



教育部教育本科国家级规划教材

大学物理学 (下)

Physics (第5版)

主编 赵近芳 王登龙

主审 颜晓红



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

大学物理学

(第5版)

(下)

主 编 赵近芳 王登龙
编 者 杨友田 王凤姣 谢月娥
主 审 颜晓红

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内容简介

本书是在“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》”的基础上进行改编而成。全书仍分为上、下两册,上册包括力学基础、相对论、振动与波和热学;下册包括电磁学、波动光学和量子论。本书作为工科物理及理科非物理专业大学物理教材的改革尝试,采用了“高、宽、新、活、宜”的原则,即高视点选择经典内容,努力拓宽知识面,尽量反映新科技发展,注意各部分知识之间的活化联系,并保持教材内容难度适宜。书中一些重点难点知识做成了基于手机的数字资源,可通过“九斗”APP学习,方便学生自学。同时,本书还配备了学习指导书、多媒体课件、电子教案、网络课件、网络学习平台等立体化教学资源。

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材,也可作为综合大学和师范院校非物理专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 下/赵近芳,王登龙主编. —5版. —北京:北京邮电大学出版社,2017.9

ISBN 978-7-5635-4658-9

I. ①大… II. ①赵… ②王… 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(2017)第227397号

书 名 大学物理学(第5版)(下)
主 编 赵近芳 王登龙
责任编辑 唐咸荣
出版发行 北京邮电大学出版社
社 址 北京市海淀区西土城路10号(100876)
电话传真 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真)
网 址 www.buptpress3.com
电子信箱 ctrd@buptpress.com
经 销 各地新华书店
印 刷 北京泽宇印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 18
字 数 458千字
版 次 2017年9月第5版 2017年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-4658-9

定价:46.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

广益教育“九斗”APP 操作说明

本书为“互联网+”立体化教材,配有广益教育助学助教平台——“九斗”APP.请按照以下步骤操作使用。

步骤一,先使用智能手机扫描本书封面图标中的二维码(见下图),下载安装免费的“九斗”APP.提示:下载界面会自动识别安卓或苹果手机。



步骤二,安装成功之后,点击“九斗”APP 进入使用界面。

步骤三,首次使用请先注册.如果您是教师用户请提交资料进行审核,审核通过后即可获得教师的相关功能。

步骤四,注册成功后,按照软件提示或宣传视频操作即可。

提示:

1. 浏览资源请先扫描封底二维码进行教材验证;

2. 教材中带有  标志的图片可以使用“九斗”APP 中 AR 扫描功能扫描图片显示相关资源;

3. 教材中的二维码资源请使用“九斗”APP 中的扫一扫功能扫描二维码进行浏览。

在使用过程中,如有疑问,请随时与我们联系!

联系电话:010-82330186、13811568712

客服 QQ:2158198813

电子邮箱:kf@guangyiedu.com

前 言

承蒙兄弟院校的厚爱,“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》(第4版)得到了全国上百所高等院校的使用,这是广大师生对这套教材的充分肯定,让我们倍感欣慰。为了更好地建设好这套教材,帮助师生们在教学过程中提高效率和兴趣、增加教学手段和扩充知识,我们对教材进行了全方位的互联网立体化建设,在高新技术与教学的融合方面做了大胆的尝试。不仅成功地利用了移动互联网平台,还引进了AR增强现实技术,这极大地丰富了教材内容,让老师和学生的知识触角延伸到了互联网。

全书仍分为《大学物理学》上、下两册和《大学物理学学习指导》。上册包括力学、相对论、振动与波、热学;下册包括电磁学、波动光学、量子物理学、新技术物理基础(专题);指导书包括学习指导和系列化习题。全书改编过程遵循“高、宽、新、活、宜”的原则,即高视点选择经典内容,努力拓宽知识面,尽量反映新科技发展概况,注意各部分知识之间的活化联系,同时保持教材内容难度适宜。

近年来,高中物理知识和数学知识有所变动。例如,高等数学中的导数和积分基础知识在高中已开始学习,物理知识则在难度上有所降低,我们参考了近年来部分省(市)的高中物理教材,仔细研究了大学物理跟高中物理最佳的结合体系和内容。在第5版上,我们尽量保持原有第4版的体系结构和内容,而主要区别则包括以下几个方面。

1. 在例题方面做了适当的调整,替换了部分运算复杂、综合性较强的例题,选用了一些重在物理思想和方法应用的题。

2. 对原有第11章和第12章进行了合并,统一并称为“变化的电磁场”,以适应大学物理教学的发展。

3. 对全书进行了互联网立体化建设,依托广益教育“九斗”APP,全方位为老师和学生提供教与学上的服务。我们提供了AR交互动画、微视频、拓展阅读、科学家简介等。为了提高学生的学习主动性,我们还把部分附录、本章摘要和习题参考答案搬上了互联网,通过这些大胆的创新,可以帮助学生提高从互联网获取知识的能力。

4. 教材与课程建设紧密结合,配备了一套独具特色的教学资源。主要包括学习指导书、多媒体课件、电子教案和教学大纲、网络课件、组卷题库系统等。

不同院校不同专业的物理教学计划课时数可能存在差异,在使用本教材时可根据具体情况对内容进行重组或取舍,教学课时数可掌握在72~128

学时范围内。

本书由王凤姣负责改编力学、振动与波及其相应章节的阅读材料和习题；杨友田负责改编热学、量子物理篇、新技术物理基础(专题)的所有内容；谢月娥负责改编电磁学篇的所有内容；王登龙负责改编相对论、波动光学篇的全部内容。学习指导的相关章节仍由以上老师改编，最后由赵近芳教授和王登龙教授负责全书的修改和定稿工作。在修订过程中，广西师范大学郭平生、南华大学彭志华、中南大学罗益民等老师参加了讨论和编写，提出了许多宝贵意见。参加讨论和编写的老师还有焦志伟、白心爱、倪江利、曾爱华、胡义嘎、刘道军、曲蛟、汤永新、张博洋、范军怀、马双武、苏文刚、唐咸荣、杜立、韩霞等。教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会委员颜晓红教授仔细审查了此书。北京邮电大学出版社有关人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的辛勤劳动，在此一并表示感谢。

编写适合教学需求的教材是一种探索，由于编者水平有限，书中的疏漏和错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第三篇 电磁学

第 9 章 静电场

/3



- 9.1 电场 电场强度 /4
- 9.2 电通量 高斯定理 /12
- 9.3 电场力的功 电势 /17
- 9.4 电场强度与电势的关系 /22
- 9.5 静电场中的导体 /24
- 9.6 静电场中的电介质 /30
- 9.7 电容 电容器 /33
- 9.8 电场的能量 /37

习题 /39

第 10 章 稳恒磁场

/42



- 10.1 电流 电动势 /43
- 10.2 磁场 磁感应强度 /44
- 10.3 安培环路定理 /54
- 10.4 磁场对载流导线的作用 /59
- 10.5 磁场对运动电荷的作用 /65
- 10.6 磁介质 /71

习题 /80

第 11 章 变化的电磁场

/85



- 11.1 电磁感应定律 /86
- 11.2 动生电动势与感生电动势 /89
- 11.3 自感应与互感应 /96
- 11.4 磁场能量 /100
- 11.5 位移电流 麦克斯韦方程组 /102

习题 /107

PHYSICS

第四篇 波动光学

第 12 章 光的干涉 /113



12.1 光源 光的相干性 /114

12.2 杨氏双缝干涉实验 /117

12.3 光程与光程差 /120

12.4 薄膜干涉 /122

12.5 劈尖干涉 牛顿环 /125

12.6 迈克耳孙干涉仪 /130

习题 /133

第 13 章 光的衍射 /136



13.1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理 /137

13.2 单缝夫琅禾费衍射 /138

13.3 衍射光栅 /143

13.4 圆孔衍射 光学仪器的分辨率 /148

*13.5 X射线的衍射 /151

习题 /153

第 14 章 光的偏振 /155



14.1 自然光和偏振光 /156

14.2 起偏和检偏 马吕斯定律 /158

14.3 反射与折射时光的偏振 /160

*14.4 散射光的偏振 /163

*14.5 光的双折射 /163

*14.6 偏振光的干涉 人为双折射现象 /165

*14.7 旋光现象 /168

习题 /169

第五篇 量子论

第 15 章 量子物理基础 /173



15.1 黑体辐射 普朗克量子假设 /174

15.2 光的量子性 /177

15.3 玻尔的氢原子理论 /184

15.4 粒子的波动性 /189

15.5 测不准关系 /192

- 15.6 波函数 薛定谔方程 /195
- 15.7 薛定谔方程在几个一维问题中的应用 /198
- 15.8 量子力学对氢原子的应用 /205
- 15.9 斯特恩-盖拉赫实验 /210
- 15.10 电子自旋 /212
- 15.11 原子的壳层结构 /214
- 习题 /219

第 16 章 原子核物理和粒子物理简介 /222



- 16.1 原子核的基本性质 /223
- 16.2 原子核的放射性衰变 /227
- 16.3 粒子物理简介 /231
- 习题 /237

第 17 章 新技术的物理基础 /239



- 17.1 固体的能带结构 /240
- 17.2 激光原理 /249
- *17.3 超导电性 /256
- *17.4 纳米科学技术简介 /266
- *17.5 玻色-爱因斯坦凝聚态 /271
- 习题 /277

第三篇

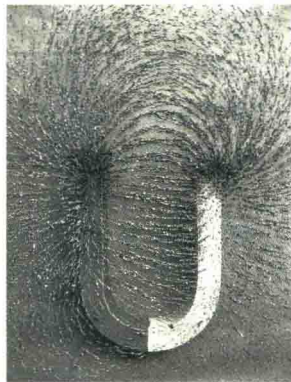
电 磁 学

电磁场是物质世界的重要组成部分,电磁学就是研究电磁场运动规律的学科。

电磁现象形成理论,可以认为是从1785年库仑研究电荷之间的相互作用开始的,人们研究了静电、静磁和电流等现象,总结出一些实验定律。但是,电磁学的重大进展是在人们认识到电现象和磁现象之间的深刻内在联系以后才开始的。1820年,奥斯特发现了电流的磁效应;1831年法拉第发现电磁感应现象,并提出场和力线的概念。至此,电现象和磁现象作为矛盾统一的整体开始被人们认识。1864年,麦克斯韦总结前人的成果,再加上他关于涡旋电场和位移电流两个大胆的假说,建立了描述宏观电磁场的完美理论——麦克斯韦方程组,并从理论上预言了电磁波的存在。1888年,赫兹利用振荡器在实验上证实了麦克斯韦关于电磁波的预言。麦克斯韦的电磁场理论是从牛顿建立经典力学理论到爱因斯坦提出相对论的这段时期中物理学的最重要的理论成果。

1905年,爱因斯坦创立了相对论,解决了经典力学时空观与电磁现象的新的实验事实的矛盾。根据电磁现象的规律必须满足相对论时空洛伦兹变换的要求,人们发现:从不同参考系观测,同一电磁场可表现为或只是电场、或只是磁场、或电场和磁场并存。这说明电磁场是一个统一的整体,而描述电磁场的物理量——电场强度和磁感应强度——是随参考系改变的。

电磁学理论是许多工程技术和科学研究的基础。电能是应用最广泛的能源之一,电磁波的传播实现了信息传递,研究新材料的电磁性质促进了新技术的诞生。显然,电磁学和工程技术各个领域有十分密切的联系。电磁学的研究在理论方面也很重要。物质的各种性能是由物质的电结构决定的,在分子和原子等微观领域中,电磁力起主要作用。许多物理现象,如物质的弹性、金属的导热性、光学的折射率等都可从物



质的电结构中得到解释. 所以, 电磁学理论在现代物理学中也占有重要地位.

本篇主要研究电磁场的规律以及物质的电磁性质. 先介绍电场的描述及其规律, 接着介绍静电场中的导体和电介质; 然后介绍磁场的描述及其规律, 接着介绍磁场中的磁介质; 最后介绍电场和磁场的相互联系——电磁感应和宏观电磁场的理论——麦克斯韦方程组以及电磁波.



第 9 章

静 电 场

相 对于观察者静止的电荷称为静电荷,由静电荷产生的电场称为静电场,静电荷之间的相互作用是通过电场来传递的.本章主要研究静电场的基本性质与基本规律及电场与导体、电介质之间的相互作用.

电场强度和电势是描述电场性质的两个重要物理量.电场强度的高斯定理和环流定理是反映静电场性质的基本规律.对于具有某些对称分布的静电场,其电场强度可以基于库仑定律求解,亦可通过高斯定理来求解.其中所涉及的对称性分析是现代物理学的一种基本分析方法.在电场的作用下,导体和电介质中的电荷分布会发生变化.这种变化的电荷分布又会反过来影响电场分布,最后达到静电平衡.我们还将讨论电场与物质的相互作用规律,以及电容器和电场的能量.

本章所介绍的一些概念、规律、研究和处理问题的方法贯穿在整个电磁学中,是学习电磁学的入门知识,在学习过程中应注意提高这方面的能力.



本章提要



9.1 电场 电场强度

9.1.1 电荷

科学家介绍



库仑

电荷的概念是从物体带电的现象中产生的. 两种不同材料的物体, 如丝绸与玻璃棒相互摩擦后, 它们都能吸引小纸片等轻微物体. 这时, 我们说丝绸和玻璃棒处于带电状态, 它们分别带有电荷. 可见, 电荷是物体状态的一种属性. 宏观物体或微观粒子处于带电状态就说它们带有电荷.

物体或微观粒子所带的电荷有两种, 称为正电荷和负电荷. 带同种电荷的物体(简称同号电荷)互相排斥, 带异种电荷的物体(简称异号电荷)互相吸引. 静止电荷之间的相互作用力称为静电力. 根据带电体之间相互作用力的大小能够确定物体所带电荷的多少. 表示电荷多少的量叫作电量. 在国际单位(SI)制中, 电量的单位是库仑, 符号为 C.

现代物理实验证实, 电子的电荷集中在半径小于 10^{-18} m 的小体积内. 因此, 常把电子看成一个无内部结构而具有有限质量和电量的“点”. 质子只有正电荷, 都集中在半径约为 10^{-15} m 的体积内. 中子内部也有电荷, 靠近中心是正电荷, 靠外为负电荷; 正负电荷电量相等, 所以对外不显带电.

由物质的分子结构知识可知, 在正常状态下, 物体内部的正电荷和负电荷量值相等, 物体处于中性状态. 使物体带电的过程就是使它获得或失去电子的过程. 在一孤立系统内, 无论发生怎样的物理过程, 该系统电荷的代数和保持不变, 这就是**电荷守恒定律**. 在粒子的相互作用过程中, 电荷是可以产生和消失的. 例如, 一个高能光子与一个重原子核作用时, 该光子可以转化为一个正电子和一个负电子(这叫电子对的“产生”); 而一个正电子和一个负电子在一定条件下相遇, 又会同时消失而产生两个或三个光子(这叫电子对的“湮灭”). 在已观察到的各种过程中, 正、负电荷总是成对出现或成对消失. 由于光子不带电, 正、负电子又各带着等量异号电荷, 所以这种电荷的产生和消失并不改变系统中电荷的代数和, 电荷守恒定律仍然保持有效.

迄今为止, 所有实验表明, 任何带电体所带电量都是基本电量 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C 的整数倍. 这种电量只能取分立的、不连续的量值的性质称为**电荷的量子化**. 因为 e 如此之小, 以致使电荷的量子性在研究宏观现象的绝大多数实验中未能表现出来. 因此常把带电

体当作电荷连续分布的带电体来处理,并认为电荷的变化是连续的.近代物理从理论上预言,基本粒子由若干种电量为 $\pm\frac{1}{3}e, \pm\frac{2}{3}e$ 的夸克或反夸克组成.然而尚未在实验中发现单独存在的夸克.

实验还证明,一个电荷的电量与它的运动状态无关.例如,加速器将电子或质子加速时,随着粒子速度的变化,电量没有任何变化.再如,氢分子和氦原子都有两个电子,它们在核外的运动状态差别不大,电子电量应该相同.但是,氢分子的两个质子是作为两个原子核在保持相对距离约为 0.07 nm 的情况下转动的;氦原子中的两个质子却紧密地束缚在一起运动.氦原子中的两个质子的能量比氢分子的两个质子的能量大到一百万倍的数量级,因而两者的运动状态有显著差别.如果电荷的电量与运动状态有关,氢分子中质子的电量就应该和氦原子中质子的电量不同,但两者的电子电量是相同的,因此两者就不可能都是电中性的.但是实验证实,氢分子和氦原子都精确地是电中性的.这就说明,质子的电量也是与其运动状态无关的.大量事实证明,电荷的电量是与其运动状态无关的.在不同的参考系观察,同一带电粒子的电量不变,电荷的这一性质叫电荷的相对论不变性.

9.1.2 库仑定律

两个静止带电体之间的作用力(通常简称为两个静止电荷之间的作用力)即静电力,不仅与它们所带电量及它们之间的距离有关,而且还与它们的大小、形状及电荷分布情况有关.当带电体本身的线度与它们之间的距离相比足够小时,带电体可以看成点电荷.即带电体的形状、大小可以忽略,而把带电体所带电量集中到一个“点”上.

真空中两个静止点电荷之间相互作用力的大小与这两个点电荷所带电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,与它们之间的距离 r 的平方成反比.作用力的方向沿着两个点电荷的连线,同号电荷相互排斥、异号电荷相互吸引.这就是库仑定律.它是1785年由法国物理学家库仑首先指出的.相互作用力 F 的大小可表示为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (9.1)$$

式中 k 为比例系数,其数值和单位取决于各量所采用的单位.在国际单位制中, $k = 8.988\,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

为了使由库仑定律推导出的一些常用公式简化,我们引入新的常数 ϵ_0 来代替 k ,两者的关系为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2) \quad (9.2)$$

ϵ_0 称为真空中的介电常数.以 ϵ_0 代入式(9.1)得

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (9.3)$$

为了表示力的方向,可采用矢量式表示库仑定律:

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0 \quad (9.4)$$

式中 \mathbf{r}_0 是由施力电荷指向受力电荷的矢径方向的单位矢量. 近代物理实验表明,当两个点电荷之间的距离在 $10^{-17} \sim 10^7$ m 范围内,库仑定律是极其准确的.

库仑定律只适用于两个点电荷之间的作用. 当空间同时存在几个点电荷时,它们共同作用于某一点电荷的静电力等于其他各点电荷单独存在时作用在该点电荷上的静电力的矢量和. 这就是**静电力的叠加原理**.

9.1.3 电场强度

科学家介绍



法拉第

电荷之间的相互作用是如何来实现的呢?在 19 世纪 30 年代以前,人们普遍认为静电力与质点之间的万有引力一样,属于一种超距作用,即无需时间且不借助任何中间媒质来传递. 后来,法拉第提出了另一种观点. 他认为静电力同样是物质之间的相互作用. 这种特殊的物质是由电荷所产生,叫作**电场**. 电荷和电荷之间是通过电场这种物质传递相互作用的,这种相互作用可以表示为

$$\text{电荷} \rightleftharpoons \text{电场} \rightleftharpoons \text{电荷}$$

近代物理的理论与实验证实了这种观点的正确性. 同时,电场被证实是一种客观存在的物质,以有限的速度运动或传播,也具有和实物一样的能量、动量和质量等重要性质. 但电场与其他实物也有不同,几个电场可以同时占据同一空间,所以电场是一种特殊形式的物质.

相对于观察者为静止的带电体周围存在的电场称为**静电场**. 静电场对外表现主要有:

- (1) 处于电场中的任何带电体都受到电场所作用的力.
- (2) 当带电体在电场中移动时,电场所作用的力将对带电体做功.

电场中任一点处电场的性质,可从电荷在电场中受力的特点来定量描述. 用电量很小的点电荷 q_0 作为试验电荷,当试验电荷 q_0 放在电场中一给定点处时,它所受到的电场力的大小和方向是一定的;放在电场中的不同点处,其受到的电场力的大小和方向一般是不同的. 实验电荷 q_0 放在电场中一固定点处,当 q_0 的电量改变时它所受的力方向不变,但力的大小将随电量的改变而改变. 然而始终保持力 \mathbf{F} 和 q_0 的比值 $\frac{\mathbf{F}}{q_0}$ 为一恒矢量. 因此, $\frac{\mathbf{F}}{q_0}$ 反映了 q_0 所在点处

电场的性质,称为**电场强度**,用 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (9.5)$$

当 q_0 为一个单位正电荷时, $E = F$, 即电场中任一点的电场强度等于单位正电荷在该点所受的电场力. 在 SI 制中, 电场强度 E 的单位是牛顿每库仑(N/C), 也可以写成伏特每米(V/m).

一般情况下, 电场中的不同点, 其电场强度的大小和方向是各不相同的. 要完整地描述整个电场, 必须知道空间各点的电场强度分布, 即求出矢量场函数 $E = E(r)$.

9.1.4 电场强度叠加原理

将试验电荷 q_0 放在点电荷系 q_1, q_2, \dots, q_n 所产生的电场中时, q_0 将受到各点电荷静电力的作用. 由静电力的叠加原理知, q_0 受到的总静电力

$$F = F_1 + F_2 + \dots + F_n$$

两边除以 q_0 , 得

$$\frac{F}{q_0} = \frac{F_1}{q_0} + \frac{F_2}{q_0} + \dots + \frac{F_n}{q_0}$$

按电场强度定义 $E = \frac{F}{q_0}$, 有

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i \quad (9.6)$$

上式表明, 电场中任一场点处的总电场强度等于各个点电荷单独存在时在该点所产生的电场强度的矢量和. 这就是**电场强度叠加原理**. 任何带电体都可以看作许多点电荷的集合, 由该原理可计算任意带电体产生的电场强度.

9.1.5 电场强度的计算

如果场源电荷分布状况已知, 那么根据电场强度叠加原理, 原则上可以求得电场分布.

1. 点电荷的电场

设真空中有一点电荷 q , P 为空间一点(称为场点). r 为从 q 到 P 点的矢径. 当试验电荷 q_0 放在 P 点时, q_0 所受电场力为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} r_0$$

式中 r_0 为矢径 r 方向的单位矢量. 则 P 点电场强度为

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} r_0 \quad (9.7)$$



电荷连续分布的电场的计算

q 为正电荷时, \mathbf{E} 与 \mathbf{r} 同方向; q 为负电荷时, \mathbf{E} 与 \mathbf{r} 反方向. 式(9.7)表明, 点电荷的电场具有球对称性: 在以 q 为中心的每一个球面上, 各点电场强度的大小相等; 正点电荷的电场强度方向垂直球面向外, 负点电荷的电场强度方向垂直球面向里.

2. 点电荷系的电场

设真空中有点电荷系 q_1, q_2, \dots, q_n , 用 \mathbf{r}_{i0} 表示第 i 个点电荷 q_i 到任意场点 P 的矢径 \mathbf{r}_i 方向的单位矢量, \mathbf{E}_i 为 q_i 单独存在时在 P 点产生的电场强度. 则

$$\mathbf{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \mathbf{r}_{i0}$$

根据电场强度叠加原理, 可得 P 点总电场强度

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \mathbf{r}_{i0} \quad (9.8)$$

在直角坐标系中式(9.8)的分量式分别为

$$\begin{cases} E_x = \sum_{i=1}^n E_{ix} \\ E_y = \sum_{i=1}^n E_{iy} \\ E_z = \sum_{i=1}^n E_{iz} \end{cases}$$

例 9.1

两个等值异号的点电荷 $+q$ 和 $-q$ 组成的点电荷系, 当它们之间的距离 l 比起所讨论问题中涉及的距离 r 小得多时, 这一对点电荷系称为电偶极子. 由负电荷 $-q$ 指向正电荷 $+q$ 的矢径 l 称为电偶极子的轴. ql 为电偶极矩, 简称电矩, 用 \mathbf{p} 表示, 即 $\mathbf{p} = ql$. 试计算电偶极子轴线延长线上的一点 A 和轴的中垂面上的一点 B 的电场强度.

解 选取如图 9.1 所示的坐标, O 为电偶极子轴的中点. 点电荷 $+q$ 和 $-q$ 在 A 点产生的电场强度大小为

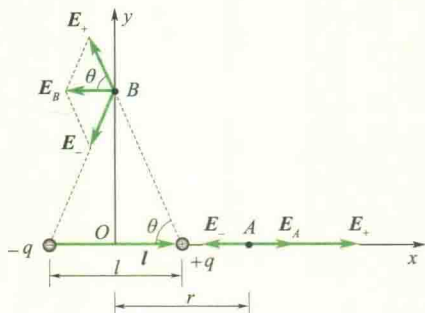


图 9.1

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

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

\mathbf{E}_+ 沿 x 轴正方向, \mathbf{E}_- 沿 x 轴负方向, 所以 A 点总电场强度大小为

$$E_A = E_+ - E_-$$

$$= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} \right]$$