



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

物 理 学

中 册 第 四 版

东南大学等七所工科院校 编

马文蔚 改编



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

物 理 学

中 册 第四版

东南大学等七所工科院校 编

马文蔚 改编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

(京)112号

图书在版编目(CIP)数据

物理学 中册/东南大学等编;马文蔚改编. —四版. —北京:
高等教育出版社, 1999
ISBN 7-04-007464-8

I. 物… II. ①东…②马… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 37192 号

物理学 中册 第四版
东南大学等七所工科院校 编
马文蔚 改编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京外文印刷厂

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

版 次 1979 年 2 月第 1 版

开 本 787×960 1/16

1999 年 11 月第 4 版

印 张 16.75

印 次 1999 年 11 月第 1 次印刷

字 数 300 000

定 价 16.20 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

C.4
98-4

413047

内 容 简 介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材、普通高等教育“九五”国家级重点教材和教育部高等学校工科物理课程教学指导委员会“九五”规划教材。本书是在原第三版的基础上修订而成的,在修订过程中注意保持了原书体系结构合理、深广度适当、注意教法、分量适中、适应面宽等特点,同时吸取了近年来国内外出版的物理教材的优点,以现代的观点来处理经典物理的体系结构及其内容选取,精选并加强近代物理部分的内容,适当介绍当代物理的成就以及对工程技术的深远影响。全书共分三册,上册包括力学和热物理学;中册包括电磁学;下册包括波动过程、近代物理学和物理学与新技术等内容。

本书可作为高等学校工科各专业的教科书,也可供文理科有关专业选用和社会读者阅读。

电学和磁学的量和单位

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		
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		
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
互感系数	M	亨 利	H
位移电流	I_d	安 培	A

目 录

第八章 静电场	1
8-1 电荷的量子化 电荷守恒定律	1
一 电荷的量子化	1
二 电荷守恒定律	2
8-2 库仑定律	3
8-3 电场强度	5
一 静电场	5
二 电场强度	6
三 点电荷电场强度	7
四 电场强度叠加原理	9
五 电偶极子的电场强度	11
8-4 电场强度通量 高斯定理	16
一 电场线	16
二 电场强度通量	18
三 高斯定理	21
四 高斯定理应用举例	25
8-5 密立根测定电子电荷的实验	29
8-6 静电场的环路定理 电势能	31
一 静电场力所作的功	31
二 静电场的环路定理	32
三 电势能	33
8-7 电势	34
一 电势	34
二 点电荷电场的电势	36
三 电势的叠加原理	36
8-8 电场强度与电势梯度	41
一 等势面	41
二 电场强度与电势梯度	43
8-9 静电场中的电偶极子	47
一 外电场对电偶极子的力矩和取向作用	47
二 电偶极子在电场中的电势能和平衡位置	48
问题	49

习题	50
第九章 静电场中的导体与电介质	56
9-1 静电场中的导体	56
一 静电感应 静电平衡条件	56
二 静电平衡时导体上电荷的分布	57
三 静电屏蔽	61
9-2 电容 电容器	63
一 孤立导体的电容	63
二 电容器	64
三 电容器的并联和串联	69
9-3 静电场中的电介质	70
一 电介质对电容的影响 相对电容率	71
二 电介质的极化	72
三 电极化强度	75
四 电介质中的电场强度 极化电荷与自由电荷的关系	76
9-4 电位移 有电介质时的高斯定理	78
9-5 静电场的能量 能量密度	82
一 电容器的电能	82
二 静电场的能量 能量密度	83
* 9-6 静电的应用	86
一 范德格拉夫静电起电机	86
二 静电除尘	86
三 静电分离	88
* 9-7 电场的边界条件	88
* 9-8 压电效应 铁电体 驻极体	90
一 压电效应	90
二 铁电体	91
三 驻极体	92
问题	93
习题	94
第十章 恒定电流	100
10-1 电流 电流密度	100
一 电流	100
二 电流密度	101
* 三 电流的连续性方程 恒定电流条件	103
10-2 电阻率 欧姆定律的微分形式	104
一 电阻率	104
二 超导体	106

三 欧姆定律的微分形式	107
10-3 电源 电动势	109
10-4 全电路欧姆定律	111
10-5 基尔霍夫定律	114
一 基尔霍夫第一定律	115
二 基尔霍夫第二定律	116
10-6 电容器的充放电	117
一 电容的充电	117
二 电容的放电	119
问题	120
习题	121
第十一章 稳恒磁场	125
11-1 磁场 磁感强度	126
11-2 毕奥-萨伐尔定律	129
一 毕奥-萨伐尔定律	129
二 毕奥-萨伐尔定律应用举例	131
三 磁偶极矩	133
四 运动电荷的磁场	135
11-3 磁通量 磁场的高斯定理	137
一 磁感线	137
二 磁通量 磁场的高斯定理	139
11-4 安培环路定理	140
一 安培环路定理	140
二 安培环路定理的应用举例	144
11-5 带电粒子在电场和磁场中的运动	148
一 带电粒子在电场和磁场中所受的力	148
二 带电粒子在磁场中运动举例	149
三 带电粒子在电场和磁场中运动举例	153
11-6 载流导线在磁场中所受的力	162
一 安培力	162
二 电流的单位 两无限长平行载流直导线间的相互作用	166
11-7 磁场对载流线圈的作用	168
一 磁场作用于载流线圈的磁力矩	168
二 磁电式电流计原理	171
问题	172
习题	176
第十二章 磁场中的磁介质	185
12-1 磁介质 磁化强度	185

4 目 录

一 磁介质	185
二 磁化强度	188
12-2 磁介质中的安培环路定理 磁场强度	188
12-3 铁磁质	192
一 磁畴	192
二 磁化曲线	193
三 磁滞回线	195
四 铁磁性材料	195
五 磁屏蔽	197
问题	198
习题	198
第十三章 电磁感应 电磁场	200
13-1 电磁感应定律	200
一 电磁感应现象	200
二 电磁感应定律	202
三 楞次定律	203
13-2 动生电动势和感生电动势	207
一 动生电动势	207
二 感生电动势	210
三 电子感应加速器	212
四 涡电流	215
13-3 自感和互感	218
一 自感电动势 自感	218
二 互感电动势 互感	221
13-4 RL 电路	225
13-5 磁场的能量 磁场能量密度	226
13-6 位移电流 电磁场基本方程的积分形式	229
一 位移电流 全电流安培环路定理	230
二 电磁场 麦克斯韦电磁场方程的积分形式	235
问题	236
习题	239
习题答案	246
索引	252

第八章 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。

8-1 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而运动,这些电子的状况可视为如图 8-1 所示的电子云。原子核的线度较之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。此外,物质结构理论还认为,分子由许多原子所组成,不同的分子集团就成为形形色色的宏观物体。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。当物体经受摩擦等作用而造成物体的电子过多或不足时,我们说物体带了电。若是电子过多,物体就带了负电;若是电子不足,则物体带了正电。

一 电荷的量子化

1897 年 J.J. 汤姆孙从实验中测出电子的比荷^①(即电子的电荷与质量之比

^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 定名为比荷,又称电子荷质比(为不推荐用名)。有关 J.J. 汤姆孙的电子比荷测定的实验,请参阅本书第 11 章第 11-5 节。

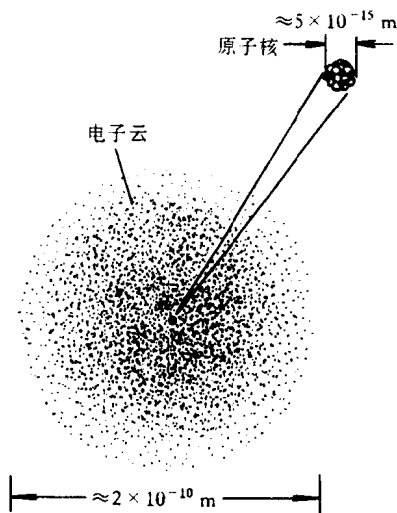


图 8-1 电子云

e/m). 通过数年努力,1913年 R.A. 密立根终于从实验中测定所有电子都具有相同的电荷^①,而且带电体的电荷是电子电荷的整数倍. 如以 e 代表电子的电荷绝对值,带电体的电荷为 $q = ne$, n 为 $1, 2, 3, \dots$. 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 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,1986年国际推荐的电子电荷绝对值为

$$e = 1.602\ 177\ 33(49) \times 10^{-19} \text{C}$$

在通常的计算中,取它的近似值

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

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,很多物理量如频率、能量等也都是量子化的. 这些,本书将在光的量子性、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

^① 关于密立根实验请参阅本章第 8-5 节.

零。如果在一个孤立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,在孤立系统中,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。

8-2 库仑定律

1785年法国物理学家库仑利用扭秤实验直接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 远比问题中所涉及的距离 r 小得很多时,即 $d \ll r$,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。

如图 8-2 所示,两个点电荷分别为 q_1 和 q_2 ,由电荷 q_1 指向电荷 q_2 的矢量用 \mathbf{r}_{12} 表示。那么,电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 \mathbf{F}_{12} 为

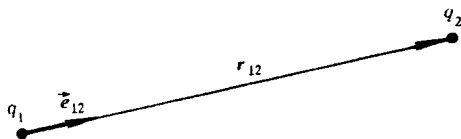


图 8-2 库仑定律

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \mathbf{e}_{12} \quad (8-1)$$

式中 \mathbf{e}_{12} 为从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量,即 $\mathbf{e}_{12} = \mathbf{r}_{12}/r_{12}$;而 k 为比例系数,其数值和单位取决于上式中各量的单位,且可由实验确定。在国际单位制中,

^① 较库仑的扭秤实验早 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诸于世。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:郭奕玲的《大学物理中的著名实验》(科学出版社 1994 出版,80~87 页);马文蔚等的《物理学发展史上里程碑》(江苏科技出版社 1992 出版,139~145 页)。

$$k = 8.987\ 55 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常在计算中取它的近似值, $k \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

在实际问题中,直接用到库仑定律的机会很少,常用的却是从它推导出来的其他公式^①.为了使这些常用公式的形式简单些,可以使库仑定律中的比例系数复杂些.所以在国际单位制中,便将比例系数 k 表示为

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

式中 ϵ_0 叫做真空电容率^②,是电学中常用的一个常量.它的大小和单位^③为

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = 8.854\ 2 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 8.854\ 2 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}\end{aligned}$$

在一般计算中, ϵ_0 取 $8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.把 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 代入式(8-1),可将真空中库仑定律的数学表达式写成

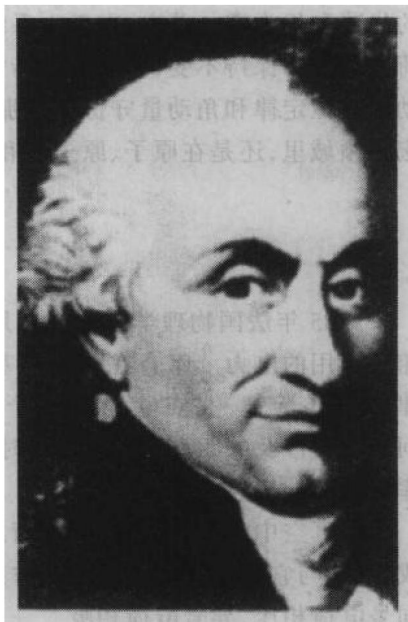
$$\boldsymbol{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \boldsymbol{e}_{12} \quad (8-2)$$

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 q_1 的作用力 \boldsymbol{F}_{12} 与 \boldsymbol{e}_{12} 同向,即 q_2 受到斥力作用(图 8-3);当 q_1 和 q_2 异号时, $q_1 q_2 < 0$, q_2 受到 q_1 的作用力 \boldsymbol{F}_{12} 与 \boldsymbol{e}_{12} 反向,即 q_2 受到引力作用(图 8-4).静止电荷间的电作用力,又称库仑力.

至于 q_1 同时所受 q_2 的作用力 \boldsymbol{F}_{21} ,实验表明它与 q_2 受到 q_1 的作用力 \boldsymbol{F}_{12} 大小相等,方向相反,且在同一直线上,即

$$\boldsymbol{F}_{12} = -\boldsymbol{F}_{21}$$

上述结果表明,两静止点电荷之间的库仑力遵守牛顿第三定律.应该指出,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

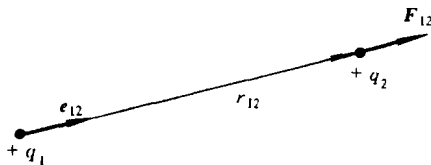
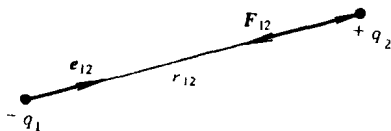


库仑(Charles Augustin de Coulomb, 1736—1806),法国物理学家.他使用自己创制的扭秤确定了电荷间作用力的库仑定律.他通过对滚动和滑动摩擦的实验研究,得出摩擦定律.

① 如第 8-4 节的高斯定理和第 9-4 节的电容器电容等.

② 按 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 定名为真空电容率,又称真空介电常量(为不推荐用名).

③ 其中 F 是电容单位(法拉)的符号,可参阅第 9-4 节.

图 8-3 q_1 与 q_2 同号时的作用力图 8-4 q_1 与 q_2 异号时的作用力

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。

例 在氢原子中,电子与质子的距离约为 5.3×10^{-11} m. 求它们之间电的相互作用力和万有引力,并比较这两种力的大小.

解 这里电子与质子之间的距离远大于它们本身的线度,故电子与质子都可看成为点电荷. 设此处的质子与电子可视为相对静止,且相距为 r ,其电荷分别为 $+e$ 和 $-e$,则它们之间的库仑力为引力. 根据式(8-2),此库仑力的大小为

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

而由万有引力定律知,电子和质子间万有引力的大小为

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

于是这两个力的比值为

$$\frac{F_c}{F_g} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 G m_e m_p}$$

已知电子的质量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg, 质子的质量 $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m²·kg⁻², 所以

$$\frac{F_c}{F_g} = 2.27 \times 10^{39}$$

可见,库仑力要比万有引力大得多. 所以在原子中,作用在核外电子上的力主要为库仑力,而万有引力则可忽略.

8-3 电场强度

一 静电场

实验已证实,两个点电荷之间存在着相互作用的静电力(即库仑力),但这种相互作用是通过什么方式和途径才得以实现的呢? 历史上对此有过不同的观点,其中之一认为电荷之间的静电力不需要任何介质,也不需要时间,就能够由一个电荷立即作用到另一个电荷上,即所谓超距作用. 后来,人们通过反复研

究,终于弄清了一切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。我们知道,处于万有引力场中的物体要受到万有引力的作用,并且当物体移动时,引力要对它做功。同样,处于静电场中的电荷也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。我们曾从施力和做功这两方面来研究引力场的性质,分别引出了引力场强和引力势两个物理量,现在我们仍将从施力和做功这两方面来研究静电场的性质,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8-9节中介绍。

二 电场强度

在静止电荷周围存在着静电场,静电场遍布静止电荷周围的全部空间。这与实物占有有限空间的情形很不一样。电场对处于其中的电荷施以作用力,这是电场的一个重要性质。为了表述电场的这个性质,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8-5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

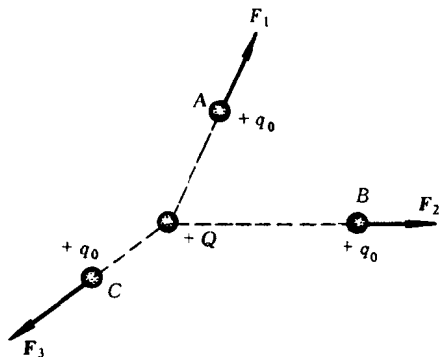


图8-5 试验电荷在电场中不同位置受电场力的情况

^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。

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 的值和方向均不相同,这说明各点的电场性质不相同。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,且表述了电场在该点处施力的性质,所以该矢量叫做**电场强度**,用符号 E 表示,有

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

式(8-3)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 $\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$;电场强度的单位亦为伏特每米,符号为 $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ 。本章第 8-8 节中将说明 $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ 与 $\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$ 是一样的。不过 $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ 较 $\text{N}\cdot\text{C}^{-1}$ 使用得更普遍些。

应当指出,在已知电场强度分布的电场中,电荷 q 在场中某点处所受的力 F ,可由式(8-3)算得

$$F = qE$$

三 点电荷电场强度

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 8-6(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 ,由库仑定律可得 q_0 所

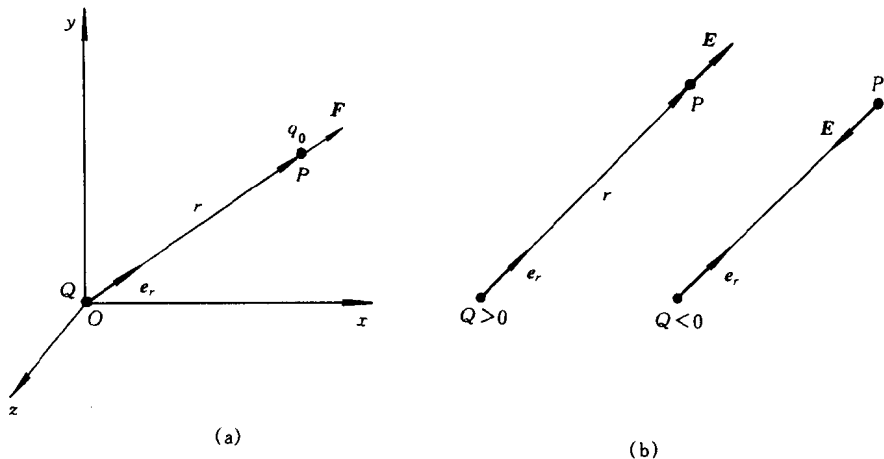


图 8-6 点电荷的电场强度

受的电场力为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_0}{r^2} \mathbf{e}_r$$

\mathbf{e}_r 为位矢 \mathbf{r} 的单位矢量, 即 $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$. 由电场强度定义式(8-3)可得场点 P 处的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (8-4)$$

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. 这个公式也是计算点电荷电场强度的公式. 从式(8-4)可以看出, 如果点电荷为正电荷(即 $Q > 0$), \mathbf{E} 的方向与 \mathbf{e}_r 的方向相同; 如点电荷为负电荷(即 $Q < 0$), 则 \mathbf{E} 的方向与 \mathbf{e}_r 的方向相反[图 8-6(b)].

从式(8-4)还可以看出, 在真空中, 点电荷 Q 的电场强度与距离二次方成反比. 因此, 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 \mathbf{E} 的大小相等, \mathbf{E} 的方向均沿径矢 \mathbf{r} , 具有球对称性. 故真空中点电荷的电场是非均匀场, 但具对称性, 如图 8-7 所示.

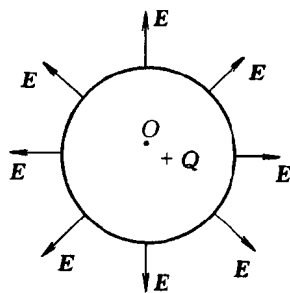


图 8-7 点电荷的电场具有对称性

例 把一个点电荷($q = -62 \times 10^{-9} \text{ C}$)放在电场中某点处, 该电荷受到的电场力为 $\mathbf{F} = 3.2 \times 10^{-6} \mathbf{i} + 1.3 \times 10^{-6} \mathbf{j} \text{ N}$. 求该电荷所在处的电场强度.

解 由电场强度的定义式(8-3), 可得电荷所在处的电场强度为

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \frac{\mathbf{F}}{q} = \frac{3.2 \times 10^{-6} \mathbf{i} + 1.3 \times 10^{-6} \mathbf{j} \text{ N}}{-62 \times 10^{-9} \text{ C}} \\ &= -(51.6 \mathbf{i} + 21.0 \mathbf{j}) \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} \end{aligned}$$

\mathbf{E} 的大小为

$$E = \sqrt{(-51.6)^2 + (-21.0)^2} \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} = 55.71 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$$

\mathbf{E} 的方向则可按如下方法求得. \mathbf{F} 与 x 轴的夹角 α 为

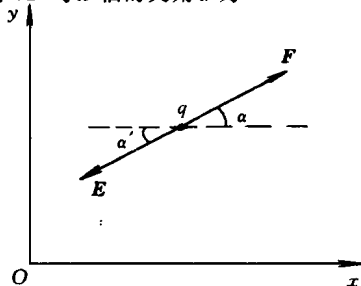


图 8-8