

大学物理学



中 册

西南 中南九所高等院校编

四川科学技术出版社

大学物理学

中册

四川大学

成都地质学院

贵州工学院

西南交通大学

贵州师范大学

四川工业学院

武汉大学

解放军后勤工程学院

湖北汽车工业学院

四川科学技术出版社

一九八七年·成都

责任编辑：刘阳青

封面设计：曹辉禄

技术设计：周红军

大学物理学（中）

西南、中南九所高等院校 编

四川科学技术出版社出版

（成都盐道街三号）

四川省新华书店发行

四川新华印刷厂印刷

ISBN7-5364-0058-6/0.4 统一书号：13298·118

1978年9月第1版 开本1/32 787×1092毫米

1978年9月第1次印刷 字数 378 千

印数 1—14,700 册 印张 17.5 插页 1

定价：3.50 元

前 言

根据国家教委《关于制定高等学校工科基础课程1986—1990年教材建设规划的几点意见》的精神，参照理、工科及师范院校现行物理教学大纲的基本要求，由西南、中南地区九所理、工科及师范院校长期从事基础课教学的部份教师，集体编写了这本理、工科通用《大学物理学》教材。全书的基本内容按工科基本要求的140学时编写，同时考虑师范院校和理科非物理专业的教学需要，还编写了60学时的选讲内容（书中以“*”号标出），这样，既满足了物理教学的基本要求，又为不同专业提供了较大的选择余地。全书的初稿于1986年7月在成都集体审查通过。

全书分为上、中、下三册，上册为力学与热学，共72学时；中册为电磁学和波动光学，共74学时；下册为近代物理，共54学时。

参加编写的人员有：

四川大学：杨友梅 黄邦俊 杨自觉 杨用炯

西南交通大学：黄泉保 李仁涛

武汉大学：张沪生 刘宏清 汤艳芬

成都地质学院：陈代授 林隆述

贵州师范大学：孙梅丽 龚彩萍 杨昌达

解放军后勤工程学院：范森春 史通源 李树河 蒲志文

贵州工学院：蒋述旦 陈建忠 翁琥倩 赵 丽

四川工业学院：左民 张绍成 李晓林

湖北汽车工业学院：陈楚翘 李 芬

全书由四川大学杨友梅、杨自觉、黄邦俊、杨用炯统编和定稿，最后由杨自觉通读一遍。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中疏漏不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1986年12月于成都

目 录

第三篇 电磁学

第十一章 静电场

§ 11—1 点电荷 库仑定律	6
§ 11—2 静电场	12
§ 11—3 电场强度	15
§ 11—4 高斯定理	26
§ 11—5 静电场力做功 环流定理	40
§ 11—6 电位	42
§ 11—7 场强与电位的关系	52
习题	61

第十二章 静电场中的导体和电介质

§ 12—1 静电场中的导体	66
§ 12—2 静电屏蔽	79
§ 12—3 电容和电容器	83
§ 12—4 电介质及其极化	88
§ 12—5 有介质存在时的高斯定理	96
§ 12—6 电场的能量	105

§ 12—7 静电现象的应用	108
习题	112

第十三章 稳恒电流

§ 13—1 稳恒电场 电流强度	119
§ 13—2 电动势	126
§ 13—3 欧姆定律	130
§ 13—4 电路中的能量转换关系	139
* § 13—5 多回路电路 克希霍夫定律	145
习题	15 ⁶

第十四章 静磁场

§ 14—1 基本磁现象 磁感应强度矢量	161
§ 14—2 静磁场 毕奥—萨伐尔定律	167
§ 14—3 磁通量 磁场的高斯定理	176
§ 14—4 安培环路定理	179
§ 14—5 磁场对运动电荷的作用	187
§ 14—6 磁场对载流导体的作用	199
习题	210

第十五章 静磁场中的磁介质

§ 15—1 磁介质的磁化 磁化电流	219
§ 15—2 有磁介质存在时的磁场	226
§ 15—3 磁化率 磁介质的种类	235
§ 15—4 铁磁质	241
* § 15—5 磁荷	250
习题	257

第十六章 电磁感应

§ 16—1 电磁感应现象及基本规律	261
--------------------------	-----

§ 16—2	动生电动势 洛仑兹力	270
§ 16—3	感生电动势 涡旋电场	280
§ 16—4	自感和互感	292
§ 16—5	磁场的能量和磁能密度	305
§ 16—6	暂态过程	310
习 题		319

第十七章 电磁场与电磁波

§ 17—1	位移电流	327
§ 17—2	麦克斯韦方程组	333
§ 17—3	电磁波的产生	341
§ 17—4	平面电磁波	346
§ 17—5	电磁波谱	352
* § 17—6	电磁场的对称性和统一性	351
习 题		360

*第十八章 交流电

§ 18—1	正弦交流电的特征	362
§ 18—2	交流电路中的电阻、电感和电容	368
§ 18—3	复阻抗 交流电路欧姆定律	377
§ 18—4	谐振电路	395
§ 18—5	交流电的功率	401
§ 18—6	三相交流电	407
§ 18—7	变压器	416
习 题		423

第四篇 波动光学

第十九章 光的干涉

§ 19—1	光是电磁波 光波场	431
§ 19—2	光波场的迭加和相干条件	437
§ 19—3	分波前两光束干涉	442
§ 19—4	光波场的空间相干性	449
§ 19—5	分振幅薄膜干涉概述	451
§ 19—6	薄膜的等倾干涉条纹	453
§ 19—7	等厚干涉条纹	456
§ 19—8	迈克耳孙干涉仪 光波场的时间相干性	462
习 题		466

第二十章 光的衍射

§ 20—1	光的衍射现象	470
§ 20—2	惠更斯——菲涅耳原理	472
§ 20—3	夫琅和费单缝衍射	474
§ 20—4	衍射光栅 光栅方程	481
§ 20—5	夫琅和费圆孔衍射 光学仪器的分辨率	489
§ 20—6	X射线的衍射 布喇格公式	492
§ 20—7	全息照相原理	495

第二十一章 光的偏振

§ 21—1	光波的偏振状态	500
§ 21—2	起偏和检偏 偏振片 马吕斯定律	504

§ 21—3	反射和折射时光的偏振	508
§ 21—4	双折射现象	512
§ 21—5	椭圆偏振光和圆偏振光	522
§ 21—6	偏振光的干涉	526
* § 21—7	人为双折射	529
* § 21—8	旋光现象	533
	习 题	535
	习题答案	539

第三篇 电磁学

人类对电、磁现象的认识、研究以至应用，早在两千多年前就已经开始了。例如，在公元前六百年左右，古希腊人就发现了摩擦带电现象，也发现了天然磁体可以吸引铁的现象。我国古代曾利用天然磁体制造了指南针。但是，在此后很长一段时期内，人们对电磁现象的认识始终停留在现象描述上，因此进展缓慢。直到18世纪，对电的研究才迅速发展起来，首先是卡文迪许和库仑对电荷间的相互作用作了定量研究，从实验总结出了库仑定律，对电磁现象的研究由定性飞跃到了定量阶段。19世纪是电磁理论研究发展的划时代时期，在这个世纪里，奥斯特发现了电流的磁效应；法拉第于1831年发现了电磁感应现象，总结出了电磁感应规律，为电磁的各种应用，开拓了广阔的领域。法拉第还引进了“场的作用”的观点，揭示了电磁现象之间的联系。麦克斯韦在此基础上，确定了统一的电磁场理论，称为麦克斯韦方程组。

根据麦克斯韦的电磁理论，于1865年预言了电磁波的存在及传播速度，二十年后（1888年）才由赫芝在历史上第一次由实验直接验证了电磁波的存在，因而开辟了一个全新的领

域——电磁波的应用和研究。使无线电技术获得了迅速发展，对改善人类的生活起了巨大的作用。

进入本世纪后，对电磁理论的研究发展到更加深入的阶段，它不仅可用来说明宏观领域内的各种电磁现象，而且应用到了微观领域，用物质是由原子核和电子构成的这一基本事实，成功地解释了物质的电磁性质，确认物质的电结构是物质的基本组成形式之一。因此，物质的极化、磁化、导电等现象以及固体和液体的弹性、金属的导热性、光学中的折射率等等，都可以从物质的电结构得到解释。

本课程的目的是讨论经典电磁现象，即讨论宏观范围内的各种电磁现象和总结出的规律。因此，严格地讲，麦克斯韦方程只能适用于宏观领域，这一点和牛顿力学、热力学所适用的范围是相同的。处理微观领域的电磁现象必须使用量子电动力学，由于它超出本课程的范围，本书将不讨论。

电磁学和力学、热学都是研究物质基本运动形态的，因此有相同的研究方法，即都是从大量的实验现象出发，抽象和总结出定量的实验规律，定义基本概念，证明基本定理，最后应用所得理论去分析和解决实际问题。但也必须注意电磁运动本身的特点。机械运动和热运动是研究实物运动，而电磁运动则主要是研究场的运动；因此，如何建立场的概念和讨论场的性质，是学习电磁学的关键。在学习中，仍要遵从认识论的规律，即从简单到复杂，从现象到本质。因此，我们首先讨论不随时间变化的场（稳恒场），再讨论变化场，先讨论真空，后讨论介质；先讨论静电，后讨论电流。

在学习电磁学之前，我们先简单介绍关于电荷的一些基本知识。

一、电荷守恒定律

在中学物理中，已经介绍过某些材料的物体经过摩擦之后，它们进入一种能够吸引轻小物体的特殊状态。我们把处于这种状态的物体叫做带电体，并说它们带有电荷。实验证明，物体带的电荷只有两种：一种叫做正电荷，一种叫做负电荷。同种或同号电荷相斥，异种或异号电荷相吸。实验又证明，当两个物体摩擦起电的时候，总是一个物体带正电荷，另一个带负电荷，而且量值相等。当它们合到一起时，带电状态马上消失。在静电感应现象中，感生的负电荷和正电荷总是同时产生，且数量相等。大量实验事实说明：电荷只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。在这个过程中，正负电量的代数和为零。也可以说：在一个封闭系统内，不管发生了什么过程，系统电量的总和保持不变。这就是电荷守恒定律的表述。这说明，电荷既不能被创造，也不能被消灭。

电荷守恒定律是物理学的基本定律之一，它不仅适用于宏观的电磁现象，在微观世界范围内也适用。

二、物质的电结构

近代物理学已经证实，任何物质都具有电结构。

物质电结构的主要内容是：任何物质都是由分子、原子组成的，而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成；除氢原子外，其他元素的原子核又由质子和中子组成，质子带正电，中子不带电。每一个质子所带的正电量在数值上等于一个电子所带的负电量，用 $\pm e$ 表示，实验测定 $e=1.60 \times$

10^{-19} 库仑。在正常情况下，原子核有多少个质子，核外就有多少个电子，所以原子核所带正电荷的总电量总是等于核外电子所带负电荷的总电量。这样，物体通常在宏观上不呈现电性。但是，在一定的外界条件下，例如摩擦，静电感应等，使物体（或其中一部分）得到或失去一定数量的电子，因而其某些原子内电子所带负电荷的总量与原子核所带正电荷的总量不再相等，于是物体在宏观上就对外呈现电性。这样的物体就是所谓的带电体。

物质的这种电结构模型，可以解释摩擦带电的物体，为什么总是一个带正电，一个带负电，且数值上相等。这是因为两个物体摩擦时，其中一个物体失去的电子，跑到另一个物体上去了。失去电子的物体，有多余的净正电荷；获得电子的物体，有多余的净负电荷，显然这二者的量值相等。

三、电荷的量子化

1909年，美国物理学家密立根（Millikan 1868—1953）完成了著名的油滴实验，证明了电子或质子所带电荷 $\pm e$ ，是自然界中所有带电体电量的最小单位，即任何一个带电体乃至微观粒子，它们所带电量都是电子电量 e 的整数倍：

$$q = \pm ne$$

n 为整数。这表明：任何带电体所带电量，只能是基本电荷 e 的整数倍，而不能取连续变化的值，这一特性称为电荷的量子化。

60年代，由美国物理学家盖尔曼提出了有关粒子结构的夸克模型，认为还存在具有 $\pm \frac{1}{3}e$ 、 $\pm \frac{2}{3}e$ 电荷的带电粒子，这

些粒子称为夸克。但由于夸克的禁闭现象，在实验上不会发现单个具有分数电荷的粒子。因此，在经典电磁学范围内，可以认为 e 是基本电荷，并且由于 e 很小，也可以认为电量是连续变化的。

第十一章 静电场

静电学的基本任务，是研究相对于观察者静止的电荷之间的相互作用，以及这些电荷周围空间的基本性质。

反映电荷之间相互作用的基本定律是库仑定律，由此建立了静电场的概念。静电场有两个重要性质：一是位于场中的电荷要受到力的作用；一是电荷在场中移动时，电场力要作功。根据这两个性质，分别引入物理量——电场强度和电位，并由此得到静电场的基本规律——高斯定理和环流定理。

本章是第一次引入场的概念和介绍讨论场的方法，电磁学以后各章的讨论均建立在此基础上。因此，静电场是整个电磁学的基础。

§ 11—1 点电荷 库仑定律

在发现电现象后的两千多年内，人们对电的认识一直处于定性阶段，直到十八世纪末叶，才开始了关于电荷间相互作用的定量研究。法国物理学家库仑 (Coulumb 1736—1806年) 首先从实验上总结出了电荷间的相互作用规律，称

为库仑定律，从而奠定了定量研究电现象的基础。

一、点 电 荷

一般地说，两个静止的带电体之间的作用力（静电力）除与电量及相对位置有关外，还依赖于带电体的大小、形状、电荷的分布及周围介质情况，要用实验直接确立所有这些因素对静电场的影响是非常困难的。为了简化问题，先讨论最简单的也是最基本的情况，即两个点电荷在真空中的相互作用。

所谓点电荷，是指这样的带电体，它本身的几何线度比起它到其它带电体的距离小得多。这种带电体的具体形状和电荷在其中的分布已无关紧要，因此可以把它抽象成一个几何的点。如同在力学中质点的概念是把物体的质量看成集中在一点上一样。显然，点电荷是带电体的抽象模型。带电体能

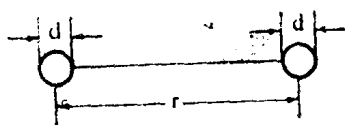


图 11—1

否被看作点电荷，不仅取决于本身的大小，而且取决于它们之间的距离。例如，图11—1的两个直径均为1厘米的带电球，当球心的距离为100米时，由于 $r \gg d$ ，研究它们之间的相互作用力时，就可以充分精确地将它们看作点电荷；而当球心距离 $r = 10$ 厘米时，再看作点电荷就会带来很大误差。因此，点电荷这一概念只有相对的意义。究竟带电体的线度比距离小多少时才能被看作点电荷呢？这要取决于问题所要求的精确程度，没有一个绝对的标准。即使在一个带电体不能被看成点电荷的情况下，也可以把带电体看作是很多足够小的小块的集合，每一个小块就可以看成是一个点电荷。因此，引入