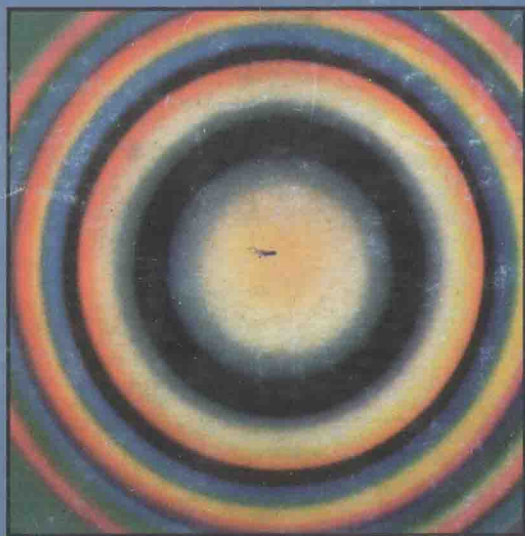


普通物理学

下 册

主编：刘守操 王德秋

主审：何宝鹏



华南理工大学出版社

普通物理学

下册

主 编	刘守操	王德秋
副主编	余高荣	王宁星
主 审	何宝鹏	

华南理工大学出版社
· 广 州 ·

内 容 简 介

本书由主导教材(上、下册)和学习指导书组成。上册内容包括力学、振动和波、波动光学、分子物理学和热力学,下册包括电磁学和近代物理。学习指导书是为使用本书的教师和学生编写,有重点难点释疑、解题分析、题目训练等。

本书可作为高等工科院校、高等师范院校和综合性大学非物理类专业的普通物理学教材,也可供各类大专院校学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学(下册)/刘守操,王德秋主编. —广州:华南理工大学出版社,1996. 5

ISBN 7-5623-1080-7

I. 普…

II. ①刘… ②王…

III. 普通物理学

IV. O59

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮码:510641)

责任编辑 张巧巧

华南农业大学印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 12.75 字数 343 千

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—6 000

定价:11.50 元

前 言

教材是课堂教学的主要依据，是保证教学质量的重要条件。本书是作者按照非物理专业需要面广的特点以及当前教材现代化的要求，结合多年来物理课程教学的经验，吸取国内外多种教材的优点编写而成。本书具有如下特点：

1. 本书符合国家教委 1993 年颁发的《高等工业学校物理课程教学基本要求》（修订讨论）（以下简称《基本要求》）。本书在注重物理学完整的基本概念和物理图象的同时，注意加强能力培养。本书由主导教材和学习指导书组成。主导教材分上、下两册，以满足一般高等院校物理学教学两学期安排的要求。学习指导书重点是对疑难问题释疑、解题分析、题目训练以及部分知识的延拓。

2. 本书起点较高，一般对中学物理已讨论过的内容不作简单的重复，在内容的取舍上注意实验事实以及物理学内部规律的演绎，要求学生具有变量的概念和初等微积分知识，能运用高等数学解简单的微分方程。

3. 为了便于组织教学，在内容安排上我们作了有别于其他教材的一些调整，例如把波动光学移放在振动和波之后、电磁波之前讲授。这样做，一方面是使两个学期的物理课内容分量相当，另一方面是便于建立完整的振动、波动物理图象。实践证明，波动光学完全可以在中学物理介绍过的电磁学和原子物理的基础上讲授。

4. 本书注意加强近代物理内容的教学。为了使高等院校非物理专业学生获得一个清晰的近代物理（包括狭义相对论和量子力学基础）概念，本书注意介绍近代物理规律的内在联系、特点以及技术应用，而不过分叙述近代物理的发展过程。

5. 为了照顾部分专业的需要，增加了一些《基本要求》未列

入的内容,例如力学中增加了流体力学,这些内容对化学、化工、建筑、地理、水利等专业是必须的。又如在电磁学中增加了交流电的简单介绍,这对于不设电工学课程的学生是必须的。这些内容,供使用本书的教师灵活掌握。

6. 为了提高学生逻辑思维、形象思维和解题技巧,本书习题方面,设置了选择题、填空题和计算题。这些题目都是精选的,物理概念清晰,要求使用一定的数学方法,有助于提高读者的兴趣和开拓思维。

本书在编写过程中参考了许多国内出版的物理学教材,吸收了他们的许多宝贵经验,也得到编者所在院校(湛江师范学院、广州师范学院、广东工业大学、华南师范大学)的教师和领导的热情支持,并为本书提出宝贵意见,在此一并表示深切谢意。

参加本书编写的有:刘守操(第一、十八、十九、二十、二十一章)、范仰才(第二、十一章)、洪锦华(第三章)、梁伦凯(第四章)、林国淙(第五、六章)、蔡起涛(第七、八章)、王德秋(第九、十、十五、十六章)、王宁星(第十二章)、余高荣(第十三章)、马改(第十四章)、朱伟忠(第十七章)。

全书由华南师范大学物理系何宝鹏教授主审。

编者

一九九六年三月

目 录

第五篇 电磁学

第十二章 静电场	(1)
§ 12-1 库仑定律 电场强度	(2)
§ 12-2 高斯定理	(9)
§ 12-3 电场力的功 电位	(17)
§ 12-4 电位面 电位梯度	(26)
§ 12-5 静电场中的导体	(29)
§ 12-6 电容 电容器	(37)
§ 12-7 静电场中的电介质	(42)
§ 12-8 电场的能量	(52)
* § 12-9 铁电体 压电效应	(55)
* § 12-10 静电的应用	(58)
习 题	(61)
第十三章 稳恒电流	(69)
§ 13-1 电流 电流密度	(69)
§ 13-2 欧姆定律 焦耳定律	(72)
§ 13-3 电源 电动势	(77)
§ 13-4 直流电路的计算	(79)
* § 13-5 电容器的充电与放电	(86)
* § 13-6 金属的电性质	(89)
习 题	(95)

第十四章	电流的磁场	(99)
§ 14-1	磁感应强度	(99)
§ 14-2	毕奥-沙伐尔定律	(105)
§ 14-3	安培环路定理	(115)
§ 14-4	变化电场产生的磁场	(121)
§ 14-5	磁场对载流导体的作用	(124)
§ 14-6	磁场对运动电荷的作用	(132)
§ 14-7	带电粒子在电场磁场中运动的应用	(137)
习 题		(142)
第十五章	磁介质	(152)
§ 15-1	磁介质及其磁化	(152)
§ 15-2	磁化强度	(157)
§ 15-3	铁磁质	(160)
§ 15-4	铁磁材料的分类与应用	(165)
习 题		(169)
第十六章	电磁感应	(172)
§ 16-1	电磁感应定律	(172)
§ 16-2	动生电动势	(176)
§ 16-3	感生电动势	(180)
§ 16-4	电磁感应原理的应用	(184)
§ 16-5	自感	(189)
§ 16-6	互感	(194)
§ 16-7	磁场能量	(199)
* § 16-8	单相交流电路	(202)
习 题		(216)
第十七章	电磁场和电磁波	(225)
§ 17-1	麦克斯韦方程组	(225)
§ 17-2	电磁波的辐射和传播	(228)
§ 17-3	赫兹实验	(236)

§ 17-4 电磁波谱 微波技术	(239)
习 题	(243)

第六篇 近代物理学基础

第十八章 狭义相对论基础	(247)
--------------------	-------

§ 18-1 经典力学的时空观和困难	(247)
§ 18-2 爱因斯坦狭义相对论假设 洛伦兹变换	(251)
§ 18-3 狭义相对论速度变换	(258)
§ 18-4 狭义相对论效应	(261)
§ 18-5 相对论质量 动量和能量	(267)
习 题	(277)

第十九章 量子物理学基础	(281)
--------------------	-------

§ 19-1 黑体辐射 普朗克假设	(282)
§ 19-2 光电效应 光子	(288)
§ 19-3 康普顿散射	(293)
§ 19-4 玻尔氢原子理论	(297)
§ 19-5 物质波	(305)
§ 19-6 波函数 波函数的统计解释	(309)
§ 19-7 不确定性关系	(311)
§ 19-8 薛定谔方程及其简单应用	(316)
§ 19-9 氢原子的量子力学处理 四个量子数	(324)
§ 19-10 原子的壳层结构	(334)
* § 19-11 原子核基础	(336)
* § 19-12 基本粒子概念	(347)
习 题	(353)

* 第二十章 固体能带结构简介	(359)
-----------------------	-------

§ 20-1 固体的能带结构	(359)
§ 20-2 导体 半导体和绝缘体的能带结构	(364)
§ 20-3 半导体的导电机构	(366)

* 第二十一章 激光基础	(371)
§ 21-1 激光的特性和激光器	(371)
§ 21-2 激光产生的机理	(374)
§ 21-3 激光技术的新应用	(379)
习 题 答 案	(384)
附录 A 常用物理基本常数	(393)
附录 B 常用物理量的单位	(394)
附录 C 元素周期表	(396)

第五篇 电磁学

电磁学是研究电磁现象规律及其应用的一门科学，主要讨论电磁场的规律及物质的电学与磁学性质，是许多工程技术和科学研究的基础。与力学、光学和热学一样，电磁学的研究方法也是从实验事实出发，建立基本概念，总结基本规律，然后再把规律和定理应用于一些典型的实例。但电磁学也有自己的特点。读者在学习本篇时首先要明确现在的研究对象是分布在空间的场；我们在研究电磁场的性质、场与场源的关系以及电场与磁场的联系。这一研究对象决定了本篇特有的描述方法、规律表达方式、分析解决问题的思路等。

第十二章 静 电 场

静电场是相对于观察者静止的电荷产生的电场。本章首先从库仑定律出发，通过电场对电荷作用的电场力及电荷在电场中移动时电场力对电荷作的功，来研究静电场的基本性质和规律；再讨论静电场与导体及电介质的相互作用和影响，并研究电容器及电场的能量；最后简介一些静电技术的应用。

§ 12-1 库仑定律 电场强度

一 库仑定律

真空中两静止点电荷间的相互作用力所服从的基本规律称为库仑定律，它包括下面两方面内容：

(1) 相互作用力的大小与它们的电量 q_1 及 q_2 成正比，与它们之间的距离 r 的平方成反比；

(2) 相互作用力的方向相反，沿着它们的连线。同号电荷相斥，异号电荷相吸。

用式子表示为：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0$$

$$\text{或} \quad F = k \frac{q_1 q_2}{r^3} r \quad (12-1)$$

式中 r 为从施力者到受力者的矢径， r_0 为 r 的单位矢径，即 $r_0 = \frac{r}{r}$ ，如图 12-1 所示。

比例系数 k 取决于式中各量的单位。在国际单位制中，由实验测得

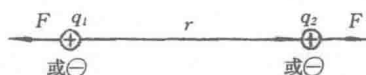
$$k = 8.988 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

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

为了处理问题的方便，常将 k 写成：

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

ϵ_0 称为真空的介电系数，（介电系数亦称电容率），即



(a) 同号电荷相斥



(b) 异号电荷相吸

图 12-1 两点电荷间相互作用力的方向

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

由此库仑定律可表示为：

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (12-2)$$

点电荷间相互作用力亦称库仑力或静电力。

二 电场

在力学中我们遇到的拉力、压力、摩擦力等，是物体间直接接触的作用力。那么带电体之间的静电力是靠什么作用的呢？对于这个问题历史上有过长期的争论，一种观点认为这种作用既不需要媒介亦不需要时间，是电荷间直接作用的，称为“超距作用。”用图式表示为

甲电荷 $\rightleftharpoons$ 乙电荷

另一种观点认为这种作用是近距的，是通过一种充满空间的弹性媒质“以太”来传递的。

近代物理学的发展证明，电磁作用的传递需要时间。尽管由于其传递速度极大（约为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ）因而传递时间极短，但并非不需要时间。而近距作用的“以太”实际上是不存在的。人们逐渐认识到电荷之间的相互作用是通过一种不同于原子、分子组成的实物那样的物质来传递，这种物质称为电场。电荷周围存在电场，其他电荷受到的电性力是电场给予的。具体说，甲电荷周围存在由它激发（或称产生）的电场，乙电荷放在其中将受到电场的作用力。同样，乙电荷周围亦存在着由它激发的电场，此电场亦将对甲电荷产生作用。用图式表示为

甲电荷 $\begin{matrix} \rightarrow \text{电场 (甲)} \rightarrow \\ \leftarrow \text{电场 (乙)} \leftarrow \end{matrix}$ 乙电荷

电荷对电场的作用力称为电场力。前面提及的电性力（或称静电力、库仑力）本质上就是电场力。

静电场是电磁场的一种简单的特例，它的重要对外表现有：

(1) 能对场中的电荷施加作用力；

(2) 能对场中移动的电荷做功。

人们正是根据这些对外表现来描述静电场的。

三 电场强度

要定量研究静电场的性质，首先要引入能确切描述它的物理量。如前所述，静电场的一个重要表现是它能对电荷施加作用力，我们就可根据这一点描述电场。

为此，在电场中放入一电荷 q_0 （称试验电荷），测量电场对它的作用力。但要注意，试验电荷 q_0 必须满足两个条件：

(1) 电量必须足够小。因 q_0 本身也会激发一个电场，只有 q_0 足够小，使它对原电场的影响可忽略；

(2) 几何线度必须足够小。即为一电荷，才能较准确地确定场中各点的性质。

实验表明，将试验电荷放入电场中不同点时， q_0 所受的电场力 F 是逐点不同的。但对电场中某一给定点（称为场点）而言，

$\frac{F}{q_0}$ 为一确定值，它与 q_0 本身无关，说明该比值能反映各场点的强弱，故定义电场强度（简称场强） E 为

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (12-3)$$

上式表明，电场中某场点的电场强度等于单位正电荷在该点所受的电场力。

在国际单位制中，力的单位是 N（牛顿），电量的单位是 C（库仑），所以电场强度的单位是 $N \cdot C^{-1}$ （牛顿·库仑⁻¹）。

由式（12-3）还可得任一点电荷在某场点中所受的电场力为

$$F = qE \quad (13-4)$$

四 场强叠加原理

若电场是由若干个电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ (称为点电荷系) 共同产生的, 实验表明, 这时试验电荷在某场点所受的电场力等于各个点电荷单独存在时作用在 q_0 上的电场力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的矢量和, 即

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n \quad (12-5)$$

这就是电场力叠加原理。

上式两边除以 q_0 即得该场点的场强

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{\mathbf{F}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{F}_2}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{F}_n}{q_0} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (12-6)$$

上式说明, 点电荷系中任一场点的场强等于各个点电荷单独存在时在该点产生的场强矢量和。这一结论, 称为场强叠加原理, 是静电场的基本性质之一。根据这一原理, 可求出任一带电系统产生的电场。

五 场强的计算

1 点电荷的场强

设真空中有一点电荷 q , 若将试验电荷 q_0 放在距离 q 为 r 的 P 点处, 则 q_0 所受的电场力为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \mathbf{r}$$

根据电场的定义式, 可得 P 点的场强:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \mathbf{r} \quad (12-7)$$

显然, $q > 0$ 时, $\mathbf{E}$ 与 $\mathbf{r}$ 同方向; $q < 0$ 时, $\mathbf{E}$ 与 $\mathbf{r}$ 反向, 如图 12-2 所示。

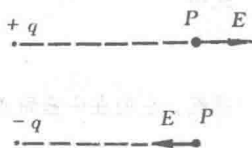


图 12-2 场强的方向

2 点电荷系的场强

设真空中有一点电荷系 $q_1, q_2, \dots, q_n$, 由场强叠加原理式 (12-6) 可得某场点 P 的总场强为

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^3} \mathbf{r}_i \quad (12-8)$$

式中 $\mathbf{r}_i$ 为 q_i 到 P 点的矢径。

例 12-1 一对等量异号点电荷 $+q$ 和 $-q$, 相距 l , 求两点电荷联线的中垂面上的任一点 A 的场强。设联线中点 O 到 A 点的距离为 r , 且 $r \gg l$, 如图 12-3 所示。

解 一对等量异号点电荷, 且 l 远小于所讨论的场点到它们的距离 r 时, 这样的带电系统称为电偶极子。

电偶极子是一个重要的物理模型, 在研究电介质极化、电磁波的发射等问题中都要用到。若以 l 表示从负电荷到正电荷的矢径, 定义

$$\mathbf{p} = ql$$

$\mathbf{p}$ 称为电偶极矩 (简称电矩), 它是表征电偶极子性质的物理量。

如图所示, 由场强叠加原理可得

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_+ + \mathbf{E}_-$$

式中

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + (l/2)^2}$$

显然, 它们在中垂面方向上的分量相互抵消, 所以 A 点的总场强的量值为

$$E = 2E_+ \cos\alpha$$

而

$$\cos\alpha = \frac{l/2}{\sqrt{r^2 + (l/2)^2}}$$

代入得

$$\begin{aligned} E &= 2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2 + (l/2)^2} \frac{l/2}{\sqrt{r^2 + (l/2)^2}} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{[r^2 + (l/2)^2]^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

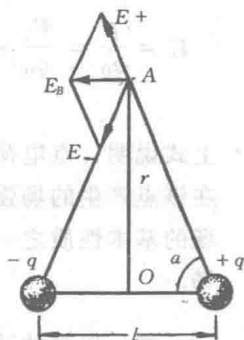


图 12-3 电偶极子中垂线上的场强

因 $r \gg l$, 得

$$E \approx \frac{ql}{4\pi\epsilon_0 r^3} = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

方向与 $\mathbf{P}$ 相反。

3 任意带电体的场强

设真空中有一任意带电体, 其电荷连续分布, 可认为该带电体是由许多无限小的电荷元 dq 组成, 每个电荷元 dq 都可视为点电荷, 它在任一场点 P 产生的场强为 dE , 按 (12-7) 式有

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^3} \mathbf{r}$$

根据场强叠加原理, 整个带电体在 P 点产生的场强可用积分计算, 为

$$\mathbf{E} = \int d\mathbf{E} = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} \quad (12-9)$$

具体计算时, 要将矢量积分化为标量积分, 通常是写出 dE 在 x 、 y 、 z 三个坐标轴上的分量式, 分别进行积分计算, 再求合成矢量 $\mathbf{E}$ 。

例 12-2 如图 12-4 所示, 设真空中有一均匀带电棒, 长为 l , 所带总电量为 q , 求距离棒中点 O 垂直距离为 a 的 P 点的场强。

解 取如图所示的坐标系。在棒 x 处取一线元 dx , dx 上的电量为 $dq = \lambda dx$, 其中 $\lambda = \frac{q}{l}$ 为电荷线密度。那么 dq 在 P 点产生的场强为

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dx}{a^2 + x^2}$$

方向如图所示 (设 $\lambda > 0$)。把 dE 分解为 x 方向和 y 方向的分量。由于电荷分布的对称性, P 点场强的 x 分量成对地互相抵消, 故总场强为所有 y 方向分量的总和:

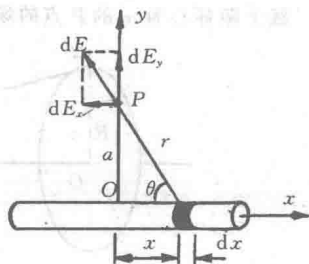


图 12-4 均匀带电细棒的场强

$$E = E_y = \int dE_y = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} dE \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}}$$

因对称性, 只需对半根细棒积分, 即

$$\begin{aligned} E &= 2 \int_0^{\frac{l}{2}} dE \sin \theta = 2 \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{\lambda dx}{4\pi\epsilon_0(a^2 + x^2)} \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}} \\ &= \frac{\lambda a}{2\pi\epsilon_0} \int_0^{\frac{l}{2}} \frac{dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\lambda a}{2\pi\epsilon_0} \frac{x}{a^2(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \Big|_0^{\frac{l}{2}} \\ &= \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \frac{l/2}{\sqrt{a^2 + (l/2)^2}} \end{aligned}$$

讨论:

(1) 当 $l \gg a$ 时, 细棒可视为无限长, 上式中取 $l \rightarrow \infty$ 的极限值, 得:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \quad (12-10)$$

(2) 当 $a \gg l$ 时, 可得:

$$E = \frac{\lambda l}{4\pi\epsilon_0 a^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$$

与点电荷的场强公式相同。式 (12-10) 为一常用公式。

例 12-3 如图 12-5 所示, 电荷 q 分布在以 R 为半径的圆环上, 求环的轴线上距环心为 x 的 P 点的场强。

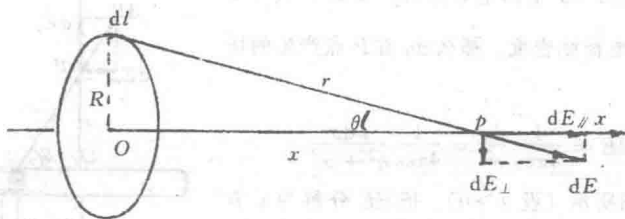


图 12-5 电力线

解 取环的轴线为 x 轴, 在环上取线元 dl , 则它所带电荷为 $dq = \lambda dl = \frac{q}{2\pi R} dl$, dq 在 P 处产生的场强 dE 的大小为