太阳系中行星的运动规律时就受到吉尔伯特的影响。他认为引力就是太阳发出的“磁力流”。1645年，法国天文学家布里阿德（I. Bulliadus）提出一个假设：开普勒力随距离平方减少。这是第一次提出了平方反比关系的思想。

从物理学的历史上看，吉尔伯特对电和磁现象研究的贡献是很大的。甚至有些人把他称为“电学之父”，吉尔伯特所著的《磁学》一书，总结了当时关于电和磁的知识。

§ 1.2 两类电荷

十八世纪初，正当牛顿的力学理论达到顶峰的时期，英国的另一位物理学家格雷（S. Gray, 1670—1736）做了一系列电学实验。从吉尔伯特时代到十八世纪初的一个多世纪内，许多人发明并改进了“摩擦起电机”，能为实验提供较多的电荷。

格雷在实验中发现，不仅用摩擦可以使物体带电，而且用传递的方法也可使物体带电。通过一系列实验他终于搞清了导体和绝缘体的差别。原来被吉尔伯特称为“电质”的物体就是“绝缘体”，这类物体不能传递电荷，所以能长期保存摩擦电。而“非电质”就是“导体”，由于它们的导电性而不能保持摩擦电。

1752年，在大洋彼岸的美国，富兰克林（B. Franklin, 1706—1790）为了搞清雷电和摩擦电在本质上有无区别，做了著名的风筝实验，“捕捉天电”。他用金属丝把一个很大的风筝放到云层里去。金属丝的下端接了一段绳子，此外在金属丝上还挂了一串钥匙。当时富兰克林一手拉住绳子，用另一手轻触钥匙。于是他立即感到一阵电击，同时看到手指



与钥匙之间产生了小火花，这与摩擦生电时发生的情况没有两样。这个实验对于电的认识是很有意义的。当时社会上对于雷电有一种恐惧心理，大多数人认为雷电是“上帝之火”是天神发怒的表现。富兰克林在美国费城的实验惊动了教会，他们斥责他冒犯天威，是对上帝和雷公的大逆不道。然而，富兰克林仍然坚持不懈，并且在一年后制造出世界上第一个避雷针，终于制服了天电。由于教堂高耸的塔尖常被雷电所击，教会最终也不得不采用了这个“冒犯天威”的装置。

富兰克林通过一系列实验还发现存在有两种电荷，并分别称它们为“阳电荷”及“阴电荷”，即我们现在通常所说的正电荷和负电荷。他规定：经丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷称为正电荷；而经毛皮摩擦过的硬橡胶棒上所带的电荷称为负电荷。这个规定一直沿用至今。

关于天电，我们还想多说几句。各种实验，包括飞机穿过雷雨区的实验表明，雷雨区云层的电荷分布可用图1-1示意。

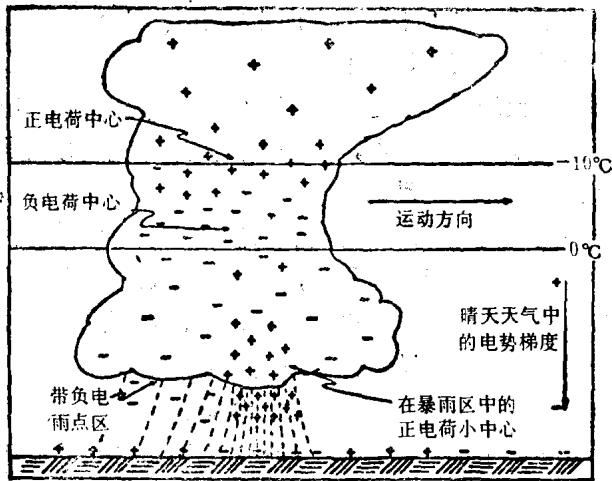


图1-1 雷雨区云层电荷的典型分布

在顶部是正电荷，在底部占优势的是负电荷。当聚集在云层底部的电荷增大到足以使它与地面之间产生20—100兆伏的电势差时，便会使大气击穿，并产生大规模的放电现象，雷雨区底部的负电荷也将在闪电中被带到地面。每次闪电带到地面的电荷大约有20—30库。当然，闪电不仅可发生在云层与大地之间，也可能发生在云和云之间。

地球上估计每天约有300次雷电，于是地球不断地被“充电”，从而在天气好的那些地区形成了从上向下指向的“大气电场”，强度约为100伏/米。这个大气电场是可以通小心的实验测量的。那么，当你在室外行走时，这样强的电场为什么不会使你受到电击？回答这个问题的关键在于人体是一个相当好的导体，当你与地面接触时，你和地面将形成一个等势体。

大气中不仅有电场，而且还有电流。因为空气中总会存在一些离子及自由电子。根据估算和测量结果，这种电流密度很小，通过与地面平行的平面上每平方米的电流仅约万亿分之一安(10^{-12} 安/米²)。不过由于大地表面如此大，以致在任何时刻流至地面的总电流约有1800安！这是一种放电过程。雷雨区使大地充（负）电，这些电荷便通过天气好的那些地区放电。一幅多么生动的景象！

摩擦能“起电”，而且其后人们又认识到化学过程也会起电（如电池中的反应过程），导体在磁场中运动时也会起电（电磁感应）。那么，电究竟是什么，它从何处“生出来”？根据现代物质结构知识我们知道，电荷与质量一样，也是物质的一种固有属性。不过，质量只有一种，两个有质量的物体间只存在一种引力，即万有引力。但是电荷却有两种，正电荷和负电荷，电荷之间既可能是引力，也可能是斥力，异种电荷相吸，同种电荷相斥。

组成物质的原子就是由带正电荷的原子核，和带负电荷的核外运动电子所构成。在通常情况下，由于原子中电子的数目与原子核中质子的数目相等，所以原子以及由它所构成的物体呈电中性。当两种物体相互摩擦时，如果这两种物体原子中的电子脱出原子及物体表面所需要的功不一样，则一物体便会失去一些电子，而另一物体将会获得一些电子。例如用丝绸摩擦玻璃棒时，在一般情况下，玻璃棒将失去一些电子，丝绸则将获得一些电子。这样就破坏了原来两个物体的电中性。当这两个物体分开后，失去电子的物体，内部的正电荷总数多于负电荷，从而呈现为带正电；获得电子的物体内部负电荷总数多于正电荷，呈现为带负电。从物质的电磁结构来看，无论因摩擦还是因其他方法使物体带电的过程都只不过是使物体内部的正负电荷分离和转移的过程。在原子、分子及宏观范围内，一物体失去一些电子，必然有其他物体获得这些电子。因此，一个孤立系统的电荷总量必定保持不变。这就是“电荷守恒定律”。电荷守恒定律是自然界中严格的守恒定律之一。

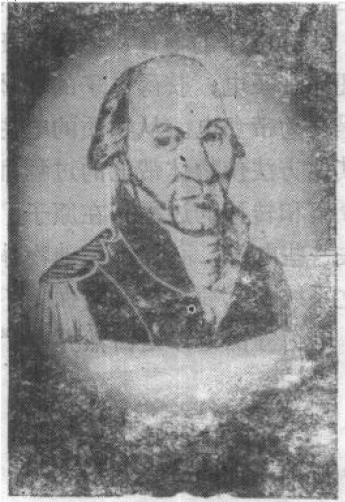
§ 1.3 平方反比定律

在静电力方面的决定性工作通常归功于法国物理学家库仑 (C. A. Coulomb, 1736—1806)。

从16世纪末吉尔伯特时代起算的整整两个世纪里，许多人发明了各式各样的电学实验装置和仪器，如起电机、莱顿瓶、验电器等等。与此同时，在电学中建立了某些重要概念，如电荷、导体、绝缘体、静电感应等。另一些科学家则更进一步尝试寻找电相互作用的规律。事实上，当时已经有些科学家从与牛顿万有引力定律类比而提出两个电荷之间的

作用力也是平方反比力的假设。这一切为库仑于1785年所做的实验准备了基础。

库仑诞生在法国南部的昂古列姆。他从小勤奋好学，后来当上了工兵队的技术军官，成为建造要塞的专家。他最初从事关于材料的摩擦及扭转方面的研究。力学中关于摩擦力与正压力成正比的定律就是他首先发现的。正是由于这些方面的研究，他于1781年被选为法国科学院院士。以后他的兴趣又转到电学方面，并用他自己所发明的扭力天平作为测力计，得到了著名的平方反比定律。由于通常能够获得的静电荷很小，所以要精确地测量两个电荷之间的作用力必须要有非常灵敏的测力计。



库 仑 像

库仑扭秤如图1-2所示。在一个直径和高均为12英寸(1英寸=2.54厘米)的玻璃圆柱形筒的上端，盖有一块直径为13英寸的玻璃板。在这块玻璃板上钻了两个孔。中间孔上装有一只高为24英寸的玻璃管，并在其顶部装置了一只夹持着一根悬丝的分度头。悬丝为银丝，其下端悬挂一根横杆。横杆的一端有一小木髓球，另一端贴一圆纸片，以使横杆保持平衡。大圆筒中间壁上刻有0—360°分度标记，它的零点正对着顶部分度头上的零点。当金属悬丝未被扭转时，小木髓球处于0°处，悬丝顶端的小指针也指为0°。实验时，在玻璃盖板的侧孔中引入另一带电木髓球，并使之与固定在横杆上的那只木髓球相接触，以便使它们带有同类电荷。由于斥力，