

PHYSICS

职工高校试用教材

● (下)

物理学



河南科学技术出版社

BY HENAN

SCIENTIFIC AND TECHNICAL PUBLISHING HOUSE

河南省物理学会职工大学教学委员会编
河南省教育委员会 审定

1989

职工高等学校试用教材

物 理 学

下 册

河南省物理学会职工大学教学工作委员会 编

河南省教育委员会 审定

河南科学技术出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教育委员会颁发的“职工高等工业专科学校普通物理学教学大纲(草案)”编写的。编写中考虑到职大、夜大的教学特点,本书力求重点突出,内容精练,并注意保持全书的科学性和系统性。全书分上、下两册。上册包括力学、气体分子运动论和热力学基础,下册包括电磁学、机械振动、机械波、波动光学和近代物理简介。各章配有思考题和习题。全书采用国际单位制。

本书经河南省教育委员会审定,可作为职工大学、夜大学工科各专业普通物理课教材,也可以作为其它工科大专学校教学用书及中等专业学校教学参考书。

职工高校试用教材

物理学(下)

河南省物理学会职工大学教学工作委员会编

河南省教育委员会审定

责任编辑 刘嘉

河南科学技术出版社出版

河南兰考印刷厂印刷

河南科技出版社

850×1168毫米32开本10.5印张245千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 1—6000册

ISBN7-5349-0603-2/G·603

定价: 4.35元

前 言

职工高等教育是培养“四化”建设人才的重要途径，教材建设是培养合格人才的重要手段。为了满足职工高等教育的需要，我们根据“职工高等工业专科学校普通物理教学大纲（草案）”的要求，编写了职工大学工科各专业适用的物理学教材。

在本书的编写中，考虑到职工高校学员的特点和实际情况，力求贯彻少而精和理论联系实际的基本原则，加强对基本概念、基本理论的阐述。内容精练，重点部分的叙述力求详尽，清晰易懂，系统连贯。同时，注意保持全书的科学性和系统性。

全书分为上、下两册，上册为力学、气体分子运动论和热力学基础；下册为电磁学、机械振动、机械波、波动光学和近代物理简介。全书采用国际单位制。为了便于自学及加深对基本内容的理解和巩固，加强对分析问题和解决问题能力的培养，本书配有相应的学习辅导书。

本书适合于职工大学、~~专科学校~~工科各专业使用，也可以做为函授和其它工科大学物理教材和中等专业学校教学参考书。

本书下册由刘述~~州~~、~~州~~市职工大学任主编，吴正容（黄河职工大学）任副主编。参加编写工作的有：贺宗国（焦作大学）、张旭~~州~~（河南~~省~~建筑职工大学）、汪进（黄河职工大学）、张应贵（~~河南~~工业职工大学）、周永龙

(洛阳轴承厂职工大学)、康广平(郑州磨料磨具职工大学)、吴忠义(开封职工大学)。

在本书编写过程中,得到了省教委成人教育教材教学教研室和河南省物理学会的大力支持和协助;省教委陈志勇同志对书稿作了审阅。同时,得到全省各职工大学的热情支持。在此一并致以深切的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,恳望读者批评指正。

本书由郑州大学时庆云副教授主审。

编 者

1989.10.15于郑州

目 录

第八章 静电场	(1)
1. $\sqrt{\S 8-1}$ 电荷 库仑定律	(1)
$\S 8-2$ 电场 电场强度	(4)
$\S 8-3$ 电通量 高斯定理	(13)
$\S 8-4$ 高斯定理的应用	(19)
$\S 8-5$ 电场力的功 电势能	(23)
$\uparrow \S 8-6$ 电势	(26)
2. $\sqrt{\S 8-7}$ 等势面 场强与电势的关系	(31)
思考题	(35)
习 题	(37)
第九章 静电场中的导体和电介质	(42)
2. $\sqrt{\S 9-1}$ 静电场中的导体	(42)
1. $\sqrt{\S 9-2}$ 静电场中的电介质介电常数与介电常数	(48)
2. $\sqrt{\S 9-3}$ 电容器的电容	(55)
1. $\sqrt{\S 9-4}$ 电场的能量 能量密度	(61)
思考题	(64)
习 题	(65)
第十章 稳恒电流	(70)
2. $\sqrt{\S 10-1}$ 电流密度 欧姆定律的微分形式	(70)
1. $\sqrt{\S 10-2}$ 电源 电动势	(75)
$\uparrow \S 10-3$ 全电路和一段含源电路的欧姆定律	(78)
思考题	(83)
习 题	(84)

第十一章 电流与磁场	(86)
1. §11-1 磁场 磁感应强度	(86)
§11-2 磁感应线磁通量 磁场中的高斯定理	(88)
§11-3 毕奥—萨伐尔—拉普拉斯定律	(91)
§11-4 安培环路定律	(96)
§11-5 磁场对电流的作用力	(100)
§11-6 磁场对运动电荷的作用力 洛伦兹力	(106)
2. §11-7 介质中的磁场	(109)
思考题	(116)
习 题	(121)
第十二章 电磁感应 电磁场	(127)
1. §12-1 电磁感应的基本定律	(127)
§12-2 动生电动势 感生电动势	(133)
2. §12-3 自感和互感	(138)
§12-4 磁场的能量	(144)
§12-5 麦克斯韦电磁理论的基本概念	(148)
§12-6 电磁波和电磁波谱	(153)
思考题	(155)
习 题	(157)
第十三章 机械振动	(162)
1. §13-1 简谐振动	(162)
§13-2 描述谐振动的基本物理量	(163)
§13-3 谐振动的旋转矢量表示法	(172)
§13-4 谐振动的能量	(175)
§13-5 谐振动的合成	(177)
§13-6 阻尼振动 受迫振动 共振	(182)
思考题	(184)
习 题	(186)
第十四章 机械波	(190)

§14—1	机械波的产生和传播	(190)
§14—2	描述波动的基本物理量	(194)
§14—3	平面简谐波的波动方程	(196)
§14—4	波的能量与能流	(208)
§14—5	惠更斯原理 波的衍射	(211)
§14—6	波的叠加原理 波的干涉 驻波	(218)
思考题		(232)
习 题		(233)
第十五章 波动光学		(237)
§15—1	光波 相干光	(237)
§15—2	杨氏双缝实验 洛埃镜	(239)
§15—3	光程和光程差 薄膜干涉	(244)
§15—4	劈尖 牛顿环	(249)
§15—5	光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	(257)
§15—6	单缝衍射	(260)
§15—7	衍射光栅	(266)
§15—8	自然光 偏振光 马吕斯定律	(270)
§15—9	反射光和折射光的偏振 双折射现象	(275)
思考题		(279)
习 题		(281)
第十六章 狭义相对论简介		(285)
§16—1	经典时空观	(285)
§16—2	狭义相对论的基本原理	
	狭义相对论的时空观	(288)
§16—3	相对论中的质量和能量	(292)
思考题		(295)
习 题		(296)
第十七章 量子理论的基本概念		(297)
§17—1	黑体辐射和普朗克的量子假设	(297)

§17—2	光电效应 光子.....	(306)
§17—3	卢瑟福的原子有核模型.....	(308)
§17—4	原子光谱的实验规律.....	(311)
§17—5	玻尔的氢原子理论.....	(314)
§17—6	实物粒子的波粒二象性.....	(321)
思考题		(327)
习 题		(327)

第八章 静 电 场

电磁运动是自然界中物质的另一种基本运动形式。从本章开始，我们将研究电磁运动的规律。相对观察者静止的电荷所激发的电场称为静电场，研究静电场是认识电磁运动规律的基础。本章研究真空中静电场的性质及其有关规律，其主要内容有：描述静电场的物理量——电场强度和电势，静电场所遵循的基本规律——高斯定理和环流定理，电场强度和电势之间的关系。

§ 8—1 电 荷 库仑定律

一、电 荷

大量实验证明，自然界中只存在着两种电荷，一种是正电荷，用“+”号表示；另一种是负电荷，用“-”号表示。要认识物质为什么会带电，就需要了解物质的电结构。

物质是由原子组成的。原子是由原子核和绕核运动的电子组成。原子核由质子和中子组成。中子不带电，质子带正电，电子带负电，且质子和电子所带电荷的数值相等，其值为

$$e=1.602 \times 10^{-19} \text{ 库仑 (C)}$$

在正常状态下，每个原子中的质子数和电子数相等，其电荷的代数和(即总电量)为零，呈电中性，整个宏观物体也呈电中性。如果由于某种原因，使物体内的一些原子失去或获得

电子，则物体内的电子总数和质子总数不再相等而成为带电状态，失去电子的物体带正电，获得电子的物体带负电。

摩擦起电的实验表明，使物体带电的过程，就是使物体中原有的正负电荷分离或转移的过程。一个物体失去一些电子，必有其它物体获得这些电子。电荷既没有被创造也没有被消灭。通过大量的实验事实，人们总结了如下规律：

在一个与外界没有电荷交换的孤立系统中，不论发生什么变化，系统的正负电荷的代数和总保持不变。这就是电荷守恒定律。

电子所带电荷的量值 e ，是迄今为止所测量到的最小电量单元，一切宏观物体或其它微观粒子的电荷都是 e 的整数倍。这种电荷的不连续性称为电荷的量子化。在研究宏观电现象时，由于所遇到的电荷量要比基本电荷量 e 大得多，使得电荷的量子化显示不出来，这时可以认为电荷的变化是连续的。

二、点电荷 真空中的库仑定律

大量的观察和实验表明，电荷之间存在着作用力，这种作用力不仅与带电体的形状、大小、所带电荷及它们的相对位置有关，而且与带电体周围的介质有关。为了讨论的方便，我们首先研究真空中的点电荷之间的相互作用规律。

点电荷是一个理想的模型。在讨论某些具体问题时，如果带电体的形状和大小可以忽略不计，这时可以用一个点来表示它的位置，而认为这个点上集中了带电体的全部电量，这样的带电体就称为点电荷。一个带电体能否被看成是点电荷，是根据具体情况决定的。例如在研究两个带电体相互作

用时，如果某一带电体的线度比这两个带电体之间的距离小得多时，它就可以近似地被看作点电荷。但若研究这个带电体上的电荷分布情况时，就不能再把它看作点电荷了。

1785年，法国物理学家库仑通过定量的实验研究，首先总结出真空中点电荷之间相互作用的规律，即库仑定律。其表述如下：

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 q_1 和 q_2 的乘积成正比，与它们之间的距离 r 的平方成反比，作用力的方向在两点电荷的连线上，同号电荷间为斥力，异号电荷间为引力。

q_1 和 q_2 之间作用力的大小可表示为：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (8-1)$$

如图8—1所示，若用 $\mathbf{r}_0$ 表示由 q_1 至 q_2 的矢径 $\mathbf{r}$ 上的单位

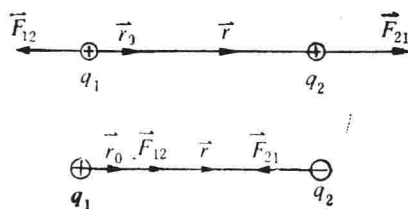


图8—1

矢量，那么电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 $\mathbf{F}$ 为

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0 \quad (8-1a)$$

从图上可看出，当 q_1 和 q_2 同号时， $\mathbf{F}$ 和 $\mathbf{r}_0$ 同向， q_2 受到 q_1 的排斥，即同号电荷间为斥力。当 q_1 和 q_2 异号时， $\mathbf{F}$ 和 $\mathbf{r}_0$ 反向， q_2 受到 q_1 的吸引力，即异号电荷间为引力。

(8—1) 或和 (8—1a) 式中的 k 为比例系数，它的数值

和单位决定于 F 、 r 、 q 各量的单位。在国际单位制中， F 的单位为牛顿(N)， r 的单位为米(m)， q 的单位为库仑(C)，则

$$k = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

为了使电磁学的其他常用公式的形式简单一些，通常引入另一个常数 ϵ_0 来表示 k ，即

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

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ，称为真空介电常数。这样，(8—1)式和(8—1a)式又可分别表示为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (8-2)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 \quad (8-2a)$$

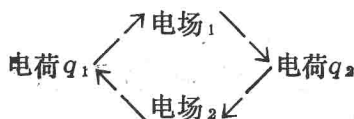
必须指出，真空中的库仑定律只能用于研究真空中点电荷之间的相互作用，在计算任意带电体之间的相互作用时，不能直接应用。

§ 8—2 电场 电场强度

一、电场

物体之间的相互作用存在两种情况，一种是通过彼此直接接触而进行的，另一种是借助于它们之间的其它物质来传递。电荷之间的相互作用就属于后一种。在任何电荷的周围都存在着一种特殊的物质——电场，它是物质存在的另一种形式。电场的一个重要属性就是对处于其中的电荷施以作用力，这种力称为电场力。电荷之间的相互作用就是通过电场

传递的。其作用机理可用如下模式表示：



即电荷 q_1 所产生的电场₁对处于其中的电荷 q_2 施以作用力；反之电荷 q_2 产生的电场₂又对 q_1 施以作用力。

二、电场强度

如上所述，电场的基本性质之一是它对处于其中的电荷有电场力的作用。根据这种属性，我们不仅可以用试验电荷来检验电场是否存在，而且也可以判别电场中空间各点（场点）状况的差异。为了定量研究的需要，我们使用的试验电荷应满足如下条件：①它所带的电荷量足够小，这样将它引入被测电场中后，所引起的原有电场分布的变化可以忽略不计；②它的体积很小，即可以将它视为点电荷。只有这样，我们才能用它来检验电场中某一点原来电场的状况。

实验表明，若在电场中某一给定点放置试验电荷，它所受的电场力 F 的大小正比于试验电荷的电量 q_0 ， F 的方向随 q_0 的符号而异，即对于给定的场点，比值 F/q_0 具有确定的大小和方向。若改变场点，比值 F/q_0 一般也随之改变。从而表明，比值 F/q_0 与试验电荷 q_0 无关，而是只与试验电荷所在处的电场状况有关的量。因此，我们可以把比值 F/q_0 作为描述电场性质的物理量，称之为电场强度，简称场强，用 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (8-3)$$

从上式可以看出：电场中某点的电场强度，在数值上等

于单位正电荷在该点所受力的大小，场强的方向与正电荷在该点所受电场力的方向一致。

在国际单位制中，场强的单位为牛顿/库仑 ($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$) 或伏特/米 ($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$)。

由场强的定义式 (8—3) 可知，电量为 q 的点电荷在场强为 E 的场点所受的电场力为

$$F = qE \quad (8-4)$$

三、电场强度的计算

1. 点电荷电场的场强

如图8—2所示， Q 为真空中一静止的点电荷， P 为其电

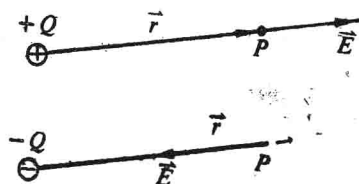


图8—2

场中的任意一点，由 Q 至 P 点的矢径为 r ，若将试验电荷 q_0 置于 P 点，根据库仑定律， q_0 所受的电场力为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_0}{r^2} r_0$$

由 (8—3) 式可得 P 点的场强为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} r_0 \quad (8-5)$$

上式表明，点电荷 Q 在任一点 P 所产生的场强 E 的大小与该点电荷的电量成正比，与 P 点到该点电荷的距离的平方成

反比。场强的方向与场源电荷 Q 的正负有关，当 Q 为正电荷时， E 与 r 同向，当 Q 为负电荷时， E 与 r 反向。

2. 点电荷系电场的场强 场强叠加原理

若真空中某点 P 的场强是由多个点电荷 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 共同产生的，那么怎样计算 P 点的场强呢？

实验表明，试验电荷 q_0 在该点 P 所受的合力为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n$$

式中 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ 分别为 $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 单独存在时 q_0 所受的力。根据场强的定义，可得 P 点的场强为

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{\mathbf{F}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{F}_2}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{F}_n}{q_0}$$

即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum \mathbf{E}_i \quad (8-6)$$

上式表明，在点电荷系所激发的电场中，任一点的场强都等于各个点电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和。这一结论称为场强的叠加原理。

例1 如图8—3所示，一对等量异号电荷 $+q$ 和 $-q$ 相距为 l ，求两点电荷连线的中垂线上任一点 P 的场强。

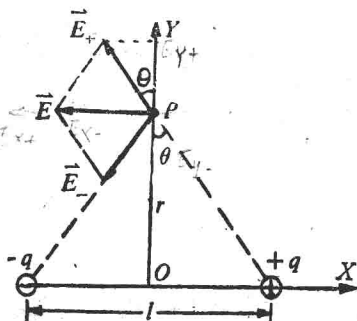


图8—3

解 建立如图8—3所示的坐标系 XOY ，用 E_+ 和 E_- 分别表示 $+q$ 和 $-q$ 在 P 点产生的场强，则其大小为

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

由图可知， E_+ 和 E_- 在 X 方向的分量大小相等，方向一致，都沿 X 负方向；在 Y 方向的分量大小相等，方向相反。故

$$E_x = E_{+x} + E_{-x} = 2E_{+x} = 2E_+ \sin\theta$$

$$E_y = E_{+y} + E_{-y} = 0$$

又 $\sin\theta = \frac{l/2}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}$

所以 E 的大小为

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

E 的方向沿 X 轴的负方向。

当 $r \gg l$ 时，这样的一对点电荷所构成的电荷系称为电偶极子，其中 l 叫电偶极子的轴，它是矢量，规定它的方向由 $-q$ 指向 $+q$ 。 ql 叫电偶极矩，用 p 表示。对电偶极子，因 $r \gg l$ 所以

$$E = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3}$$

在实际问题中，许多带电系统可以等效为一个电偶极子，例如，组成物质的分子或原子，都带有等量的异号电