

普通物理学

第三分册

电磁学

(第三版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编

梁绍荣 管靖 王天泰 修订

 高等教育出版社

普通物理学

第三分册 电磁学

(第三版)

梁绍荣 刘昌年 盛正华 主编
梁绍荣 管 靖 王天泰 修订



高等教育出版社

内容提要

本书是在原《普通物理学》(第二版)的基础上修订而成的,原书是针对师专编写的,本次修订在保留原书特色的基础上,根据2003年教育部制定的普通高中物理课程标准中对中学物理教师的要求和近年来高等教育大众化的发展情况,按照高等师范院校和理工类高校物理专业本科普通物理学的教学标准,在保持原书主干内容的基础上,新增了部分拓展内容,使本书在适合本科少学时使用的同时,兼顾了师专院校的物理教学。

本书分力学、热学、电磁学、光学和量子物理学基础等五册。本册为第三分册电磁学,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、恒定电流和电路、恒定电流的磁场、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九章,各章末皆附有思考题和习题。

本书可作为师范类、理工类高等学校物理类专业本科的教材,去掉加*和**号的章节后并不影响知识结构的完整性,可作为师专、教育学院、函授等物理专业的教材,也可作为中学教师的培训参考书。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学. 第三分册,电磁学 / 梁绍荣, 刘昌年, 盛正华主编. —3版. —北京: 高等教育出版社, 2005. 12

ISBN 7-04-017771-4

I. 普... II. ①梁... ②刘... ③盛... III. ①普通物理学—高等学校—教材②电磁学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 116705 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1988 年 5 月第 1 版
印 张	26		2005 年 12 月第 3 版
字 数	480 000	印 次	2005 年 12 月第 1 次印刷
		定 价	27.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17771-00

著名物理学家的教育思想

中国传统教育提倡按部就班的教学方法,认真的学习态度,这有利于学生打下扎实的基础,但相对来说,缺少创新意识;美国提倡“渗透式”的教育方法,其特点是学生在学习的时候,对所学的内容往往还不太清楚,然而就在这过程中已经一点一滴地学到了许多东西,这是一种“体会式”的学习方法,培养出来的学生有较强的独立思考和创造能力,易于很快地进入科学发展的前沿,但不如前者具有扎实的根基。中美两种教育方式各具特色,长短互补,若能将两者的优点和谐地统一起来,在教育方法上无疑是一个突破。

——杨振宁

发展独立思考和独立判断的一般能力,应当始终放在首位,而不应当把获得专业知识放在首位。

——爱因斯坦

教育的目标,不只限于知识的传授,尤其是高等教育,其主要任务是教导学生思考。

——吴大猷

进步道路上的绊脚石是,也一向是不容怀疑的传统。

——吴健雄

我们主张采取“既讲清楚,又不讲清楚”、“言犹未尽”的讲授方法。应该力求讲清一些基本概念,使大多数同学经过思考即可容易地掌握这些知识。但对于已经学过的内容,我们提倡让同学自己去做“温故而知新”的工作;对于我们认为同学们经过思考可以掌握的内容、可以导出的公式,则留给同学们自己去做;有时我们留一些“伏笔”,过几章之后再作解答。

——杨福家

想像力比知识更重要,因为知识是有限的,而想像力概括着世界上的一切,推动着世界前进,并且是知识进化的源泉。严格地说想像力是科学研究中的实在因素。

——爱因斯坦

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,突出物理图像;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。

由于编者水平有限,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

1987年7月

第二版前言

本书(共五册)是为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。第一版于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,以期消除“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,提出了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

第三版前言

本书于1987—1989年期间出版了第一版;于1993—1995年期间修订再版。现根据教育部2003年制订的普通高中物理课程标准中对中学物理教师的要求和近年来的高校发展情况,按高等师范院校和理工类高校物理专业本科普通物理学教材标准而修订成为第三版。本书分力学、热学、电磁学、光学和量子物理学基础等五册。

本书第一版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的委托,为卫星电视、师范专科等物理专业的需要而编写的。出版后受到各方面的欢迎和好评。曾获1992年全国优秀教材国家教委二等奖,并于1994年根据当时的使用情况和国家教委颁发的新大纲编写出版了第二版。

当前,我国已进入高等教育大众化阶段,一些兄弟院校的同行老师们希望能将本书重新修订,使本书可作为本科物理类专业的普通物理教材使用,经过慎重的考虑,我们将新版教材定位为本科物理类专业教材,同时兼顾师专物理教学。为此,对本套书中的部分章节标以“*”、“**”号,并以小字排印,“**”内容为选学内容,删去这些内容并不影响知识结构的完整性,而对于师范专科、教育学院、函授等院校物理专业的教学,可删去标有“*”、“**”的内容,在实际教学过程中,教师可根据需要对内容作灵活调整。

这次修订除保留原书的内容简明、科学严谨、阐述清晰、深入浅出、增加物理学导论和浅、宽、准的编写思想外,主要改革之处为:①加强物理学思想方法的讲授,教材中不仅在讲述过程中注意这方面的内容,而且在适当章节作回顾、评述等加以强化,以便由知识加方法以形成能力,进而有助于创新精神的培养;②注意分段小结、层层提高,如在力学中以牛顿定律的思想体系为主线,热学中加强统计规律的思想,电磁学中突出场的概念,光学中注意讲清波动理论及其承上启下的作用,量子物理学中将引导学生进入人们所不熟悉的微观领域等;③进一步增加近代物理学内容;④进一步加强联系实际等。总之,全书以物理学导论为开端,由机械运动到热运动,由实物到场,由宏观到微观,由经典到近代,用物理学的基本思想贯穿全书,逐步提高,直至前沿。

这次修订在内容结构上有较大调整,将相对论由第五分册调到第一分册,并在第一分册中增加一章(加**)Matlab在普通物理学中的应用(在其他分册中,相应部分则作为附录,以便使用);在第四分册中,将原附录Ⅱ扩为一章(加

) ; 去掉第五分册中的固体物理学, 增加量子统计学初步(加 *); 将第五分册的名称: 近代物理学基础改为量子物理学基础等。各分册中的具体修改情况在相应的分册中另有说明。

本册的主要修改之处为: ① 对原书的结构作了一定的调整, 将原书中的十章改为九章; ② 增加了一部分适当加深和适量反映有关物理前沿和现代应用方面的内容; ③ 删去一些相对陈旧、过难、过易以及在实验课中可学到的知识; ④ 改写一部分节、目, 使其讲法更简练、明确; ⑤ 在增强讲述的严谨性和文字的可读性等方面作了较为细致的修订; ⑥ 修改了原书中一些书写、印刷等方面的错误和不妥之处; ⑦ 根据新规定, 对书中的公式和物理量的符号作了全面的修订。

由承德民族师专承办的《基础物理学》研讨会上, 编者借机征求对本书的修改意见, 与会的师大、师院、师专、综合大学和理工类高校等多位老师提出了很多宝贵意见和建议; 川北教育学院的许弟余教授等几位老师提出了很多的具体书面意见; 唐山师院的石凤良副教授对本书第五分册也提出了不少书面意见; 唐山师院的王耀华副教授和承德民族师专的高新意副教授对本书的第三分册提出了很多有益的改进意见。

高等教育出版社理工出版中心的陶铮和刘伟编辑对本书的修订作了精心策划, 提出了许多有益的意见; 陈海柳和张海雁编辑为本书的出版做了出色的编辑工作。

本册由梁竹健教授审阅。他审查非常认真、仔细, 指出了许多不妥之处, 提出了很多有益的意见和建议使编者受益良多。

在此一并对上述各位女士、先生表示诚挚的谢意。

本书由梁绍荣、管靖主持修订, 各分册分别由管靖、王天泰、唐伟国编写。在成书过程中我们共同讨论, 确定编写原则、书的水平、篇幅和体例等事宜, 分别执笔, 最后由梁绍荣、管靖核定。我们虽尽心尽力, 力图编好, 但水平所限, 书中错误、缺点在所难免, 恳请专家、同行和读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月于北京

目 录

引言	1
第一章 真空中的静电场	3
§ 3-1-1 电荷 电荷守恒定律	3
§ 3-1-2 库仑定律	7
§ 3-1-3 电场 电场强度	12
§ 3-1-4 高斯定理	25
§ 3-1-5 电场线	37
§ 3-1-6 静电场的环路定理	41
§ 3-1-7 电势 电势差	44
§ 3-1-8 等势面 场强与电势的微分关系	51
§ 3-1-9 带电粒子在电场中受到的力及其运动	56
思考题	58
习题	60
第二章 导体周围的静电场	67
§ 3-2-1 导体的静电平衡条件	67
§ 3-2-2 导体的静电性质	69
§ 3-2-3 导体壳和静电屏蔽	79
§ 3-2-4 电容和电容器	87
§ 3-2-5 静电计 静电感应起电机	94
思考题	96
习题	98
第三章 静电场中的电介质	103
§ 3-3-1 电介质的极化	103
§ 3-3-2 极化强度矢量	106
§ 3-3-3 介质中的电场	111
§ 3-3-4 介质存在时的高斯定理	113
§ 3-3-5 静电场的能量	116
思考题	122
习题	122
第四章 恒定电流和电路	125
§ 3-4-1 电流 电流密度矢量	125

§ 3-4-2 欧姆定律及其微分形式	129
§ 3-4-3 焦耳定律 电功率	136
* § 3-4-4 气体导电	139
§ 3-4-5 电源 电动势	142
§ 3-4-6 闭合电路的欧姆定律	147
§ 3-4-7 一段含源电路的欧姆定律	150
§ 3-4-8 基尔霍夫定律	154
** § 3-4-9 温差电现象	159
思考题	163
习题	164
第五章 恒定电流的磁场	168
§ 3-5-1 磁的基本现象及起源	168
§ 3-5-2 磁感应强度矢量 磁感应线	172
§ 3-5-3 毕奥-萨伐尔定律	176
§ 3-5-4 磁通量 磁场的高斯定理	184
§ 3-5-5 安培环路定理	188
§ 3-5-6 带电粒子在磁场中的运动	197
§ 3-5-7 汤姆孙实验 质谱仪	203
* § 3-5-8 霍尔效应	206
§ 3-5-9 磁场对载流导线的作用	208
思考题	217
习题	219
第六章 磁介质	225
§ 3-6-1 磁介质的磁化	225
§ 3-6-2 磁化强度矢量	227
§ 3-6-3 磁介质存在时的安培环路定理	230
§ 3-6-4 铁磁质	235
* § 3-6-5 等效磁荷观点	239
* § 3-6-6 磁路	242
思考题	246
习题	246
第七章 电磁感应和暂态过程	248
§ 3-7-1 法拉第电磁感应定律	248
§ 3-7-2 楞次定律	252
§ 3-7-3 动生电动势	258
§ 3-7-4 感生电动势	265
§ 3-7-5 自感和互感	271
§ 3-7-6 涡电流	278

§ 3-7-7 磁场的能量·····	283
§ 3-7-8 暂态过程·····	287
** § 3-7-9 电磁场的相对论变换·····	292
思考题 ·····	296
习题 ·····	298
第八章 交流电路 ·····	302
§ 3-8-1 交流电·····	302
§ 3-8-2 三种理想元件·····	307
§ 3-8-3 矢量图解法·····	313
* § 3-8-4 复数解法 ·····	323
§ 3-8-5 交流电路中的功率 功率因数·····	332
§ 3-8-6 谐振电路和 Q 值 ·····	342
思考题 ·····	351
习题 ·····	353
第九章 电磁场与电磁波 ·····	357
§ 3-9-1 电磁场理论 位移电流·····	357
§ 3-9-2 麦克斯韦方程组 平面电磁波·····	362
§ 3-9-3 电磁波的辐射·····	368
思考题 ·····	374
习题 ·····	374
附录 I Matlab 在电磁学中的应用举例 ·····	375
附录 II 电磁学的单位制 ·····	379
习题参考答案 ·····	390
常用物理常量及换算关系表 ·····	400
主要参考文献 ·····	401

引 言

带电物质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领域中与电力、磁力有关的问题也十分普遍.作为普通物理学的重要组成部分——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物质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.带电粒子之间的相互作用是通过“场”来传递的,而不是像机械力那样,通过它们之间的直接接触来传递.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 $\varphi = \varphi(x, y, z)$ 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; 其他, 如电动势、电通量等也都可正可负. 所以, 在学习电磁学时, 必须对这些代数量的正、负的由来和所代表的意义给予充分的重视.

本书共分九章. 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, 对电场线的定义、性质和应用作了较多的论证. 第四章讲恒定电流问题, 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. 第七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. 第八章讲交流电路, 它与第四章相比, 主要是多了一个“相位”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——电场线和等势面. 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电现象, 原始人不可能懂得这种神秘闪光的来由. 到公元前 6 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活动的结果.

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. 使物体带电叫做起电. 同摩擦方法使物体带电叫做摩擦起电.

由实验知道, 两根用毛皮摩擦过的橡胶棒互相排斥 (如图 3-1-1 所示); 两根用丝绸摩擦过的玻璃棒也互相排斥; 可是, 用毛皮摩擦过的橡胶棒与用丝绸摩擦过的玻璃棒互相吸引. 由此可见, 玻璃棒与橡胶棒所带电荷是不同的.

^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.

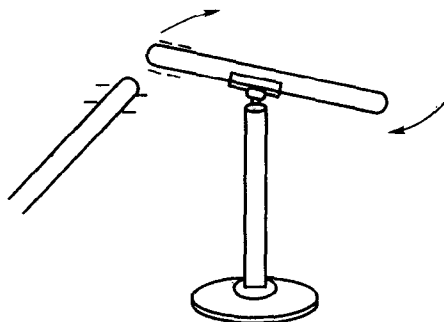


图 3-1-1

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,必定被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.

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最简单的仪器——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,通过橡胶塞插入玻璃瓶内,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

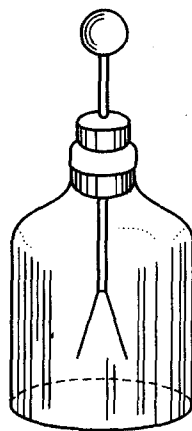


图 3-1-2

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.两种电荷互相完全抵消的现象叫做中和.验电器的箔片后来复而张开,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,人们把其中一种(用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷)叫做正电荷,另一种(用毛皮

摩擦过的橡胶棒所带的电荷)叫做负电荷.电荷的多少,叫做电荷量^①,简称电荷.在电荷量的运算中,正电荷的电荷量取正数,负电荷的电荷量取负数,所以电荷量可作为代数量来运算.至于电荷正、负的定名,那完全是人为的,上述定名,是由富兰克林首先提出来的,国际上一直沿用至今.

(二) 电荷守恒定律

实验表明,两种物体因摩擦而带的电荷,是等值异号的.如丝绸与玻璃棒摩擦,玻璃棒带正电荷,丝绸带等量的负电荷;毛皮与橡胶棒摩擦,橡胶棒带负电荷,毛皮带等量的正电荷.摩擦起电实际上是电荷转移的过程,它并不创造电荷.大量实验表明,电荷既不能创生,也不能消灭,只能从一个物体转移到另一个物体,或从物体的这一部分转移到另一部分.也就是说,在一个与外界无电荷交换的系统内,正负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变.这就是电荷守恒定律.这个定律不仅在一切宏观过程中成立,也为一切微观过程所遵守.化学反应、放射性衰变、核反应和基本粒子的转变,都遵守电荷守恒定律,它是物理学中最基本的定律之一^②.

(三) 物质的电结构

前已讲过,物体带电使它多了一种属性.电学中最原始的概念就是电荷,它是一切电现象的源.那么,究竟什么是电荷呢?电荷是自然界中物质的一种属性,而不是存在于物质之外的.原来,人们常见的物质由分子、原子组成,而原子由电子和原子核组成,核内有质子和中子.电子带负电,质子带正电,两者所带电荷量相等;中子不带电.质子和中子在巨大的核力作用下,牢固地束缚在原子核内,核半径的数量级为 10^{-15} m.电子以电子云的形式围绕原子核运动,电子云半径(也就是原子半径)的数量级为 10^{-10} m,比核半径约大 10^5 倍.正是物质内部这些带电粒子之间的互相吸引和排斥,使电子围绕核运动而形成稳定的原子;使原子以不同的形式结合形成不同的分子;使分子以不同的形式结合形成物质的各种形态(固体、液体、气体等)和千变万化的物质种类.物质的这种电结构,正是各种宏观电现象的原因和根据.在正常状态下,物体中微观上足够大的任意部分所包含的电子数和质子数相等,正、负电荷对外的影响互相抵消,所以不呈现电性.摩擦为什么能起电呢?比如,丝绸和玻璃棒摩擦时,玻璃棒上的一些电子转移到了丝绸上,丝绸因获得过剩的负电荷而带负电,玻璃棒则因失去部分电子致使正电荷过剩而带正电.

^① 电荷量的定义详见 § 3-1-2.

^② 例如,当正电子(其质量与电子相同,但所带的电荷与电子等值异号)与负电子(即通常的电子)相遇时,会相融合、消失(称为电子对的湮没)而产生 γ 辐射(不带电).这个过程前后,电荷的代数和保持不变,皆为零.

根据导电性能的不同,物质可分为导体、绝缘体、半导体三类.能传导电荷的物体叫**导体**,金属、石墨和酸、碱、盐的水溶液(统称**电解液**)等就是良好的导体,人体、地球也是导体,但是导电性能不如金属.几乎不能传导电荷的物体叫**绝缘体**,也叫**电介质**,如玻璃、橡胶、干燥且未被电离的气体等.导电性介于上述两者之间且有特殊电性质的那类物体叫**半导体**,如锗、硅等.物体导电性能的不同,可用物质的电结构来解释.金属之所以导电,是因为内部存在大量摆脱了原子核束缚的自由电子,它们能在金属内部自由运动;电解液之所以导电,是因为内部存在许多能自由运动的正、负离子.绝缘体之所以不导电,是因为内部的电子受到原子核的束缚,基本上没有自由电子.至于半导体的导电规律,也是由它特殊的电结构决定的,这将在电子技术课程中介绍.

(四) 电荷的量子性

在历史上,密立根的油滴实验发现,微小粒子所带电荷量的变化不是连续的,它只能是某个元电荷的整数倍;密立根测出的这个元电荷是 $1.64 \times 10^{-19} \text{ C}$. 这就是电荷的**量子性**.电荷的量子性从物质的电结构来看,是很清楚的.因为电子是自然界存在的最小负电荷,质子是最小正电荷,这个最小电荷就是元电荷,其值为 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$,所以一切带电体的电荷量都只能是 e 的整数倍.近代物理从理论上预言有夸克(或层子)存在,它是组成质子、中子等的基本粒子,它的电荷量为 $-\frac{1}{3}e$ 或 $\frac{2}{3}e$.共有六种夸克.这是高能物理在探索物质的微观结构中取得的重大成就.当然,迄今还没有在实验中发现处于自由状态的夸克^①,但即使发现了,也不过把元电荷的大小缩小到目前的 $\frac{1}{3}$,电荷的量子性依然不变.

由静电现象的观察以及随后的深入研究,导致了物质电结构模型的建立,用这个模型基本上能解释各种静电现象,同时还能说明物质的各种形态的形成和不同物质的物理化学性质.但是,这个模型绝不是物质结构的终极模型,模型本身也远不是完美无缺的.比如,电子的内部结构如何?它带负电荷,同种电荷之间的排斥力为什么不会使它离散?质子所带的电荷为什么恰好与电子所带的电荷相等?这些都是尚未解决的问题,有待我们去探索、研究和发现.

^① 参看《现代物理知识》第4期 p.3(1991)和第2期 p.17(1992).