



普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理学 (下册)

赵 晏 王雅红 左桂鸿 武亚斌 主编
高 红 主审



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理学

(下册)

主 编 赵 晏 王雅红 左桂鸿 武亚斌
主 审 高 红

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是以教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求(2008版)》为依据,结合专业人才培养的需要编写的.全书分为上、下两册.本书是下册,内容包括静电场,恒定磁场,电磁感应,波动光学,光的吸收、色散和散射,狭义相对论,量子物理基础,现代物理技术.本书难度适中,在对物理基本概念、基本规律的阐述中注重深入浅出,简洁易懂.在保证必要的基本训练的基础上,突出物理理论在实际中的应用.此外,每章后都配有本章提要,方便学生掌握重点知识.

本书可作为高等学校理工科非物理专业及农林类专业的大学课程教材或参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/赵晏等主编.——北京:科学出版社,2009
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-03-024642-4

I.大… II.赵… III.物理学-高等学校-教材 IV.O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 143162 号

责任编辑:于俊杰 胡云志 杨 然 / 责任校对:包志虹
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 9 月第一次印刷 印张:16

印数:1—4 000 字数:323 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

第 10 章 静电场	1
10.1 静电的基本现象和基本规律	1
10.1.1 物体带电 两种电荷	1
10.1.2 电荷守恒定律与电荷的量子化	2
10.1.3 库仑定律	2
10.2 电场强度	3
10.2.1 静电场	3
10.2.2 电场强度矢量	4
10.2.3 点电荷电场强度	5
10.2.4 电场强度叠加原理	5
10.3 电场强度通量 高斯定理	11
10.3.1 电场线	11
10.3.2 电场强度通量	13
10.3.3 高斯定理	15
10.3.4 高斯定理应用举例	17
10.4 静电场的环路定理 电势能	20
10.4.1 静电场力所做的功	20
10.4.2 静电场的环路定理	21
10.4.3 电势能	22
10.5 电势	22
10.5.1 电势 电势差	22
10.5.2 点电荷电场的电势	24
10.5.3 电势的叠加原理	24
10.6 电场强度与电势梯度	28
10.6.1 等势面	28
10.6.2 电场强度与电势的微分关系	29
10.7 静电场中的电偶极子	30
10.8 静电场中的导体	31
10.8.1 静电感应 静电平衡条件	31

10.8.2 静电平衡时导体上电荷的分布和表面附近的场强	32
10.8.3 静电屏蔽	34
10.9 电容 电容器	36
10.9.1 孤立导体的电容	36
10.9.2 电容器	37
10.9.3 电容器的并联和串联	39
10.10 静电场中的电介质	40
10.10.1 电介质对电容的影响 相对电容率	40
10.10.2 电介质的极化	42
10.10.3 电极化强度矢量	43
10.11 电位移矢量 有电介质时的高斯定理	44
10.12 静电场的能量 能量密度	49
10.12.1 电容器的电能	49
10.12.2 电场的能量 能量密度	50
本章提要	51
思考题	53
习题	54
第 11 章 恒定磁场	57
11.1 电流	57
11.1.1 电流和电流密度矢量	57
11.1.2 欧姆定律的微分形式	59
11.2 电源 电动势	60
11.2.1 非静电力 电源	60
11.2.2 电动势	60
11.3 磁场 磁感应强度	61
11.3.1 基本磁现象	61
11.3.2 磁场	62
11.3.3 磁感应强度	63
11.4 毕奥-萨伐尔定律及其应用	64
11.4.1 毕奥-萨伐尔定律	64
11.4.2 毕奥-萨伐尔定律应用举例	65
11.5 运动电荷的磁场	70
11.6 磁场的高斯定理	71
11.6.1 磁感应线	71

11.6.2 磁通量 磁场的高斯定理	72
11.7 安培环路定理及其应用	73
11.7.1 安培环路定理	73
11.7.2 安培环路定理的应用举例	75
11.8 磁场对载流导线的作用	77
11.8.1 安培定律	77
11.8.2 两根无限长平行载流直导线间的相互作用力 电流单位“安培”的定义	79
11.8.3 均匀磁场对矩形载流线圈的作用	80
11.9 运动电荷在电场和磁场中所受的力	82
11.9.1 运动电荷在磁场中所受的力 洛伦兹力	82
11.9.2 洛伦兹力与安培力的关系	83
11.9.3 带电粒子在均匀磁场中运动分析及应用举例	83
11.9.4 运动电荷在电磁场中所受的力	85
11.9.5 带电粒子在电场和磁场中运动举例	85
11.10 磁介质	88
11.10.1 磁介质的磁化	88
11.10.2 磁介质中的磁场 磁场强度	92
11.10.3 铁磁质	95
本章提要	98
思考题	99
习题	100
第 12 章 电磁感应	105
12.1 法拉第电磁感应定律	105
12.1.1 法拉第电磁感应定律	105
12.1.2 楞次定律	107
12.2 动生电动势 感生电动势	107
12.2.1 动生电动势	107
12.2.2 感生电动势	110
12.3 自感 互感	112
12.3.1 自感	112
12.3.2 互感	114
12.4 磁场的能量	115
12.5 麦克斯韦方程组	116

12.5.1 位移电流	116
12.5.2 麦克斯韦方程组的积分形式	118
* 12.6 电磁振荡 电磁波	118
12.6.1 电磁振荡 无阻尼自由电磁振荡	119
12.6.2 电磁波的产生	120
12.6.3 平面电磁波的基本性质	120
12.6.4 电磁波的能量	121
12.6.5 电磁波谱	121
本章提要	122
思考题	124
习题	124
第 13 章 波动光学	127
13.1 相干光	127
13.2 杨氏双缝实验 劳埃镜	128
13.2.1 杨氏双缝实验	128
13.2.2 劳埃镜	130
13.3 光程 光程差	130
13.3.1 光程及光程差的加强减弱条件	130
13.3.2 光通过透镜时的光程差	131
13.4 薄膜干涉	133
13.5 劈尖 牛顿环	135
13.5.1 劈尖	135
* 13.5.2 牛顿环	138
* 13.6 迈克耳孙干涉仪	139
13.7 光的衍射	140
13.7.1 光的衍射现象 衍射分类	140
13.7.2 衍射分类	140
13.7.3 惠更斯-菲涅耳原理	141
13.8 单缝衍射	141
13.8.1 单缝衍射的明暗纹公式	141
13.8.2 单缝衍射的条纹宽度	143
13.8.3 单缝衍射的光强分布	143
13.9 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	144
13.10 衍射光栅	145

13.10.1	光栅	145
13.10.2	光栅衍射条纹的形成	146
13.10.3	衍射光谱	148
* 13.11	X射线的衍射	150
13.12	光的偏振	151
13.12.1	自然光 线偏振光 部分偏振光	151
13.12.2	偏振片 马吕斯定律	152
13.13	反射光与折射光的偏振	153
* 13.14	双折射现象	153
* 13.15	旋光现象	155
	本章提要	155
	思考题	158
	习题	159
第 14 章	光的吸收、色散和散射	163
14.1	光的吸收	163
14.1.1	一般吸收和选择吸收	163
14.1.2	光的吸收定律	164
14.1.3	吸收光谱	165
14.2	光的色散	165
14.3	光的散射	167
	本章提要	168
	思考题	169
	习题	169
第 15 章	狭义相对论	170
15.1	伽利略变换式 经典力学的相对性原理	170
15.1.1	经典力学的相对性原理	171
15.1.2	伽利略时空变换式	171
15.1.3	经典力学时空观	171
15.1.4	伽利略速度变换式	172
15.2	迈克耳孙-莫雷实验	172
15.3	爱因斯坦狭义相对论基本假设 洛伦兹变换	174
15.3.1	爱因斯坦假设	174
15.3.2	洛伦兹坐标变换	175
15.3.3	相对论速度变换	176

15.4 相对论中的长度、时间和同时性	178
15.4.1 长度收缩	178
15.4.2 时间膨胀(或运动的钟变慢)	180
15.4.3 同时的相对性	180
15.5 相对论动力学基础	181
15.5.1 质量与速度的关系	181
15.5.2 相对论力学的基本方程	181
15.5.3 质量与能量的关系	182
15.5.4 动量与能量之间的关系	183
15.5.5 光子情况	184
本章提要	185
思考题	186
习题	187
第 16 章 量子物理基础	188
16.1 黑体辐射 普朗克量子假设	188
16.1.1 黑体 黑体辐射	188
16.1.2 斯特藩-玻尔兹曼定律 维恩位移定律	189
16.1.3 黑体辐射的瑞利-金斯公式 经典物理的困难	190
16.1.4 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式	191
16.2 光电效应 光的波粒二象性	191
16.2.1 光电效应实验的规律	191
16.2.2 光子 爱因斯坦方程	192
16.2.3 光电效应在近代技术中的应用	193
16.2.4 光的波粒二象性	194
16.3 康普顿效应	194
16.3.1 康普顿效应的实验规律	194
16.3.2 康普顿效应的解释	195
16.4 氢原子	196
16.4.1 氢原子光谱的规律性	196
16.4.2 卢瑟福的原子有核模型	198
16.4.3 氢原子的玻尔理论	199
16.4.4 氢原子玻尔理论的困难和意义	200
16.5 德布罗意波 实物粒子的二象性	201
16.5.1 德布罗意假设	201

16.5.2 德布罗意波的实验证明	201
16.5.3 德布罗意波的统计解释	203
16.6 量子力学简介	203
16.6.1 不确定关系	203
16.6.2 波函数 概率密度	205
16.6.3 薛定谔方程	206
16.6.4 一维无限深势阱问题	208
16.6.5 一维方势垒 隧道效应	210
16.6.6 氢原子问题	211
本章提要	215
思考题	216
习题	216
第 17 章 现代物理技术	217
17.1 激光原理及激光技术的应用	217
17.1.1 激光器原理	217
17.1.2 激光器的种类	218
17.1.3 激光的巨大应用	219
17.2 光纤技术	221
17.2.1 光纤的结构与分类	221
17.2.2 光纤通信技术和发展	222
17.3 液晶技术	226
17.3.1 液晶的结构与分类	226
17.3.2 液晶的物理性质	227
17.4 纳米技术	228
17.4.1 纳米材料的性能特点	228
17.4.2 纳米材料的应用	229
17.5 等离子体技术	229
17.5.1 等离子体	229
17.5.2 主要应用	230
17.6 新材料技术	231
17.6.1 新材料技术	231
17.6.2 新材料的发展前景	234
17.7 新能源技术	237
习题答案	241

第 10 章 静 电 场

【学习目标】

掌握描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势的概念,理解电场强度是矢量点函数,而电势 U 则是标量点函数,明确认识静电场是有源场和保守场.理解静电场的叠加原理和高斯定理,并能计算特殊的、对称性电荷体系的电场强度.理解电场强度与电势的关系.了解静电场与导体以及电介质的相互作用规律.掌握任意电荷分布体系电势的计算方法,理解简单电容的计算方法.理解电场强度与电势的关系.了解电场能量的概念,了解电场能量的计算方法.

10.1 静电的基本现象和基本规律

10.1.1 物体带电 两种电荷

人类对电的认识最初来自于摩擦起电.早在公元前 585 年,希腊哲学家泰勒斯(Thales)记载了用木块摩擦过的琥珀能够吸引碎草等轻小物体.后来人们发现了用毛皮摩擦过的琥珀能够吸引羽毛、头发等轻小物体.并相继发现像玻璃棒、火漆棒、硬橡胶棒、硫黄块或水晶块等,用毛皮或丝绸摩擦后,也都能吸引轻小物体.物体具有这种吸引轻小物体的性质,就说它带上了电荷,简称带电.带电的物体叫带电体.用摩擦方法使物体带电称为摩擦起电.物体所带电荷数量的多少,称为电量.

实验表明,两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒互相排斥;两根用丝绸摩擦过的玻璃棒也互相排斥;而用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与用丝绸摩擦过的玻璃棒互相吸引,这表明硬橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不同的.实验证明,所有其他物体,无论用什么方法起电,所带的电荷或者与玻璃棒上的电荷相同,或者与硬橡胶棒上的电荷相同,所以,自然界中只存在两种电荷.而且,同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引.为了区别这两种电荷,把其中的一种(用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷)叫做正电荷,另一种(用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷)叫做负电荷.它们的数量分别用正数和负数来表示.电荷的正、负本来是相对的,上述命名法历史上是由富兰克林首先提出来的,国际上一直沿用至今.

10.1.2 电荷守恒定律与电荷的量子化

1. 电荷守恒定律

近代物理学的发展已使我们对带电现象的本质有了深入的了解. 物质是由分子、原子组成的. 而原子又由带正电的原子核和带负电的电子组成. 原子核中有质子和中子, 中子不带电, 质子带正电, 一个质子所带的电量和一个电子所带的电量数值相等. 在正常情况下, 物体中任何一部分所包含的电子的总数和质子的总数是相等的, 正、负电荷互相完全抵消, 所以对外界不表现出电性. 但是, 如果在一定的外因作用下, 物体(或其中的一部分)得到或失去一定数量的电子, 使得电子的总数和质子的总数不再相等, 物体就呈现电性. 摩擦带电实际就是通过摩擦作用, 使电子从一个物体转移到另一个物体的过程; 一个物体得到了另一个物体的电子, 这个物体就带了负电, 而另一个物体失去了电子总是同时带等量的正电.

在孤立系统中, 电子从一个物体转移到另一个或几个物体上, 系统电荷的代数和保持不变, 这就是**电荷守恒定律**. 它同能量守恒定律、动量守恒定律一样, 也是自然界的基本守恒定律.

2. 电荷的量子化

1913 年密立根通过实验测定所有电子都具有相同的电荷 e , 所有带电体的电荷 q 都是电子电荷 e 的整数倍, 即 $q = ne$, n 为 $1, 2, 3, \dots$. 电荷只能取离散的、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 称为元电荷或电荷的量子. 电荷的国际单位为库仑, 符号为 C, 1986 年国际推荐的电子电荷绝对值为 $e = 1.60217733(49) \times 10^{-19}$ C. 在通常的计算中取它的近似值 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C.

量子化是近代物理中的一个基本概念, 电荷量子化是一个普遍的量子化规则. 当研究范围达到原子限度时, 很多物理量, 如频率、能量等也都是量子化的.

10.1.3 库仑定律

在发现电现象后 2000 多年的长时期内, 人们对电的了解一直处于定性的初级阶段. 直到 19 世纪人们才开始对电的规律及其本质有比较深入的了解. 1875 年法国物理学家库仑利用扭秤实验研究了两个带电体之间的相互作用力, 总结出两个点电荷间相互作用的规律, 称为**库仑定律**. 所谓点电荷, 是指这样的带电体, 它本身的几何线度比起它到其他带电体的距离小得多. 这种带电体的形状及电荷在其中的分布已无关紧要, 因此可以把它抽象成一个几何的点.

库仑定律表述为: 在真空中, 两个静止的点电荷之间的相互作用力的大小和它们电荷的乘积成正比, 和它们之间距离的平方成反比, 作用力的方向沿着它们的连

线方向,同号电荷相排斥,异号电荷相吸.

如图 10.1 所示, q_1, q_2 为两个点电荷,由 q_1 指向 q_2 的矢量用 r_{12} 表示. 那么电荷 q_1 对电荷 q_2 的作用力 F_{12} 为

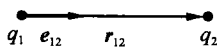


图 10.1 库仑定律

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} e_{12} \quad (10-1)$$

式中, e_{12} 为从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, 即 $e_{12} = \frac{r_{12}}{r_{12}}$; k 为比例系数, 在国际单位制中 $k = 8.98755 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$. 比例系数 k 也表示为 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. 式中 ϵ_0 叫做真空电容率或真空介电常数, 在国际单位制下 $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$. 把 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 代入式(10-1)得

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} e_{12} \quad (10-2)$$

库仑定律是通过宏观带电体的实验总结出来的. 现代实验表明, 这个定律对原子内的质子、电子等微观带电体也适用. 通常把带电体间遵从库仑定律的相互作用力称为库仑力.

如果点电荷不止两个, 实验表明每两个点电荷之间的相互作用力仍由式(10-1)给出, 并不因为其他静止电荷的存在而改变. 当空间中有两个以上的点电荷($q_1, q_2, \dots, q_N$)时, 电荷 q_0 所受到的总的作用力则为所有其他点电荷对它的作用力的矢量和, 即

$$F = \sum_{i=1}^N F_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q_i}{r_i^2} e_i \quad (10-3)$$

称为静电力的叠加原理.

10.2 电场强度

10.2.1 静电场

两个点电荷并不直接接触, 但它们之间却存在着相互作用的静电力(即库仑力), 历史上对这种相互作用是通过什么方式和途径才得以实现的有过不同的观点. 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, 证明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. 可以证明电场的传播速度是光的传播速度 $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 在

人们发现电场具有有限的速度传播后,“超距作用”的观点就被否定了。

现在人们对场的物质性有了更明确的认识,场是一种特殊形态的物质,它具有质量、动量和能量.与分子、原子等实物相比,场也有特殊之处.分子或原子占据了的空间不能再被其他分子、原子同时占据,但几个电磁场可以同时占据同一空间,也就是说,场是可以叠加的,所以称它为特殊的物质。

不随时间变化的电场称为**静电场**.静止电荷在周围空间产生的电场就是静电场.已经知道,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.在本章里,将主要研究静电场的性质,分别引出描述电场性质的两个物理量——电场强度和电势。

10.2.2 电场强度矢量

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.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.为了定量描述电场的这个性质,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它的电量应足够小,以至于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,取试验电荷为正电荷 q_0 .

实验表明,在静止电荷 Q 周围的静电场中,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.另外,对于电场中任一固定点而言,试验电荷 q_0 在该处所受的电场力 F 与 q_0 的大小有关,但 F 与 q_0 之比与 q_0 无关,为一不变的矢量.这个不变的矢量反映了电场在该点处对进入其中带电的物体施力的性质,所以将该矢量定义为**电场强度**,用符号 E 表示,有

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (10-4)$$

式(10-4)为电场强度的定义式.它表明,电场中某点处的电场强度矢量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.当取试验电荷为正电荷时, 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·库仑⁻¹,符号为 $N \cdot C^{-1}$;电场强度的单位也为伏特·米⁻¹,符号为 $V \cdot m^{-1}$.两者是一样的,不过 $V \cdot m^{-1}$ 较 $N \cdot C^{-1}$ 使用得更普遍些。

应当指出,在已知电场强度分布的电场中,电荷 q 在场中某点处所受的力 F 可由式(10-4)算得

$$F = qE$$

10.2.3 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 10.2(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 所受的电场力为

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

式中, $\mathbf{e}_r$ 为位矢 r 的单位矢量,即 $\mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{r}}{r}$. 由电场强度定义式(10-4)可得场点 P 处的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (10-5)$$

式(10-5)是在真空中点电荷 Q 所激发的电场中任意点 P 处的电场强度表达式. 这个公式也是计算点电荷电场强度的公式. 从式(10-5)可以看出,如果点电荷为正电荷(即 $Q>0$), $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{r}$ 的方向相同;如果点电荷为负电荷(即 $Q<0$), 则 $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{r}$ 的方向相反[图 10.2(b)]. 同时表明,真空中点电荷的电场是非均匀场,并具有球对称性.

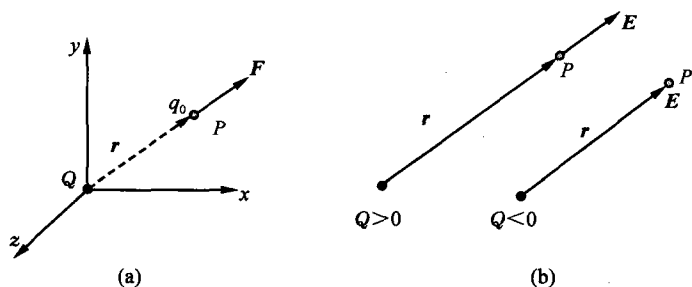


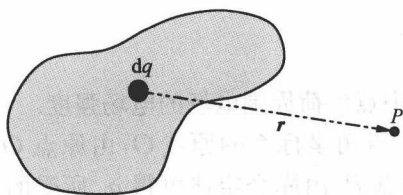
图 10.2 点电荷的电场强度

10.2.4 电场强度叠加原理

将静电力的叠加原理式(10-3)代入电场强度的定义式(10-4)中,得

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = \sum_{i=1}^N \frac{\mathbf{F}_i}{q_0} = \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{r_i^2} \mathbf{e}_i \quad (10-6)$$

式(10-6)表明,点电荷系所激发的电场中某点处的电场强度等于各个点电荷单独存在时对该点所激发的电场强度的矢量和. 这就是电场强度的叠加原理. 对于电荷

图 10.3 带电体的电场强度 dE

连续分布的带电体,如图 10.3 所示,设其体积为 V ,在带电体上取一体积为 dV 的电荷元 dq ,它的线度相对于 V 可视为无限小, dV 内所包含的电量为 dq ,可将 dq 作为一个点电荷对待,则 dq 在点 P 的电场强度为

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} e_r$$

式中, e_r 为由 dq 指向点 P 的单位矢量. 根据电场强度叠加原理,整个带电体在点 P 处的电场强度 E 为

$$E = \int dE = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e_r}{r^2} dq \quad (10-7)$$

若 ρ 为其电荷体密度,则 $dq = \rho dV$. 于是,式(10-7)也可写成

$$E = \int_V \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho e_r}{r^2} dV \quad (10-8a)$$

如果带电体是电荷连续分布的线带电体和面带电体,电荷元 dq 分别为 $dq = \lambda dl$ 和 $dq = \sigma ds$,其中 λ 为电荷线密度, σ 为电荷面密度,则由式(10-7)可得它们的电场强度分别为

$$E = \int_l \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda e_r}{r^2} dl \quad (10-8b)$$

$$E = \int_s \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\sigma e_r}{r^2} ds \quad (10-8c)$$

例 10.1 电偶极子的电场强度.

如图 10.4 所示,有两个电荷相等、符号相反;相距为 r_0 的点电荷 $+q$ 和 $-q$. 若场点 P 到这两个点电荷的距离比 r_0 大很多时,这两个点电荷构成的电荷系称为电偶极子. 从 $-q$ 指向 $+q$ 的矢量 r_0 称为电偶极子的轴, qr_0 称为电偶极子的电偶极矩(简称矩),用符号 p 表示,有 $p = qr_0$. 下面分别讨论:

(1) 电偶极子轴线延长线上一点的电场强度;

(2) 电偶极子轴线的中垂线上一点的电场强度.

解 (1) 如图 10.4 所示,取电偶极子

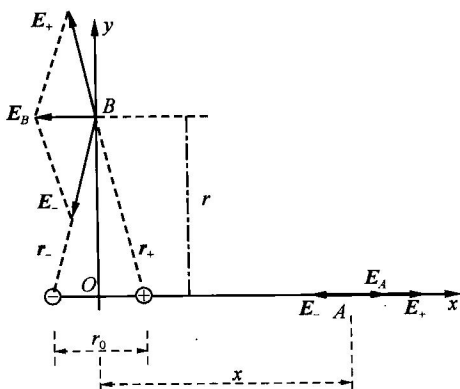


图 10.4 电偶极子

轴线的中点为坐标原点 O , 沿电偶极子的延长线为 Ox 轴, 轴上任意点 A 距原点 O 的距离为 x . 由式(10-5)可得点电荷 $+q$ 和 $-q$ 在点 A 激发的电场强度分别为

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(x - \frac{r_0}{2}\right)^2} i$$

$$E_- = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left(x + \frac{r_0}{2}\right)^2} i$$

上两式表明, E_+ 和 E_- 的方向都沿 Ox 轴, 但方向相反. 由电场强度叠加原理可知, 点 A 处的 E 为

$$E = E_+ + E_- = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{\left(x - \frac{r_0}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(x + \frac{r_0}{2}\right)^2} \right] i$$

化简后有

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{2xr_0}{\left(x^2 - \frac{r_0^2}{4}\right)^2} \right] i$$

上面已指出, 对电偶极子来说, 场点到电偶极子的距离比电偶极子中 $+q$ 和 $-q$ 之间的距离要大得多, 即 $x \gg r_0$, 这样上式中 $(x^2 - r_0^2/4) \approx x^2$. 于是上式可写为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2r_0 q}{x^3} i$$

由于电矩 $p = qr_0 = qr_0 i$, 所以上式为

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{x^3} \quad (1)$$

式(1)表明, 在电偶极子轴线的延长线上任意点 A 处的电场强度 E 的大小与电偶极子的电矩 p 成正比, 与电偶极子中点 O 到点 A 的距离的三次方成反比; 电场强度 E 的方向与电矩 p 的方向相同.

(2) 取 Oy 轴如图 10.4 所示. 由式(10-5), 可得点电荷 $+q$ 和 $-q$ 对中垂线上任意点 B 的电场强度分别为

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_+^2} e_+ \quad (2)$$

$$E_- = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_-^2} e_- \quad (3)$$

式中, r_+ 和 r_- 分别是 $+q$ 和 $-q$ 与点 B 间的距离, e_+ 和 e_- 分别是 $+q$ 和 $-q$ 指向点 B 的单位矢量. 由于 B 是 $+q, -q$ 连线的中垂线上的一点, 所以 $r_+ = r_-$, 令其为