



应用型本科数理类基础课程系列教材

大学物理

(下册)

主编 刘扬正 孙宏



科学出版社

应用型本科数理类基础课程系列教材

大学物理

(下册)

主 编 刘扬正 孙 宏
副主编 张伟强 王红兵 杨 健

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在教育部物理基础课程教学指导分委员会颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》指导下,秉承学以致用教育理念,满足应用型工程技术人才培养的总体要求,精选了大学物理课程教学内容,突出科学性、现代性和实用性,力求做到好教易学.全书分上、下两册,包括力学、振动、波和光学、热学、电磁学、相对论和量子物理等内容.

本书既可作为普通高等院校大学物理课程的教学用书,又可作为工程技术人员参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.下册/刘扬正,孙宏主编. —北京:科学出版社,2011
应用型本科数理类基础课程系列教材
ISBN 978-7-03-029964-2

I. ①大… II. ①刘…②孙… 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(2011)第 005071 号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:刘亚琦
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

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>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 1 月第一次印刷 印张:26 3/4

印数:1—6 000 字数:540 000

定价:45.00 元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

常用物理基本常数表

物理常数	符 号	最佳实验值	供计算用值
真空中光速	c	$299792458 \pm 1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
引力常数	G	$(6.6720 \pm 0.0041) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
阿伏伽德罗常量	N_A	$(6.022045 \pm 0.000031) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
普适气体常量	R	$(8.31441 \pm 0.00026) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻尔兹曼常量	k	$(1.380662 \pm 0.000041) \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
理想气体摩尔体积(标准状态)	V_m	$(22.41383 \pm 0.00070) \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	$22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
基本电荷	e	$(1.6021892 \pm 0.0000046) \times 10^{-19} \text{ C}$	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
原子质量单位	m_u	$(1.6605655 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
电子静止质量	m_e	$(9.109534 \pm 0.000047) \times 10^{-31} \text{ kg}$	$9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
电子荷质比	e/m_e	$(1.7588047 \pm 0.0000049) \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-2}$	$1.76 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-2}$
质子静止质量	m_p	$(1.6726485 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子静止质量	m_n	$(1.6749543 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
法拉第常量	F	$(9.648456 \pm 0.000027) \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$	$96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
真空电容率	ϵ_0	$(8.854187818 \pm 0.000000071) \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-2}$	$8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-2}$
真空磁导率	μ_0	$12.5663706144 \pm 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$	$4\pi \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
电子磁矩	μ_e	$(9.284832 \pm 0.000036) \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$9.28 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
质子磁矩	μ_p	$(1.4106171 \pm 0.0000055) \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$1.41 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
玻尔半径	a_0	$(5.2917706 \pm 0.0000044) \times 10^{-11} \text{ m}$	$5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$
玻尔磁子	μ_B	$(9.274078 \pm 0.000036) \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$9.27 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
经典电子半径	R_e	$2.81794092(38) \times 10^{-15} \text{ m}$	
核磁子	μ_N	$(5.059824 \pm 0.000020) \times 10^{-27} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$	$5.05 \times 10^{-27} \text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
普朗克常量	h	$(6.626176 \pm 0.000036) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
里德伯常量	R	$1.097373177(83) \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	
电子康普顿波长	λ_e	$2.4263089(40) \times 10^{-12} \text{ m}$	
质子康普顿波长	λ_p	$1.3214099(22) \times 10^{-15} \text{ m}$	
质子电子质量比	m_p/m_e	1836.1515	

国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量 ^①	千克(公斤) ^②	kg
时间	秒	s
电流	安[培] ^③	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

注：中华人民共和国 1993 年 12 月 27 日发布，GB3100—93。

① 人民生活和贸易中，质量习惯称为重量。

② 圆括号中的名称是它前面的名称的同义词。

③ 无方括号的量的名称和单位名称均为其全称。方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略。去掉方括号中的字，即为其名称的简称。下同。

包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	基本单位和导出单位
[平面]角	弧度	rad	$1\text{rad}=1\text{m}/\text{m}=1$
立体角	球面度	sr	$1\text{sr}=1\text{m}^2/\text{m}^2=1$
频率	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz}=1\text{s}^{-1}$
力	牛[顿]	N	$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
压力，压强，应力	帕[斯卡]	Pa	$1\text{Pa}=1\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$
能[量]，功，热量	焦[耳]	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
功率，辐[射能]通量	瓦[特]	W	$1\text{W}=1\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$
电荷[量]	库[仑]	C	$1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{s}$
电压，电动势，电势	伏[特]	V	$1\text{V}=1\text{W}\cdot\text{A}^{-1}$
电容	法[拉]	F	$1\text{F}=1\text{C}\cdot\text{V}^{-1}$
电阻	欧[姆]	Ω	$1\Omega=1\text{V}\cdot\text{A}^{-1}$
电导	西[门子]	S	$1\text{S}=1\Omega^{-1}$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$1\text{Wb}=1\text{V}\cdot\text{s}$
磁通[量]密度，磁感应强度	特[斯拉]	T	$1\text{T}=1\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2}$
电感	亨[利]	H	$1\text{H}=1\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C}=1\text{K}$
光通量	流[明]	lm	$1\text{lm}=1\text{cd}\cdot\text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$1\text{lx}=1\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$

注：中华人民共和国 1993 年 12 月 27 日发布，GB3100—93。

希腊字母发音表

序 号	小 写	大 写	英文注音	国际音标注音	中文注音
1	α	A	alpha	aːlf	阿尔法
2	β	B	beta	bet	贝塔
3	γ	Γ	gamma	gaːm	伽马
4	δ	Δ	delta	delt	德尔塔
5	ε	E	epsilon	ep'silon	伊普西龙
6	ζ	Z	zeta	zat	截塔
7	η	H	eta	eit	艾塔
8	θ(ϑ)	Θ	thet ə	θit	西塔
9	ι	I	iot ə	aiot	约塔
10	κ	K	kappa	kap	卡帕
11	λ	Λ	lambda	lambd	兰布达
12	μ	M	mu	mju	缪
13	ν	N	nu	nju	纽
14	ξ	Ξ	xi	ksi	克西
15	ο	O	omicron	omikron	奥密克戎
16	π	Π	pi	pai	派
17	ρ	P	rho	rou	肉
18	σ	Σ	sigma	`sigma	西格马
19	τ	T	tau	tau	套
20	υ	Υ	upsilon	jup'silon	宇普西龙
21	φ(ϕ)	Φ	phi	fai	佛爱
22	χ	X	chi	phai	西
23	ψ	Ψ	psi	psai	普西
24	ω	Ω	omega	o'miga	欧米伽

目 录

第 4 篇 电 磁 学

第 9 章 静电场	3
9.1 电荷 库仑定律	3
9.1.1 电荷及其性质	3
9.1.2 库仑定律	4
9.2 电场 电场强度	5
9.2.1 电场	5
9.2.2 电场强度	5
9.2.3 电场强度计算	6
9.3 高斯定理.....	10
9.3.1 电场线	10
9.3.2 电场强度通量	10
9.3.3 高斯定理.....	12
9.4 静电场的环路定理 电势能.....	16
9.4.1 静电场力做功的特点	16
9.4.2 静电场的环路定理	17
9.4.3 电势能	17
9.5 电势.....	18
9.5.1 电势	18
9.5.2 电势差	19
9.5.3 电势的计算	19
9.6 等势面 电势梯度.....	22
9.6.1 等势面	22
9.6.2 电势梯度.....	23
9.7 电场中的导体.....	25
9.7.1 导体的静电平衡状态及条件	25
9.7.2 导体表面的电荷和电场	26
9.7.3 静电屏蔽.....	27

9.8 电容 电容器	29
9.8.1 孤立导体的电容	29
9.8.2 电容器及其电容	30
9.9 静电场中的电介质	31
9.9.1 电介质的分类	31
9.9.2 电介质的极化过程	32
9.9.3 有介质时的高斯定理	33
9.9.4 电介质中静电场的计算	34
9.9.5 电介质的击穿	36
9.10 静电场的能量	37
习题	40
第10章 稳恒磁场	45
10.1 磁场 磁感应强度	45
10.2 毕奥-萨伐尔定律	46
10.2.1 毕奥-萨伐尔定律	46
10.2.2 运动电荷的磁场	47
10.2.3 用毕奥-萨伐尔定律求电流产生的磁场	48
10.3 磁通量 磁场的高斯定理	51
10.3.1 磁感线	51
10.3.2 磁通量	51
10.3.3 磁场的高斯定理	53
10.4 安培环路定理	54
10.4.1 安培环路定理	54
10.4.2 安培环路定理的应用	56
10.5 磁场对运动电荷的作用	57
10.5.1 洛伦兹力	57
10.5.2 带电粒子在磁场中的运动	58
10.6 磁场对载流导体的作用	62
10.6.1 安培力	62
10.6.2 磁场作用于载流线圈的磁力矩	64
10.7 磁场中的磁介质	65
10.7.1 磁介质	65
10.7.2 顺磁质与抗磁质的磁化	66
10.7.3 磁介质中的安培环路定律	67

10.7.4 铁磁质	68
习题	70
第 11 章 电磁感应	75
11.1 电磁感应定律	75
11.1.1 法拉第电磁感应定律	75
11.1.2 感应电动势的方向	76
11.2 动生电动势	79
11.2.1 电源的工作原理	79
11.2.2 动生电动势	80
11.3 感生电动势	82
11.4 自感与互感	85
11.4.1 自感	85
11.4.2 互感	86
11.5 磁场能量	89
11.6 位移电流 电磁场基本方程的积分形式	91
11.6.1 位移电流与全电流安培环路定理	91
11.6.2 电磁场 麦克斯韦电磁场方程的积分形式	94
习题	95

第 5 篇 近代物理

第 12 章 狭义相对论简介	103
12.1 爱因斯坦基本原理	103
12.1.1 伽利略变换与经典时空观	103
12.1.2 狭义相对论产生的背景和条件	104
12.1.3 狭义相对论的基本原理	105
12.2 爱因斯坦时空观	107
12.2.1 同时性的相对性	107
12.2.2 长度收缩效应	108
12.2.3 时间延缓效应	111
12.3 狭义相对论动力学	111
12.3.1 质量与速度的关系	112
12.3.2 相对论动力学基本方程	113
12.3.3 质能关系	113
12.3.4 质能公式在原子核裂变和聚变中的应用	114

12.3.5 能量和动量关系	116
习题	120
第 13 章 量子论简介	123
13.1 黑体辐射 普朗克能量量子假设	123
13.1.1 黑体 黑体辐射	123
13.1.2 斯特藩-玻尔兹曼定律 维恩位移定律	124
13.1.3 黑体辐射的瑞利-金斯公式 经典物理的困难	125
13.1.4 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式	126
13.2 光的量子性	128
13.2.1 光电效应现象	128
13.2.2 光子 爱因斯坦方程	129
13.2.3 光的波粒二象性	130
13.2.4 康普顿效应	131
13.3 氢原子的玻尔理论	134
13.3.1 氢原子光谱的规律性	134
13.3.2 卢瑟福的原子有核模型	135
13.3.3 氢原子的玻尔理论	136
13.3.4 玻尔理论的成果和局限性	138
13.4 德布罗意波 实物粒子的波动性	139
13.4.1 德布罗意波	139
13.4.2 德布罗意波的实验证明	139
13.4.3 应用举例	141
13.4.4 德布罗意波的统计解释	141
13.5 海森伯不确定关系	141
13.6 波函数 薛定谔方程	143
13.6.1 波函数 概率密度	143
13.6.2 薛定谔方程	144
13.6.3 一维无限深势阱问题	145
13.6.4 一维方势垒 隧道效应	148
习题	149
部分习题参考答案	153
参考文献	159

第4篇 电 磁 学

电磁现象是自然界中一种普遍存在的现象,电磁相互作用是物质间四种基本相互作用之一,电磁力是原子得以存在的基础.可以说,自然界中的许多现象都与电磁作用相联系.例如,绿色植物吸收太阳光(电磁波),将能量转化为碳水化合物分子的电磁势能,而碳水化合物是地球上一切生命的基础.因此,研究电磁运动对于深入认识物质世界是十分重要的,并且在人类现代生活、生产领域以及高新技术研究中的许多内容都与电磁现象和电磁规律密切相关.电磁学就是研究物质间电磁相互作用,电磁场产生、变化和运动的规律的一门学科.学习电磁学并掌握电磁运动的基本规律在理论上和实践上都具有极其重要意义.本篇从场的观点出发,分别介绍电场、磁场及电磁感应的基本规律.

第 9 章 静 电 场

任何电荷的周围都存在电场,相对于观察者静止的电荷在其周围所激发的电场称为**静电场**.本章首先研究真空中静电场的基本性质,并从电场对电荷的作用以及电荷在电场中移动时电场力做功这两方面,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场强叠加原理、高斯定理和静电场的环路定理;并讨论电场强度和电势两者之间的关系.最后,结合导体、电介质的电结构特征,讨论静电场对导体和电介质的作用和影响.

9.1 电荷 库仑定律

9.1.1 电荷及其性质

物质电结构理论告诉我们各种物质都是由分子、原子组成,原子由原子核及核外电子组成,原子核又由中子和质子组成,中子不带电,质子带正电,电子带负电.

通常状态下原子呈电中性,即原子中核内质子数与核外电子数相等.当物体经过某种作用(比如摩擦),物体中的电子可能会发生转移,这样失去电子的物体就带上了正电,而获得电子的物体就带上了负电.

自然界中电荷只有两种,即正电荷和负电荷.同性电荷互相排斥,异性电荷互相吸引.

1. 电荷的量子化

带电体所带电荷数量的多少称为**电量**,一般用符号 q 或者 Q 来表示这一物理量.在国际单位制中,它的单位是库仑,符号为 C.

自然界中究竟哪种带电粒子带的电量最少呢? 1897 年汤姆孙从实验中测出电子的比荷 e/m . 1913 年密立根从实验中测定所有电子都具有相同的电荷,而且带电体的电荷是电子电荷的整数倍.如果以 e 代表电子的电量绝对值,则带电体的电量为

$$q = ne$$

n 为整数.电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质称为**电荷的量子化**.电子的电荷绝对值 e 称为元电荷,或称为电荷的量子.经近代测定 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.质子的电量为 $+e$,电子电量为 $-e$.

2. 电荷守恒定律

在物体带电的过程中,随着电子的迁移,物体所带的电荷可以从一个物体迁移到另一个物体,但其所构成的系统的电荷总量既不会增加,也不会减少.实验证明,在一个孤立带电系统中(即没有静电荷通过系统界面),无论发生怎样的物理过程与化学过程,系统所具有的正负电荷的代数和总是保持不变.这就是电荷守恒定律.

电荷守恒定律是自然界的基本守恒定律,无论在宏观领域里,还是在原子、原子核和粒子范围内,电荷守恒定律都成立.要注意的是,这里说的是正负电荷代数和保持不变,而不是正电荷保持不变,或负电荷保持不变.

9.1.2 库仑定律

18世纪末,一些科学家开始对电现象进行定量研究,其中典型代表是法国科学家库仑,1785年他首先从扭秤实验中总结出两个点电荷间相互作用规律,这就是库仑定律.

如果带电体可看作只有电荷的几何点,则称为点电荷.点电荷只是一个物理模型,实际上是不存在的.如果实际过程中的带电体的线度,比起它到其他带电体的距离小得多,就可以不考虑该带电体的形状和电荷分布的影响,而把它看成一个点电荷.

实验结果指出,真空中两个静止的点电荷之间的相互作用力大小与它们电量乘积成正比,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.这个结论称为库仑定律.静止电荷之间的作用力,称为库仑力.

如图9.1所示,两点电荷的电量分别为 q_1 和 q_2 ,由点电荷 q_1 指向点电荷 q_2 的矢量用 $\mathbf{r}$ 表示.则电荷 q_1 对电荷 q_2 的作用力为

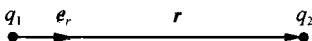


图9.1 库仑定律

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

式中 $\mathbf{e}_r$ 为从 q_1 指向 q_2 的单位矢量,即 $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$. ϵ_0 称为真空的电容率,其值为

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

由上式可知,当 q_1 和 q_2 同号时, $q_1 q_2 > 0$, $\mathbf{F}$ 的方向同 $\mathbf{r}$ 的方向,即 q_2 受到的是斥力作用;当 q_1 和 q_2 异号时, $q_1 q_2 < 0$, $\mathbf{F}$ 的方向与 $\mathbf{r}$ 的方向相反,即 q_2 受到的是引力作用.

例1 在氢原子中,电子与质子的距离约为 $r = 5.3 \times 10^{-11} \text{m}$,质子质量 $m_p = 1.7 \times 10^{-27} \text{kg}$,电子质量 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$.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 万有引力大小为

$$F_m = G \frac{m_e m_p}{r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ = 3.7 \times 10^{-47} \text{ (N)}$$

库仑力大小为

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ (N)}$$

两力的比值为

$$\frac{F_e}{F_m} = 2.2 \times 10^{39}$$

显然,在微观粒子的相互作用中,万有引力远小于库仑力,完全可以略去不计.

9.2 电场 电场强度

9.2.1 电场

库仑定律给出了两个静止的点电荷在真空中相互作用力的定量关系,然而并没有给出这种相互作用是怎样传递的. 对于电荷间相互作用力是怎样传递的问题,早期是有一些不同的观点,但都被近代物理学所否定. 按照近代物理中场的观点,电荷间的相互作用是通过一种特殊的媒介物质——电场来传递的. 即任何电荷都在周围空间激发起电场;电场是物质的一种特殊形态,与有形的、占据一定空间的带电体不同,它不仅存在于带电体内,也存在于带电体外,以致弥漫在整个空间.

由静止电荷所激发的电场称为**静电场**,该电荷称为场源电荷. 静电场是电磁场的一种特殊形态. 电磁场与实物物质一样具有能量、质量和动量等.

电场的重要对外表现是:对引入电场的任何其他电荷都有作用力,称为电场力;当电荷在电场中移动时,电场力将对其做功;使引入电场的导体或电介质分别产生静电感应现象或极化现象. 本章将根据上述电场的对外表现来研究电场的性质.

9.2.2 电场强度

电场对处于其中的电荷产生作用力,这是电场的一个重要性质. 为了研究电场中各点的这一性质,我们用一个电荷 q_0 做试验,这个电荷称为试验电荷. 试验电荷

的电量必须足够小,以至于引入电场后它对原有电场几乎没有显著影响;它的几何线度也必须足够小,当它置于电场中某一点时,其位置才有确定的意义. 为了叙述的确定性,我们取试验电荷为正电荷 $+q_0$.

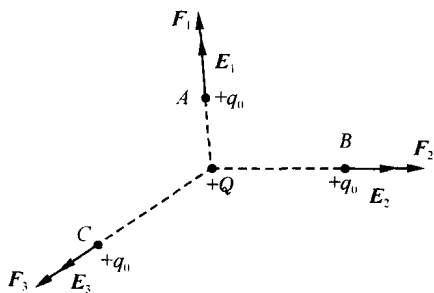


图 9.2 电场对试验电荷的作用

如图 9.2 所示,将试验电荷 q_0 放入静止电荷 $+Q$ 产生的电场中去,先后放在电场中 A、B 和 C 三个不同位置处. 试验发现, $+q_0$ 在不同位置处所受到的电场力 F 的大小与方向均不相同,这说明各点的电场性质不相同;试验进一步发现,当就电场中某一点而言,试验电荷在该点所受电场力 F 的大小只与 q_0 的大小有关,而 F 与 q_0 的比值与 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性质有关,因此,可以定义该矢量为**电场强度**(简称场强),用符号 E 表示

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

由这定义可知,电场强度是描述电场对电荷施力性质的矢量,其大小等于单位试验电荷在该点所受电场力的大小,其方向与正试验电荷在该点所受电场力的方向相同.

电场强度是空间位置的函数. 一般情况下,电场中不同位置处的电场强度 E 是不相同的,如图 9.2 所示, A、B 和 C 三点处的电场分别为 E_1 、 E_2 和 E_3 , 就各不相等. 特殊的,有一种电场,其中各点的电场强度大小和方向均相同,这样的电场称为**均匀电场**.

当静电场中某点的场强已知时,便可以求得位于该点的电量为 q 的点电荷所受的电场力

$$F = qE$$

电场强度的国际单位由其定义式规定,它没有专门名称,一般记作牛顿·库仑 $^{-1}$,符号为 $N \cdot C^{-1}$ (或伏特·米 $^{-1}$,符号为 $V \cdot m^{-1}$).

9.2.3 电场强度计算

1. 点电荷的电场强度计算

现在计算点电荷所激发的场强. 设在真空中有一点电荷 Q , 在离该电荷 r 远处的 P 点的场强可计算如下,设想在 P 点处放一试验电荷 q_0 , 按库仑定律, q_0 所受的力为

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

由电场强度的定义, P 点的场强是

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

式中, r 是 Q 到场点 P 的距离, $\mathbf{e}_r$ 是点电荷指向场点的单位矢量. 上式是在真空中点电荷 Q 所激发的电场中任意点处的电场强度表达式. 如图 9.3 所示, $\mathbf{E}$ 方向沿 Q 点与场点的连线, 当 Q 为正电荷时, $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{e}_r$ 的方向相同; 当 Q 为负电荷时, $\mathbf{E}$ 的方向与 $\mathbf{e}_r$ 的方向相反.

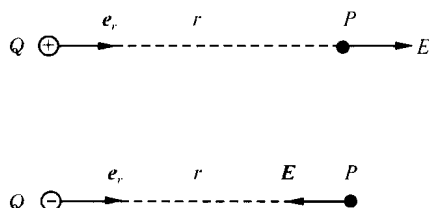


图 9.3 点电荷的电场

当电场由 n 个点电荷激发时, 以 $\mathbf{F}_i$ 表示第 i 个点电荷对试验电荷 q_0 作用的静电力, $\mathbf{E}_i$ 表示第 i 个点电荷在 P 点的场强, 则由电场强度定义及力的叠加原理得

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

即

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (9-4)$$

可见由 n 个点电荷激发的电场中某点的总场强, 等于每个点电荷单独存在时在该点所激发的场强的矢量和, 这称为**电场强度的叠加原理**.

例 1 求电偶极子连线的中垂线上一点 B 处的场强.

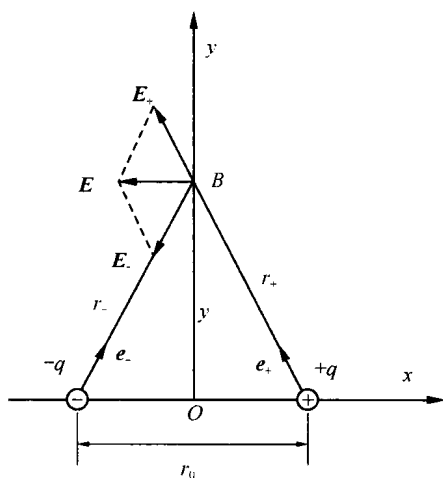


图 9.4 例 1 题图

解 两个相距为 r_0 的等量异号点电荷 $+q$ 和 $-q$ 组成点电荷系, 当讨论的场点到两点电荷连线中点的距离远大于 r_0 时, 称这一带电系统为电偶极子. 若取 $-q$ 指向 $+q$ 的矢径为 $\mathbf{r}_0$, 则矢量 $\mathbf{p}_e = q\mathbf{r}_0$, $\mathbf{p}_e$ 称为该电偶极子的电偶极矩.

选定电偶极子连线中心 O 为坐标原点, 建立直角坐标系 xOy , 如图 9.4 所示, 设 B 点到 O 点距离则为 y , 则 $+q$ 和 $-q$ 分别在 B 点产生的场强大小为

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