

高等学校教材

根据程守洙、江之永主编《普通物理学》（第五版）改编而成

普通物理学简明教程

下 册

胡益新 汤毓骏



高等教育出版社

高等学校教材

根据程守洙、江之永主编《普通物理学》(第五版)

改编而成

普通物理学简明教程

下 册

胡盘新 汤毓骏

高等教育出版社

内容提要

本书是在程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第五版)的基础上根据《高等院校工科本科大学物理教学基本要求》编写而成的,本书紧扣《教学基本要求》,在保持原书风格、特色、体例的前提下,删繁就简、突出重点、由浅入深、强化方法,力求更加易教易学,以适应广大院校教学改革的需要。书中所选内容均为《教学基本要求》中的必学内容,部分选学内容以加*号用小字排印。由于本书内容是《普通物理学》(第五版)的核心内容,故与《普通物理学》(第五版)配套使用的辅助教材同样适用于本书。

本书分上、下两册出版,上册包括力学和热学,下册包括电磁场理论和量子物理。本书可作为高等院校工科各专业 80~110 学时大学物理基础课程的教材,也可供其他有关专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学简明教程. 下册 / 胡盘新, 汤毓骏.

北京:高等教育出版社,2004 (2006 重印)

ISBN 7-04-012973-6

I. 普... II. ①胡... ②汤... III. 普通物理学 - 高等学校 - 教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 093472 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.75
字 数 480 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004 年 1 月第 1 版
印 次 2006 年 2 月第 4 次印刷
定 价 26.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 12973-00

本书中主要物理量的名称、符号和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
电流	I	安[培]	A	I	
电荷量	Q, q	库[仑]	C	TI	
电荷线密度	λ	库[仑]每米	C/m	$L^{-1}TI$	
电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	C/m^2	$L^{-2}TI$	
电荷体密度	ρ	库[仑]每立方米	C/m^3	$L^{-3}TI$	
电场强度	E	伏[特]每米	V/m 或 N/C	$LMT^{-3}I^{-1}$	1 V/m = 1 N/C
电势	V, φ	伏[特]	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电势差、电压	U	伏[特]	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电容率	ϵ	法[拉]每米	F/m	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	
真空电容率	ϵ_0	法[拉]每米	F/m	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	
相对电容率	ϵ_r	—	1	1	
电偶极矩	p, p_e	库[仑]米	C·m	LTI	
电极化强度	P	库[仑]每平方米	C/m^2	$L^{-2}TI$	
电极化率	χ_e	—	1	1	
电位移	D	库[仑]每平方米	C/m^2	$L^{-2}TI$	
电位移通量	Ψ	库[仑]	C	TI	
电容	C	法[拉]	F	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	1 F = 1 C/V
电流密度	$J(j)$	安[培]每平方米	A/m^2	$L^{-2}I$	
电动势	$\mathcal{E}$	伏[特]	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电阻	R	欧[姆]	Ω	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	1 Ω = 1 V/A
电导	G	西[门子]	S	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	1 S = 1 A/V
电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	
电导率	γ	西[门子]每米	S/m	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	
功率	P	瓦[特]	W	L^2MT^{-3}	
磁感应强度	B	特[斯拉]	T	$MT^{-2}I^{-1}$	1 T = 1 Wb/m ²
磁导率	μ	亨[利]每米	H/m	$LMT^{-2}I^{-2}$	
真空磁导率	μ_0	亨[利]每米	H/m	$LMT^{-2}I^{-2}$	
相对磁导率	μ_r	—	1	1	
磁通量	Φ	韦[伯]	Wb	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	1 Wb = 1 V·s
磁化强度	M	安[培]每米	A/m	$L^{-1}I$	
磁化率	χ_m	—	1	1	
磁场强度	H	安[培]每米	A/m	$L^{-1}I$	
磁矩	m	安[培]平方米	$A \cdot m^2$	L^2I	

续表

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
自感	L	亨[利]	H	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$	1 H = 1 Wb/A
互感	M	亨[利]	H	$L^2 M T^{-2} I^{-2}$	
电场能量	W_e	焦[耳]	J	$M L^2 T^{-2}$	
磁场能量	W_m	焦[耳]	J	$M L^2 T^{-2}$	
电磁能密度	w	焦[耳]每立方米	J/m^3	$M L^{-1} T^{-2}$	
折 射 率	n	—	1	1	
光 程 差	δ	米	m	L	
辐[射]出[射]度	M	瓦[特]每平方米	W/m^2	$M T^{-3}$	
单色辐出度	M_λ	瓦[特]每立方米	W/m^3	$L^{-1} M T^{-3}$	
单色吸收比	α_λ	—	1	1	
斯忒藩—玻耳兹曼常量	σ	瓦[特]每平方米四次方开[尔文]	$W/(m^2 \cdot K^4)$	$T^{-3} M \Theta^{-4}$	
维恩常量	b	米开[尔文]	$m \cdot K$	$L \Theta$	米·开
逸 出 功	ϕ, A	焦[耳]	J	$L^2 M T^{-2}$	常用电子伏[特](eV)为单位
康普顿波长	λ_c	米	m	L	
普朗克常量	$h, \hbar = h/2\pi$	焦[耳]秒	J·s	$L^2 M T^{-1}$	
概率密度	$\psi\psi^*$	每立方米	m^{-3}	L^{-3}	
主量子数	n	—	1	1	
副量子数	l	—	1	1	
磁量子数	m_l	—	1	1	
自旋量子数	s	—	1	1	
自旋磁量子数	m_s	—	1	1	
质 量 数	A	—	1	1	
电 荷 数	Z	—	1	1	
里德伯常量	R_∞	每米	m^{-1}	L^{-1}	

目 录

第三篇 电 磁 场

第十章 静电场	2
§ 10-1 电荷 库仑定律	2
§ 10-2 电场 电场强度	7
§ 10-3 高斯定理	19
§ 10-4 静电场的环路定理 电势	27
§ 10-5 等势面 电场强度与电势梯度的关系	33
§ 10-6 带电粒子在静电场中的运动	38
§ 10-7 静电场中的导体	40
§ 10-8 空腔导体内外的静电场	44
§ 10-9 电容器的电容	47
§ 10-10 电介质及其极化	52
§ 10-11 电介质中的静电场	57
§ 10-12 有电介质时的高斯定理 电位移	58
§ 10-13 电荷间的相互作用能 静电场的能量	62
*§ 10-14 铁电体 压电体 永电体	66
思考题	68
习 题	71
阅读材料 D 静电现象的应用	77
第十一章 恒定电流的磁场	81
§ 11-1 恒定电流	81
§ 11-2 磁感应强度 磁场的高斯定理	86
§ 11-3 毕奥-萨伐尔定律	91
§ 11-4 安培环路定理	98
§ 11-5 带电粒子在磁场中所受作用及其运动	104
§ 11-6 磁场对载流导线的作用	112
§ 11-7 磁力的功	118
§ 11-8 磁介质 顺磁质和抗磁质的磁化	121
§ 11-9 有磁介质时的安培环路定理 磁场强度	126
§ 11-10 铁磁质	130

思考题	137
习 题	139
阅读材料 E 磁效应及其应用	147
第十二章 电磁感应	152
§ 12-1 电磁感应定律	152
§ 12-2 动生电动势	158
§ 12-3 感生电动势 感生电场	166
§ 12-4 自感和互感	170
*§ 12-5 电感和电容电路的暂态过程	175
§ 12-6 磁场的能量	181
思考题	184
习 题	187
第十三章 电磁场和电磁波	193
§ 13-1 位移电流	193
§ 13-2 麦克斯韦方程组	198
§ 13-3 电磁场的物质性	201
§ 13-4 电磁波	202
思考题	213
习 题	214
第十四章 波动光学	216
第一部分 光的干涉	217
§ 14-1 光源 单色光 相干光	217
§ 14-2 双缝干涉	221
§ 14-3 光程与光程差	224
§ 14-4 薄膜干涉——等倾条纹	227
§ 14-5 薄膜干涉——等厚条纹	231
§ 14-6 迈克耳孙干涉仪	238
第二部分 光的衍射	241
§ 14-7 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	241
§ 14-8 单缝的夫琅禾费衍射	243
§ 14-9 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	247
§ 14-10 光栅衍射	252
§ 14-11 X射线的衍射	260
第三部分 光的偏振	262
§ 14-12 自然光和偏振光	262
§ 14-13 起偏和检偏 马吕斯定律	264
§ 14-14 反射和折射时光的偏振	266
§ 14-15 光的双折射	269

§ 14-16 偏振光的干涉	272
*§ 14-17 人为双折射	273
*§ 14-18 旋光现象	276
思考题	280
习 题	284
阅读材料 F 全息照相技术	289

第四篇 量子物理

第十五章 早期量子论和量子力学基础	297
§ 15-1 热辐射 普朗克的量子假设	297
§ 15-2 光电效应 爱因斯坦的光子理论	307
§ 15-3 康普顿效应	313
§ 15-4 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	317
§ 15-5 德布罗意波 波粒二象性	323
§ 15-6 不确定度关系	329
§ 15-7 波函数 薛定谔方程	332
§ 15-8 势阱中的粒子 势垒 谐振子	336
§ 15-9 量子力学中的氢原子问题	345
§ 15-10 电子的自旋 原子的电子壳层结构	350
思考题	356
习 题	358
第十六章 激光和固体的量子理论	361
§ 16-1 激光	361
§ 16-2 固体的能带结构	369
§ 16-3 半导体的导电机制	374
§ 16-4 超导电性	378
思考题和习题	387
阅读材料 G 液晶	388
习题答案	395

第三篇 电 磁 场

人类对电磁现象的接触和认识是非常早的。最初曾认为电现象和磁现象是互不相关的,直到 1819 年奥斯特发现了电流对磁针的作用,1820 年安培发现了磁铁对电流的作用,才开始认识到电和磁的关系。1831 年,法拉第发现电磁感应定律,使人们对电和磁的关系有了更为深刻的认识。法拉第最先提出电场和磁场的观点,认为电力和磁力两者都是通过场起作用的。麦克斯韦在前人成就的基础上,于 1865 年建立了系统的电磁场理论,并指出光是一种电磁波——在空间传播的交变电磁场,使光学成为电磁场理论的组成部分。本篇主要介绍电场和磁场的一些基本特性,以及电场和磁场对宏观物体(即实物)的作用和相互影响。在电磁波的介绍中,除说明其基本性质和特征外,还对波动光学作重点介绍。

第十章

静 电 场

相对于观察者为静止的电荷所激发的电场,称为静电场。在本章我们先研究真空中静电场的基本特性,并从电场对电荷有力的作用,以及电荷在电场中移动时电场力将对电荷做功这两个方面,引入描述电场的两个重要物理量:电场强度和电势。同时介绍反映静电场基本性质的电场强度叠加原理、高斯定理和电场强度环路定理,并讨论电场强度和电势两者之间的积分形式的关系和微分形式的关系。其次,简单介绍电荷在静电场中所受作用及其运动情况。最后,研究导体和电介质中的静电场。

§ 10-1 电荷 库仑定律

一、电荷

人们对于电的认识,最初来自人为的摩擦起电现象和自然界的雷电现象。例如,公元3世纪,晋朝张华的《博物志》中就记载着:“今人梳头、解著衣,有随梳解结,有光者,亦有咤声。”这里记载了摩擦起电引起闪光和噼啪之声。据目前所知,这是世界上关于摩擦起电的较早的记录。事实上,两个不同质料的物体,例如丝绸和玻璃棒,经互相摩擦后,都能吸引羽毛、纸片等轻微物体。这表明两个物体经摩擦后,处于一种特殊状态,我们把处于这种状态的物体称为**带电体**,并说它们分别带有**电荷**。

实验证明,物体所带的电荷有两种,而且自然界也只存在这两种电荷。为了区别起见,分别称为**正电荷**和**负电荷**。带同号电荷的物体互相排斥,带异号电荷的物体互相吸引,这种相互作用称为**电性力**。电性力随电荷的异号或同号有吸引与排斥之分。根据带电体之间的相互作用力的强弱,我们能够确定物体所带电荷的多寡。表示物体所带电荷多寡程度的物理量称为**电荷量**,用符号 q (或 Q)表示。正电荷的电荷量取正值,负电荷的电荷量取负值。

二、电荷守恒定律

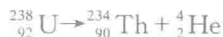
为什么摩擦可使物体带电?这可根据物质的电结构加以说明。我们知道,

常见的宏观物体(实物)都由分子、原子组成,而任何元素的原子都由一个带正电的原子核和一定数目的绕核运动的电子所组成,原子核又由带正电的质子和不带电的中子组成。每一个质子所带正电荷量和电子所带负电荷量是等值的,通常用 $+e$ 和 $-e$ 来表示(参看表 10-1)。在正常情况下,原子内的电子数和原子核内的质子数相等,从而整个原子呈电中性。由于构成物体的原子是电中性的,因此,通常的宏观物体将处于电中性状态,物体对外不显示电的作用,当两种不同质料的物体相互紧密接触时,有一些电子会从一个物体迁移到另一个物体上去,结果使两物体都处于带电状态。因此所谓起电,实际上是通过某种作用破坏了物体的电中性状态,使该物体内电子不足或过多而呈带电状态。

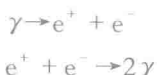
表 10-1 电子、质子和中子的电荷量和质量

	电 荷 量 /C	质 量 /kg
电 子(e)	$1.602\ 177 \times 10^{-19}$	$9.109\ 389 \times 10^{-31}$
质 子(p)	$1.602\ 177 \times 10^{-19}$	$1.672\ 623 \times 10^{-27}$
中 子(n)	0	$1.674\ 928 \times 10^{-27}$

实验证明,无论是摩擦起电的过程,还是其他方法使物体带电的过程,正负电荷总是同时出现的,而且这两种电荷的量值一定相等。当两种等量的异号电荷相遇时,则互相中和,物体就不带电了。由此可见,当一种电荷出现时,必然有相等量值的异号电荷同时出现;一种电荷消失时,也必然有相等量值的异号电荷同时消失。在一个与外界没有电荷交换的系统内,无论进行怎样的物理过程,系统内正、负电荷量的代数和总是保持不变,这就是由实验总结出来的电荷守恒定律,是物理学中的基本定律之一。随着近代物理学的不断发展,这个定律在微观物理过程中得到了精确验证。例如在下列典型的放射性衰变过程中



具有放射性的铀核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 含有 92 个质子,它的原子序数 $Z=92$ 。此铀核自发发射 $Z=2$ 的一个 α 粒子(即 ${}_2^4\text{He}$),而蜕变为 $Z=90$ 的钍核 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 。在这个过程中,蜕变前的电荷量总和($+92e$)就与蜕变后的电荷量总和相同。又如,一个高能光子在重核附近可以转化为电子偶(一个正电子和一个负电子),光子的电荷量为零,电子偶的电荷量的代数和也为零;反之,电子偶也能湮没为光子,湮没前后,电荷量的代数和仍相等。其反应可表为



至于在宏观带电体中的起电、中和、静电感应和电极化等现象中,其系统所带电荷量的代数和也保持不变,电荷守恒定律也是成立的。

三、库仑定律

物体带电后的主要特征是带电体之间存在相互作用力的电性力。一般说来,作用力与带电体的形状、大小和电荷分布、相对位置以及周围的介质等因素都有关系,要用实验直接确立电性力对这些因素的依赖关系是困难的。为了使所讨论的问题简单起见,在静电现象的研究中,我们经常用到点电荷的概念,它是从实际带电体抽象出来的理想模型。在具体问题中,当带电体的形状和大小与它们之间的距离相比允许忽略时,可以把带电体看作点电荷。因此点电荷这一概念只具有相对的意义,它本身不一定是很小的带电体。如果两个带电体满足能看作点电荷的条件,那么两个带电体之间的电性力只取决于各自所带的总电荷量和它们之间的距离,问题就大为简化。

1785年,库仑(A. de Coulomb)从扭秤实验结果总结出了点电荷之间相互作用的静电力所服从的基本规律,称为库仑定律。可陈述如下:

在真空中,两个静止点电荷之间相互作用力的大小与这两个点电荷的电荷量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,而与这两个点电荷之间的距离 r_{12} (或 r_{21}) 的平方成反比,作用力的方向沿着这两个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸。其数学形式可表为

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12} \quad (10-1)$$

式中 k 是比例系数, $\mathbf{F}_{12}$ 表示 q_2 对 q_1 的作用力, $\mathbf{r}_{12}$ 是由点电荷 q_2 指向点电荷 q_1 的矢量(图 10-1)。不论 q_1 和 q_2 的正负如何,公式(10-1)都适用。当 q_1 和 q_2 同号时(图 10-1), $\mathbf{F}_{12}$ 与矢量 $\mathbf{r}_{12}$ 的方向相同,表明 q_2 对 q_1 的作用力是斥力; q_1 和 q_2 异号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_{12}$ 的方向相反,表明 q_2 对 q_1 的作用是引力。所以,上述矢量式同时给出了作用力的大小和方向。

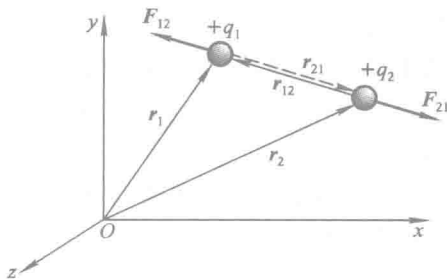


图 10-1 两个点电荷之间的作用力

库仑定律公式中比例系数 k 的数值和单位,取决于式中各量所采用的单位. 在电磁学中,选取不同的基本量,可以导出不同的方程系. 根据国家标准,本书采用四个基本量、有理化方程系. 方程系选长度、质量、时间和电流为基本量,它们的国际单位制单位分别是米(m)、千克(kg)、秒(s)和安培(A),其他各电磁量的单位都可以从这四个基本单位导出. 在国际单位制中,电荷量的单位是库仑(C),由安培导出. 1 C 的电荷量定义为:当导线中的恒定电流等于 1 A 时,在 1 s 内流过导线横截面的电荷量. 这样,在库仑定律的表式中,距离的单位用 m,力的单位用 N,电荷量的单位用 C,由于式中所有物理量的单位都已选定. 比例系数 k 的数值就不能任意规定,只能通过实验来测定. 根据实验测得

$$k = 8.987\,5 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \\ \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

在此有理化方程系中,通常引入新的常量 ϵ_0 来代替 k ,并把 k 写成

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

于是,真空中库仑定律就可写作

$$\boldsymbol{F}_{21} = -\boldsymbol{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^3} \boldsymbol{r}_{21} \quad (10-2)$$

式中的常量 ϵ_0 称为真空电容率,也称真空介电常量.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 8.987\,5 \times 10^9} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2) \\ = 8.854\,2 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2) \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

应该指出,本方程系之称为“有理化”,就在于因子 4π 的引入. 这样,虽然使得库仑定律的表式变得复杂一些,但以后可以看到,由此而推导出来的一些常用的公式中,却不出现因子 4π ,所以这种规定还是有利的. 而且以后还会看到,这里引入的新常量 ϵ_0 和在第十一章引入的常量 μ_0 (真空磁导率)合在一起与自然界另一个重要常量——真空中的光速 c 有着密切的联系 $\left(\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2} \right)$.

【例题 10-1】 按量子理论,在氢原子中,核外电子快速地运动着,并以一定的概率出现在原子核(质子)的周围各处,在基态下,电子在以质子为中心,半径 $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的球面附近出现的概率最大. 试计算在基态下,氢原子内电子和质子之间的静电力和万有引力,并比较两者的大小. 引力常量为 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$.

【解】 按库仑定律计算,电子和质子之间的静电力为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 8.99 \times 10^9 \times \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \text{ N} \\ = 8.22 \times 10^{-8} \text{ N}$$

应用万有引力定律及表 10-1 中的数据计算,电子和质子之间的万有引力为

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \text{ N} \\ = 3.63 \times 10^{-47} \text{ N}$$

由此得静电力与万有引力的比值为

$$\frac{F_e}{F_g} = 2.26 \times 10^{39}$$

可见在原子内,电子和质子之间的静电力远比万有引力大,因此,在处理电子和质子之间的相互作用时,只需考虑静电力,万有引力可以略去不计。而在原子结合成分子,原子或分子组成液体或固体时,它们的结合力在本质上也都属于电力性。

【例题 10-2】 设原子核中的两个质子相距 $4.0 \times 10^{-15} \text{ m}$,求此两个质子之间的静电力。

【解】 两个质子之间的静电力是斥力,它的大小按库仑定律计算为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(4.0 \times 10^{-15})^2} \text{ N} = 14 \text{ N}$$

可见,在原子核内质子间的斥力是很大的。质子之所以能结合在一起组成原子核,是由于核内除了这种斥力外还存在着远比斥力为强的引力——核力的缘故。上述两个例题,说明了原子核的结合力远大于原子的结合力,原子的结合力又远大于相同粒子相隔同样距离的万有引力。

【例题 10-3】 在图 10-2 中,三个点电荷所带的电荷量分别为 $q_1 = -86 \mu\text{C}$, $q_2 = 50 \mu\text{C}$, $q_3 = 65 \mu\text{C}$, 各电荷间的距离如图所示。求作用在 q_3 上合力的大小和方向。

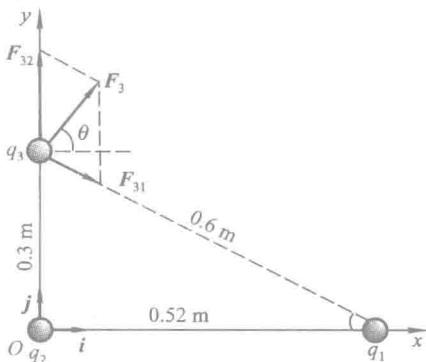


图 10-2 求作用在 q_3 上的合力

【解】 选用如图所示的直角坐标系,并取 i 和 j 分别为沿 Ox 、 Oy 轴方向的单位矢量。

按库仑定律可算得电荷 q_1 作用于电荷 q_3 上的力 F_{31} 的大小为

$$F_{31} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(6.5 \times 10^{-5}) \times (8.6 \times 10^{-5})}{(0.6)^2} \text{ N} = 140 \text{ N}$$

力 F_{31} 沿 Ox 轴和 Oy 轴的分量分别为

$$F'_{x} = F_{31} \cos 30^\circ = 120 \text{ N}$$

$$F'_{y} = F_{31} \sin 30^\circ = -70 \text{ N}$$

电荷 q_2 作用于电荷 q_3 上的力 F_{32} 的大小为

$$F_{32} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(6.5 \times 10^{-5}) \times (5.0 \times 10^{-5})}{(0.3)^2} \text{ N} = 325 \text{ N}$$

力 F_{32} 沿 Ox 轴和 Oy 轴的分量分别为

$$F''_{x} = 0$$

$$F''_{y} = 325 \text{ N}$$

根据静电力的叠加原理,作用于电荷 q_3 上的合力为

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_3 &= \mathbf{F}_{31} + \mathbf{F}_{32} = (F'_x + F''_x)\mathbf{i} + (F'_y + F''_y)\mathbf{j} \\ &= (120\mathbf{i} + 255\mathbf{j}) \text{ N} \end{aligned}$$

合力 F_3 的大小为

$$F_3 = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{120^2 + 255^2} \text{ N} = 281.8 \text{ N}$$

合力 F_3 和 Ox 轴的夹角为

$$\theta = \arctan \frac{F_y}{F_x} = 64.8^\circ$$

从上面的例子可以看出,由库仑定律算出的作用力是不小的,在距离一定时,它与带电体所带电荷量有关。

§ 10-2 电场 电场强度

一、电场

我们知道力是物体之间的相互作用,它不能脱离物质而存在。两个物体彼此不接触时,其相互作用必须依赖其间的物质作为介质来传递。没有物质作介质,物体之间的相互作用就不可能发生,而且物体间相互作用的传递需要时间,也就是说作用的传递是有速度的。例如,我们听到电铃发声,电铃声与耳膜的作用是依靠其间的空气作为介质来传递的。如果将电铃和耳膜间的空气抽去,就不能引起耳膜的振动而听到铃声。

库仑定律表明,真空中两个相互隔开的点电荷也可以发生相互作用。这就是说,电荷之间相互作用的传递不需要由分子、原子构成的物质作介质。因此在很长一段时期内,人们认为两个相隔的带电体之间的作用,是一种“超距作用”。这种超距作用的传递既不需要中间物质作介质,也不需要时间。

近代物理的观点认为,任何电荷都在其周围空间激发电场,而电场的基本特

征是对处在其中的任何电荷都有作用力。因此,电荷之间的相互作用,是通过其中一个电荷所激发的电场对另一个电荷的作用来传递的。这种传递虽然很快(约 3×10^8 m/s),但仍需要时间,这种观点叫做近距作用观点或称场的观点。电场对处在其中的其他电荷的作用力叫做**电场力**,两个电荷之间的相互作用力本质上是一个电荷的电场作用在另一个电荷上的电场力。

电场(及磁场)是物质存在的一种形态,它分布在一定范围的空间里,并和一切物质一样,具有能量、动量、质量等属性。但是,电磁场的物质性只有在它处于迅速变化的情况下,才能明显地表现出来。本章只讨论相对于观察者静止的电荷在周围空间所激发的电场,即**静电场**。静电场是普遍存在的电磁场的一种特殊情况。

二、电场强度

一个被研究对象的物理特性,总是能通过对象与其他物体的相互作用显示出来。静电场的一个基本特性是它对引入电场的任何电荷有力的作用,因此我们可以利用电场的这一特性,从中找出能反映电场性质的某个物理量来。为了定量地了解电场中任一点处电场的性质,可利用一个试探电荷 q_0 放到电场中各点,并观测 q_0 受到的电场力。试探电荷应该满足下列条件:首先所带的电荷量必须尽可能地小,当把它引入电场时,不致扰乱原来的分布,也就是不会对原有电场有任何显著的影响,否则测出来的将是原电荷作重新分布后的电场;其次线度必须小到可以被看作为点电荷,以便能用它来确定场中每一点的性质,不然,只能反映出所占空间的平均性质。实验指出,把同一试探电荷 q_0 放入电场不同地点时, q_0 所受力的方向和大小逐点不同(参看图 10-3,图中 q_0 为正电荷),但在电场中每一给定点处, q_0 所受力的方向和大小却是完全一定的。如果在电场中某给定点处我们改变试探电荷 q_0 的量值,将发现 q_0 所受力的方向仍然不变,但力的大小却和 q_0 的量值成正比地改变。由此可见,试探电荷在电场中某点所受到的力,不仅与试探电荷所在点的电场性质有关,而且与试探电荷本身的电荷量有关。但是,比值 $\frac{F}{q_0}$ 却与试探电荷本身无关,而仅仅与试探电荷所在点处的电场性质有关。所以,我们可用试探电荷所受的力和试探电荷所带电荷量之比,作为描述静电场中给定点的客观性质的一个物理量,称为**电场强度**。电场强度是矢量,用符号 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (10-3)$$

由上式可知,电场中某点的电场强度等于单位电荷在该点所受的电场力。 q_0

为正时, E 的方向和电场力 F 的方向相同; q_0 为负时, E 的方向和电场力 F 的方向相反(见图 10-4). 在电场中给定的任一点 $p(x, y, z)$ 处, 就有一确定的电场强度 E , 在电场中不同点处的 E 一般不相同, 因此, E 应是空间坐标 (x, y, z) 的函数, 可记作 $E(x, y, z)$, 所有这些电场强度 $E(x, y, z)$ 的总体形成一矢量场.

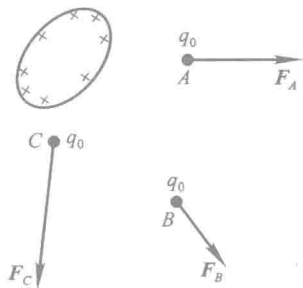


图 10-3 试探电荷 q_0 在电场中受力的情况

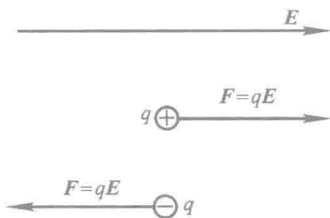


图 10-4 电场对正、负电荷作用力的方向

在国际单位制中, 力的单位是 N, 电荷量的单位是 C, 根据式(10-3), 电场强度的单位是 N/C, 电场强度的单位也可以写成 V/m(参看 § 10-7). 这两种表示法是一样的, 在电工计算中常采用后一种表示法.

三、电场强度的计算

如果电荷分布已知, 那么从点电荷的电场强度公式出发, 根据电场强度的叠加原理, 就可求出任意电荷分布所激发电场的电场强度. 下面说明计算电场强度的方法.

1. 点电荷的电场强度

设在真空中有一个静止的点电荷 q , 则距 q 为 r 的 P 点处的电场强度, 可由式(10-1)和(10-3)求得. 其步骤是先设想在距离点电荷 q 为 r 的 P 点放一试探电荷 q_0 , 由式(10-1)可知, 作用在 q_0 上的电场力是

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^3} \mathbf{r}$$

式中 $\mathbf{r}$ 是由点电荷 q 指向 P 点的矢量, 再应用式(10-3)可求得 P 点的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} \quad (10-4)$$

由式(10-4)可知, 点电荷 q 在空间任一点所激发电场强度的大小, 与点电荷的电荷量 q 成正比, 与点电荷 q 到该点距离 r 的平方成反比. 如果 q 为正电荷, 可