

邮 电 中 等 函 授 试 用 教 材

物 理

下 册

北 京 邮 电 函 授 学 院 编

人 民 邮 电 出 版 社



目 录

第三篇 电磁学基础

第一章 静电场	2
第一节 库仑定律	4
第二节 静电场 电场强度 电力线	8
第三节 电势能 电势 电势差	14
第四节 匀强电场中电势差和电场强度的关系	22
第五节 带电粒子在匀强电场中的运动	24
第六节 静电场中的导体	30
第七节 静电场中的电介质 介电常数	34
第八节 电容器 电容	38
第九节 电场的能量	42
第十节 静电在科学技术上的应用	43
本章小结	45
自我检查题	49
习题	52
第二章 直流电	56
第一节 电流	58
第二节 一段电路的欧姆定律	60
第三节 电流的功和功率 焦耳-楞次定律	63
第四节 电阻的串联和并联	66
第五节 电源电动势 全电路欧姆定律	74
第六节 电池的串联和并联	83
第七节 惠斯通电桥	86

第八节 温差电现象及其应用	89
本章小结	91
自我检查题	96
习题	101
第三章 磁场	108
第一节 磁场	109
第二节 磁感应强度 磁通量	114
第三节 磁场对直线电流的作用力	118
第四节 磁电式仪表的工作原理	122
第五节 磁场对运动电荷的作用力	125
本章小结	134
自我检查题	136
习题	138
第四章 电磁感应	141
第一节 电磁感应现象	143
第二节 感生电流的方向 楞次定律	146
第三节 感生电动势和法拉第电磁感应定律	150
第四节 自感	156
第五节 互感	162
第六节 涡流	166
本章小结	168
自我检查题	170
习题	174
第五章 电磁振荡与电磁波	178
第一节 电磁振荡	179
第二节 电磁场和电磁波	184
第三节 电磁波的发射	189
第四节 电磁波的接收	194
第五节 传真、电视、雷达简介	198

本章小结	203
自我检查题	205
习题	205

第四篇 光学基础

第一章 几何光学基础	208
第一节 光的反射	209
第二节 光的折射	220
第三节 光的全反射	227
第四节 棱镜和透镜	231
第五节 透镜成象	236
本章小结	246
自我检查题	248
习题	249
第二章 物理光学基础	252
第一节 光的干涉	254
第二节 光的衍射	260
第三节 光的电磁本性	262
第四节 光的色散	262
第五节 红外线和紫外线	267
第六节 伦琴射线	268
第七节 电磁波谱	270
第八节 光电效应	271
第九节 光的量子性	275
第十节 光的二象性 粒子的二象性	279
第十一节 原子光谱	283
第十二节 光谱分析	286
第十三节 原子能级	288
第十四节 原子对能量的吸收和发射	289

第十五节 激光	291
本章小结	298
自我检查题	301
习题	302

第五篇 原子核物理基础知识

第一节 天然放射现象	307
第二节 放射线的探测	312
第三节 原子核的人工分裂	314
第四节 原子核的组成	318
第五节 原子核的结合能	322
第六节 重核的裂变 链式反应	327
第七节 轻核的聚变 热核反应	332
第八节 基本粒子	335
本篇小结	338
自我检查题	341
习题	342
附录 I 物理实验	345
附录 II 国际单位制 (SI)	356
附录 III 常用的物理恒量	358
习题答案	359

第三篇 电磁学基础

电磁学是研究电磁现象及其规律的一门科学。它是物理学的重要组成部分。

电磁现象是一种非常普遍的自然现象，从日常生活、工农业生产到现代科学技术都与电磁现象有密切关系。作为通信设备的电话、电报、雷达、电视以及作为能源的发电机、原子能发电站等，都和电磁学有关。还由于电能便于远距离输送和自动控制，且易于转换为其他形式的能量，从而使得工业自动化成为可能。

电磁学及其应用对人类的影响十分巨大，电力工业和电子技术是现代化生产和生活的重要基础。电磁学理论是人们探索客观世界的有力武器。所以，我们现在学习的电磁学知识是非常重要的。

第一章 静 电 场

本章主要讨论静止电荷产生的电场——静电场的各种特性，以及导体在静电场中的电学性质。这些内容是研究电磁现象的重要基础，也是学习后面各章的准备。

目的要求

1. 掌握库仑定律、能够计算点电荷之间的相互作用力。
2. 了解电场的概念、理解电场强度和电势这两个描述电场的重要物理量，前者表示电场具有力的性质，后者表示电场具有能量。掌握电场强度的定义式和单位，掌握匀强电场的特点。
3. 了解电场力做功的特征，理解电势能、电势、电势差的概念。掌握匀强电场中场强和电势差的关系。
4. 掌握带电粒子在匀强电场中的运动规律。
5. 了解导体处于静电场中的电学性质。掌握静电屏蔽的原理及应用。
6. 深入掌握描述导体本身电学特性的物理量——电容的含义。掌握平板电容器的计算公式。
7. 初步了解电介质的极化和电场的能量问题。

学习方法

1. 本章重点：
 - (1) 库仑定律的内容和有关计算。
 - (2) 描述电场的两个重要物理量——电场强度和电势的含

义，计算方法以及它们之间的关系。

(3) 导体电容的概念和平行板电容器的计算方法。

2. 电磁学里有多种单位制度，根据国际和国内的有关规定，本书采用国际单位制 (SI)，其它单位制请参看附录 II。

3. 应用库仑定律公式计算时，既可代入电荷的正、负号，也可以只取电荷的绝对值。在采用第一种方法时要注意计算出来的力的正号或负号，只表示斥力或引力，不表示力在空间的方向。求合力时，不能按力的正负值直接进行加减，而应按力的矢量法则求和。

4. 电场强度的概念是根据库仑定律，设想检验电荷在电场中的受力情况，经过分析推理而得出的。后面很多章节中的物理概念都是采取类似的方法建立的。

要注意区别 $E = \frac{F}{q_0}$ 和 $E = K \frac{Q}{\epsilon r^2}$ 两个公式的意义。前者是场强的定义式， q_0 为检验电荷的电量；后者是点电荷在空间某点的电场强度， Q 是场源的电量。

电力线是为了使电场形象化而假想的线，它是描述电场的一种手段。

匀强电场是最简单的但也是最重要的电场。

5. 电场力做功与电荷所经路径无关，这个概念可与重力场中重力做功与路径无联系起来理解。

6. **电势是标量**。在计算几个点电荷在空间某点所产生的电势 $V = K \frac{Q}{\epsilon r}$ 时，是用代数和的方法。电势的数值只具有相对的意义，与选取零电势的参考点有关。至于电势的正或负，在选取无穷远处为零电势参考点时，完全取决于产生电场的电荷 Q 的正或负。若是正电荷则在某点处产生正电势；反之，则产生负电势。

7. 场强 E 与电势差 U 之间的关系式 $E = \frac{U}{d}$ 很重要, 是一个基本公式。

8. 电容不是描述电场的物理量, 而是描述导体本身特性的物理量。

要注意区别 $C = \frac{Q}{U}$ 和 $C = \frac{\epsilon s}{4\pi k d}$ 两个公式。前者适用于所有电容器; 后者只适用于平板电容器。

一般所说的“电容器所带电量”, 是指“一个极板上所带的电量”。

9. 无极分子和有极分子的电极化过程不同, 但极化的结果是一样的。介电系数是描述电介质极化的重要物理量。

第一节 库仑定律

一、电荷 电荷量子化

我们已经知道, 自然界的电荷只有两种, 即正电荷和负电荷, 同种电荷互相排斥, 异种电荷互相吸引。

物体所带电荷的量值叫**电量**。常用符号“ Q ”或“ q ”表示。在国际单位制^①(SI)中, 电量的单位为库仑, 中文代号为库, 国际代号为“C”。例如电子带有最小的负电荷、质子带有最小的正电荷, 它们的电量的绝对值相等。测量电子电量的实验指出, 一个电子的电量

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

实验还证明, 任何带电体所带电量总是电子或质子所带电量 e

注① 电磁学里有多种单位制度, 相互关系比较复杂。本书统一使用国际单位制。

的整数倍， e 就叫做**基本电荷**，即 $q = ne$ 。这里 n 是正整数， e 的值为 1.60×10^{-19} 库仑。这说明电量不能连续变化，只能取基本电荷的整数倍值。电荷的这种只取分立的、不连续的量值的性质，叫做**电荷的量子化**。

电荷的量子化是自然界一个普遍的规律。由于基本电荷的电量很小，在我们研究的电磁学中，将带电体当作可以具有任意量值的电量来处理是完全可以的。所以在今后的讨论中，将不去考虑电荷的量子化问题。

二、电荷守恒定律

大量的实验事实证明：**电荷不能被创造，也不能被消灭；它只能从一个物体转移到另一个物体，或是从物体的一部分转移到物体的另一部分。也就是说，在参与电荷交换的物体间，无论进行怎样的物理过程，它们电量的代数和总是保持不变。这条规律称为电荷守恒定律。**

电荷守恒定律是物理学中的一条基本定律。这个定律可以由物质的电结构理论得到很好的解释。因为物质的原子是由带正电的原子核和带负电的核外电子组成。在正常状态下，正电荷和负电荷数量相等，对外表现为中性不带电状态。由于摩擦静电感应等原因，使一个物体失去部分电子而带正电，另一物体必然获得部分电子而带负电，并且其数量相等。所以电荷总是守恒的。

三、库仑定律

带电体之间作用力的定量的研究，最早是由法国科学家库仑在 1785 年通过扭秤实验总结出来的。库仑实验的结果指出：**在真空中两个点电荷间的作用力跟它们的电量的乘积成正比，**

跟它们间的距离的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上。这就是库仑定律。其数学表达式为

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

式中 K 为比例系数，其值与式中各量的单位有关。在国际单位制中，其值由实验测得为： $K=9 \times 10^9$ 牛顿·米²/库仑²。这个数值相当于两个各带 1 库仑电量的点电荷相距 1 米时，它们之间的作用力。

注意，上式中当 q_1 和 q_2 是同种电荷相作用时， F 为正，表示排斥力；当 q_1 和 q_2 是异种电荷相作用时， F 为负，表示吸引力。公式 (1-1) 只适用于真空中点电荷相互作用的情况。而所谓“点电荷”是指带电物体的几何线度远小于它们之间的距离 r ，这样，带电物体的大小，可以认为是一个几何的点，它们的几何形状和电荷的分布情况可以不必考虑。

【例题 1-1】两个点电荷在空气中的距离是 10 厘米，其电量分别是 2×10^{-8} 库仑和 -3×10^{-8} 库仑，求它们的相互作用力 $F = ?$ 如果它们之间的距离增加 1 倍，求它们的相互作用力 $F' = ?$

【解】 已知 $q_1 = 2 \times 10^{-8}$ 库仑， $q_2 = -3 \times 10^{-8}$ 库仑，
 $r = 10$ 厘米 $= 10^{-1}$ 米； $r' = 2r$

由公式 (1-1) 得：

$$\begin{aligned} F &= K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-8} \times (-3 \times 10^{-8})}{(10^{-1})^2} \\ &= -5.4 \times 10^{-4} \text{ 牛顿} \end{aligned}$$

计算结果 F 为负值，说明 q_1 和 q_2 之间为吸引力。

又因为 $F \propto \frac{1}{r^2}$ 所以当 $r' = 2r$ 时，

$$F' = \frac{F}{4} = \frac{-5.4 \times 10^{-4}}{4} = -1.35 \times 10^{-4} \text{ 牛顿}$$

【例题 1-2】 计算氢原子中电子和原子核间的静电作用力与万有引力的比值。已知氢原子核的质量 $m_1 = 1.67 \times 10^{-27}$ 千克，电子的质量 $m_2 = 9.1 \times 10^{-31}$ 千克，二者间的距离 $r = 5.3 \times 10^{-11}$ 米，二者所带电量为： $q_1 = e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑， $q_2 = -e = -1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。

【解】 (1) 静电作用力为

$$F_e = K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (-1.6 \times 10^{-19})}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= -8.2 \times 10^{-8} \text{ 牛顿。}$$

式中负号表示此力为一静电吸引力。

(2) 万有引力为

$$F_m = G_0 \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times$$

$$\times \frac{(1.6 \times 10^{-27}) \times (9.1 \times 10^{-31})}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 3.6 \times 10^{-47} \text{ 牛顿}$$

式中 G 为万有引力恒量，在国际单位制中， $G_0 = 6.67 \times 10^{-11}$ 牛顿米²/克²。

(3) 静电力与万有引力的比值为

$$\frac{F_e}{F_m} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.6 \times 10^{-47}} = 2.3 \times 10^{39}$$

由此可见，在原子中电子和原子核间的静电引力比起万有引力要大得多。所以在研究带电粒子间的相互作用时，经常把万有引力忽略不计。

第二节 静电场 电场强度 电力线

一、静 电 场

和一个物体的周围存在着引力场相似，电荷的周围也存在着一种电场。电荷间的相互作用就是通过电场实现的。例如， A 和 B 两个电荷相互作用时， A 电荷受到 B 电荷的作用，实际上是 B 电荷的电场对 A 电荷的作用。同样， B 电荷受到 A 电荷的作用，实际上也是 A 电荷的电场对 B 电荷的作用。在这里我们仅讨论静止电荷产生的电场，这种电场叫做**静电场**。

静电场有两个重要的物理性质：

(1) 位于电场中的任何带电物体，都要受到该处电场所施的电场力的作用。

(2) 带电物体在电场力的作用下移动时，电场力要对它做功，这表明电场具有能量。它说明了电场的物质性。

下面我们将从力和能这两个方面、分别引出描述电场性质的两个重要物理量——电场强度和电势。

二、电 场 强 度

用实验方法检验空间任何一点有无电场，只要将一个带电体放在那一点即可，倘若这个带电体受到电场力的作用，那么在该点就有电场存在。为了使量度精确，这个带电体所带的电量应足够小，不致影响原来电场的情况；带电体的几何线度要足够小，可以看作是点电荷，使它所在的检验的地方可以看作是电场中的一点，在这一点处的电场可以看作是均匀的，这个带电体就叫做**检验电荷**。为了使电场具有确定的方向，规定检

验电荷必须是正电荷，用符号 $+q_0$ 表示。

如图 1-1 所示，是一个正电荷 Q 所产生的电场，在这个电场中 a 、 b 、 c 、 d 等各点上，依次放同一个检验电荷 $+q_0$ 来进行探测它所受的力的大小和方向。我们发现，检验电荷 $+q_0$ 在 a 、 b 、 c 、 d 各点所受的力 F_a 、 F_b 、 F_c 、 F_d 等是不相同的，这表明电场中各点的性质是不同的。

对于电场中同一点 a 来说，当改变检验电荷的电量，使它等于 $2q_0$ 、 $3q_0$ …… nq_0 时，根据库仑定律 $F = K \frac{Qq_0}{r^2}$ 可知，检

验电荷在该点所受的电场力，也将变为 $2F_a$ 、 $3F_a$ …… nF_a ，由此可知，检验电荷所受的力 F 和它的电量 q_0 的比值 $\frac{F}{q_0}$ ，对电场中某一定的点来说，是一个跟放入该点的检验电荷无关的恒量。即

$$\frac{F_a}{q_0} = \frac{2F_a}{2q_0} = \frac{3F_a}{3q_0} = \dots = \frac{nF_a}{nq_0}$$

显而易见，力 F 与检验电荷 q_0 的比值 F/q_0 ，正反映了在电荷 $+Q$ 所产生的电场中某点的力的性质。电场中不同的点，这个比值一般是不同的。对于同一检验电荷，在比值大的点，电荷 $+q_0$ 受的电场力也大，表明该点的电场强，反之，电场则弱。

为了表明电场中各点电场的强弱和方向，我们引入一个物理量——电场强度。简称场强。用符号 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-2)$$

上式中，若 $q_0 = +1$ ，则 $E = F$ ，可见，电场中某点的场

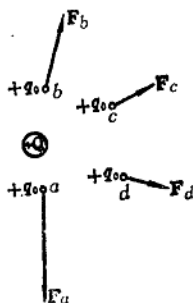


图 1-1 检验电荷 $+q_0$ 在电场中不同点上受力不同

强在数值上等于放在该点的单位正电荷所受的力，场强的方向和力的方向一致。所以场强是一个矢量。把正电荷在某点受的电场力的方向规定为该点电场强度的方向。

电场强度的大小和方向是由电场本身的客观性质决定的。与是否有检验电荷以及检验电荷的电量多少无关，引入检验电荷的目的，只是为了量度某点的场强。

在国际单位制中，场强的单位是牛顿/库仑(场强的另一个单位是伏特/米)。即电场中的某一点，如果1库仑的点电荷在该点受到电场作用力是1牛顿，则这点的场强就是1牛顿/库仑。

如果知道了电场中某点的场强 E ，那么电荷 q 在该点所受的电场力就是

$$F = qE \quad (1-3)$$

当 q 为正电荷时，电场力 F 与场强 E 同方向。当 q 为负电荷时，电场力 F 与场强 E 反方向。

从上面公式(1-1)与(1-2)式可以推知，点电荷 Q 在真空中形成的电场中，在距离 Q 为 r 的 A 点的场强 E 的大小为

$$E = K \frac{Q}{r^2} \quad (1-4)$$

当 Q 为正电荷时， E 的方向就沿着 QA 的连线背向 Q ；当 Q 为负电荷时， E 的方向就沿着 QA 连线而指向 Q ，如图1-2所示。

注意公式(1-2)与(1-4)式虽然都表示电场中某点的场强，但它们的含义不同，(1-2)式是场强的定义式，对任何电场都适用，(1-4)式是点电荷在真空中的电场中场强的计算式，只适用于点电荷在真空中的电场。

如果有几个点电荷同时存在，它们的电场就互相叠加，形成合电场。这时某点的场强、就等于各个点电荷在该点产生的

场强的矢量和。

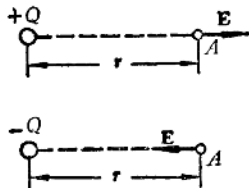


图 1-2 场强的方向

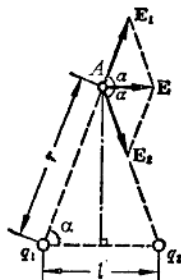


图 1-3 合场强

【例题 1-3】 两个点电荷相距 0.2 米，它们所带电量分别为 3×10^{-7} 库仑和 -3×10^{-7} 库仑，求两点电荷连线的中垂线上，且与它们相距 0.3 米的 A 点处的场强？

【解】 按题意作图 1-3

已知： $l = 0.2$ 米， $r = 0.3$ 米， $q_1 = 3 \times 10^{-7}$ 库仑， $q_2 = -3 \times 10^{-7}$ 库仑

根据公式 (1-4)，点电荷 q_1 、 q_2 在 A 点产生的场强数值为

$$E_1 = E_2 = K \frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-7}}{(0.3)^2} = 3 \times 10^4 \text{ 牛顿/库仑}$$

两点电荷在 A 点产生的合场强为

$$E = 2 E_1 \cos \alpha = 2 E_1 \frac{l/2}{r} = 2 \times 3 \times 10^4 \times \frac{0.1}{0.3}$$

$$= 2 \times 10^4 \text{ 牛顿/库仑}$$

方向如图所示向右。

三、电 力 线

对电场的研究，重要的是知道电场中各点场强的大小和方

向。为了形象地描绘电场，引入了电力线的概念。在电场中，电力线是假想的，线上任一点的切线方向，就是该点的场强方向，如图 1-4 所示。在一般情况下，场强的方向逐点不同，所

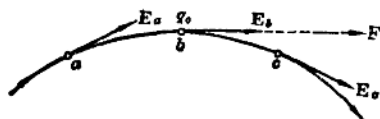


图 1-4 用电力线表示电场

以电力线通常是曲线。

图 1-5 表示几种不同情况的电力线的形状。

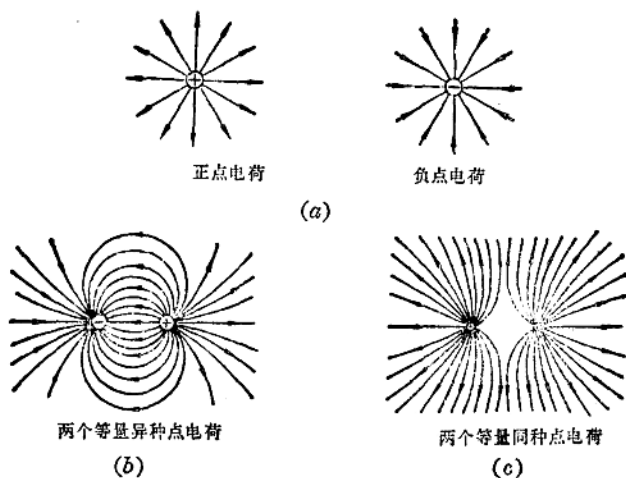


图 1-5 几种点电荷的电力线

以上各图中，任一点的合场强方向都是沿着通过该点的电力线的切线方向。

从图 1-5 中可以看出静电场电力线的性质：(1) 它是从正