

高等学校函授教材 (高等教育自学通用)

物理学 下册

严 导 淦 编

人民教育出版社

高等学校函授教材

(高等教育自学通用)

物 理 学

下 册

严 导 淦 编

本书是为高等学校工科函授各专业编写的教材，可兼作高等教育自学考试用书，也可供有志攻读大学课程的青年自学和电视大学、业余大学师生选用或参考。

本书上册内容有：函授、自学方法的说明，力学的物理基础，机械振动和机械波，气体分子运动论和热力学基础；下册内容有：电磁学，光学，原子物理学和原子核物理学简介。书中例题、习题较多，在各学习阶段后附有测验作业，书末有“物理常量”、“常用数学公式”等附录，可供查阅。

高等学校函授教材
(高等教育自学通用)

物 理 学

下 册

严导淦 编

*

人民教育出版社

新华书店北京发行所发行

北京新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 17.5 字数 420,000

1982年6月第1版 1982年11月第1次印刷

印数 00,001—18,500

书号 13012·0753 定价 1.60 元

目 录

第四编 电磁学

引言	1
第九章 静电学	2
§ 9-1 电荷	2
§ 9-2 电荷间的相互作用 库仑定律	7
§ 9-3 静电场	11
§ 9-4 电场强度 场强迭加原理	13
§ 9-5 场强的计算	17
§ 9-6 电场的图示法——电力线	30
§ 9-7 电通量 高斯定理	32
§ 9-8 高斯定理的应用	39
§ 9-9 静电场力所作的功 电势能	47
§ 9-10 电势 电势的计算	53
§ 9-11 电场的图示法——等势面	61
§ 9-12 电场强度与电势的关系	63
§ 9-13 静电场中的金属导体	68
§ 9-14 电介质中的静电场 电位移	78
§ 9-15 导体的电容	91
§ 9-16 电容器的电容	94
§ 9-17 电容器的接法和构造	101
§ 9-18 电场的能量	106
学习指导	111
复习思考题	118
第十章 电流	124
§ 10-1 电流及其产生条件 载流子 金属中电流的形成	124
§ 10-2 电流的方向 电流强度 电流密度	128

§ 10-3	一段电路的欧姆定律 导体的电阻	133
§ 10-4	电流的功和功率 焦耳定律及其微分形式	138
§ 10-5	电阻的连接	141
§ 10-6	电动势 闭合电路的欧姆定律	147
§ 10-7	一段含源电路的欧姆定律	158
	学习指导	163
	复习思考题	164
第四次测验作业		166
第十一章 稳恒电流的磁场		171
§ 11-1	磁的基本现象	171
§ 11-2	磁场 磁感应强度	176
§ 11-3	磁场的图示——磁力线 磁通量	181
§ 11-4	毕奥-沙伐定律及其应用	185
§ 11-5	运动电荷的磁场	195
§ 11-6	安培环路定律	197
§ 11-7	安培环路定律的应用	201
§ 11-8	磁场对载流导线的作用力 安培定律	207
§ 11-9	均匀磁场对平面载流线圈的作用	213
§ 11-10	磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力	221
§ 11-11	带电粒子在电场和磁场中的运动	225
§ 11-12	磁介质中的磁场 磁场强度	234
§ 11-13	铁磁性	244
	学习指导	247
	复习思考题	253
第五次测验作业		256
第十二章 电磁感应		260
§ 12-1	电磁感应现象	260
§ 12-2	楞次定律	266
§ 12-3	法拉第电磁感应定律	269
§ 12-4	在磁场中运动的导线内的感应电动势	274
§ 12-5	在磁场中转动的线圈里的感应电动势和感应电流	282

§ 12-6 自感现象	285
§ 12-7 互感现象	290
§ 12-8 涡电流	294
§ 12-9 磁场的能量	297
学习指导	300
复习思考题	302
第六次测验作业	303
第十三章 电磁场与电磁波	306
§ 13-1 涡旋电场	306
§ 13-2 位移电流	310
§ 13-3 电磁场理论的基本内容 麦克斯韦方程组的积分形式	314
§ 13-4 电磁振荡	319
§ 13-5 电磁波	324
§ 13-6 电磁波谱	331
学习指导	333
复习思考题	335

第五编 光 学

引言	337
**第十四章 几何光学基本知识	339
§ 14-1 几何光学的几个基本定律	339
§ 14-2 透镜	342
§ 14-3 光的色散和吸收现象	345
第十五章 光的干涉	347
§ 15-1 光的干涉现象 光的相干性	347
§ 15-2 光程和光程差 薄膜干涉	355
§ 15-3 劈尖的干涉 牛顿环	364
§ 15-4 迈克耳孙干涉仪	372
学习指导	374
复习思考题	376
第十六章 光的衍射	377

§ 16-1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	377
§ 16-2	单缝衍射	380
§ 16-3	衍射光栅 衍射光谱	387
* § 16-4	光学仪器的分辨率	394
§ 16-5	伦琴射线的衍射 布喇格公式	398
	学习指导	401
	复习思考题	403
第十七章 光的偏振		404
§ 17-1	天然光和偏振光	404
§ 17-2	反射和折射时光的偏振	406
§ 17-3	偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	410
§ 17-4	光的双折射现象	413
§ 17-5	偏振光的干涉及其应用	417
	学习指导	419
	复习思考题	420
第十八章 光的量子性		421
§ 18-1	热辐射 基尔霍夫辐射定律	421
§ 18-2	绝对黑体的辐射定律	425
§ 18-3	普朗克的量子假设 普朗克公式	428
§ 18-4	光电效应	431
§ 18-5	爱因斯坦方程 光子 光的二象性	436
§ 18-6	光电效应的实际应用	439
* § 18-7	康普顿效应	441
	学习指导	444
	复习思考题	447
第七次测验作业		447

第六编 原子物理学和原子核物理学简介

引言	450
第十九章 原子物理学简介	451
§ 19-1 原子的有核模型	451

§ 19-2	原子光谱的规律性	454
§ 19-3	玻尔的氢原子理论	458
§ 19-4	索末菲的椭圆轨道 电子的自旋	469
§ 19-5	旧量子理论的缺陷 实物粒子的二象性	476
* § 19-6	元素的周期系和原子的电子壳层结构	483
* § 19-7	激光	488
	学习指导	494
	复习思考题	498
第二十章	原子核物理学简介	500
§ 20-1	原子核的结构和基本性质	500
§ 20-2	原子核的衰变和衰变规律	506
§ 20-3	核反应	512
§ 20-4	原子核能的利用	518
* § 20-5	基本粒子简介	523
	学习指导	528
	复习思考题	530

附 录

附录一	希腊字母表	531
附录二	常用数学符号	532
附录三	一些常用数字	532
附录四	物理量的符号及其国际制(SI)单位	533
附录五	常用的物理恒量	537
[1]	几种常用单位的换算	537
[2]	几种物理恒量	541
[3]	密度 ρ	541
[4]	电介质的相对介电常数 ϵ_r 和介电强度	542
[5]	几种金属、合金和碳在 0°C 时的电阻率 ρ_0 和电阻温度系数 α 值	
[6]	顺磁质和抗磁质的相对磁导率 μ_r	543
[7]	铁磁质的相对磁导率 μ_r	543
[8]	一些物质的折射率	543

[9]	各色可见光的波长范围	544
[10]	几种金属的逸出功	544
[11]	几种金属的截止频率(红限)	544
[12]	放射性物质的半衰期	544
附录六	数学公式	545
附录七	三角函数表	548

第四编 电 磁 学

引 言

本编研究电现象和磁现象以及它们间的相互关系。

电磁学是一个范围很广的知识领域，是许多工程技术和科学研究的基础。我们已经熟知：电动机是生产和运输中许多机械的原动力，电灯和电炉是照明和加热的常用器具，电话、电报、无线电、电视、电子计算机等是信号传输中最有效的工具。此外，在农业技术、医疗及科学研究等方面，也广泛地应用了电。

电的广泛应用是和电能的各种特性联系着的。第一，电能很容易转变为机械能、光能、化学能等其他形式的能量，所以利用电作为能源最为简便。第二，电能可以在瞬息之间从发电的地方，经过很长的距离，传到另一地方去，功率大而且能量的损耗较少，设备也比较简单，这就为大生产提供了有利的条件。第三，电能可借电磁波的形式在空中传播，能够在极短的时间内把信号传送到遥远的地方，可以克服空间遥远的困难。第四，电能便于远距离控制和自动控制，使工业自动化成为可能。由于电能具有这些优越的特性，因此，电磁学与理工科各专业的关系十分密切。

电与磁的研究，对人类认识物质世界也是极重要的。在宏观宇宙中，特别是天体之间的相互作用主要是万有引力，但在构成物质的分子和原子等微观世界中，电性力和磁性力却比万有引力要大得不可思议。因此，当我们研究物理现象的本质和物质构造的基本理论时，就必须了解电性力和磁性力，这就使电学在现代物理学中占着重要地位。

第九章 静电学

静电学在近代生产技术和科学研究中有很多应用。例如静电除尘、静电植绒、静电喷漆、静电加速器等，都是应用静电学的基本原理设计成的。

静电学主要研究静电场的基本性质和规律，以及导体和电介质与静电场之间的相互作用。本章首先研究真空中的静电场，然后讨论静电场中的导体和电介质中的电场。

本章中基本概念较多，应很好钻研，这是学习本编其他各章的基础。其次，在学习本章内容时，必须经常联系前面学过的力学中的有关概念，这样，有助于对问题的进一步理解。

§ 9-1 电 荷

(一) 电荷

一切电的现象都起源于电荷的存在或电荷的运动。那么什么叫做电荷呢？我们把两种质料不同的物体，例如丝绢和玻璃棒相互摩擦后，它们都能吸引羽毛、小纸片等轻微物体(图 9-1)。这时，



图 9-1 用丝绢摩擦的玻璃棒能吸引轻微物体

我们就说丝绢和玻璃棒这两个物体都已处于带电状态，它们分别带有电或有了电荷。处于带电状态的物体称为带电体。实验证明，物体所带的电荷有两种，称为正电荷和负电荷^①。带同号电的物

^① 由于电荷只有两种，我们将沿袭历史上的规定：如果物体所带的电荷，与用丝绢摩擦过的玻璃棒所带电荷是同种的，则该物体所带的电荷叫做正电荷；若与用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带电荷是同种的，则叫做负电荷。电荷正、负的这种人为规定是相对的。

体互相排斥,带异号电的物体互相吸引。这种相互作用力(吸力或斥力)便是电性力。电性力和一般的力在属性上并不相同。根据带电体之间的相互作用力的大小,我们能够确定物体所带电荷的多少(带电的程度)。表示物体所带电荷多少的量称为电量,以符号 q 或 Q 表示。在国际单位制(SI)中,电量的单位是“库仑”,简称库,其代号为C。

使物体带电叫做起电。上述用摩擦方法使物体带电,叫做摩擦起电。任何物体都有可能带电。要使物体带电,除上述摩擦起电外,也可利用接触起电、静电感应等方法。

要知道一个物体是否带电,通常可用验电器来检验。验电器的构造如图9-2所示。图中 C 是一金属球,它和金属杆 D 相连接。

两片极薄的金箔 E_1 和 E_2 装在金属杆 D 的下端。金属杆 D 穿过橡胶塞 B ,被固定在一个金属盒内。检验时,把物体与金属球接触,如果物体带电,就有一部分电荷传到两片金箔上,金箔由于带了同号电,彼此排斥而张开,所带的电荷越多,张开的角度越大;如果

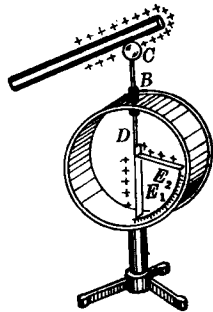


图9-2 验电器

物体不带电,则金箔不动。当已知物体带电时,如要识别它所带的电荷的种类,只要先把这带电体与金属球接触,使金箔张开;然后再用已知的带正电的物体接触验电器的金属球。如果金箔张开更大,则表示该带电体的电荷为正电。反之,如果金箔的张开角度减小,或先闭合而后张开,则表示带电体的电荷是负的。以上事实意味着,带某种电荷的带电体,当它再增加同种电荷时,电量增大;当它再增加异种电荷时,电量减小。因此,通常就将正、负电荷的电量分别表示为正值和负值。例如,将带有等量异号电荷的物体放在

一起,由于正、负电荷的数值相等,电量的代数和为零,因而互相抵消,这时,它们对外既显示不出带正电,也显示不出带负电,或者说呈电中性,这种现象称为电中和。

至于物体为什么能带电?我们可从物质的内部结构来说明。

(二) 物质的电结构理论

我们知道,常见的实物(固体、液体、气体)都是由分子、原子组成的。任何化学元素的原子,都含有一个带正电的原子核,和若干个在原子核周围运动着的带负电的电子。整个原子的半径的数量级为 10^{-10} 米,原子核半径的数量级为 10^{-15} 米,所以原子核要比原子小很多。

原子核中含有带正电的质子和不带电的中子,原子核所带的正电就是核内全部质子所带正电的总和。一个质子所带的电量和一个电子所带的电量,大小相等。这个电量的大小通常以 e 表示。据测定, $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 。质子和中子的质量大致相等,两者都大约是电子质量的 1840 倍。据测定,电子的质量 $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$ 。现将上述结果列于表 9-1 中,供读者学习和解题时参考。

表 9-1 电子、质子、中子的电量和质量

	电 子	质 子	中 子
电 量	$-e$	e	0
质 量	m	1840 m	1840 m

其中: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$, $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$

由于任何实物都是由大量原子组成的,而每一原子又由带正电的原子核和带负电的电子所构成,因此从电学的角度来看,任何物体都是拥有大量正、负电荷的集合体。而且,在正常状态下,原子核的外围电子的数目,等于原子核内质子的数目,因此物质内每个原子所有电子带的负电和原子核带的正电都相等,因而原子

呈电中性。这时，整个物体，对外就不显示电性，即正、负电荷相互中和。但是原子核所带的正电荷和外围电子所带的负电荷之间相互作用的电性力随物质的不同而有强弱。如果原子或分子由于外来原因，失去一个或若干个电子，则原子或分子内的正电荷多于负电荷，从而就成为带正电的正离子。反之，如果原子或分子从外界获得了一个或若干个电子，则原子或分子内的负电荷多于正电荷，从而就成为带负电的负离子。在这两种情形下，对整个物体来说，都呈现带电现象。

在前述两种质料不同的物体相互摩擦起电的过程中，就是由于摩擦，使每个物体中都有一些电子摆脱了带正电的原子核的束缚，转移到另一物体上去。但由于不同质料的物体彼此向对方转移的电子个数往往不相等，所以其结果必然是一个物体因失去一部分电子而带正电，另一物体因得到多余的电子而带负电。所以摩擦起电时，我们发现两个物体总是同时带异号而等量的电荷；亦即，摩擦并不产生电荷，只不过把电荷从一物体迁移到另一物体上去。

今后，我们将常常利用上述的物质电结构理论，来说明本编所述的许多电现象和磁现象。

(三) 电荷守恒定律

从物质的电结构理论可以推想，在一切不带电的中性物体中，总有等量的正、负电荷同时存在；而使物体带电，实质上就是使物体上的正、负电荷分离或转移，从而使一个物体失去一种电荷，另一个物体得到等量的同种电荷，其结果，一个物体就带上正(负)电荷，另一个物体就带上负(正)电荷。若再将该两物体接触而使正、负电荷互相中和，物体又都失去电性，但两物体的电荷的总量不变。所以说，电荷既不能消灭，也不能创生，它们只能从一个物体转移到另一个物体上，或者从物体的一部分转移到另一部分。这

就是电荷守恒定律。

根据电荷守恒定律可知,电荷不能被创造或消灭,而只能被迁移或中和。当我们分离正、负电荷时,必须付出某种形式的能量,以反抗正、负电荷间的吸引力而作功。在分离过程中,这功就转变为电能。相反地,两种电荷互相中和时,电能就转变为其他形式的能量(如热能、声能、光能等)。例如,大量的正、负电荷中和时,往往会发生火花,并伴有劈啪声,形成火花放电;火花放电有时甚至还会引起爆炸^①。所以随着物体起电或中和过程的进行,必定有电能和其他形式能量在相互转换着。这是完全符合于能量守恒和转换定律的。

(四) 电荷的量子化

实验表明,电子是自然界具有最小电量的带电粒子。任一带电体的电量大小都是电子电量大小 e 的整数倍,这就是说, e 是电荷的一个基本电量值。当带电体的电量发生变化时,它只能按 e 的整数倍变化,不能连续地作任意变化。这种电量只能一份一份地取分立的、不连续的数值的性质,就叫做电荷的量子化。电荷的量子就是 e 。不过常见的宏观带电体所带电量远大于电子的电量,因此,电荷的量子性是显示不出来的,从而在分析带电情况时,也就可以认为电荷是连续变化的。这正象人们看到江河中的滚滚流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由分子、原子等微观粒子组成的一样。

上面我们从物质的电结构阐述了电荷的本源。从下节开始,我们将讨论电荷的宏观表现,而不涉及其微观本质。

^① 例如,用管道输送干燥的粉末状物质(糖、面粉等)时,往往由于粉末颗粒间摩擦产生的正、负电荷中和而引起爆炸。为了避免火花放电事故,常需采取相应的措施。运油汽车都有铁链拖在地上,就是为了让晃动着汽油与贮油罐器壁摩擦而带上的电荷泄放到大地上去,以免这些电荷积累起来而发生火花放电,酿成事故。

§ 9-2 电荷间的相互作用 库仑定律

带电物体相互有力作用,这是电荷性质最鲜明的一种表现.人们对电现象的认识,就是从这种作用开始的.一般地说,两个带电体间的相互作用除了和它们所带电量有关外,还和它们的大小、形状、电荷在带电体上的分布以及周围介质的性质等有关,情况很复杂.所以下面先讨论最简单的也是最基本的问题,即两个相对静止的点电荷在真空中相互作用力的规律.

在电学中,当所研究的带电体之间的距离,比它们本身的线度大得多时,我们就可把这些带电体看作点电荷.点电荷这个概念在电学中的作用与质点这个概念在力学中所起的作用同样重要,它是从实际带电体中抽象出来的.点电荷本身不一定是体积很小的带电体,只是它本身的几何线度和它到其他带电体的距离相比是微不足道的,因而它的形状和大小可以不必考虑,而可用一个几何上的点来表示它在空间的位置.

两个静止的点电荷间相互作用的基本规律,称为库仑定律,它是在总结实验结果的基础上获得的.这个定律是:在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力的方向沿着它们的连线,作用力的大小 f 和电荷所带的电量 q_1 与 q_2 的乘积成正比,而和它们之间距离 r 的平方成反比,即

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

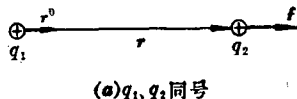
式中 k 是比例系数,其值决定于式中各量的单位.静电力 f 常称库仑力.

为确定起见,如图 9-3 所示,若以 r 表示由 q_1 到 q_2 的矢径(位置矢量),其大小为 r ,方向从 q_1 指向 q_2 ,则电荷 q_2 受到 q_1 的作用力 f 的大小和方向可用矢量形式的库仑定律来表示,即

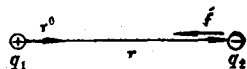
$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{\mathbf{r}}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^\circ \quad (2)$$

式中, $\mathbf{r}^\circ = \mathbf{r}/r$ 是沿 \mathbf{r} 方向的单位矢量, 它标志位置矢量 \mathbf{r} 的方向。上式中, 若 q_1 与 q_2 同号, 乘积 $q_1 q_2 > 0$, f 沿 \mathbf{r}° 的方向, 表示斥力 [图 9-3(a)]; 若 q_1 与 q_2 异号, $q_1 q_2 < 0$, f 沿 $-\mathbf{r}^\circ$ 方向, 表示引力 [图 9-3(b)].

利用式(2), 同样可求电荷 q_2 对 q_1 的作用力 f 。这时, 只需把式中的 \mathbf{r}° 理解为从 q_2 指向 q_1 的单位矢量就行了。



(a) q_1, q_2 同号



(b) q_1, q_2 异号

图 9-3 q_1 对 q_2 的作用力

在国际单位制中, 电量的单位是库仑 (C), 距离的单位是米 (m), 力的单位是牛顿 (N), 这时, 库仑定律中的比例系数 $k \neq 1$, 根据实验测定, 其大小和单位为

$$k = 8.987776 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

计算时, 常取近似值 $k \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。

在国际单位制中, 通常引入一个新的恒量 ϵ_0 来取代 k 。由于 k 是恒量, 所以 $1/4\pi k$ 也是一个恒量, 其值可记为 ϵ_0 , 即 $\epsilon_0 = 1/(4\pi k)$ 。由此, k 可表示成如下形式:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

这样, 真空中库仑定律便成为

$$\boxed{f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^\circ} \quad (9-1)$$

应该指出, 在上式中引入因子 4π 后, 虽然使库仑定律的形式变得较为复杂了; 但是以后将看到, 在由此推导出来的一些重要公式中却不出现 4π 等因子, 因而使获得的公式具有简单形式。式(9-1)就