



普通物理学

第三分册 电磁学

(第二版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编

梁绍荣 修订



高等教育出版社

GAODENG JIAOYU CHUBANSHE

0.4
L412=2
:3
648074

普通物理学

第三分册：电磁学

(第二版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编
梁绍荣 詹养正 王华伦 王天泰 编
梁绍荣 修订

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 提 要

本书(共五册)于1987—1989年期间出版了第一版,现根据国家教委1991年12月颁发的中学教师进修高等师范专科物理教育专业教学大纲,并考虑了师专、教育学院及函授等各方面的需要修订再版。

本册为电磁学,内容包括:真空中的静电场、导体周围的静电场、静电场中的电介质、稳恒电流和电路、稳恒电流的磁场、磁场对运动电荷和电流的作用、磁介质、电磁感应和暂态过程、交流电路和电磁场与电磁波等共十章。各章末皆附有思考题和习题。在附录中讲了电磁学的单位制。书中除基本部分外,还有加*号和小字的内容,以供参考和选用。

本书可作为卫星电视教育、师专、教育学院、函授和自学等各种形式的物理专业的教材。

普通物理学

第三分册: 电磁学

(第二版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编

梁绍荣 修订

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 19 字数 450 000

1988年5月第1版 1993年11月第2版 1993年11月第1次印刷

印数 0001—25 345

ISBN7-04-004449-8/O·1252

定价 8.10 元

第二版前言

本书(共五册)是适应师专教学改革的要求及培养、提高初中物理师资的需要,参照师专、教育学院、中学教师进修高等师范专科等三种教学大纲编写而成。于1987—1989年陆续出版后,受到各方面的欢迎和好评。本书是受当时国家教委高校理科物理教材编审委员会普通物理编审组委托编写的,现根据国家教委1991年12月颁发的中学教师进修高等师范专科物理教育专业教学大纲,并考虑师专、教育学院及函授等各方面的需要修订再版。全书分力学、热学、电磁学、光学和近代物理学基础等五个分册。

全书加强了普通物理学各分册之间的联系;增加了物理学导论作为全书的第一章,使读者在学习物理学之初对它的全貌有一梗概的了解,以图消除“只见树木,不见森林”的弊端;全书力求具有体系严谨、深入浅出、概念准确、叙述简明、知识面宽、求实求新、便于自学等特点。

本书第三分册(电磁学)除保持原第一版的优点和编写意图外,其主要修改之处有:(1)删去一些过难、过易的节、讲法、例题和习题等;(2)增加少量的近代性的、物理学史方面的、趣味性的以及与中学物理紧密相关的内容;(3)改写了几节;(4)调整了若干节,作加*表示。这样,既减轻了仅学基本内容的读者的负担,又兼顾了多方面的需要;(5)对书中的讲述的严谨性以及语言表达的可读性等方面作了较仔细的修订;(6)改正了原书中存在的书写、印刷以及习题答案等的不妥和错误。

本书由原编者共同讨论、确定修改原则后，由梁绍荣执笔修订。在此期间，承蒙天津教育学院刘若民同志、山西教育学院阎元红同志、云南楚雄师专李克英同志以及电视师范学院李小林同志等提出许多宝贵意见和建议；几年来，不少热心的教师和读者来函对本书提出不少指正；本书由北京师范大学梁竹健教授审阅，提出很多有益的意见和建议。在此，对以上各位同志一并表示衷心的感谢。

编 者

1993年2月于北京师范大学

第一版前言

本书是师范专科学校和师资培训(卫星电视教育、教育学院、函授、自学)教材《普通物理学》的第三分册——电磁学部分。在理论系统方面,注意电磁现象本身的规律和全书各册之间的配合;在对概念、定律和定理等的阐述方面,力求简洁、明确,突出物理图象;在数学运算方面,避免了繁难的推导同时又注意科学的严谨;在理论和实验方面,尽量从实验出发,以体现物理学是实验性的科学,同时也说明理论的重要性。总之,本书拟用较少的篇幅,讲清电磁现象的基础理论,讲授时数为75学时左右。书中的基本内容皆用大字排印;选学内容在其开始处加上*号;进一步说明的部分和注解皆用小字排印。

本书是由北京师大梁绍荣同志、浙江师大詹养正同志、运城师专王华伦同志以及唐山师专和唐山教育学院王天泰同志等编写的。第一、二章由詹养正执笔;第四、五、六章由王天泰执笔;第八、九章由王华伦执笔;第三、七、十章由梁绍荣执笔。在编写过程中,编者彼此间进行了多次讨论,反复推敲,尽量采纳有益的建议和意见,然后分别编写。最后,由梁绍荣对全书进行修改、复核和定稿。

本书承山东大学余寿绵教授(主审)、上海第二教育学院吴树湖同志、南京大学徐游同志、徽州师专汪昭义同志、南昌师院钟采池同志以及北京师大梁竹健同志等审稿,提出了许多宝贵的意见和建议。审稿会后,对全书又作了必要的修改。高等教育出版社

的同志们对本书的结构编排、文字图表等方面提出了许多有益的建议,在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平不高,编写时间仓促,书中的缺点、错误在所难免,诚恳地希望得到批评指正。

编 者

一九八七年七月

目 录

引言	1
第一章 真空中的静电场	4
§ 3-1-1 电荷 电荷守恒定律	4
§ 3-1-2 库仑定律	9
§ 3-1-3 电场 电场强度	19
§ 3-1-4 高斯定理	39
§ 3-1-5 电场线	56
§ 3-1-6 静电场的环路定理	63
§ 3-1-7 电势 电势差	67
§ 3-1-8 等势面 *场强与电势的微分关系	78
*§ 3-1-9 带电粒子在电场中的运动	85
思考题	91
习 题	94
第二章 导体周围的静电场	103
§ 3-2-1 导体的静电平衡条件	103
§ 3-2-2 导体的静电性质	106
§ 3-2-3 电场线的应用 静电屏蔽	120
§ 3-2-4 电容和电容器	137
*§ 3-2-5 静电计 静电感应起电机	148
思考题	150
习 题	155
第三章 静电场中的电介质	161
§ 3-3-1 电介质的极化	162
§ 3-3-2 极化强度矢量	165
§ 3-3-3 介质中的电场	170

§ 3-3-4 介质存在时的高斯定理	174
§ 3-3-5 静电场的能量	182
思考题	192
习 题	193
第四章 稳恒电流和电路	197
§ 3-4-1 电流强度 电流密度矢量	197
§ 3-4-2 欧姆定律及其微分形式	203
§ 3-4-3 焦耳定律 电功率	214
*§ 3-4-4 气体导电 液体导电	218
§ 3-4-5 电源 电动势	225
§ 3-4-6 闭合电路的欧姆定律	234
§ 3-4-7 含源支路的欧姆定律	237
§ 3-4-8 基尔霍夫定律	245
*§ 3-4-9 温差电现象	253
思考题	260
习 题	261
第五章 稳恒电流的磁场	266
§ 3-5-1 磁的基本现象	266
§ 3-5-2 磁感应强度矢量 磁感应线	271
§ 3-5-3 毕奥-萨伐尔定律	279
§ 3-5-4 磁通量 通量定理	291
§ 3-5-5 安培环路定理	297
思考题	309
习 题	311
第六章 磁场对运动电荷和电流的作用	315
§ 3-6-1 带电粒子在磁场中的运动 回旋加速器	315
§ 3-6-2 汤姆孙实验 质谱仪	324
*§ 3-6-3 霍耳效应	328
§ 3-6-4 磁场对载流导线的作用	332
§ 3-6-5 平行无限长载流直导线间的相互作用	342
思考题	345
习 题	347

第七章 磁介质	351
§ 3-7-1 物质的磁化 磁介质的分类	351
§ 3-7-2 磁化强度矢量	356
§ 3-7-3 磁介质存在时的安培环路定理	359
§ 3-7-4 铁磁质	367
*§ 3-7-5 等效磁荷观点	373
思考题.....	379
习 题.....	379
第八章 电磁感应和暂态过程	381
§ 3-8-1 法拉第电磁感应定律	382
§ 3-8-2 楞次定律	389
§ 3-8-3 动生电动势	397
§ 3-8-4 感生电动势	408
§ 3-8-5 自感和互感	417
§ 3-8-6 涡电流	430
§ 3-8-7 磁场的能量	437
§ 3-8-8 暂态过程	444
思考题.....	452
习 题.....	456
第九章 交流电路	461
§ 3-9-1 交流电	461
§ 3-9-2 三种理想电路	468
§ 3-9-3 矢量图解法	478
*§ 3-9-4 复数解法	494
§ 3-9-5 交流电路中的功率 功率因数	509
§ 3-9-6 谐振电路和 Q 值	523
思考题.....	538
习 题.....	541
第十章 电磁场与电磁波	546
§ 3-10-1 电磁场理论 位移电流	546
§ 3-10-2 麦克斯韦方程组 平面电磁波.....	553

§ 3-10-3 电磁波的辐射.....	562
思考题.....	571
习 题.....	571
附录 电磁学的单位制.....	572
习题答案.....	585
主要参考书目.....	595
常用物理常数及换算关系表.....	596

引 言

带电粒子之间的相互作用在自然界中到处可见；在生产领域和科学技术中与电力、磁力有关的问题也十分普遍。作为《普通物理学》的第三分册——《电磁学》，它并不直接回答上述各种问题，而只是为研究这些问题奠定初步而可靠的基础。具体地说，《电磁学》的研究对象是电磁场以及它和带电粒子之间相互作用的基本规律。

电磁学以力学为基础，主要研究“场”和与“场”有关的电路问题，原来，带电粒子之间的相互作用是通过“场”来传递的，而不是象机械力那样，通过它们之间的直接接触。与“实物”相对应，“场”（电场、磁场和电磁场）是自然界中物质存在的另一种形式。电场和磁场的概念是法拉第最先提出的，1865年麦克斯韦在前人的理论和实验基础上建立了完整的电磁场理论——麦克斯韦方程组，它在电磁学中所起的作用与牛顿运动定律在力学中所起的作用是同等重要的。麦克斯韦从理论上推断出，光的本性是电磁的，从而建立了光学与电磁学的直接联系；麦克斯韦理论的应用范围很广，涉及电力系统、电磁探矿、粒子加速器以及无线电、雷达等。

学习电磁学是学习力学、热学的继续，在学习时应注意的问题除共同点外，仅提出下面两点：

（1）描述场的方法

电磁学主要是讲场，而场是分布在空间中，并且还可能随时间变化。所以，描述场的变量是 (x, y, z, t) ，这四个参数是彼此独立

的。这与力学中描述质点的方法不同，质点在空间的位置用 (x, y, z) 表示，或以矢量 $\mathbf{r}(x, y, z)$ 表之，而 $\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v}$ 表示质点的速度。对于场，其空间变量也可以 $\mathbf{r}(x, y, z)$ 表之，但一般说来， $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ 是无意义的。还有，描述场的空间变量是表示场在空间的分布，是某时刻某处场的状态，其中时间和空间变量是彼此独立的。因此，描述场的性质的物理量皆为时间、空间点函数；不随时间变化的场只是空间点函数，如静电场强 $\mathbf{E} = \mathbf{E}(x, y, z)$ 为矢量点函数，电势 $U = U(x, y, z)$ 为标量点函数等。

(2) 关于代数量的运用

物理量按其数学性质来分有矢量(如力、场强等)和标量(如质量、电荷等)，而标量又可分为算术量(如质量)和代数量(如电荷)。矢量虽然复杂，但有专门论述；算术量很简单，因为它只有正值；代数量可正可负，看起来也不怎么复杂，似无专门论述的必要，但在运算过程中却常常出错。

在电磁学中，电荷、电势差等都有正负之分；电流由A至B或由B至A也以正负来区别；其它，如电动势、电通量等也都可正可负。所以，在学习电磁学时，必需对这些代数量的正、负的由来和所代表的意义给予充分的重视。

本书共分十章。前三章都是讲静电学问题：第一章讲真空中静电场的基本规律，第二、三章分别讲导体、绝缘体(电介质)存在时的静电场。在讲述中，除基本内容外，对电力线的定义、性质和应用作了较多的论证。第四章讲稳恒电流问题，主要注意阐明“场”和“路”的关系；同时，对一些用代数量描述物理量时出现的问题作了简要的讲解。第五、六、七章都是讲静磁场问题，它与静电场有类似之处，但由于“磁单极”不存在，其结论就不尽相同，其中除讲基本内容外，还对“磁荷”观点作了简要的介绍。第八章讲电

磁感应的基本规律,这是将电场和磁场联系起来的重要一步,这时电场和磁场都可以是随时间变化的。第九章讲交流电路,它与第四章相比,主要是多了一个“位相”概念,就变得复杂多了,由此而引出矢量图解法和复数解法等。最后一章讲电磁场和电磁波,对麦克斯韦理论(描述电磁场的完整规律)从特例出发作了概要的说明。

第一章 真空中的静电场

本章讨论相对于观察者静止的电荷产生的场——静电场。首先从静电现象的观察开始,认识电荷和物质的电结构,从实验得到电荷间相互作用的规律——库仑定律和叠加原理。然后从库仑力是怎样作用的这一问题的讨论,引入电场,定义描述电场属性的两个概念——电场强度和电势,同时介绍描述电场的形象工具——电力线和等势面。在理论体系方面,本章从库仑定律和叠加原理出发,导出静电场的两个定理——高斯定理和环路定理,进而说明由已知电荷分布求场强和电势的计算方法。最后分别从力和能的观点讨论带电粒子在电场中的运动。

§ 3-1-1 电荷 电荷守恒定律

雷鸣电闪也许是映入人类眼帘最早的静电现象,原始人不可能懂得这种神秘闪光的来由,只能把它归结为一种超自然的力量。到公元前六世纪,古希腊人发现琥珀与毛织物摩擦后能吸引轻小物体,我国在汉代也有“顿牟掇芥”^①的记载,当时人们也不可能知道这是怎么回事,更不可能知道这种现象与雷鸣电闪有什么关系。但是,正是从这些现象的观察开始,经过长期的实验、思考,人们终于了解这些都是电的作用的结果。

下面,我们从静电现象的实验和观察开始,来学习静电学知

^① 顿牟即玳瑁,是一种海龟类爬行动物的甲壳,可做装饰品,在加工和使用过程中常因摩擦而带电,从而能吸引轻小的物体。

识。

(一) 摩擦起电 两种电荷

用丝绸摩擦过的玻璃棒去接近纸屑、羽毛等轻小物体，我们发现，玻璃棒能吸引这些轻小的物体。同样，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒，也有吸引这些轻小物体的能力。这表明，经摩擦后的玻璃棒和橡胶棒获得了一种属性，处于一种与原来不同的状态，我们称它为带电状态，或者说它们带了电荷，这种处于带电状态的物体，叫做带电体。

那么，不同带电体(如摩擦过的玻璃棒和橡胶棒)带电状态是否都是一样的呢？或者说，它们所带的电荷是否都是相同的呢？看下面的实验：把丝绸摩擦过的玻璃棒放在能绕竖直轴转动的绝缘支架上(图 3-1-1)，然后用另一根丝绸摩擦过的玻璃棒去接近它的一端，我们看到，它们是互相排斥的(注意它们带同种电荷)。再用毛皮摩擦过的橡胶棒去接近它，可以看到，它们是互相吸引的。由此可见，玻璃棒与橡胶棒带的电荷是不同的。

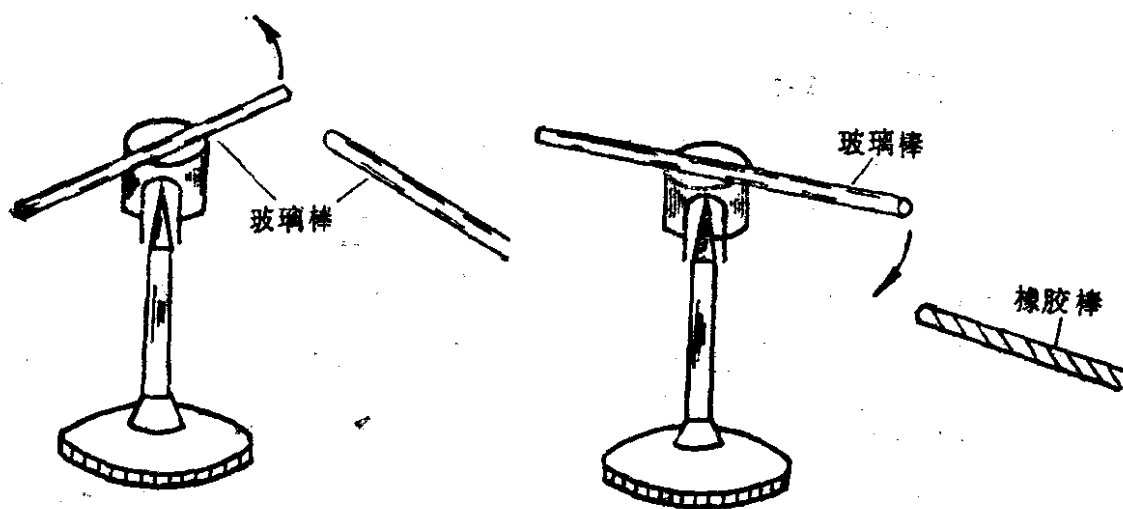


图 3-1-1

那么，不同带电体所带的电荷是否都互不相同呢？所有实验结果表明：凡是和丝绸摩擦过的玻璃棒吸引的带电体，必定和毛皮摩擦过的橡胶棒排斥；凡是和丝绸摩擦过的玻璃棒排斥的带电

体,必定和毛皮摩擦过的橡胶棒吸引.由此说明,电荷有两种,且只有两种;同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引.上述实验中,玻璃棒和毛皮所带的是同一种电荷;橡胶棒和丝绸所带的是另一种电荷.

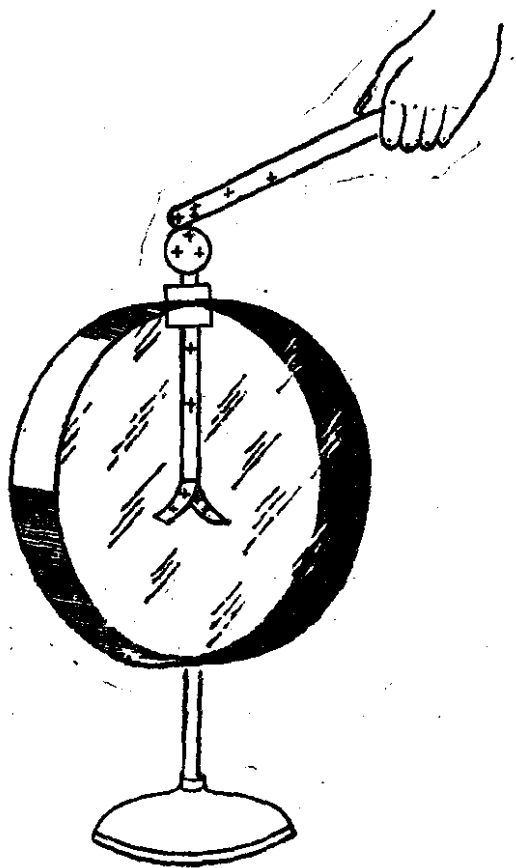


图 3-1-2

同种电荷或异种电荷加在一起,其结果又是怎样呢?为了说明这个问题,我们先介绍一个检测物体是否带电和带电多少的仪器——箔片验电器,构造如图 3-1-2 所示.它的主要部分是一根金属杆,下端挂着一对金属箔,上端装着一个金属球.当带电体与金属球接触时,就有部分电荷通过金属杆传到下端的箔片上,箔片因带同种电荷相互排斥而张开,电荷越多张角越大.下面我们

来看一个实验:先用丝绸摩擦过的玻璃棒和验电器的金属球接触,验电器的箔片就张开一定的角度,说明验电器已带上玻璃棒传给它的电荷.这时,如果再用丝绸摩擦玻璃棒,并再将它去和验电器的金属球接触,箔片的张角就增大,这表明,同种电荷加在一起,其效应是相互增强的;如果改成用毛皮摩擦过的橡胶棒去和原已带电的验电器金属球接触,随着橡胶棒上的电荷不断传给验电器,箔片的张角跟着减小,闭合后复而又张开,这表明,异种电荷加在一起,其效应是互相抵消的.两种电荷完全抵消的现象叫做中和.验电器的箔片后来复而又张开,是后面加上去的电荷和前面的电荷抵消后剩余的电荷互相排斥所致.为了区别两种电荷,人们把其中