

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

大学物理教程

下册

夏兆阳 主编

高等教育出版社

策划编辑	刘 伟
责任编辑	王文颖
封面设计	于文燕
责任绘图	黄建英
版式设计	马静如
责任校对	王效珍
责任印制	

内容简介

本书是全国教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的子课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,是针对应用型人才培养中基础课程教学的特点与要求编写的。

全书突出对学生的科学素质教育,突出时代性、应用性和普适性。在保留我国物理教材传统体系的基础上,加入20世纪新发展的物理学知识。全书语言表述准确、简洁明了,重点放在物理概念、基本规律、科学图像、认知过程、基本解析能力上。书中对习题的选择突出实践应用性,强调锻炼学生的科学思维。对于数学运算复杂及偏难的题目尽量不用或少用。本书有配套的带有习题解答的教师用书。

本书分上、下两册,上册包括力学、热学和波动,下册包括电磁场和量子物理。本书可作为高等学校工科各专业大学物理基础课程的教材,也可以供理科非物理类专业使用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程. 下册/夏兆阳主编. —北京:高等教育出版社, 2003. 12

ISBN 7-04-012982-5

I. 大... II. 夏... III. 物理学-高等学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第105945号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第1版
印 张	13.75	印 次	年 月第 次印刷
字 数	250 000	定 价	14.90 元

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

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

目 录

第四篇 电 磁 学

第 10 章 静电场	2
§ 10.1 电荷 库仑定律	2
§ 10.2 静电场 电场强度	3
§ 10.3 静电场中的高斯定理	10
§ 10.4 静电场的环路定理	22
§ 10.5 电 势	24
§ 10.6 电场强度与电势的微分关系	29
习题	31
第 11 章 静电场中的导体和电介质	36
§ 11.1 静电场中的导体	36
§ 11.2 静电场中的电介质	42
§ 11.3 电容 电容器	45
§ 11.4 电位移矢量 有电介质时的高斯定理	48
§ 11.5 静电场的能量 能量密度	50
习题	52
第 12 章 稳恒磁场	54
§ 12.1 磁场 磁感强度	54
§ 12.2 毕奥 - 萨伐尔定律	56
§ 12.3 磁场的高斯定理	62
§ 12.4 磁场的安培环路定理	65
§ 12.5 磁场对运动电荷的作用	70
§ 12.6 磁场对载流导线的作用	75
§ 12.7 磁介质中的磁场	80
习题	87
第 13 章 电磁感应 电磁场	93
§ 13.1 电磁感应现象与感应电动势	93
§ 13.2 动生电动势和感生电动势	97
§ 13.3 自感和互感	102
§ 13.4 磁场的能量	106

§ 13.5 位移电流 电磁场基本方程的积分形式	108
习题	111

第五篇 近代物理

第 14 章 相对论基础	118
§ 14.1 狭义相对论产生的科学背景	118
§ 14.2 狭义相对论的基本原理 同时的相对性	121
§ 14.3 高速运动系的时间延长和长度缩短	123
§ 14.4 新的变换关系——洛伦兹变换	127
§ 14.5 相对论性质量、能量和动量	132
§ 14.6 广义相对论产生的背景	138
§ 14.7 引力红移与引力时间延缓	142
§ 14.8 弯曲的空间	145
§ 14.9 相对论的意义	151
习题	154
第 15 章 量子物理基础	156
§ 15.1 黑体辐射 普朗克的能量子假说	156
§ 15.2 光电效应 爱因斯坦的光子假说	160
§ 15.3 康普顿效应	165
§ 15.4 粒子的波动性	169
§ 15.5 波函数 薛定谔方程	174
§ 15.6 一维势阱和势垒	178
§ 15.7 氢原子理论	187
§ 15.8 电子的自旋 四个量子数	193
§ 15.9 原子的壳层结构	195
§ 15.10 激光	198
习题	204
下册习题答案	207

第四篇 电 磁 学

电磁运动是物质的一种基本运动形式. 人们对电磁现象的认识由来已久,最初认为电现象与磁现象是互不相关、彼此独立的两门学科(电学、磁学). 直到奥斯特发现电流对磁针的作用,安培发现磁铁对电流的作用,1831年法拉第发现电磁感应定律,人们才认识到电场与磁场之间的深刻联系,再加上麦克斯韦关于电磁场理论的假设,实现了电场与磁场的统一,形成了完整的电磁学理论体系.

麦克斯韦电磁场理论经过了实验的检验,被公认为是继牛顿力学之后到爱因斯坦相对论的提出这段时期中,物理学发展中最重要理论成果. 麦克斯韦电磁场理论的重大意义不仅于此,更重要的是使人类对物质世界的认识更加深入. 它使人们认识到物质不仅以实物的形式存在,从而扩大了物质的概念,使人类对自然界的认识发生了一次飞跃.

在生产与日常生活中,它与现代科学技术和生产实际紧密相关. 电磁学理论的发展为工业电气化时代的到来奠定了坚实的物理基础. 因此理解和掌握电磁学的基本规律及其应用是非常重要的.

本篇主要包含三部分内容:静电场,稳恒磁场,电磁感应和电磁场.

第 10 章 静 电 场

本章主要研究相对于观察者静止的电荷在空间激发的电场,即静电场的特性.主要内容有:静电场的基本定律——库仑定律;描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势;反映静电场性质的两条基本定理——高斯定理和安培环路定理.

§ 10.1 电 荷 库 仑 定 律

一、电 荷

雷电是人类最早观察到的电现象,人们对电现象的研究始于摩擦起电.实验证明,自然界中只存在两种不同的电荷——正电荷和负电荷,同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引.这种相互作用称为静电力.

实验表明任何带电体所带电荷量都是元电荷 e ($e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$) 的整数倍,电荷量是量子化的.并且在一个孤立系统中,无论系统中的电荷怎样转移,系统内正、负电荷的代数和始终保持不变,即电荷守恒.电荷守恒定律是物理学中的基本定律之一.

如果一个带电体的大小比它与其他带电体的距离小得多时,在研究它与其他带电体的作用时,可不考虑它的形状、大小和电荷的分布情况,而认为其所带电荷量都集中于一点,这样的电荷称为点电荷.

二、库 仑 定 律

1785 年法国物理学家库仑在实验的基础上给出了真空中两个静止的点电荷之间相互作用力的大小、方向与它们的电荷量以及相对位置间的关系.内容表述如下:

在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力,其大小与它们电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,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.数学表达式为

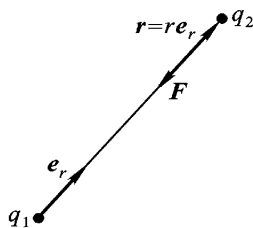


图 10.1.1

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (10.1.1)$$

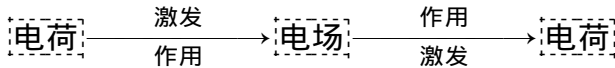
其中 \mathbf{e}_r 是从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量 k 为比例系数, 它的数值和单位取决于上式中各物理量的单位, 当各物理量均采用国际制单位时 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, 式中 ϵ_0 叫做真空电容率, 它的大小和单位为 $\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$. 在通常计算中 k 取近似值 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

§ 10.2 静电场 电场强度

一、静电场

两个点电荷之间存在相互作用的静电力, 但这种相互作用是通过什么途径实现的呢?

理论和实践都已证明: 电荷周围空间伴随有电场, 电荷与电荷之间的相互作用是通过电场进行传递的. 电场也是一种客观存在的物质形态, 它与分子、原子等组成的实物一样, 具有质量、能量及动量. 电场对置于其中的电荷有力的作用是电场的基本性质.



二、电场强度

为了定量地描述电场中任一点处电场的性质, 可以将一带电荷量为 q_0 的检验电荷放到电场中的不同位置, 观察检验电荷 q_0 的受力情况. 检验电荷必须满足两个条件 (1) 检验电荷的线度必须小到可以视为点电荷 (2) 检验电荷的电荷量应足够小, 以至把它放到电场中后对原有电场几乎没有什么影响. 为叙述方便, 下面的讨论中均用正电荷作为检验电荷.

如图 10.2.1 所示, 将检验电荷依次放入静电场的不同位置 q_0 所受的电场力 F 的大小和方向依场点的位置而异. 如果在电场中某确定位置依次放入电荷量不同的检验电荷, 实验表明检验电荷所受的电场力 F 的大小与检验电荷的电荷量成正比. 而 F 与 q_0 的比值 F/q_0 与检验电荷的电荷量无关, 只与电荷在电场中的位置有关. 因此, 可以用 F/q_0 来描述电场的性质, 这个量称为电场强度矢量, 用符号 E 表示

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \quad (10.2.1)$$

式(10.2.1)表明,电场中某点的电场强度矢量,其大小等于单位检验电荷在该点所受的电场力,方向与正检验电荷在该点的受力方向一致.

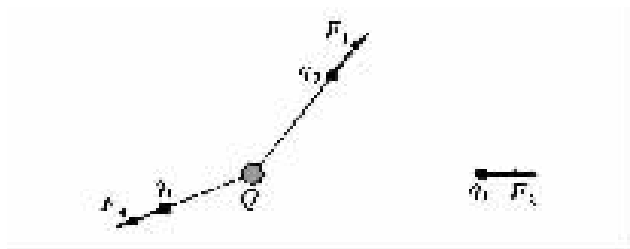


图 10.2.1 检验电荷在静电场中的受力情况

在国际单位制(SI)中, F 单位为牛顿(N), q_0 的单位为库仑(C), E 的单位为牛顿每库仑($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$)或伏特每米($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$).

当静电场中某点的 E 已知时,可求电荷量为 q 的任一点电荷在该点所受的静电力

$$F = q \cdot E \quad (10.2.2)$$

若 $q > 0$,则电场力 F 的方向与电场强度 E 的方向相同;若 $q < 0$,则电场力 F 的方向与电场强度 E 的方向相反.

三、计算电场强度

1. 点电荷的场强

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.设真空中有一点电荷 Q ,将检验电荷 q_0 放在电场中某点 P 处,由库仑定律可得 q_0 在该点所受的电场力为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq_0}{r^2} e_r \quad (10.2.3)$$

式中 e_r 是从场源电荷 Q 指向场点 P 的单位矢量,由电场强度定义式(10.2.1)可得场点 P 处的电场强度为

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} e_r \quad (10.2.4)$$

式(10.2.4)即为真空中点电荷的电场强度分布公式.从上式可以看出,如果 $Q > 0$,则场强 E 的方向与 e_r 的方向相同,如果 $Q < 0$,则场强 E 的方向与 e_r 的方向相反;并且点电荷的电场具有球对称性,如图10.2.2所示.

2. 电场强度叠加原理和点电荷系的电场强度

设真空中存在着由 n 个点电荷 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 组成的点电荷系,将检验电荷 q_0 放在场点 P 处, q_0 所受的电场力 F 等于 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 分别单独存在时作用于

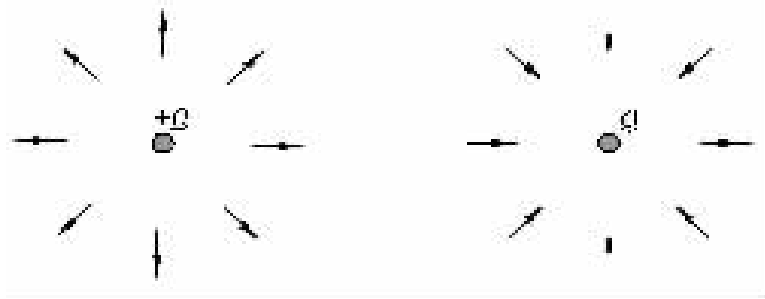


图 10.2.2 真空中点电荷的场强分布

q_0 的电场力 F_1, F_2, \dots, F_n 的矢量和, 即

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

由电场强度定义, 可求点 P 处的电场场强

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

式中右边各项分别为 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 单独存在时在点 P 处产生的电场强度 E_1, E_2, \dots, E_n , 即

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \dots + \mathbf{E}_n \quad (10.2.5)$$

上式表明, 在点电荷系激发的电场中, 任一点处的电场强度等于各点电荷分别单独存在时在该点产生的电场强度的矢量和. 这就是电场强度的叠加原理.

例 10.2.1 求电偶极子轴线和中垂线上任意一点处的电场强度.

两个等量异号点电荷相距 l , 当所考虑的场点 P 到它们的距离 r 远大于 l 时, 把这样的电荷系称为电偶极子. 实际中许多宏观带电体都可以简化为电偶极子, 电偶极子在理论研究和技术研究中都具有重要意义.

解: (1) 求电偶极子轴线上任意一点处的电场强度

如图 10.2.3(a) 所示, 取电偶极子轴线的中点为坐标原点 O , 轴的延长线为 Ox 轴正向, 轴上任意一点 P 距坐标原点 O 的距离为 x . 点电荷 $+q$ 和 $-q$ 在点 P 处产生的电场强度大小分别为

$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(x - l/2)^2}$$

$$E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{(x + l/2)^2}$$

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 P 处总的电场强度 E 的大小为

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

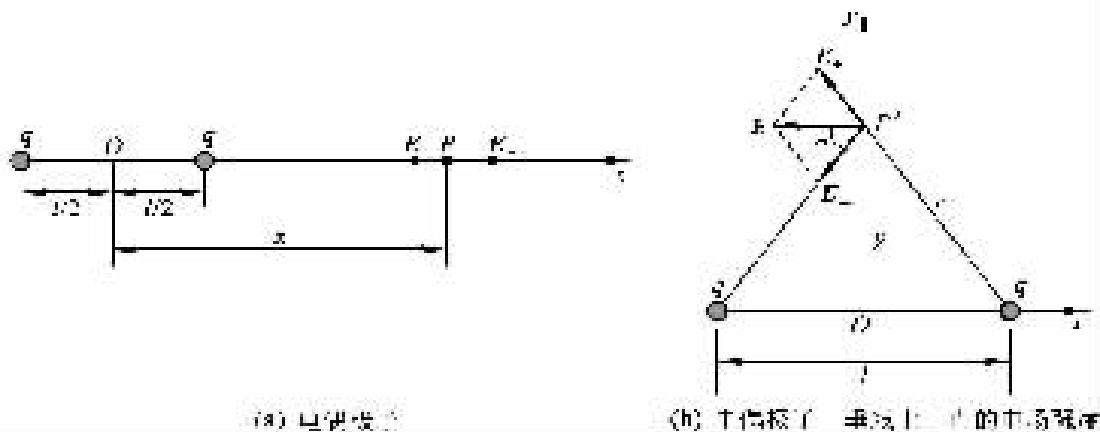


图 10.2.3

对于电偶极子来说,考虑到 $x \gg l$, 上式中 $(x^2 - l^2/4) \approx x^2$. 于是得点 P 处的总的电场强度 E 的大小为 $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2lq}{x^3}$ E 的方向沿 Ox 轴正方向.

(2) 求电偶极子中垂线上任意一点处的电场强度

如图 10.2.3(b) 所示, 取电偶极子轴线的中点为坐标原点 O , 极轴的延长线为 Ox 轴正向, 中垂线为 Oy 轴, 令中垂线上任意一点 P' 距坐标原点 O 的距离为 y .

点电荷 $+q$ 和 $-q$ 在点 P' 处产生的电场强度大小相等, 其值为

$$E_+ = E_- = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

其中 $r = \sqrt{y^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}$, 由于点电荷 $+q$ 和 $-q$ 在点 P' 处产生的电场强度方向不同, 因此由矢量合成法则可得点 P 处的总场强 E 沿 Ox 轴和 Oy 轴的分量分别为

$$E_x = E_{+x} + E_{-x} = -E_+ \cos \alpha - E_- \cos \alpha = -2E_+ \cos \alpha$$

$$E_y = E_{+y} + E_{-y} = E_+ \sin \alpha - E_- \sin \alpha = 0$$

式中 $\cos \alpha = \frac{l/2}{\sqrt{y^2 + l^2/4}}$, 由此可得点 P 处的总场强的大小为

$$E = |E_x| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ql}{(y^2 + l^2/4)^{3/2}}$$

方向沿 Ox 轴的负向. 考虑到电偶极子 $y \gg l$, 上式中 $y^2 + l^2/4 \approx y^2$, 于是可得总的电场强度为

$$E = -\frac{ql}{4\pi\epsilon_0 y^3} i$$

由上面的分析可知 ql 是反映电偶极子电学性质的物理量,定义电偶极矩(又称电矩)为

$$p = ql$$

电偶极矩的方向由 $-q$ 指向 $+q$.

3. 电荷连续分布的带电体的电场强度

如图 10.2.4 所示,电荷连续分布在带电体上,在带电体上任取一电荷元 dq (可视为点电荷),由式(10.2.4)可知 dq 在点 P 处产生的电场强度为

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} e_r \quad (10.2.6a)$$

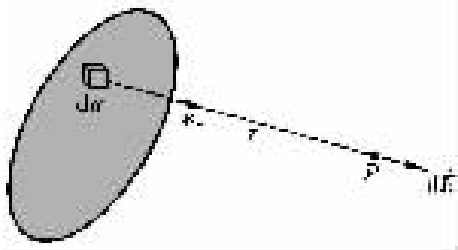


图 10.2.4 带电体的场强

式中 r 是电荷元 dq 到场点 P 的距离, e_r 是由 dq 指向场点 P 的单位矢量.

电荷连续分布的带电体可以视为由许多电荷元 dq 组成的点电荷系,由电场强度叠加原理可以求出整个带电体在点 P 处的电场强度为

$$E = \int_Q dE = \int_Q \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} e_r \quad (10.2.6b)$$

式中“ \int_Q ”表示对整个带电体进行积分.

为了描述电荷的分布,现引入电荷密度的概念.

若电荷分布在一个三维带电体上,则引入电荷体密度 ρ (单位体积的电荷量),即

$$dq = \rho dV$$

式(10.2.6b)中的积分遍及整个带电体,积分为三重体积分.

若电荷分布在一个二维带电面上,则引入电荷面密度 σ (单位面积的电荷量),即

$$dq = \sigma ds$$

式(10.2.6b)中的积分在整个带电面上为二重面积分.

若电荷分布在一细棒上(一维线度上),则引入电荷线密度 λ (单位长度的电荷量),即

$$dq = \lambda dl$$

式(10.2.6b)中的积分在整个带电棒上为线积分。

另外需要注意(10.2.6b)式为矢量积分式,一般不能直接进行积分,应采用其分量式,分别计算出电场强度 E 沿各坐标轴的分量 E_x, E_y, E_z , 然后由式 $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$ 求出总的电场强度的大小。下面给出电荷线分布的两个简单例子加以说明。

例 10.2.2 一无限长带电直线,电荷线密度为 λ (单位为 $C \cdot m^{-1}$),求距该直线为 a 处的电场强度。如图 10.2.5 所示。

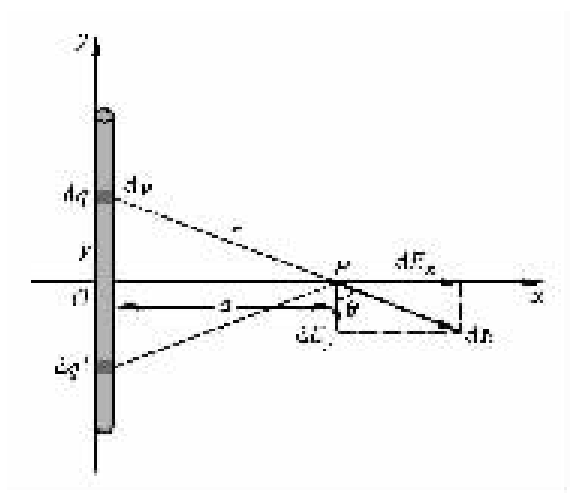


图 10.2.5 带电直线的电场

解： 建立如图所示的直角坐标系,在带电直线上距坐标原点 O 为 y 处任取一线元 dy , 则电荷元 $dq = \lambda dy$ 在场点 P 处产生的电场强度 dE 大小为

$$dE = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

方向如图所示。 dE 在 x 轴和 y 轴方向的分量分别为

$$dE_x = dE \sin \theta = \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin \theta$$

$$dE_y = -dE \cos \theta = -\frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta$$

根据电场强度叠加原理,整个带电直线在点 P 处产生的电场强度沿 x 轴和 y 轴方向的分量分别为

$$E_x = \int_L dE_x$$

$$E_y = \int_L dE_y$$

由对称性分析可知,在与 dq 对称的位置上有一电荷元 dq' ,它在点 P 处产生的电场强度 dE' 与 dE 叠加,结果抵消了 y 轴方向的分量,只剩下沿 x 轴方向的分量.

即

$$E_y = \int_L dE_y = 0$$

所以

$$E = E_x = \int_L dE_x = \int_L \frac{\lambda dy}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sin\theta \quad (10.2.7)$$

因为在被积函数中有 r 、 y 、 θ 三个彼此相关联的变量,所以首先要统一变量.由图可知,

$$y = a \cot \theta$$

$$dy = -a \cdot \csc^2 \theta d\theta = -\frac{a}{\sin^2 \theta} d\theta$$

$$r = \frac{a}{\sin \theta}$$

把它们代入式(10.2.7)得

$$E = E_x = \int_L dE_x = 2 \int_{\pi/2}^0 \left(-\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} \sin\theta \right) d\theta = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a}$$

电场强度 E 的方向沿 x 轴正方向.

例 10.2.3 一均匀带电细半圆环,半径为 R ,带电量为 Q ,求环心 O 处的电场强度,如图 10.2.6 所示.

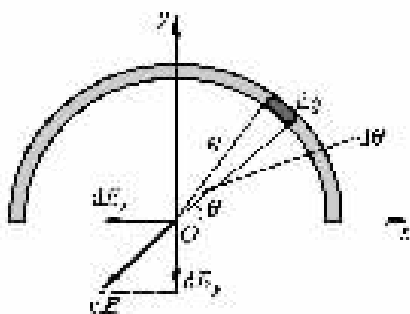


图 10.2.6 带电半圆环环心处的电场强度

解: 建立如图所示的直角坐标系,在带电细圆环上任取一线元 dl ,所带电荷量为

$$dq = \lambda dl$$

式中 λ 为电荷线密度, 其值为

$$\lambda = \frac{Q}{\pi R}$$

电荷元 dq 在环心 O 处产生的电场强度 dE 的大小为

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 R^2} dq = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R^2} dl$$

方向如图所示. dE 在 x 轴方向和 y 轴方向的分量分别为

$$dE_x = -dE \cos \theta = -\frac{\lambda dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} \cos \theta$$

$$dE_y = -dE \sin \theta = -\frac{\lambda dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} \sin \theta$$

根据对称性分析, 可知 $E_x = \int_L dE_x = 0$, 所以带电半圆环在环心 O 处产生的电场强度为

$$E = E_y = \int_L dE_y = -\int_L \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 R^2} \sin \theta dl$$

又因为 $dl = R d\theta$, $\lambda = \frac{Q}{\pi R}$, 代入上式, 积分后可得

$$E = -\frac{Q}{2\pi^2 \epsilon_0 R^2}$$

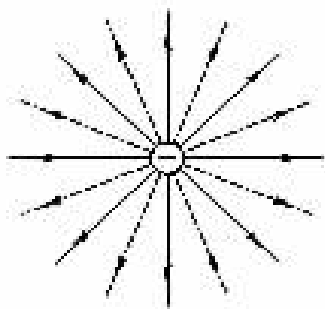
负号说明电场强度 E 的方向沿 y 轴负方向, 大小则为 $\frac{Q}{2\pi^2 \epsilon_0 R^2}$.

§ 10.3 静电场中的高斯定理

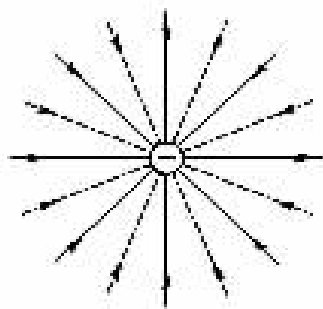
一、电场线

为了形象直观地描述电场强度的分布, 通常引入电场线的概念. 即在电场中画出一系列从正电荷出发到负电荷终止的曲线, 使曲线上每一点的切线方向和该点的电场强度方向一致. 这样画出的曲线称为电场线, 如图 10.3.1 所示几种带电体的电场线.

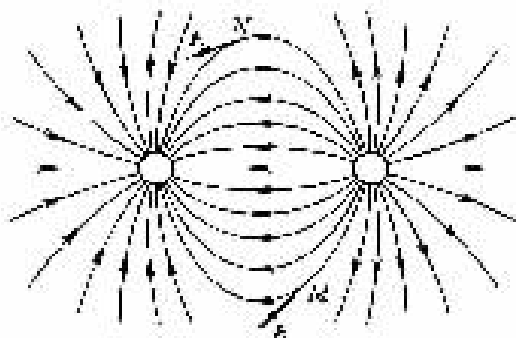
电场线不仅能描述电场中某点电场强度的方向, 同时也能表示出该点电场强度的大小, 即用该点附近电场线数密度表示电场强度的大小. 电场中某点的电场线数密度是指穿过该点与电场线垂直的单位面积的电场线条数. 即过电场中某点作一垂直于电场强度方向的面元 dS_{\perp} , 通过此面元的电场线条数为 dN , 则



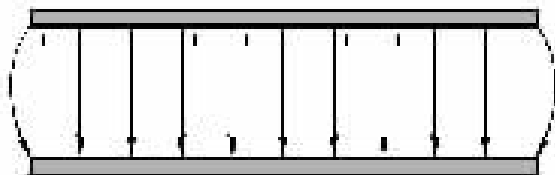
(a) 正点电荷的电场线



(b) 负点电荷的电场线



(c) 电荷同号的电场线



(d) 平行板电容器内部的电场线

图 10.3.1 几种带电体的电场线

该点电场线数密度就为 $\frac{dN}{dS_{\perp}}$. 在此令该点的电场强度大小与该点电场线数密度相等, 即

$$E = \frac{dN}{dS_{\perp}} \quad (10.3.1)$$

这样, 就可以用电场线的疏密程度直观地描述电场强度的大小. 电场强度大的地方电场线密集, 电场强度小的地方电场线稀疏.

由图 10.3.1 可知静电场的电场线有如下性质:

(1) 电场线始于正电荷, 止于负电荷, 在无电荷处电场线不中断;

- (2) 电场线不形成闭合曲线；
- (3) 空间任意两条电场线都不相交。

二、电通量

通过电场中任一曲面的电场线条数称为通过该曲面的电通量,用符号 Φ_e 表示,单位为 $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$ 。下面分别讨论通过匀强电场和非匀强电场中各种曲面的电通量。

1. 通过匀强电场中任意平面的电通量

如图 10.3.2(a) 所示,若平面 S_{\perp} 垂直于匀强的电场线,即该面法线方向的单位矢量 e_n 与电场强度方向一致,则通过该平面的电通量 Φ_e 为

$$\Phi_e = ES_{\perp}$$

若平面 S 与匀强电场的电场强度方向不垂直,如图 10.3.2(b) 所示,平面 S 法线方向的单位矢量 e_n 与电场强度方向有夹角 θ ,则通过该平面的电通量 Φ_e 为

$$\Phi_e = ES \cos \theta = \mathbf{E} \cdot \mathbf{S}$$

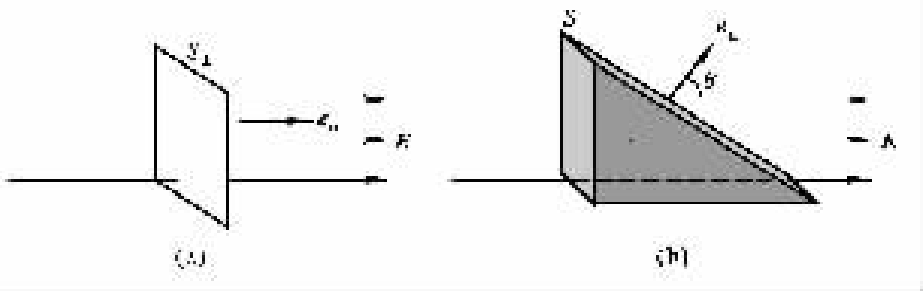


图 10.3.2 匀强电场中的电通量

2. 通过非匀强电场中任意非闭合曲面的电通量

如图 10.3.3 所示,我们可以把曲面分成无限多个面积元 dS ,每个面积元 dS 都可看成一个小平面,而且在面积元 dS 上电场强度 \mathbf{E} 可以看成相等.设该面积元法线方向的单位矢量 e_n 与电场强度 \mathbf{E} 的夹角为 θ ,则通过面积元 dS 的电场强度通量为

$$d\Phi_e = E dS \cos \theta = \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

式中 $d\mathbf{S} = dS e_n$ 。

所以通过曲面 S 的电通量 Φ_e 就等于通过曲面 S 上所有面积元的电通量的总和,即

$$\Phi_e = \int_S d\Phi_e = \int_S E \cos \theta dS = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (10.3.2)$$