

高等专科学校试用教材 T.2

物 理 学

下 册

侯 健 文 主 编

机 械 工 业 出 版 社

高等专科学校试用教材

物理学

下册

侯建文 主编

机械工业出版社

物 理 学

下 册

侯建文 主编

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $13^{5/8}$ · 字数 300 千字

1985 年 6 月北京第一版·1985 年 6 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,000 · 定价 2.15 元

统一书号: 15033·5991

前 言

本书是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生，学制三年的工科的物理教学大纲编写的。本书系高等专科学校普通物理课的试用教材。中等专业学校、职工大学、业余大学等也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册，上册为力学和热学，下册为电磁学、光学、量子力学初步和物质结构简介。

在编写过程中，对各部分的要求、内容的取舍、深广度的掌握和教法的安排等问题的处理，注意了高等专科学校的特点，既要使学生具有必要的基础理论，又要加强理论联系生产和专业实际，使本书具有一定特色。

本书采用了“小字”和加“*”号的方法来表示“参考”和“选学”内容，不学它们不会影响全书的系统性。

书中编入了较多的例题和习题，以便教师选择和学生进一步加深对基本内容的理解，并将有利于能力的培养。

本书由侯建文副教授主编，参加编写的有吴永康老师（第四、五章），张秀霞老师（第二章），许火烽老师（第十一、十二、十三章）。由西安交通大学赵富鑫教授、沈汝源副教授主审。

书中错误或不当之处，请老师和同学们指正。向给本书提出过宝贵意见的同志们致谢！

编 者

目 录

第三篇 电 磁 学

第六章 静电场	3
§ 6-1 库仑定律	3
§ 6-2 电场强度 电位移	12
§ 6-3 高斯定律	37
§ 6-4 电势	46
§ 6-5 电容	71
§ 6-6 电场的能量	77
习题	79
第七章 稳恒电流	94
§ 7-1 欧姆定律 焦耳定律	94
§ 7-2 电动势	101
§ 7-3 温差电现象	107
§ 7-4 气体中的电流	114
习题	120
第八章 稳恒磁场	125
§ 8-1 磁感应强度 磁感应强度通量 磁高斯定律	125
§ 8-2 安培定律	133
§ 8-3 毕奥—萨伐尔定律	139
§ 8-4 安培环路定律	143
§ 8-5 电流或带电粒子在电场、磁场中的运动、受力及其 功能关系	149
§ 8-6 磁介质	161
习题	174

VI

第九章 电磁感应 电磁场	185
§ 9-1 电磁感应定律 楞次定律 涡旋电场	185
§ 9-2 电感 磁场的能量	196
§ 9-3 位移电流 全电流定律	211
§ 9-4 电磁场理论的基本观点 麦克斯韦方程	216
§ 9-5 电磁振荡 电磁波	221
习题	238

第四篇 光 学

第十章 波动光学	249
§ 10-1 光的干涉	249
§ 10-2 光的衍射	276
§ 10-3 光的偏振	297
习题	308
第十一章 光的量子性	319
§ 11-1 黑体辐射 普朗克能量量子假设	319
§ 11-2 光电效应 爱因斯坦的光子假设	325
§ 11-3 康普顿效应 光的波粒二象性	331
§ 11-4 氢原子光谱	337
§ 11-5 玻尔氢原子理论及其对氢原子光谱的解释	340
§ 11-6 激光	349
习题	354

第五篇 量子力学初步和物质结构简介

第十二章 量子力学初步	358
§ 12-1 德布罗意波	358
§ 12-2 测不准原理	362
§ 12-3 波函数 波函数的统计解释	366

§ 12-4 薛定谔方程.....	368
§ 12-5 量子力学对氢原子的描述.....	370
§ 12-6 多电子原子中的电子分布.....	379
§ 12-7 固体的能带理论.....	382
习题.....	387
第十三章 原子核与基本粒子简介	388
§ 13-1 原子核的基本性质.....	388
§ 13-2 原子核的放射衰变规律.....	398
§ 13-3 基本粒子.....	404
习题.....	411
附录 I 常用物理常数表	413
附录 I 习题答案	413

第三篇 电 磁 学

电磁学是研究电磁现象及其规律的一门科学。它的研究对象是自然界广泛存在着的电荷和电、磁场的运动以及物质的电结构。电磁学不仅是认识与研究光学、原子物理、原子核物理以及基本粒子、物质结构等的基础，而且也是对某些力学、热学现象（如弹性、摩擦、传热、热容等）作进一步深入探讨所必须的知识。可见，电磁学在整个物理学中占有着特别重要的地位。

电磁学的发展历史虽然较力学和光年轻，但是它也经历了漫长的成长过程。远在公元前数百年，我国已有了关于摩擦起电和磁石吸铁的观察与记载，但一直进展缓慢；直到十八世纪以后，才有了较快的发展。1820年奥斯特实验使人们把电和磁在认识领域里联系了起来。法拉第是在这个时期对电磁学的发展作出重大贡献的主要物理学家之一。在十九世纪下半页，经麦克斯韦等人的努力，把电磁学定律归结与发展成完美的形式，称为麦克斯韦方程。麦克斯韦方程在电磁学中所处的地位，与牛顿运动定律、万有引力定律在力学中所处的地位同样重要。

电磁学与生产技术、国防建设以及人类生活等有着密切的关系。它是电工学、电机学、无线电电子学、电子计算技术、自动控制、电子光学等技术科学的理论基础；在现代一切科技领域、尖端科学研究和日常生活中应用极为广泛。所以如此，主要是由电磁现象的独具特点所决定的。

电磁能易于和机械能、热能、光能、化学能等其它形式

的能量互相转变；它便于高效率地远距离输送。电磁波可以高速向各方向或定向传播。用电磁学方法进行测量、调节和控制，既简便、迅速，又准确、灵敏。

本篇着重讲述：静电场、稳恒电流、稳恒磁场和电磁感应、电磁场等电磁学的主要内容。

第六章 静 电 场

本章将讨论静电荷及静电场的性质和相互作用的规律，是静电学的主要内容。静电荷是指对惯性参照系来说，在宏观上是静止的电荷；与静电荷相应的电场，即静电场。本章主要讲述静电场的特性，并以两个描述电场的重要物理量——电场强度、电势及其相互关系，以及库仑定律、高斯定律和静电场的环路定律等为基本内容。它们是学好整个电磁学理论的重要基础。

§6-1 库 仑 定 律

一、电荷与电场

电荷是电的负荷者（电子、质子等）及其所带电荷量*的简称。人们在对电现象的长期研究中，1881年首先提出了“电子”这个名称，特别是1897年汤姆逊发现了电子，其后许多科学家进一步作了定量研究，二十世纪初又陆续发现了质子、正电子等，使人们对电的本质有了明确的认识。实体物质（实物）由三种基本粒子所组成，即电子（负电荷）、质子（正电荷）和中子（中性）。它们组成了原子核、原子、分子，进而构成了实物。电荷之间存在相互作用力，同号电荷相排斥，异号电荷相吸引，这种电荷间的作用力称为电力，静电荷之间的电力叫静电力。电荷在电力作用下可得到速度、加速度，并可作功，即电荷可以具有动量和动能。

许多精密实验证明，电子（或质子）所带电荷的绝对值

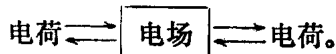
* 电荷量是电流对时间的积分，过去曾叫电量。按国标（GB3102.5-82）规定，在不致引起混淆时，电荷量可简称电荷。

e 是一切电荷的最小单元, $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$, 任何电荷都是 e 的整倍数; 电子的质量 $m_e = 9.1095 \times 10^{-31} \text{ kg}$; 电荷总是一份一份地, 以不连续的方式存在着, 这种性质叫做电荷的量子化。随着科学的发展, 人们对于物质结构的认识, 也由原子这一层次进到核子这一层次, 即研究质子及中子的结构; 但至今为止, 电荷的量子仍是电子电荷。

1843 年法拉第首先证明了在电荷的封闭系统中, 任何物理过程 (如起电、放电等), 都不能改变总电荷数 (即正、负电荷的代数和不变)。这个规律, 叫做电荷守恒定律, 它在一切宏观过程和微观过程中 (如核反应和基本粒子过程中) 普遍成立, 是物理学中的基本规律之一。

近代物理学的发展告诉我们: 凡是有电荷的地方, 周围必然存在着电场, 或者认为一切电荷都在自己周围激发电场 (就象一切实物周围都存在引力场一样)。电场的物质性, 主要表现在它对处于其中的任何其它电荷, 均有电力作用; 电力对电荷可以作功。

电场和其它物质场 (如引力场、磁场、电磁场等) 一样, 是物质的另一种形式。电场这个名称最初是由法拉第引入物理学的。因为场具有质量、动量和能量等物质所有的属性, 所以场具有物质性。这种认识是从电荷间电力传递问题的争论开始的。大量的事实说明, 那种认为电荷间的电力作用, 不需任何物质, 也不需要时间即可传递的观点 (叫做“超距作用”观点), 是错误的。实际上, 电力的传递既需要物质, 又是按有限速度 (光速) 传递的。这种传递电力的物质, 就是电场。电力的作用方式, 可示意为



场和实物虽说都是物质，而且近代物理还告诉我们，在一定条件下，它们可以互相转化（如正负电子 $\longleftrightarrow$ 光子等），然而二者确实存在着重要区别。它们最显著的差别，在于实物以其质量、动量和能量等的高度集中为主要标志，它们在空间一般只占居有限的体积；而场的质量、能量等都相当分散，一般分布在广阔的空间。因而描述场的方法不能与描述实物的方法完全相同。描述场的状态常需用空间函数（即位置坐标的函数），电场强度、电势等就是描述电场的这类空间函数。

二、导体 电介质

电荷和电场可以存在于各种实物和真空之中，使这些实物和真空的性质发生某些变化（如金属的感应带电，玻璃的电极化等），并反转过来对电荷和电场产生一定影响（如使电荷和电场重新分布等）。

习惯上将实物按其导电能力（指转移或传导电荷的能力），而分为导体、半导体和绝缘体。当然，这种区别也不是绝对的，在一定条件下，可以互相转化（如绝缘体在强电场作用下，可被击穿而成为导体等）。

从实物的电结构上来描述与理解上述变化和影响的过程及规律，可以对静电场有更深入的认识。

导体是能迅速转移或传导电荷的实物（包括固、液、气态物质）。如金属、电解液（酸、碱、盐的水溶液），电离了的气体等都是典型的导体。另外象石墨、人体、大地等也都是常见的导体。从它们的电结构和导电机构来看：一种是通过自由电子（可在原子间自由移动的电子）来实现导电的导体，叫做第一类导体，如金属、石墨等；另一种则是通过离子（缺少或多余电子的原子或原子团）来实现导电的导体，

叫做第二类导体，如电解液、电离了的气体等。自由电子和离子都是自由电荷，它们在外电场作用下，均可作宏观定向移动，进行导电，因此也可以说：导体是具有自由电荷的物体。由于电子质量较原子核质量小得多，而且都相同，故第一类导体导电时，并不引起明显的质量迁移和化学反应；但是，因为离子的质量和化学成分各不相同，故第二类导体导电时，将引起显著的质量迁移和化学反应。导体中静电荷所处的状态叫做静电平衡状态。当导体被移入某电场时，其中的自由电荷在该电场的作用下重新分布的现象，称为静电感应。静电感应使导体达到新的静电平衡状态。

绝缘体也叫电介质。电介质内几乎没有可作宏观移动的自由电荷，而只有被束缚着的电荷。被束缚着的电荷，一般在外电场作用下，只能作微观范围的移动（一般在 10^{-10}m 范围内）而不能作宏观位移，这正是电介质一般不导电的原因。如玻璃、橡胶、松香、瓷器、油类、纯水、未电离的气体等都是常见的电介质。当将电介质移入某电场时，被束缚着的电荷在该电场的作用下，作微观移动，使电介质的界面上出现极化电荷（或称束缚电荷），这种现象叫做电介质极化。电介质极化使其中的电场受到很大影响。本书中凡未指明电介质的，均为真空中电场。

半导体是导电能力介于导体和电介质之间的一类实物，种类甚多，如锗、硅等晶体，砷化镓、硫化铅等化合物以及某些有机物等都是常见的半导体。半导体的导电性对杂质、温度、光照、压力、电磁场等外加条件十分敏感，这是它应用极其广泛的重要原因。半导体和导体的本质区别，在于其电结构和导电机理上的区别，以及由此而引起的对外加条件的高度敏感性。关于半导体的电结构以及其理论，同学们将在

本书第十二章以及电子学等有关课程中学习。

三、库仑定律

人们在两千多年以前就发现了电现象。并在认识电现象的过程中，逐渐提出了掌握电荷间相互作用的规律问题。随着社会的发展和新的研究手段的不断出现和完善，库仑在前人研究的基础上，通过精确的实验，于1785年总结出点电荷间的电力作用所遵从的一个基本定律，即库仑定律，它说明该力遵从反平方律。所谓点电荷，是指：当某带电体的几何线度（ d ）比起它至其它带电体间的距离（ r ）小得多时

（ $d \ll r$ ），它的形状和电荷在其中的分布，对电荷间作用力的计算已无关紧要，因而可把该带电体抽象为一个几何点，即点电荷；它也是物理学中的一个重要的物理模型；如图6-1所示，a）为实际情况，b）为简化表示。

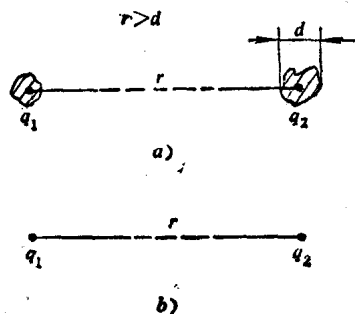


图 6-1

库仑定律的建立，标志着人类对电的研究从定性方面开始转入了定量方面。

库仑定律可表述如下：

两点电荷 q_1 、 q_2 之间的相互作用力 F 的大小与二者的乘积成正比，与二者间距离 r 的平方成反比（即反平方律），并与电介质有关，作用力 F 的方向沿二者的连线，同号相斥，异号相吸。

无限大均匀电介质（指电介质边缘远离点电荷的情况）中的库仑定律的数学表达式为：

$$F = \frac{k}{\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 \quad (6-1 a)$$

当 F 为 q_1 对 q_2 的作用力时, 则 r_0 即为沿 q_1 至 q_2 矢径 r 的单位矢量; 反之亦然, 如图

6-2 所示, a) 为斥力;

b) 为吸力。 ϵ_r 为取决于电

介质性质的一个常数, 叫相

对介电常数(相对电容率),

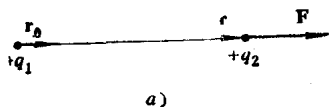
真空的相对介电常数等于 1

($\epsilon_r = 1$)。 k 是一个与单位

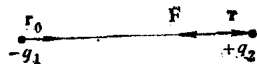
制有关, 可由实验测定的比

例系数, 在国际单位制(SI)

中,



a)



b)

图 6-2

$$\begin{aligned} k &= 8.987^{55} \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \\ &\approx 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \\ &\approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \end{aligned} \quad (6-1 b)$$

实际上直接用到库仑定律的机会较少, 而常用的却是与它有关的其它公式(如高斯定律、电容计算等), 通常为了使常用的电磁学公式简化并不再出现无理数“ π ”(即有理化), 将 k 表示为

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (6-1 c)$$

式中 ϵ_0 叫真空介电常数(真空电容率), 是一个常用的重要恒量。显然在国际单位制中

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = 8.8542 \times 10^{-12} \\ &\approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2 \\ &\approx 8.9 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2 \quad (\text{即 } F \cdot \text{m}^{-1}) \end{aligned} \quad (6-1 d)$$

用 ϵ 表示电介质的介电常数 (电容率), 并令

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0, \text{ 或 } \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (6-1e)$$

则式 (6-1a) 可表示为

$$\begin{aligned} F &= \frac{k}{\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 = \frac{1}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 \\ &= \frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 \end{aligned} \quad (6-1f)$$

用 F_0 表示在真空中所受之电力, 则

$$F_0 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 \quad (6-1g)$$

对不同电介质, 实验测得其相对介电常数 ϵ_r 之值, 如表 6-1 所示。

表6-1 电介质的相对介电常数 ϵ_r

电 介 质	相对介电常数 ϵ_r	电 介 质	相对介电常数 ϵ_r
真 空	1	硬 橡 胶	4.3
空气 (0°C, 1atm)	1.000585	玻 璃	5~10
氢气 (1atm)	1.000264	陶 瓷	6
聚四氟乙烯	2.2	云 母	6~8
聚苯乙烯	2.5	乙醇 (液体 C_2H_5OH)	25.7
电容器纸	3~5	纯水	81.5
硫	4.2	钛酸钡	$10^3 \sim 10^4$

由式 (6-1) 可以看出: 真空中相距 1m, 电荷各为 1C 的点电荷之间的作用力为 8.99×10^9 N, 可见库仑 (C) 是一个很大的单位。

显然, 相对介电常数 ϵ_r 在量值上相当于在同样情况下两点电荷在真空中作用力与在电介质中作用力之比。由于除真空 ($\epsilon_r = 1$) 外, 所有电介质的 $\epsilon_r > 1$, 故在同样情况下,

电介质中的电力总是小于真空中的电力。所以会如此，可以用电介质被电极化后出现的束缚电荷来定性解释。由于在点电荷周围电介质表面出现的束缚电荷，总是与点电荷异号，在产生电力作用上，相当于减少了点电荷的电荷量，即减少了点电荷间的相互作用力，如图 6-3 所示。

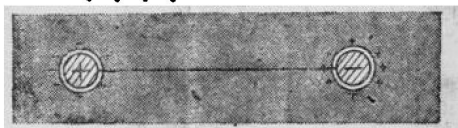


图 6-3

当 q_1 与 q_2 同号时， F 与 r_0 同方向， F 为正值，表现为斥力；当 q_1 与 q_2 异号时， F 与 r_0 反方向， F 为负值，表现为吸力。

上述点电荷间的作用力，因其遵从库仑定律，故常被称为库仑力。当有几个点电荷同时对某一点电荷 q_0 发生作用时，实验发现其合力可由迭加的方法求得，即库仑力可以按矢量法相加，称为迭加原理。宏观上连续分布着电荷的带电体，可被分为无限多个电荷元，其中任一电荷元 dQ ，即可视为一点电荷，这些电荷元都对电荷 q_0 有作用力（如图 6-4 所示），因而电荷 q_0 所受整个带电体的作用力，应

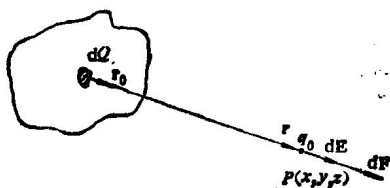


图 6-4

是所有电荷元对它作用力的合力，原则上可以用迭加原理（运用积分方法）求出这个力。

〔例 6-1〕 氢原子中，设电子与质子间距离为 $r = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ ；电子之电荷量为 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，质量 $m =$