



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Physics

物理学教程

(第三版) 下册

马文蔚 周雨青 解希顺 编

高等教育出版社

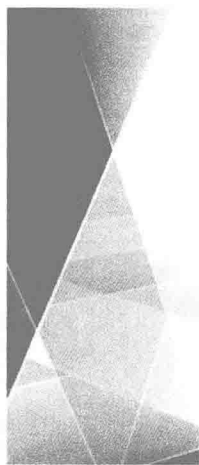


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物理学教程

(第三版) 下册

马文蔚 周雨青 解希顺 编



WULIXUE JIAOCHENG

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本教材在修订时参照教育部物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),涵盖了基本要求中的核心内容。在内容选取上采用压缩经典、简化近代;削枝强干、突出重点;简约理论论证、适度增加应用等办法,以适应不同院校和专业对大学物理的要求。同时考虑到应用型院校的特点和实际情况,在保证必要的基本训练的基础上,适度降低了例题和习题的难度。

本书配有丰富的教学资源,包括《物理学教程(第三版)电子教案》、《物理学原理在工程技术中的应用》(第四版)、《物理学教程(第三版)习题分析与解答》、《物理学教程(第三版)学习指导》和《大学物理素材库》等,构成了“物理学教程(第三版)系列教材”较为完善的资源体系,将为各类高校开设大学物理课程提供良好的服务。

本书分上、下两册。上册内容包括力学、机械振动、机械波和热学。下册包括电磁学、光学、狭义相对论和量子物理等。

本书可作为高等学校理工科非物理类专业大学物理课程的教材或参考书,也可供文科相关专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(C I P)数据

物理学教程. 下册 / 马文蔚, 周雨青, 解希顺编.
-- 3版. -- 北京: 高等教育出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-04-043751-5

I. ①物… II. ①马… ②周… ③解… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第191755号

策划编辑 缪可可 责任编辑 张海雁 封面设计 李小璐 版式设计 杜微言
插图绘制 尹文军 责任校对 刘莉 责任印制 尤静

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京四季青印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787 mm×1092 mm 1/16	版 次	1999年11月第1版
印 张	20.75		2016年1月第3版
字 数	500千字	印 次	2016年1月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	33.90元
咨询电话	400-810-0598		

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 43751-00

电磁学、光学和近代物理的量 and 单位

量		单 位	
名 称	符 号	名 称	符 号
电荷	q, Q	库仑	C
电场强度	E	伏特每米	$V \cdot m^{-1}$
真空电容率	ϵ_0	法拉每米	$F \cdot m^{-1}$
相对电容率	ϵ_r	—	1
电场强度通量	Φ_e	伏特米	$V \cdot m$
电势能	E_p	焦耳	J
电势	V	伏特	V
电势差	U	伏特	V
电偶极矩	p	库仑米	$C \cdot m$
电容	C	法拉	F
电极化强度	P	库仑每平方米	$C \cdot m^{-2}$
电位移	D	库仑每平方米	$C \cdot m^{-2}$
电流	I	安培	A
电流密度	j	安培每平方米	$A \cdot m^{-2}$
电阻	R	欧姆	Ω
电阻率	ρ	欧姆米	$\Omega \cdot m$
电动势	\mathcal{E}	伏特	V
磁感强度	B	特斯拉	T
磁矩	m	安培平方米	$A \cdot m^2$
磁化强度	M	安培每米	$A \cdot m^{-1}$
真空磁导率	μ_0	亨利每米	$H \cdot m^{-1}$
相对磁导率	μ_r	—	1
磁场强度	H	安培每米	$A \cdot m^{-1}$
磁通量	Φ	韦伯	Wb
自感系数	L	亨利	H

续表

量		单 位	
名 称	符 号	名 称	符 号
互感系数	M	亨利	H
位移电流	I_d	安培	A
折射率	n	—	1
物距	p	米	m
像距	p'	米	m
焦距	f	米	m
光速	c	米每秒	$m \cdot s^{-1}$
辐射强度	I	瓦特每平方米	$W \cdot m^{-2}$
辐射能密度	$w(u)$	焦耳每立方米	$J \cdot m^{-3}$
原子序数	Z	—	1
中子数	N	—	1
核子数	A	—	1
原子质量常量	m_u	原子质量单位	u ^①
电子静质量	m_e	千克	kg
质子静质量	m_p	千克	kg
中子静质量	m_n	千克	kg
元电荷	e	库仑	C
普朗克常量	h	焦耳秒	$J \cdot s$
玻尔半径	a_0	米	m
里德伯常量	R_∞	每米	m^{-1}
主量子数	n	—	1
波函数	ψ	—	1

① 一个原子质量单位等于一个处于基态的¹²C中性原子的静质量的1/12. $1 u = 1.660\ 538\ 921(73) \times 10^{-27}$ kg.

物理学教程 数字课程

马文蔚 周雨青 解希顺

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

高等教育理工易课程网



一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1247145/>，点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。
2. 课程充值：登录后点击右上方“充值”图标，正确输入教材封底标签上的明码和密码，点击“确定”完成课程充值。
3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程，点击“进入课程”即可开始课程学习。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。使用明码和密码如有任何问题，请发邮件至：ecourse@hep.com.cn。



物理学教程（第三版）

主编 马文蔚

用户名

密码

验证码

7202

进入课程

注册

数字课程介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

重要通知

《物理学教程》（第三版）数字课程与纸质教材一体化设计，紧密配合。数字课程涵盖动画、视频等资源。充分运用多种形式媒体资源，极大地丰富了知识的呈现形式，拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时，为学生学习提供思维与探索的空间。

因系统升级，所有用户都需要先注册（不能用书后的明码暗码直接登录）。注册后的用户登录后，请先点击页面右上方“充值”，正确输入教材封底标签上的明码和密码完成课程选择。

注册 登录 充值

二、资源使用

本书配套的数字资源包括 3 种类型：动画、视频、文档。



..... **动画：**在部分章节中配套了动画资源，您登录数字课程网站后，可以通过点击按钮或者输入参数，观看相应的物理现象演示。



..... **视频：**在部分章节中配套了视频资源，您可以通过扫描二维码或者登录数字课程网站观看，直观了解各类物理现象。



..... **文档：**在部分章节中配套了文档，对书中未涉及的物理学原理的应用、物理学名人轶事进行了补充，您可以通过扫描二维码或者登录数字课程网站观看。

目 录

第九章 静电场	1	第十章 静电场中的导体与电介质	37
9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律	1	10-1 静电场中的导体	37
一、电荷的量子化	2	一、静电平衡条件	37
二、电荷守恒定律	2	二、静电平衡时导体上电荷的分布	38
9-2 库仑定律	3	三、静电屏蔽	40
9-3 电场强度	4	10-2 静电场中的电介质	41
一、静电场	4	一、电介质对电场的影响 相对电容率	41
二、电场强度	4	二、电介质的极化	42
三、点电荷的电场强度	5	三、电介质中的电场强度 极化电荷与 自由电荷的关系	44
四、电场强度叠加原理	5	10-3 电位移 有电介质时的 高斯定理	45
9-4 电场强度通量 高斯定理	11	10-4 电容	47
一、电场线	11	一、电容器 电容	47
二、电场强度通量	12	二、电容器的并联和串联	52
三、高斯定理	14	10-5 静电场的能量 能量密度	53
四、高斯定理应用举例	16	一、电容器的电能	54
9-5 静电场的环路定理 电势能	20	二、静电场的能量 能量密度	54
一、静电场力所做的功	20	* 10-6 静电的应用	56
二、静电场的环路定理	21	一、范德格拉夫静电起电机	56
三、电势能	22	二、静电除尘	57
9-6 电势	23	三、静电分离	57
一、电势	23	问题	58
二、点电荷电场的电势	25	习题	59
三、电势的叠加原理	25		
9-7 电场强度与电势的微分关系	29		
一、等势面	29		
二、电场强度与电势的微分关系	30		
问题	32	第十一章 恒定磁场	63
习题	33	11-1 恒定电流 电流密度	64
		11-2 电源 电动势	67
		11-3 磁场 磁感强度	68

11-4 毕奥-萨伐尔定律	70	12-2 动生电动势和感生电动势	117
一、毕奥-萨伐尔定律	70	一、动生电动势	118
二、毕奥-萨伐尔定律应用举例	72	二、感生电动势	120
三、磁矩	73	三、涡电流	121
11-5 磁通量 磁场的高斯定理	75	12-3 自感和互感	123
一、磁感线	75	一、自感电动势 自感	124
二、磁通量 磁场的高斯定理	76	二、互感电动势 互感	126
11-6 安培环路定理	78	12-4 磁场的能量 磁场能量密度	128
一、安培环路定理	78	*12-5 位移电流 电磁场基本	
二、安培环路定理应用举例	80	方程的积分形式	131
11-7 带电粒子在磁场中的运动	82	一、位移电流 全电流安培环路定理	132
一、带电粒子在磁场中所受的力	82	二、电磁场 麦克斯韦电磁场方程的	
二、带电粒子在磁场中的运动举例	82	积分形式	134
三、带电粒子在现代电磁场技术中的		12-6 电磁振荡 电磁波	136
应用举例	85	一、振荡电路 无阻尼自由电磁振荡	136
11-8 载流导线在磁场中所受的力	90	二、电磁波的产生与传播	137
一、安培力	90	三、真空中的平面电磁波及其特性	138
二、磁场对载流线圈作用的力矩	93	四、真空中电磁波的能量	140
11-9 磁场中的磁介质	95	五、电磁波谱	141
一、磁介质 磁化强度	95	问题	141
二、磁介质中的安培环路定理		习题	143
磁场强度	97		
三、铁磁质	100	*第十三章 几何光学简介	147
问题	104	13-1 几何光学基本定律	147
习题	106	一、反射和折射定律	147
		二、全反射	148
第十二章 电磁感应 电磁场和		13-2 光在平面上的反射、折射	
电磁波	111	成像	149
12-1 电磁感应定律	111	一、平面的反射成像	149
一、电磁感应现象	111	二、平面的折射成像	150
二、电磁感应定律	112	13-3 光在球面上的反射、折射	
三、楞次定律	113	成像	150

一、球面镜的反射成像	150	二、惠更斯-菲涅耳原理	181
二、球面上的折射成像	151	三、菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	181
13-4 薄透镜	152	14-6 单缝衍射	182
一、薄透镜的成像公式	153	14-7 圆孔衍射 光学仪器的	
二、薄透镜成像特性	154	分辨本领	186
三、薄透镜的横向放大率	155	14-8 衍射光栅	189
13-5 显微镜、望远镜和照相机	155	一、光栅	190
一、显微镜	156	二、光栅衍射条纹的形成	190
二、望远镜	156	三、衍射光谱	193
三、照相机	157	* 四、X 射线衍射简介	195
问题	158	14-9 光的偏振性 马吕斯定律	196
习题	158	一、自然光 偏振光	196
第十四章 波动光学	160	二、偏振片 起偏与检偏	197
14-1 相干光	160	三、马吕斯定律	198
一、光的相干性	160	14-10 反射光和折射光的偏振	199
二、相干光的获取	161	* 14-11 双折射现象	201
14-2 杨氏双缝干涉实验 光程		一、双折射的寻常光和非常光	201
劳埃德镜	163	二、人为双折射现象	203
一、杨氏双缝干涉实验	163	* 14-12 旋光现象	203
* 二、双缝干涉的光强	165	问题	204
三、光程和光程差	166	习题	206
四、劳埃德镜	168	第十五章 狭义相对论	210
14-3 薄膜干涉	169	15-1 伽利略变换式 经典力学	
一、薄膜干涉的光程差	169	相对性原理遇到的困难	211
二、劈尖	173	一、伽利略变换式 经典力学的	
三、牛顿环	176	相对性原理	211
14-4 迈克耳孙干涉仪	177	二、经典力学的绝对时空观	213
一、迈克耳孙干涉仪	177	三、光速依赖于惯性参考系的	
* 二、等倾干涉	179	选取吗?	213
14-5 光的衍射	179	15-2 狭义相对论的基本原理	
一、光的衍射现象	179	洛伦兹变换式	215

一、狭义相对论的基本原理	215	四、光的波粒二象性	246
二、洛伦兹变换式	216	16-3 康普顿效应	247
* 三、洛伦兹速度变换式	217	16-4 氢原子的玻尔理论	251
15-3 狭义相对论的时空观	219	一、氢原子光谱的规律	251
一、同时的相对性	219	二、卢瑟福的原子有核模型	253
二、长度的收缩	220	三、氢原子的玻尔理论	255
三、时间的延缓	221	四、氢原子玻尔理论的困难	258
* 15-4 光的多普勒效应	223	16-5 德布罗意波 实物粒子的 二象性	259
15-5 相对论性动量和能量	224	一、德布罗意假设	259
一、动量与速度的关系	224	二、德布罗意波的实验证明—— G.P.汤姆孙电子衍射实验	262
二、狭义相对论力学的基本方程	226	三、应用举例	262
三、质量与能量的关系	227	四、德布罗意波的统计解释	263
* 四、质能公式在原子核裂变和 聚变中的应用	228	16-6 不确定关系	264
五、动量与能量的关系	230	16-7 量子力学简介	266
问题	231	一、波函数 概率密度	267
习题	232	二、定态薛定谔方程	269
第十六章 量子物理	234	三、一维势阱问题	271
16-1 黑体辐射 普朗克量子 假设	235	* 四、对应原理	273
一、黑体 黑体辐射	235	* 五、一维方势垒 隧道效应	275
二、斯特藩-玻耳兹曼定律 维恩 位移定律	236	* 16-8 多电子原子中电子的分布	275
三、黑体辐射的瑞利-金斯公式 经典物理的困难	239	一、四个量子数	275
四、普朗克假设 普朗克黑体 辐射公式	240	二、多电子原子中的电子分布	277
16-2 光电效应 光的波粒 二象性	242	* 16-9 激光	282
一、光电效应实验的规律	242	一、自发辐射 受激辐射	282
二、光子 爱因斯坦方程	243	二、激光原理	283
* 三、光电效应在近代技术中的应用	245	三、激光器	284
		四、激光的特性和应用	286
		* 16-10 半导体	287
		一、固体的能带	287
		二、本征半导体和杂质半导体	288

三、pn 结	290	二、纳米材料的制备	297
四、光生伏打效应	290	三、碳纳米新材料——碳纳米管和 石墨烯	298
* 16-11 超导体	291	四、应用前景	299
一、超导体的转变温度	291	问题	299
二、超导体的主要特性	293	习题	300
三、超导电性的 BCS 理论	294	习题答案	303
四、超导的应用前景	294	索引	307
五、约瑟夫森效应简介	295	照片说明	314
* 16-12 纳米材料	296		
一、纳米效应	296		

第九章 静 电 场

电磁运动是物质的又一种基本运动形式.电磁相互作用是自然界已知的四种基本相互作用之一,也是人们认识得较深入的一种相互作用.在日常生活和生产活动中,在对物质结构的深入认识过程中,都要涉及电磁运动.因此,理解和掌握电磁运动的基本规律,在理论上和实践上都有极重要的意义.

一般来说,运动电荷将同时激发电场和磁场,电场和磁场是相互关联的.但是,在某种情况下,例如当我们所研究的电荷相对某参考系静止时,电荷在这个静止参考系中就只激发电场,而无磁场.这个电场就是本章所要讨论的静电场.

本章的主要内容有:静电场的基本定律——库仑定律,静电场的两条基本定理——高斯定理和环路定理,描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势等.

9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律

按照原子理论,在每个原子中,电子环绕由中子和质子组成的原子核运动,这些电子的状况可视为如图 9-1 所示的电子云.原子核的线度比电子云的线度要小得多.一般来说,原子核的线度约为 $5 \times 10^{-15} \text{ m}$,电子云的线度(即原子的直径)约为 $2 \times 10^{-10} \text{ m}$.这就是说,原子的线度约为原子核线度的 10^5 倍.原子中的中子不带电,质子带正电,电子带负电,质子与电子所具有的电荷量(简称电荷)的绝对值是相等的.在正常情况下,每个原子中的电子数与质子数相等,故物体呈电中性.若电子过多,物体就带了负电;若电子不足,则物体带了正电.

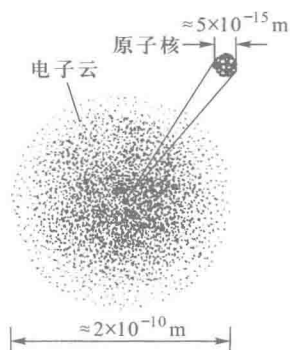


图 9-1 电子云

一、电荷的量子化

1897年 J.J.汤姆孙从实验中测量阴极射线粒子的电荷与质量之比时,得出阴极射线粒子的电荷与质量之比的绝对值约为氢离子的 2 000 倍.这种粒子后来被称为电子.所以一般认为 J.J.汤姆孙是电子的发现者.电子的电荷与质量之比称为电子的比荷^① ($-e/m_e$).通过数年努力,1913年 R.A.密立根终于从实验中得出带电体的电荷是“ $\pm e$ ”的整数倍的结论,即 $q = \pm ne$, n 为 1, 2, 3, … .这是自然界存在不连续性(即量子化)的又一个例子.电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质,叫做电荷的量子化.电子的电荷绝对值 e 称为元电荷,或称电荷的量子.

电荷的单位名称为库仑,简称库,符号为 C,在通常的计算中,电子电荷绝对值的近似值为

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

现在知道的自然界中的微观粒子,包括电子、质子、中子在内,已有几百种,其中带电粒子所具有的电荷或者是 $+e$ 、 $-e$,或者是它们的整数倍.因此可以说,电荷量子化是一个普遍的量子化规则.量子化是近代物理中的一个基本概念,当研究的范围达到原子线度大小时,很多物理量如角动量、能量等也都是量子化的.这些内容将在光的量子性、原子结构等章节中再加以介绍.

二、电荷守恒定律

前面已指出,在正常状态下,物体是电中性的,物体里正、负电荷的代数和为零.如果在一个系统中有两个电中性的物体,由于某些原因,使一些电子从一个物体移到另一个物体上,则前者带正电,后者带负电,不过两物体正、负电荷的代数和仍为零.总之,不管系统中的电荷如何迁移,系统的电荷的代数和保持不变,这就是电荷守恒定律.电荷守恒定律就像能量守恒定律、动量守恒定律和角动量守恒定律那样,也是自然界的基本守恒定律.无论是在宏观领域里,还是在原子、原子核和粒子范围内,电荷守恒定律都是成立的.

^① 按 1996 年全国自然科学名词审查委员会公布的物理学名词, $-e/m_e$ 定名为比荷, 又称电子荷质比(为不推荐用名).

9-2 库仑定律

1785年法国物理学家库仑用扭秤实验测定了两个带电球体之间的相互作用的电力.库仑在实验的基础上提出了两个点电荷之间相互作用的规律,即库仑定律^①。“点电荷”是一个抽象的模型.当两带电体本身的线度 d 比问题中所涉及的距离 r 小很多,即 $d \ll r$ 时,带电体就可近似当成是“点电荷”.库仑定律的表述为:

在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力,其大小与它们电荷的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比;作用力的方向沿着两点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸.

库仑(Charles-Augustin de Coulomb, 1736—1806),法国物理学家.他使用自己创制的扭秤确定了电荷间作用力的库仑定律.他还通过对滚动和滑动摩擦的实验研究,得出摩擦定律.

如图9-2所示,两个点电荷 q_1 和 q_2 ,由电荷 q_1 指向电荷 q_2 的矢量用 \mathbf{r} 表示.那么,电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 \mathbf{F} 为

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

式中 \mathbf{e}_r 为从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量,即 $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$.而 ϵ_0 叫做真空电容率^②,是电学中常用到的一个物理量.一般计算时,其值为

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \text{ ③} \end{aligned}$$

由上式可以看出,当 q_1 和 q_2 同号时, $q_1 q_2 > 0$, q_2 受到斥力作用;当 q_1 和 q_2 异号时, $q_1 q_2 < 0$, q_2 受到引力作用.静止电荷间的电作用力,又称为库仑力.应当指出,两静止点电荷之间的库仑力遵守牛顿第三定律.由于我们所研究的电荷或是处于静止,或是其速率非常小 ($v \ll c$),都属于低速的情况,牛顿第二定律以及由牛顿第二定律所导出的结论,也都能适用于有库仑力作用的情形.

库仑定律是静电学最基本的实验定律,它奠定了静电学的基础.



库仑



文档:库仑

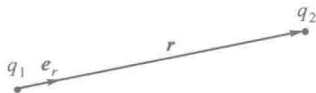


图9-2 库仑定律



文档:普利斯特利的猜想

① 比库仑的扭秤实验早12年的1773年,英国物理学家卡文迪许(H. Cavendish, 1731—1810)也得出了电荷间作用力的二次方反比定律,但卡文迪许没有发表,直到1871年才被麦克斯韦发现而公之于世.关于库仑定律中二次方指数的偏差,即 $2+\delta$ 中 δ 的准确值,则是自卡文迪许、库仑以来,迄今为止许多著名实验室仍在研究的一个课题.有关这方面的问题,读者如有兴趣可参阅郭奕玲编《大学物理中的著名实验》之80—87页(科学出版社,1994年);马文蔚等编《物理学发展史上的里程碑》之139—145页(江苏科学技术出版社,1992年).

② 1996年全国自然科学名词审定委员会公布的物理学名词, ϵ_0 称为真空电容率.真空介电常量为不推荐用名.

③ 式中 F 是电容的单位法拉的符号.

9-3 电场强度

一、静电场

任何电荷在其周围都将激发起电场,电荷间的相互作用是通过电场对电荷的作用来实现的.场是一种特殊形态的物质,它和物质的另一种形态——实物一起,构成了物质世界非常丰富的图景.静电场存在于静止电荷的周围,并分布在一定的空间.处于静电场中的电荷要受到电场力的作用,并且当电荷在电场中运动时电场力也要对它做功.由这两方面的性质可分别引出描述电场性质的两个物理量——电场强度和电势.下面我们先介绍电场强度,电势则在第9-6节中介绍.

二、电场强度

为了表述电场对处于其中的电荷施以作用力的这个性质,我们把一个试验电荷 q_0 放到电场中不同位置,观察电场对试验电荷 q_0 的作用力的情况.试验电荷必须满足如下要求:①试验电荷必须是点电荷;②它的电荷应足够小,以致把它放进电场中时对原有的电场几乎没有什么影响.为叙述方便,我们取试验电荷为正电荷 $+q_0$ ^①.

如图9-3所示,在静止电荷 Q 周围的静电场中,先后将试验电荷 $+q_0$ 放到电场中 A 、 B 和 C 三个不同的位置处.我们发现,试验电荷 $+q_0$ 在电场中不同位置处所受到的电场力 F 的大小和方向均不相同.另一方面,就电场中某一点而言,试验电荷 q_0 在该处所受的电场力 F 只与 q_0 的大小有关;但 F 与 q_0 之比,则与 q_0 无关,为一不变的矢量.显然,这个不变的矢量只与该点处的电场有关,所以该矢量叫做电场强度,用符号 E 表示,有

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (9-2)$$

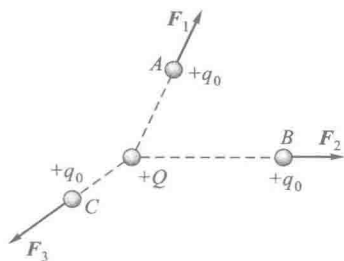


图9-3 试验电荷在电场中不同位置受电场力的情况

^① 试验电荷也可取负电荷,负试验电荷在电场中的受力方向与正试验电荷的受力方向相反.本书提到的试验电荷都指正试验电荷.

式(9-2)为电场强度的定义式.它表明,电场中某点处的电场强度 E 等于位于该点处的单位试验电荷所受的电场力.电场强度是空间位置的函数.由于我们取试验电荷为正电荷,故 E 的方向与正试验电荷所受力 F 的方向相同.

在国际单位制中,电场强度的单位为牛顿每库仑,符号为 $N \cdot C^{-1}$;电场强度的单位亦为伏特每米,符号为 $V \cdot m^{-1}$.本章第 9-7 节将说明 $V \cdot m^{-1}$ 与 $N \cdot C^{-1}$ 是一样的. $V \cdot m^{-1}$ 比 $N \cdot C^{-1}$ 使用得更普遍些.

应当指出,在已知电场强度分布的电场中,如果某点的电场强度为 E ,那么电荷 q 在该点所受的力为

$$F = qE$$

三、点电荷的电场强度

由库仑定律及电场强度定义式,可求得真空中点电荷周围电场的电场强度.

如图 9-4(a) 所示,在真空中,点电荷 Q 位于直角坐标系的原点 O ,由原点 O 指向场点 P 的位矢为 r .若把试验电荷 q_0 置于场点 P ,由库仑定律式(9-1)和电场强度定义式(9-2)可得场点 P 处的电场强度为

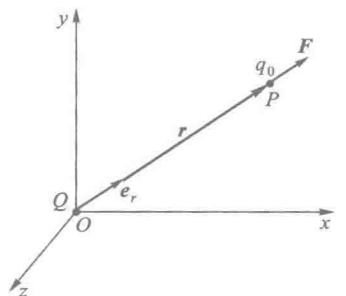
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} e_r \quad (9-3)$$

其中 e_r 为位矢 r 的单位矢量,即 $e_r = r/r$.上式是在真空中点电荷 Q 所激发的电场中,任意点 P 处的电场强度表示式.从式(9-3)可以看出,如果点电荷为正电荷(即 $Q > 0$), E 的方向与 e_r 的方向相同;如点电荷为负电荷(即 $Q < 0$),则 E 的方向与 e_r 的方向相反 [图 9-4(b)].

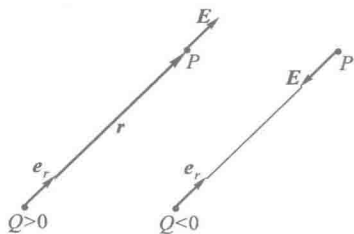
从式(9-3)还可以看出,在真空中,若将正点电荷 Q 放在原点 O ,并以 r 为半径作一球面,球面上各处 E 的大小相等, E 的方向均沿位矢 r ,具有球对称性.故真空中点电荷的电场是非均匀场,但具有对称性,如图 9-5 所示.

四、电场强度叠加原理

一般来说,空间可能存在由许多个点电荷组成的点电荷系,



(a)



(b)

图 9-4 点电荷的电场强度

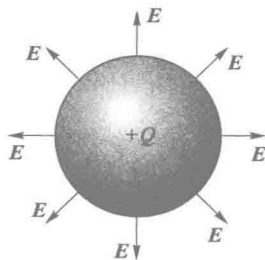


图 9-5 点电荷的电场具有对称性