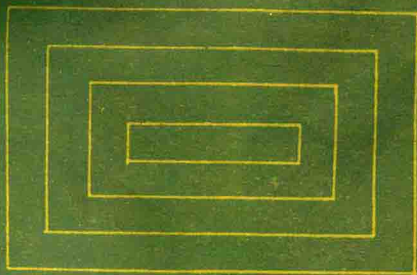


普通物理学

下

曾远文 杨自觉 朱本安 李显富 许印方

职工高等工业专科学校



四川科学技术出版社

普通物理学 (下)

职工高等工业专科学校

曾远文 杨自觉

朱本安 李显富 许印方

四川科学技术出版社

1986 · 成都

责任编辑：刘阳青

封面设计：许大成

版面设计：杨璐璐

职工高等工业专科学校

曾远文 杨自觉

朱本安 李显富 许印方

职工高等工业专科学校

普通物理学（下）

曾远文 杨自觉

朱本安 李显富 许印方

出版：四川科学技术出版社

印刷：四川新华印刷厂

发行：四川省新华书店

开本：787×1092毫米 1/32

印张：15.75

字数：3344

印数：1—5,000

版次：1986 年 7 月第一版

印次：1986 年7月第一次印刷

书号：7298.212

定价：2.70 元

编者的话

全国职工高等教育蓬勃发展，职工大学已成为培养“四化”建设人材的一支重要力量。为了使职大有适合于自身特点的多种教材，我们根据“职工高等工业专科学校普通物理教学大纲草案”（教育部1983年11月召开的职工高等工业专科学校大纲审订会议审订），编写了职大工科各专业适用的《普通物理学》一书。全书分上、下两册：上册为力学、机械振动和机械波、气体分子运动论和热力学基础；下册为电磁学、波动光学和近代物理基础。

参加本书编写的同志都是在高校或职大从事教学工作多年、并一直主讲物理学的教师。编写时，完全按照部颁职大教学大纲的要求组织内容，加强了对基本概念和基本理论的阐述，力求做到简明易懂、便于阅读、利于使用。各章配有较多的例题（下册为97个），对某些典型问题作了一题多解或概括了求解的思路和方法。各章后面还配有一定的习题。书中带“*”号的部分为选讲内容，且是独立的，不影响全书的系统性。课程学时分配可按部颁教学大纲的要求安排（见本书上册中的学时分配参考表）。本书不仅可供职大也可供夜大等工科大专作普通物理学教学用书。

在编写中，参阅了：

《物理学》 马文蔚 柯景风改编

《物理学》 严导淦编

《物理学》 曹萱龄等编

《普通物理学》 程守洙 江之永编 朱泳春等修订

《大学物理学》 杨仲耆等编

以及其它一些国内外编著,在此我们对这些编著的作者表示谢意。

本书为下册,全书由四川大学物理系的杨自觉和曾远文两同志审阅和修订。各章编写的同志有:重庆市化工总公司职工大学李显富(第九章、第十章),重庆市钢铁公司职工大学朱本安(第十二、第十三和第十四章),四川化工厂职工大学许印方(第十一、第十五和第十六章),四川大学杨自觉(第十七、第十八和第十九章)和曾远文(第廿章至第廿五章)。

在编写中,四川职大川西中心教研室的教师:罗盛强、陈铨祖、王心育、王生寿、罗思恩、胡协凡等同志热情地对本书下册各章习题的答案一一作了复核,编者对他们的帮助谨致诚挚的感谢。

限于编者的水平和时间关系,书中疏漏难免,恳请读者批评指正。

编 者

1985年12月于成都

目 录

第四篇 电磁学

第九章 静电场

§ 9-1 静电的基本现象和基本规律	2
§ 9-2 静电场 电场强度	10
§ 9-3 场强迭加原理 场强的计算	14
§ 9-4 电力线 电通量	24
§ 9-5 高斯定理及其应用	29
§ 9-6 电场力的功 场强环流定理	39
§ 9-7 电势能 电势	42
§ 9-8 等势面 场强和电势的微分关系	52
习题	58

第十章 静电场中的导体和电介质

§ 10-1 静电场中的导体	64
§ 10-2 静电场中的电介质	74
§ 10-3 电位移矢量 有电介质时的高斯定理	81
§ 10-4 电容 电容器	86
§ 10-5 电场的能量	99
习题	105

第十一章 恒稳电流

§ 11-1 恒稳电流 电流密度	111
§ 11-2 欧姆定律及其微分形式	116
* § 11-3 焦耳—楞次定律的微分形式	120
§ 11-4 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	121

* § 11-5	基尔霍夫定律	128
* § 11-6	金属导电的经典电子论的基本概念	130
	习题	133
第十二章 真空中的磁场		
§ 12-1	基本磁现象	138
§ 12-2	磁场 磁感应强度	141
§ 12-3	磁通量 磁场中的高斯定理	144
§ 12-4	毕奥—萨伐尔定律	150
§ 12-5	毕—萨定律的应用	154
§ 12-6	安培环路定律	163
§ 12-7	安培环路定律的应用	167
	习题	174
第十三章 磁场对电流的作用		
§ 13-1	磁场对运动电荷的作用—洛伦兹力	179
§ 13-2	带电粒子在电磁场中的运动	181
§ 13-3	磁场对载流导线的作用	190
§ 13-4	磁场对载流线圈的作用	195
§ 13-5	平行电流间的相互作用力	198
	习题	200
第十四章 物质的磁性		
§ 14-1	磁场中的磁介质	204
§ 14-2	磁场强度 磁介质中的安培环路定律	209
§ 14-3	铁磁质	215
	习题	219
第十五章 电磁感应		
§ 15-1	电磁感应的基本定律	220
§ 15-2	磁场中运动导线内的感应电动势	226
§ 15-3	磁场中转动线圈内的电动势	234

§ 15-4	感生电动势	235
§ 15-5	涡电流	240
§ 15-6	自感应	241
§ 15-7	互感应	246
§ 15-8	磁场的能量	251
习题		254

第十六章 电磁场和电磁波

§ 16-1	位移电流和全电流	260
§ 16-2	麦克斯韦电磁场理论	263
§ 16-3	电磁振荡和电磁波	267
§ 16-4	电磁波谱	272
习题		273

第五篇 波动光学基础

第十七章 光的干涉

§ 17-1	相干光源	277
§ 17-2	相干光的获得	283
§ 17-3	光程和光程差	289
§ 17-4	薄膜干涉	295
§ 17-5	劈尖的干涉 牛顿环	303
* § 17-6	迈克耳逊干涉仪	312
习题		315

第十八章 光的衍射

§ 18-1	光的衍射现象	319
§ 18-2	惠更斯—菲涅耳原理	321
§ 18-3	夫琅和费单缝衍射	323
§ 18-4	衍射光栅 光栅光谱	332
§ 18-5	光学仪器的分辨率	339

习题	343
----	-----

第十九章 光的偏振

§ 19-1 自然光和偏振光	346
§ 19-2 反射和折射时光的偏振	349
§ 19-3 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	353
§ 19-4 光的双折射现象	357
§ 19-5 偏振光的干涉	362
习题	368

第六篇 近代物理基础

第二十章 狭义相对论简介

§ 20-1 狭义相对论的基本原理	372
§ 20-2 狭义相对论的时空观	373
§ 20-3 狭义相对论动力学的一些结论	385
习题	392

第二十一章 光的量子性

§ 21-1 热辐射和绝对黑体辐射	394
§ 21-2 普朗克的量子假设	397
§ 21-3 光电效应	401
§ 21-4 光的波粒二象性	406
§ 21-5 康普顿效应	408
习题	411

第二十二章 原子结构

§ 22-1 原子的有核模型	413
§ 22-2 原子光谱的规律性	415
§ 22-3 玻尔的氢原子理论	418
§ 22-4 半经典理论的缺陷	423
§ 22-5 德布罗意假设 实物粒子的二象性	425

* § 22-6 量子数	427
* § 22-7 原子的壳层结构 元素周期表	431
习题	434

*第二十三章 激光介绍

§ 23-1 激光的特性	436
§ 23-2 产生激光的基本原理	437
§ 23-3 激光全息照相	443
习题	445

*第二十四章 半导体

§ 24-1 固体的能带	446
§ 24-2 导体 绝缘体和半导体	449
§ 24-3 半导体的导电机理	451
§ 24-4 P-n结	454
习题	455

*第二十五章 原子核和基本粒子

§ 25-1 原子核的组成和核结合能	457
§ 25-2 原子核的衰变	462
§ 25-3 核反应 裂变和聚变	467
§ 25-4 加速器	474
§ 25-5 基本粒子	477
习题	485

习题参考答案

第四篇 电磁学

前面研究了机械运动和分子热运动的基本规律，本篇将讨论电磁运动的基本规律。电磁运动如同机械运动、热运动一样，仍是物质的一种基本运动形式。电磁理论不仅在工程技术上有极广泛的应用，而且在近代物理学上也占据了中心的地位。可以说，各门工程技术专业都与电磁学知识有关，许多物理现象的本质都要用电磁学理论去解释。因此电磁学是物理学中的一个很重要的组成部分。

本篇将从“场”的观点来介绍电场和磁场的基本概念、基本规律和基本计算方法。着重讲述静电场、恒稳磁场和电磁感应，对恒稳电流、麦克斯韦电磁场理论和电磁波只作简单的介绍。

第九章 静电场

静电场是相对于观察者静止的电荷在其周围所激发的电场。静电学主要研究静电场的基本性质和规律，静电场与导体和电介质（绝缘体）的相互作用、相互影响，以及导体和电介质在静电场中的特性等。本章只讨论真空中的静电场，即不考虑静电场对物质或物质对静电场的影响。主要内容有：阐明静电场的两条基本实验定律——库仑定律和场强迭

加原理；从静电场对电荷的力的作用，以及电荷在电场中移动时电场力对电荷做功这两个性质，引入电场强度和电势这两个描述电场性质的重要物理量；反映静电场性质的两个基本定理——高斯定理和环流定理；场强和电势的微分关系。

§ 9-1 静电的基本现象和基本规律

一、电荷

人类对电的认识，是从对摩擦起电的观察开始的。大量实验表明，两种不同材料的物体，例如干燥的丝绸和玻璃棒，毛皮和硬橡胶棒等，当它们互相摩擦后，都能吸引纸屑、羽毛之类的轻微物体。这时，我们说这两种物体已处于带电状态，或者说它们分别带了电荷（简称带电）。处于带电状态的物体称为带电体。带电体吸引轻微物体的能力与其所带电荷的多少有关。量度物体所带电荷数量多少的物理量称为电量，以符号 q 或 Q 表示。习惯上，有时也用电荷一词代表带电体及其所带电荷的数量。

实验表明，自然界中只存在两种电荷，一种与丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷相同，叫做正电荷，以“+”号表示；另一种与毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷相同，叫做负电荷，以“-”号表示。这种关于正、负电荷的规定，最初是由美国物理学家富兰克林提出的，至今已得到国际上的公认。

实验还证明，电荷与电荷之间有相互作用，同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引。排斥力或吸引力的大小与物体所带电量有关。我们可以根据带电体之间作用力的大小来确

定物体所带电量的多少。如图 9-1 所示的金箔验电器，就是根据这个原理制造的。

验电器的玻璃瓶上有一橡皮塞，中间穿一金属杆。杆的上端有一金属球，下端悬挂两叶金箔。当带电体接触金属球时，一部分电荷传到金箔上，两叶金箔因带同号电荷而排斥。金箔张开的角度越大，表示带电体所带电量越多。



图 9-1

二、电荷量子化

为什么摩擦能使物体带电？这个问题是与物质的组成和电结构紧密相关的。大家知道，任何物质都由分子或原子组成。原子又由原子核和绕核运转的电子组成。除氢原子核外，一般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，每个质子所带正电荷与每个电子所带负电荷量值相等。正常情况下，核内质子数与核外电子数总是相等的。所以，原子核所带的正电量总是等于核外电子所带的负电量。就一个原子来说，正负电荷对外的电效应相互抵消，因而使整个物体对外不显电性。这种状态称为“电中性”或“不带电”。当某种外因作用（例如摩擦、静电感应等）破坏了物体电中性状态，使物体（或它的一部分）失去或获得一定数量的电子时，我们就说该物体（或它的一部分）带了电荷。失去电子，物体带正电荷；获得电子，物体带负电荷。所谓物体带电，实质上就是指电子的得失。

在国际单位制中，电量的单位为库仑（符号C）。经实验测定，质子所带电量为 $+e=1.602\times 10^{-19}\text{C}$ ，电子所带电量为 $-e=1.602\times 10^{-19}\text{C}$ 。现有的实验已证明，自然界中任何带电体所带电量 q 的绝对值总是基本电量 e 的整数倍，即 $|q|=ne$ 。这就是说，电量的取值不能连续地变化，只能取基本电量 e 的整数倍。

近代物理学中，把某一物理量不能取连续的量值，而只能取某个最小单元量值的整数倍的性质称为“量子化”。这个最小的量值单元称为“量子”。因此，我们把电荷只能取分立的、不连续的量值的性质，称为电荷的量子化。电量 e 是电荷的最小基元，称为电荷的量子。电荷的量子化正是物体结构具有微粒性的反映。

应该指出，在本章以后各节中，当我们研究宏观带电体的静电特性时，不再涉及物质微观的电结构。把带有大量电荷的物体简单认为是带电体，并且忽略电荷的量子性，把任何一个带电体的电量当作可以取任意值来考虑。

三、电荷守恒定律

由摩擦起电的实验可以证明，当两种物体相互摩擦后，一种物体必定带正电荷，另一种必定带负电荷。而且正、负电荷总是同时出现、量值相等。其原因在于通过摩擦，使一种物体失去了电子，另一种物体获得了电子，因而前者带正电荷，后者带负电荷。相反，如果使带等量异号电荷的导体相接触时，带负电的导体上的电子将跑到带正电的导体上，从而使这两个导体正、负电荷中和，对外不再显电性。任何使物体带电的过程，就是使正负电荷分离的过程。但在这个过程中，正负电荷量值的代数和始终不变，总是为零。这就

是说，电荷既不能被创造，也不能被消灭。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。在一个与外界不发生电荷交换的孤立系统中，不论发生任何物理过程，系统的电荷的代数和保持不变，这条规律称为电荷守恒定律（又称电量守恒定律）。

这条定律是自然界中的守恒定律之一，不论在宏观现象或微观领域中都是普遍适用的。

四、库仑定律

前面已经指出，电荷之间存在着相互作用。一般说来，带电体之间的相互作用力的大小不仅与带电体的形状、大小有关，还与它们之间的距离以及周围的导体、电介质的存在有关。现在我们先研究最简单的情况，即研究真空中带电体的相互作用。如果带电体本身的几何线度比起它到其他带电体的距离小得多，这时，带电体的形状、大小对带电体之间的相互作用力的影响可以忽略不计，而只决定于带电体所带电量以及它们之间的距离。也就是说，把带电体所带电量看成是集中在一个几何“点”上。我们称这种带电体为点电荷。显然，只有把两个带电体看成是点电荷时，它们之间的距离才有确定的意义。点电荷是带电体的理想模型，正如力学中把宏观物体抽象为“质点”模型一样。点电荷只具有相对的意义。一个物体是否可以看作点电荷，必须根据具体情况决定。

1785年，法国物理学家库仑用实验方法对点电荷间的相互作用力进行了定量测定，总结出了点电荷之间相互作用所遵循的基本规律：

真空中两个点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力的大小，与

它们的电量 q_1 、 q_2 的乘积成正比，而与它们之间的距离 r 的平方成反比；作用力的方向沿它们之间的连线，同号电荷相斥，异号电荷相吸。这就是库仑定律，其数学表达式为：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

图9-2所示，如果以 $\vec{r}$ 表示由 q_1 到 q_2 的矢径，若 q_1 对 q_2 的作用力为 $\vec{F}$ ，根据牛顿第三定律， q_2 给 q_1 的作用力为 $-\vec{F}$ ，库仑定律可写成矢量形式：

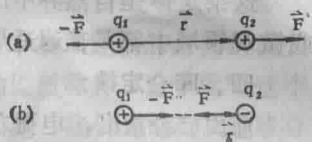


图 9-2

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (9-1)$$

式中 $\vec{r}_0$ 表示沿 $\vec{r}$ 方向的单位矢量，即 $\vec{r}_0 = \frac{\vec{r}}{r}$ 。应当指出，无论 q_1 、 q_2 为正为负，上式都适用。当 q_1 、 q_2 同号时，如图9-2 (a) 所示， $\vec{F}$ 与 $\vec{r}$ 同向，表示 q_2 受到 q_1 的排斥力。当 q_1 、 q_2 异号时，如图9-2 (b) 所示， $\vec{F}$ 与 $\vec{r}$ 方向相反，表示 q_2 受到 q_1 的吸引力。

k 为比例系数，其量值和单位由式中各物理量的量值和单位决定。在国际单位制中， k 值由实验确定为：

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

$$\approx 9.00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

为了简化其他电磁学公式，常用比例系数 ϵ_0 代替 k ， k 和 ϵ_0 的关系为：

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

式中 ϵ_0 叫做真空中的介电常数，是电学中的一个重要常数。

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

这样，真空中库仑定律的矢量式可写成：

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (9-2)$$

尽管引入 ϵ_0 后，库仑定律的形式显得复杂些，多出了因子 4π ，但由此导出的其它电学公式却不再出现 4π ，因此这种形式是有利的。

应当指出，不论是真空中的宏观带电体或微观带电粒子，只要它们满足“点电荷”的假设，式(9-2)都是适用的。若计算任意带电体之间的相互作用力，则不能直接应用式(9-2)。

例题9-1 在氢原子中，已知电子和原子核之间的距离 $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{m}$ ，电子的质量为 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ，氢原子核(质子)质量为 $M = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ 。试比较氢原子内电子和原子核之间的静电力和万有引力。

解 由于原子核和电子的直径都在 10^{-15}m 以下，远小于它们之间的距离 r ，可把它们视为点电荷。由库仑定律可计算出它们之间的静电引力为：

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \\ &\approx 8.2 \times 10^{-8} \text{N} \end{aligned}$$

而电子和原子核之间的万有引力大小为：