



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理学 简明教程

(第三版)

下册

■ 主 编 胡盘新 汤毓骏 钟季康



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通物理学 简明教程

(第三版)

下册

主 编 胡盛新 汤毓骏 钟季康



高等教育出版社·北京

内容提要

本书是在程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第七版)的基础上,根据《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)改编而成。本书在保持原书选材精当、论述严谨、行文简明的前提下,删繁就简,突出重点,由浅入深,力求更加易教易学。本书涵盖了《教学基本要求》中的核心(A类)内容,并精选了适量重要的扩展(B类)内容,对经典物理内容进行了精简和深化,对近代物理内容进行了精选和普化,并适当介绍现代工程技术的新发展和新动态。

本书分为上、下两册,上册包括力学、振动和波动、狭义相对论和热学,下册包括电磁学、波动光学和量子物理。本书可作为高等学校非物理类理工科专业 80~110 学时大学物理基础课程的教材,也可供其他相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, 钟季康主编. -- 3 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2017.4
ISBN 978-7-04-044933-4

I. ①普… II. ①胡… ②汤… ③钟… III. ①普通物理学 - 高等学校 - 教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 035255 号

Putong Wulixue Jianming Jiaocheng

策划编辑	程福平	责任编辑	忻蓓	封面设计	王鹏	版式设计	王艳红
插图绘制	杜晓丹	责任校对	高歌	责任印制	刘思涵		

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.hepmall.com.cn
印 刷	国防工业出版社印刷厂		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×960mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	16	版 次	2004 年 1 月第 1 版
字 数	290 千字		2017 年 4 月第 3 版
彩 插	1	印 次	2017 年 4 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	30.40 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 44933-00

目 录

第八章 静止电荷的电场	1
§ 8-1 电荷 库仑定律	1
一、电荷	1
二、电荷守恒定律	2
三、电荷的量子化	2
四、库仑定律	3
§ 8-2 静电场 电场强度	4
一、电场	4
二、电场强度	5
三、电场强度的计算	6
四、电场线	12
五、电场强度通量	13
§ 8-3 静电场的高斯定理	15
一、静电场的高斯定理	15
二、高斯定理的应用	17
§ 8-4 静电场的环路定理 电势	21
一、静电场的环路定理	21
二、电势	23
三、电势的计算	24
§ 8-5 等势面 电场强度与电势的微分关系	28
一、等势面	28
二、电场强度与电势的微分关系	29
§ 8-6 静电场中的导体	30
一、导体的静电平衡	30
二、导体上的电荷分布	31
三、静电屏蔽	34
§ 8-7 电容器的电容	36
一、电容器及其电容	36
二、电容器电容的计算	37
* 三、电容器的串联和并联	39

§ 8-8 静电场中的电介质	41
* 一、电介质分子的电结构	41
* 二、电介质的极化	42
三、介质中的静电场	43
§ 8-9 有电介质时的高斯定理 电位移	45
§ 8-10 静电场的能量	48
习题	50
第九章 恒定电流的磁场	55
§ 9-1 恒定电流 电动势	55
一、电流 电流密度	55
二、电源的电动势	57
§ 9-2 磁感应强度	58
一、对磁现象的认识	58
二、磁感应强度	59
三、磁感应线和磁通量	60
§ 9-3 毕奥-萨伐尔定律	62
一、毕奥-萨伐尔定律	62
二、毕奥-萨伐尔定律的应用	63
§ 9-4 恒定磁场的高斯定理与安培环路定理	66
一、恒定磁场的高斯定理	66
二、安培环路定理	67
三、安培环路定理的应用	69
§ 9-5 带电粒子在电场和磁场中的运动	72
一、洛伦兹力	72
二、带电粒子在电磁场中的运动和应用	75
§ 9-6 磁场对载流导线和载流线圈的作用	79
一、安培定律	79
二、磁场对载流线圈的作用	81
* 三、电流单位“安培”的定义	82
四、磁场力的功	83
§ 9-7 磁场中的磁介质 有磁介质时的安培环路定理	85
一、磁介质	85
二、磁化电流	86
三、有磁介质时的安培环路定理	87
* § 9-8 铁磁质	90
习题	92

第十章 电磁感应 电磁场理论	97
§ 10-1 电磁感应定律	97
一、电磁感应现象	97
二、法拉第电磁感应定律和楞次定律	99
§ 10-2 动生电动势	102
一、在磁场中运动的导线内的感应电动势	102
二、在磁场中转动的线圈内的感应电动势	106
§ 10-3 感生电动势 感生电场	107
一、感生电场	107
* 二、涡电流	111
§ 10-4 自感应和互感应	112
一、自感应	113
二、互感应	115
§ 10-5 磁场的能量	118
§ 10-6 位移电流 麦克斯韦方程组	121
一、位移电流	121
二、麦克斯韦方程组	124
§ 10-7 电磁波	126
一、麦克斯韦的理论预言	126
二、电磁波的辐射和传播	127
三、平面电磁波的性质	128
四、电磁波的能量	129
习题	131
第十一章 波动光学	135
§ 11-1 相干光 双缝干涉	135
一、相干光	135
二、杨氏双缝实验	136
三、干涉明暗条纹的位置	136
四、劳埃德镜实验	138
§ 11-2 光程与光程差	139
一、光程	139
二、光程差	140
三、物像之间的等光程性	141
§ 11-3 薄膜干涉	142
一、劈尖膜干涉	142
二、平行薄膜干涉	147

§ 11-4 迈克耳孙干涉仪	150
§ 11-5 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	151
一、光的衍射现象	151
二、惠更斯-菲涅耳原理	153
§ 11-6 单缝的夫琅禾费衍射	155
§ 11-7 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	159
一、圆孔的夫琅禾费衍射	159
二、光学仪器的分辨本领	160
§ 11-8 光栅衍射	164
一、光栅衍射	164
二、光栅方程	165
三、光栅光谱 谱线的缺级	166
§ 11-9 自然光和偏振光	168
一、线偏振光	169
二、部分偏振光	170
§ 11-10 起偏和检偏 马吕斯定律	171
一、起偏和检偏	171
二、马吕斯定律	172
§ 11-11 反射和折射时光的偏振 布儒斯特定律	173
§ 11-12 光的双折射	176
一、寻常光和非常光	176
二、光轴 主平面	177
三、晶体的二向色性和偏振片	178
习题	179
第十二章 量子力学基础	183
§ 12-1 热辐射 普朗克能量量子假设	183
一、热辐射现象	183
二、基尔霍夫辐射定律	184
三、黑体辐射实验定律	184
四、普朗克能量量子假设	188
§ 12-2 光电效应 爱因斯坦光子理论	190
一、光电效应的实验规律	190
二、经典理论所遇到的困难和缺陷	191
三、爱因斯坦光子理论	192
四、光的波粒二象性	193
§ 12-3 康普顿效应	195

一、康普顿效应	195
二、光子理论的解释	196
§ 12-4 德布罗意波 微观粒子的波粒二象性	199
一、德布罗意波	199
二、物质波的实验验证	201
三、微观粒子的波粒二象性	202
§ 12-5 不确定关系	203
§ 12-6 波函数及其统计诠释 薛定谔方程	206
一、波函数	206
二、波函数的统计诠释	207
三、薛定谔方程	209
§ 12-7 一维定态薛定谔方程的应用	211
一、一维无限深势阱	211
二、一维势垒 隧道效应	215
§ 12-8 氢原子理论	217
一、氢原子光谱的规律性	217
二、玻尔的氢原子理论	218
三、玻尔模型的德布罗意波	221
四、量子力学中的氢原子理论	221
§ 12-9 电子的自旋 原子的电子壳层结构	223
一、电子的自旋	223
二、原子的电子壳层结构	224
习题	226
*第十三章 激光和固体的量子理论	229
§ 13-1 激光	229
一、受激吸收、自发辐射和受激辐射	229
二、产生激光的基本条件	230
三、激光器	231
四、激光的特性及其应用	232
§ 13-2 半导体	233
一、晶体的能带结构	233
二、半导体的导电机制	234
三、pn 结及其应用	235
§ 13-3 超导体	237
一、超导电现象	237
二、超导体的主要特性	238

三、BCS 理论	239
四、超导电性的应用	240
五、高温超导的研究	240
§ 13-4 纳米材料	241
一、纳米材料的特性	241
二、碳纳米管	242
三、石墨烯	242
习题答案	243
元素周期表	

第八章 静止电荷的电场

给我最大快乐的,不是已获得的知识,而是不断地学习;不是已有的东西,而是不断地获取;不是已经达到的高度,而是继续不断地攀登.

——高斯

电磁现象是自然界中普遍存在的一种现象,人类很早就对它有所认识.但是,人们最初曾认为电和磁是互不相关的,直到 1819 年奥斯特(H. C. Oersted)发现了电流有使磁针偏转的作用,从此人们认识到磁现象和电现象之间的内在联系. 1820 年安培(A. Ampère)又发现了磁铁对电流的作用,1831 年,法拉第(M. Faraday)发现了电磁感应现象,提出了场和力线的概念,进一步揭示了电场与磁场的联系. 麦克斯韦(J. C. Maxwell)在前人成就的基础上,发展了法拉第有关电磁场的理论,他睿智地提出了感应电场和位移电流两个假设,深刻揭露了电场和磁场之间的联系. 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.

相对于观察者为静止的电荷所激发的电场,称为静电场(electrostatic field). 本章我们首先研究真空中静电场的基本特性,从电场对电荷有力的作用,电荷在电场中移动时电场力对电荷做功两个方面,引入描述电场的两个重要物理量——电场强度和电势,并讨论它们的叠加原理,两者之间的关系;同时介绍反映静电场基本性质的高斯定理和静电场环路定理,然后论述导电性能不同的两类物体——导体和绝缘体(电介质)在电场中的静电特性,以及电场的能量.

§ 8-1 电荷 库仑定律

一、电荷

对于电的认识,最初来自摩擦起电和自然界的雷电现象. 早在公元 3 世纪,晋朝张华的《博物志》中就记载着:“今人梳头,脱著衣时,有随梳、解结有光者,

亦有咤声。”这是人类观察到摩擦起电现象的早期记录. 人们把物体经摩擦后能吸引羽毛、纸片等轻微物体的状态称为带电, 并说物体带有电荷(charge), 把表示物体所带电荷多寡的物理量称为电荷量(electric quantity).

物体所带的电荷只有两种, 分别为正电荷和负电荷. 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(electric force).

二、电荷守恒定律

在正常情况下, 原子内的电子数和原子核内的质子数相等, 整个原子呈电中性. 因此, 通常的宏观物体处于电中性状态, 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. 所谓起电, 实际上是通过某种作用, 使该物体内电子不足或过多而呈带电状态. 例如, 通过摩擦可使两物体接触面的温度升高, 促使一定量的电子获得足够的动能从一个物体迁移到另一个物体, 从而使获得更多电子的物体带负电, 失去电子的物体带正电.

实验证明, 在一个与外界没有电荷交换的系统内, 无论经过怎样的物理过程, 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(law of conservation of electric charge), 是物理学的基本定律之一. 这个定律不仅在宏观带电体中的起电、中和、静电感应和电极化等现象中得到了证明, 而且在微观物理过程中更是得到了精确验证.

三、电荷的量子化

到目前为止的所有实验表明, 电子或质子是自然界带有最小电荷量的粒子, 它们所带的电荷量是基本的电量单元. 在国际单位制中, 电荷量的单位是库仑(C). 一个质子和一个电子所带的电荷量分别是 $+1.602\,177 \times 10^{-19}\text{ C}$ 和 $-1.602\,177 \times 10^{-19}\text{ C}$. 通常用 $+e$ 和 $-e$ 表示. 任何带电体和其他微观粒子所带的电荷量都是电子或质子电荷量的整数倍. 电荷量的这种只能取分立的、不连续量值的性质, 称为电荷的量子化(charge quantization).

20 世纪 50 年代以来, 包括我国理论物理工作者在内的各国理论物理工作者陆续提出了一些关于物质结构更深层次的模型. 他们认为强子(质子、中子、介子等)是由更基本的粒子——夸克构成的. 理论认为, 夸克带有分数电荷, 它们所带的电荷量是电子电荷量的 $\pm 1/3$, $\pm 2/3$. 需要说明的是, 这个理论并没有改变电荷量子化的结论. 但迄今为止, 尚未在实验中找到自由状态的夸克.

量子化是微观世界的一个基本概念, 在微观世界中我们将看到, 能量、角动

量等也是量子化的。

四、库仑定律

为了定量地描述电性力,我们首先引入点电荷(point charge)的模型,即当带电体的线度与所研究的问题中涉及的距离相比可忽略时,这些带电体可看作是点电荷.这是物理学中又一理想模型.

1785年,库仑(C. 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(Coulomb's law).可陈述如下:两个静止点电荷之间相互作用力(或称静电力)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.其数学形式可表示为

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \mathbf{e}_{r12} \quad (8-1)$$

式中 k 是比例系数, $\mathbf{F}_{12}$ 表示 q_2 对 q_1 的作用力, $\mathbf{e}_{r12}$ 是由点电荷 q_2 指向点电荷 q_1 的单位矢量(图8-1).当 q_1 和 q_2 同号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与单位矢量 $\mathbf{e}_{r12}$ 的方向相同,表明 q_2 对 q_1 的作用力是斥力;当 q_1 和 q_2 异号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{e}_{r12}$ 的方向相反,表明 q_2 对 q_1 的作用是引力.

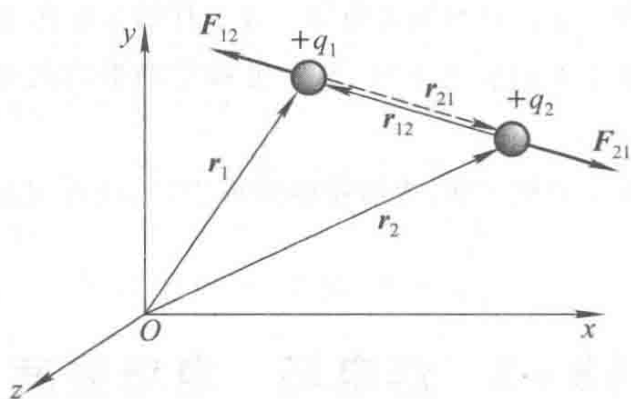


图 8-1 两个点电荷之间的作用力

式(8-1)中各量采用国际单位制时,根据实验测得在真空中的比例系数

$$k = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

为了使以后的运算更为简便,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

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \mathbf{e}_{r12} \quad (8-2)$$

式中的常量 ϵ_0 称为真空电容率 (permittivity of vacuum), 或真空介电常量 (dielectric constant of vacuum), 是电磁学中的一个基本常量, 2010 年国际推荐值为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx 8.854\,187\,817 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$$

应该指出, 在库仑定律表示式中引入了因子 4π , 这种作法称为单位制的有理化. 由此看上去库仑定律的数学形式变得复杂了点, 但在此后导出的一些常用公式中, 本可能出现 4π 的地方将因此而简化了, 这使得运算反而更为简洁.

库仑定律是直接由实验总结出来的规律, 它是静电场理论的基础. 实验还证明, 当空间有两个以上的点电荷时, 作用在某一点电荷上的总静电力等于其他各点电荷单独存在时对该点电荷所施静电力的矢量和, 这一结论叫做静电力的叠加原理 (superposition principle of electric force).

复习思考题

8-1-1 点电荷是否一定是很小的带电体? 什么样的带电体可以看作是点电荷?

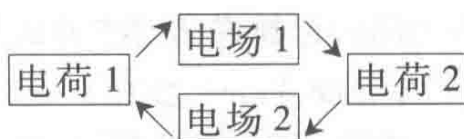
8-1-2 在干燥的冬季人们脱毛衣时, 常听见噼里啪啦的放电声, 试对这一现象作一解释.

8-1-3 带电棒吸引干燥软木屑, 木屑接触到棒以后, 往往又剧烈地跳离此棒. 试解释此现象.

§ 8-2 静电场 电场强度

一、电场

我们知道力是物体之间的相互作用. 两个物体彼此不相接触时, 其相互作用必须依赖其间的物质作为传递介质. 没有物质作传递介质的所谓“超距作用”是不存在的. 真空中两个相互隔开的点电荷也可以发生相互作用. 这就说明, 电荷周围存在一种特殊的物质, 称之为电场 (electric field). 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, 可表达为



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。

现代科学的理论和实践已证实,电磁场是物质存在的一种形态,它分布在一定范围的空间里,和一切实物粒子一样,它具有能量、动量等属性.本章所研究的静电场是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,总是能通过该对象与其他物体的相互作用显示出来.电场对电荷有力的作用,电荷在电场中移动时电场力要对电荷做功.利用前者,可以引入电场强度这一物理量,对后者,引入电势的概念.电场强度和电势是描述静电场性质和规律的两个基本物理量.现在先讨论电场强度的概念.为此,我们将一个试验电荷 q_0 放到电场中各点,观测 q_0 受到的电场力.试验电荷应该满足下列条件:首先,其所带的电荷量必须充分地小,当把它引入电场时,不致影响原来的电场分布,否则测出来的将是原有电荷作重新分布后的电场;其次,线度必须小到可以被看作点电荷,以便能用它来确定场中每一点的性质.实验指出,试验电荷 q_0 在电场中不同位置处所受力的方向和大小一般并不相同(参看图 8-2,图中 q_0 为正电荷),它不仅与试验电荷所在处电场的性质有关,而且与试验电荷本身的正负和所带电荷量的大小有关.但是,比值 F/q_0 却与试验电荷本身无关,而仅仅与试验电荷所在点处的电场性质有关.所以,我们可用试验电荷所受的力与试验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**(intensity of electric field).电场强度是矢量,用符号 E 表示,即

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

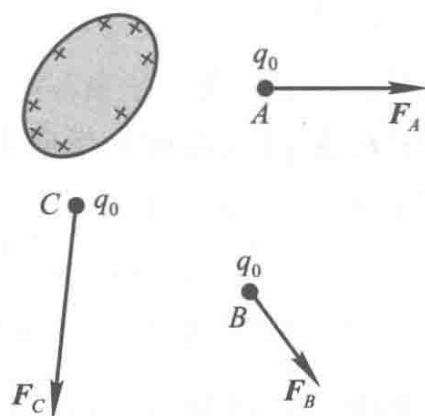


图 8-2 试验电荷 q_0 在电场中受力的情况

由上式可知,电场中某点的电场强度的大小等于单位电荷在该点所受的力的大小,其方向为正电荷在该点受力的方向.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 $E(x, y, z)$ 。

在国际单位制中, 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 § 8-4). 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.

反过来, 如果我们已知电场强度分布 E , 就不难求得任一点电荷 q 在电场中的受力

$$\boxed{F = qE} \quad (8-4)$$

q 为正时, 力 F 的方向与电场强度 E 的方向相同;

q 为负时, 力 F 的方向与电场强度 E 的方向相反 (见图 8-3).

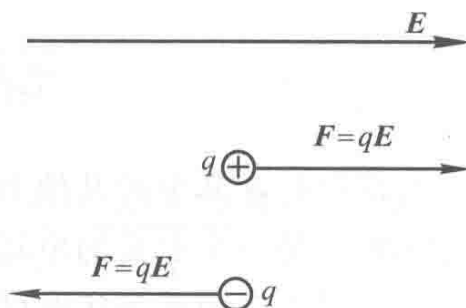


图 8-3 电场对正、负电荷作用力的方向

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场强. 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 (称为源电荷), 则距 q 为 r 的 P 点 (称为场点) 的电场强度, 可由式 (8-2) 和式 (8-3) 求得. 设想在 P 点放一试验电荷 q_0 , 作用在 q_0 上的电场力是

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} e_r$$

式中 e_r 是由点电荷 q 指向 P 点的单位矢量, 再应用式 (8-3) 可求得 P 点的电场强度为

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} e_r} \quad (8-5)$$

由式 (8-5) 可知, 点电荷 q 在空间任一点所激发的电场强度大小, 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, E 的方向与 e_r 的方向一致, 即背离 q ; 如果 q 为负电荷, E 的方向与 e_r 的方向相反, 即指向 q , 如图 8-4 所示.

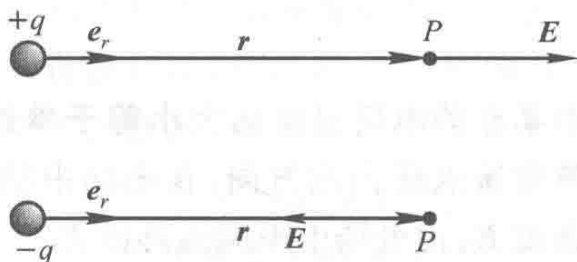


图 8-4 点电荷的电场强度

2. 电场强度叠加原理和点电荷系的电场强度

如果电场是由 n 个点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 共同激发的(图 8-5), 这些电荷组成一个电荷系. 根据电场力的叠加原理, 试验电荷 q_0 在电荷系的电场中某点 P 处所受的力等于各个点电荷单独存在时对 q_0 作用力的矢量和, 即

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i$$

两边除以 q_0 得

$$\frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{\mathbf{F}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{F}_2}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{F}_n}{q_0}$$

按电场强度的定义, 等号右边各项分别是各个点电荷在 P 点激发的电场强度, 而左边为 P 点的总电场强度, 即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (8-6)$$

上式说明, 点电荷系在空间任一点所激发的总电场强度等于各个点电荷单独存在时在该点各自所激发的电场强度的矢量和. 这就是**电场强度叠加原理**(superposition principle of electric field intensity), 它是电场的基本性质之一. 利用这一原理, 可以计算任意带电体所激发的电场强度, 因为任何带电体都可以看作许多点电荷的集合.

设各点电荷指向 P 点的单位矢量分别为 $\mathbf{e}_{r_1}, \mathbf{e}_{r_2}, \dots, \mathbf{e}_{r_n}$, 按式(8-5), 各点电荷在 P 点激发的电场强度分别为

$$\mathbf{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_1^2} \mathbf{e}_{r_1}, \quad \mathbf{E}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_2^2} \mathbf{e}_{r_2}, \dots, \quad \mathbf{E}_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_n^2} \mathbf{e}_{r_n}$$

根据场强叠加原理, 这个点电荷系在 P 点所激发的总电场强度 $\mathbf{E}$ (图 8-5) 为

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_i^2} \mathbf{e}_{r_i} \quad (8-7)$$

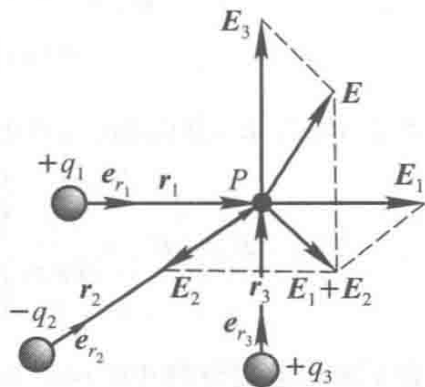


图 8-5 点电荷系的
电场强度

例题 8-1 电偶极子的电场强度.

两个大小相等符号相反的点电荷 $+q$ 和 $-q$, 它们之间的距离为 l , 当这个距离 l 比所考虑的场点到它们的距离小得多时, 这一电荷系统就称为**电偶极子**(electric dipole). 联结两电荷的直线称为电偶极子的轴线, 取从负电荷指向正电荷的矢量 $\mathbf{l}$ 的方向作为轴线的正方向. 电荷 q 与矢量 $\mathbf{l}$ 的乘积定义为**电偶极矩**, 简称**电矩**(electric moment). 电矩是矢量, 用 $\mathbf{p}$ 表示, 即

$$\mathbf{p} = q\mathbf{l}$$

试计算电偶极子轴线的延长线上和中垂线上任一点的电场强度。

解 我们首先计算电偶极子轴线的延长线上某点 A 处的电场强度 E_A 。选取电偶极子轴线的中心 O 为坐标原点, A 点的坐标为 $(x, 0)$, $x \gg l$, 如图 8-6(a) 所示。 $+q$ 和 $-q$ 在 A 点所激发的电场强度 E_+ 和 E_- 分别为

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

在 A 点 E_+ 与 E_- 方向相反, 总电场强度 E_A 为

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

因为 $x \gg l$, 上式分母中 $l^2/4x^2 \ll 1$, 所以

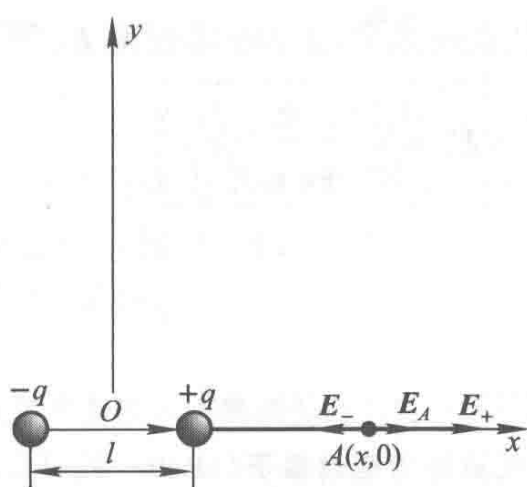
$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2ql}{x^3} i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p}{x^3} \quad (8-8)$$

E_A 的指向与电偶极矩 p 的指向相同, 如图 8-6(a) 所示。

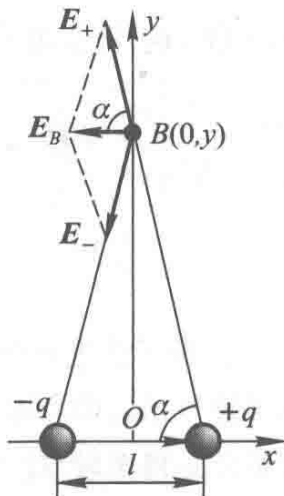
其次, 计算电偶极子的中垂线上某点 $B(0, y)$ 的电场强度 E_B , 如图 8-6(b) 所示, $+q$ 和 $-q$ 分别在 B 点所激发的电场强度 E_+ 和 E_- 的大小相等, 其矢量式分别为

$$E_+ = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0\left(y^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \cos \alpha i + \frac{q}{4\pi\epsilon_0\left(y^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \sin \alpha j$$

$$E_- = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0\left(y^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \cos \alpha i - \frac{q}{4\pi\epsilon_0\left(y^2 + \frac{l^2}{4}\right)} \sin \alpha j$$



(a) 在轴线上的电场强度



(b) 在中垂线上的电场强度

图 8-6 电偶极子的电场