

University

大学物理学

Physics

下册

主 编 王登龙

副主编 杨友田 王凤姣 谢月娥

高等教育出版社

University

大学物理学

下册

主 编 王登龙
副主编 杨友田 王凤姣 谢月娥

DAXUE WULIXUE

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),并在“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《大学物理学》的基础上改编而成的。全书分为上、下两册,上册内容包括力学基础篇、热学篇;下册内容包括电磁学篇、波动光学篇和量子论篇。本书作为工科大学物理教材及理科非物理类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,尽力反映新科技发展,注重各部分知识之间的活化联系,同时保持教材内容难度适宜。

本书可作为高等工科大学各专业的大学物理教材,也可作为综合性大学和师范院校非物理类专业的教材或参考书,还可供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/王登龙主编.--北京:高等教育出版社,2018.3

ISBN 978-7-04-046615-7

I. ①大… II. ①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(2016)第 252342 号

Daxue Wulixue

策划编辑 忻蓓
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 忻蓓
责任校对 刁丽丽

封面设计 姜磊
责任印制 赵义民

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京中科印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 18.75
字 数 420 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
版 次 2018 年 1 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
定 价 37.70 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
物 料 号 46615-00

大学物理学

(下册)

主编 王登龙

- 1 电脑访问<http://abook.hep.com.cn/1246262>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 点击“进入学习”, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过电脑访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1246262>

前 言

本书是为理工科大学生编写的大学物理学教材,其内容涵盖了教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)的全部知识点,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》的基础上改编而成的。

本书的改编是以波为整体线索,从波的分类、产生机制、表达形式把物理的各个知识点连接起来。波分为经典波和量子波;经典波又可分为机械波和电磁波;从经典波的产生机制引出力学篇:运动学和动力学;从电磁波引出电磁学篇:静电场、恒定电场、电磁感应和电磁波;从量子波引出量子论;最后是插入气体动理论和热力学篇。同时为了满足不同层次的教学要求,保持教材内容的连续性和系统性,本书也编入了一些提高和扩充内容,从而形成了“高、宽、新、活、宜”等鲜明特色:

1. 高视点选择经典内容:删去了与中学物理简单重复的内容,加强了矢量性;将牛顿力学与相对论时空观紧密相联,开拓了学生的视野;将电磁学与波动光学连在一起,使电磁波归类,更方便教学。

2. 努力拓宽知识面:引入了非线性物理的基础知识;加强了近代物理学的相对论、量子论的基础知识。

3. 尽力反映新科技:如介绍了熵与信息、全息照相、光纤通信、液晶、纳米科学技术、玻色-爱因斯坦凝聚态等科研前沿领域的知识。

4. 注重知识之间的活化联系:教材力求突出主干,删除枝节,精选了例题和习题,尽量避免烦琐的叙述和冗长的数学推导,便于学生阅读和理解。

5. 开“窗口”,重视科学素质训练:这将有益于培养学生的求知欲望和独立思考能力,使之得到科学素质和创造能力的基本训练。同时保持普通物理基础知识的层次,难度适宜,可操作性强。

说明:

(1) 教材中带“*”的章节一般为开“窗口”的内容,可供教师自行取舍;

(2) 书中小字部分是相关章节的延伸内容,不作要求;

(3) 不同院校不同专业的物理教学计划时数存在差异,在使用本教材时,若将带“*”号的章节和小字部分除去,仍不影响知识的整体性。教学时数可掌握在96~128学时范围内。

全书分为上、下两册,上册内容包括力学基础篇、热学篇;下册内容包括电磁学篇、波动光学篇、量子论篇。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篇、量子论篇的所有内容;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。最后由王登龙教授负责全书的修改和定稿工作。教育部高等学校物理学类专业教指委委员、江苏大学颜晓红教授仔细审查了此

II 前言

书。高等教育出版社高建、王红波等相关人员在本书的编辑出版过程中付出了大量辛勤的劳动,在此表示感谢。

编写适合教学改革需要的教材是一种探索,加之编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有不妥和疏漏之处,恳求读者批评指正。

编者

2017年8月

目 录

电磁学篇/1

第 9 章 静电场/3

- 9.1 电场 电场强度/3
 - 9.1.1 电荷/3
 - 9.1.2 库仑定律/4
 - 9.1.3 电场强度/5
 - 9.1.4 电场强度叠加原理/6
 - 9.1.5 电场强度的计算/6
 - 9.1.6 带电体在外电场中所受的作用/10
- 9.2 电场强度通量 高斯定理/11
 - 9.2.1 电场的图示法 电场线/11
 - 9.2.2 电场强度通量/12
 - 9.2.3 高斯定理/13
 - 9.2.4 高斯定理的应用/14
- 9.3 电场力的功 电势/16
 - 9.3.1 电场力的功/16
 - 9.3.2 静电场的环路定理/17
 - 9.3.3 电势能/18
 - 9.3.4 电势 电势差/18
 - 9.3.5 电势的计算/19
- 9.4 电场强度与电势的关系/21
 - 9.4.1 等势面/21
 - *9.4.2 电场强度与电势梯度的关系/22
- 9.5 静电场中的导体/24
 - 9.5.1 导体的静电平衡/24
 - 9.5.2 导体壳和静电屏蔽/26
 - 9.5.3 有导体存在的静电场电场强度与电势的计算/27
- 9.6 静电场中的电介质/29
 - 9.6.1 电介质的极化/29
 - *9.6.2 极化强度和极化电荷/30
 - *9.6.3 电介质的极化规律/31
 - 9.6.4 有电介质时的高斯定理/32

9.7 电容 电容器/33

- 9.7.1 孤立导体的电容/33
- 9.7.2 电容器及其电容/33
- *9.7.3 电容器的连接/34
- *9.7.4 范德格拉夫起电机/35

9.8 电流 恒定电场 电动势/37

- 9.8.1 电流 电流密度/37
- 9.8.2 恒定电场/38
- 9.8.3 电动势/39

9.9 电场的能量/40

- 9.9.1 带电系统的能量/40
- 9.9.2 电场能量/40

阅读材料九 压电体/42

本章提要/42

习题/44

第 10 章 恒定磁场/49

10.1 磁场 磁感强度/49

- 10.1.1 基本磁现象/49
- 10.1.2 磁感应强度/50
- 10.1.3 磁通量/52
- 10.1.4 磁场中的高斯定理/53
- 10.1.5 毕奥-萨伐尔定律/53
- 10.1.6 毕奥-萨伐尔定律的应用/55


10.2 安培环路定理/59

- 10.2.1 安培环路定理/59
- 10.2.2 安培环路定理的应用/61

10.3 磁场对载流导线的作用/64

- 10.3.1 安培定律/64
- 10.3.2 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/65
- 10.3.3 磁场对载流线圈的作用/66
- 10.3.4 磁力的功/68

- 10.4 磁场对运动电荷的作用/69
 - 10.4.1 洛伦兹力/69
 - 10.4.2 带电粒子在匀强磁场中的运动/70
 - 10.4.3 霍尔效应/73
 - *10.4.4 磁流体发电/75
- *10.5 回旋加速器 磁聚焦/75
 - 10.5.1 回旋加速器/75
 - 10.5.2 磁聚焦/77
- 10.6 磁介质/77
 - 10.6.1 磁介质的分类/77
 - *10.6.2 抗磁质与顺磁质的磁化/78
 - *10.6.3 磁化强度/79
 - 10.6.4 磁介质中的安培环路定理/79
 - 10.6.5 B 与 H 的关系/81
 - 10.6.6 铁磁质/83


 阅读材料十 等离子体及其磁约束/87

本章提要/87
习题/88

第 11 章 电磁感应/94


- 11.1 电磁感应定律/94
 - 11.1.1 电磁感应现象/94
 - 11.1.2 楞次定律/94
 - 11.1.3 法拉第电磁感应定律/95
- 11.2 动生电动势与感生电动势/97
 - 11.2.1 动生电动势/97
 - 11.2.2 感生电动势/99
 - *11.2.3 感应电动势的相对性/101
- 11.3 电子感应加速器 涡电流/102
 - 11.3.1 电子感应加速器/102
 - 11.3.2 涡电流/102

- 11.4 自感与互感/103
 - 11.4.1 自感/103
 - 11.4.2 互感/104
- 11.5 磁场能量/106
 - 11.5.1 自感磁能/106
 - 11.5.2 磁场能量/107

 阅读材料十一 磁单极/108
本章提要/108
习题/108

第 12 章 电磁场和电磁波/113

- 12.1 位移电流 麦克斯韦方程组/113
 - 12.1.1 位移电流/113
 - 12.1.2 全电流定律/116
 - 12.1.3 麦克斯韦方程组/116
- *12.2 电磁波/118
 - 12.2.1 振荡电偶极子产生的电磁波/118
 - 12.2.2 平面电磁波/119
 - 12.2.3 振荡电路 赫兹实验/120
 - 12.2.4 电磁波谱/121
- *12.3 电磁场的能量与动量/122
 - 12.3.1 电磁场的能量密度与能流密度/122
 - 12.3.2 电磁场能量密度 w 与能流密度 S 的表达式/122
 - 12.3.3 电磁场的动量/124
 - 12.3.4 同步辐射/124
 - 12.3.5 电磁场是物质的一种形态/125

 阅读材料十二 遥感技术/125
本章提要/125
习题/126

波动光学篇/129

第 13 章 光的干涉/131

- 13.1 光源 光的相干性/131
 - 13.1.1 光源/131
 - 13.1.2 光的相干性/132
- 13.2 杨氏双缝干涉实验/134
 - 13.2.1 杨氏双缝干涉/134

- 13.2.2 其他分波阵面干涉装置/135
- 13.3 光程与光程差/137
- 13.4 薄膜干涉/140
 - 13.4.1 薄膜干涉/140
 - 13.4.2 增透膜与增反膜/141
- 13.5 劈尖干涉 牛顿环/142

- 13.5.1 劈尖干涉/142
- 13.5.2 牛顿环/143
- 13.6 迈克耳孙干涉仪/147
 - 13.6.1 迈克耳孙干涉仪/147
 - *13.6.2 光源的非单色性对干涉条纹的影响(光场的时间相干性)/149


 阅读材料十三 全息照相/151

本章提要/151

习题/152

第 14 章 光的衍射/155

- 14.1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理/155
 - 14.1.1 光的衍射现象及分类/155
 - 14.1.2 惠更斯-菲涅耳原理/156
- 14.2 单缝夫琅禾费衍射/157
- 14.3 衍射光栅/161
 - 14.3.1 光栅衍射现象/161
 - 14.3.2 光栅衍射规律/162
 - 14.3.3 光栅光谱/164
- 14.4 圆孔衍射 光学仪器的分辨率/167
 - 14.4.1 圆孔衍射/167
 - 14.4.2 光学仪器的分辨率/168
- *14.5 X射线的衍射/170


 阅读材料十四 光纤通信/172

本章提要/172

习题/173

第 15 章 光的偏振/175

- 15.1 自然光和偏振光/175
 - 15.1.1 横波的偏振性/175
 - 15.1.2 自然光/176
 - 15.1.3 线偏振光/176
 - 15.1.4 部分偏振光/177
- 15.2 起偏和检偏 马吕斯定律/177
 - 15.2.1 偏振片的起偏和检偏/177
 - 15.2.2 马吕斯定律/178
- 15.3 反射与折射时光的偏振/179
- *15.4 散射光的偏振/182
- *15.5 光的双折射/183
 - 15.5.1 双折射现象 寻常光和非常光/183
 - 15.5.2 晶体的光轴与光线的主平面/183
 - 15.5.3 用惠更斯原理解释双折射现象/184
- *15.6 偏振光的干涉 人为双折射现象/185
 - 15.6.1 椭圆偏振光与圆偏振光 波片/186
 - 15.6.2 偏振光的干涉/186
 - 15.6.3 人为双折射现象/187
- *15.7 旋光现象/188

 阅读材料十五 量子光学/189

本章提要/190


习题/190

量子论篇/193

第 16 章 量子物理基础/195

- 16.1 黑体辐射 普朗克量子假设/195
 - 16.1.1 热辐射 绝对黑体辐射定律/195
 - 16.1.2 普朗克量子假设/197
- 16.2 光的量子性/198
 - 16.2.1 光电效应 爱因斯坦方程/198
 - 16.2.2 康普顿效应/202
- 16.3 玻尔的氢原子理论/205
 - 16.3.1 氢原子光谱的实验规律/205
 - 16.3.2 玻尔的氢原子理论/207
 - 16.3.3 玻尔理论的成功和局限性/210
- 16.4 粒子的波动性/210
 - 16.4.1 德布罗意波/210
 - 16.4.2 电子衍射/212
 - 16.4.3 德布罗意波的统计解释/213
- 16.5 不确定关系/213
- 16.6 波函数薛定谔方程/215
 - 16.6.1 波函数/215


- 16.6.2 薛定谔方程/217
- 16.7 薛定谔方程在几个一维问题中的应用/219
 - 16.7.1 一维无限深势阱/219
 - 16.7.2 势垒 隧道效应/222
 - *16.7.3 一维谐振子/224
- 16.8 量子力学对氢原子的应用/225
 - 16.8.1 氢原子的薛定谔方程/225
 - 16.8.2 能量和角动量量子化/228
 - 16.8.3 电子云/229
- 16.9 施特恩-格拉赫实验/230
 - 16.9.1 电子的轨道磁矩/230
 - 16.9.2 施特恩-格拉赫实验/231
- 16.10 电子自旋 原子的壳层结构/233
 - 16.10.1 电子自旋/233
 - 16.10.2 原子的壳层结构/234

 阅读材料十六 量子力学的争论/236
本章提要/236
习题/238

***第 17 章 原子核物理和粒子物理简介/241**


- 17.1 原子核的基本性质/241
 - 17.1.1 原子核/241
 - 17.1.2 核自旋和磁矩/241
 - 17.1.3 核力/244
 - 17.1.4 原子核的结合能/245
- 17.2 原子核的放射性衰变/246
 - 17.2.1 原子核的稳定性/246
 - 17.2.2 原子核衰变/246
 - 17.2.3 放射性衰变定律/247

- 17.3 粒子物理简介/249
 - 17.3.1 粒子特征 四种相互作用和粒子分类/250
 - 17.3.2 强子的夸克结构/253
 - 17.3.3 相互作用的统一/255

 阅读材料十七 玻色-爱因斯坦凝聚态/255
本章提要/256
习题/256

第 18 章 新技术的物理基础/259

- 18.1 固体的能带结构/259
 - 18.1.1 晶体结构和晶体分类/259
 - 18.1.2 固体的能带/261
 - 18.1.3 导体和绝缘体/264
 - 18.1.4 半导体/265
- 18.2 激光原理/269
 - 18.2.1 激光的基本原理/269
 - 18.2.2 激光器/273
 - 18.2.3 激光的特性/275
 - *18.2.4 激光的应用/275
- *18.3 超导电性/276
 - 18.3.1 超导的基本特性/276
 - 18.3.2 超导体的微观机制/278
 - 18.3.3 超导材料的分类/280
 - 18.3.4 超导理论新动向/281
 - 18.3.5 超导电性在工业上的应用/282
 - 18.3.6 约瑟夫森效应及其应用/282

 阅读材料十八 纳米科技简介/286
习题/286

习题答案/288

电磁学篇

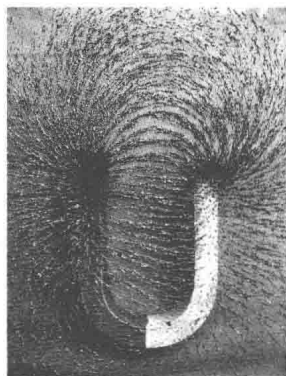
电磁学是研究电和磁的相互作用现象,规律及其具体应用的一门学科.电磁现象广泛存在于自然界中,电磁作用是物质相互作用的重要形式,电结构是物质构成的基本形式,电磁场是物质世界的重要组成部分.

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,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之后才开始的.1820年,奥斯特发现了电流的磁效应;1831年法拉第发现了电磁感应现象,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所认识.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界最重要的理论成果.

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——是随参考系而改变.

电磁学的知识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,电磁学和工程技术在各个领域都有着十分密切的联系.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所决定,在分子和原子等微观领域中,电磁相互作用起主要作用.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.先介绍电场的描述方式及其规律,接着介绍静电场中的导体和电介质;然后介绍磁场的描述方式及其规律,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——麦克斯韦方程组及电磁波.



第9章 静 电 场

本章主要研究静电场的基本性质及电场与导体、电介质的相互作用。

电场强度和电势是描述电场特性的两个重要物理量。静电场中高斯定理和环流定理是反映静电场性质的基本规律。

已知场源电荷分布求解电场强度和电势分布是本章要解决的主要问题之一。

对于某些对称分布的带电体，静电场中的电场强度的确定，除了用库仑定律求解以外，还可通过高斯定理解决，这种对称分析法是现代物理学的一种基本分析方法。

在电场的作用下，导体和电介质的电荷分布会发生变化，重新分布的电荷反过来又会影响电场分布，从而最终达到静电平衡。我们还将讨论电场与物质的这种相互作用规律，以及电容器和电场的能量。

本章介绍的一些概念、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。

9.1 电场 电场强度

9.1.1 电荷

人们把两种不同质料的物体，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，带电表明物体处于一种特殊的状态，电荷是物体状态的一种属性。带电的物体叫做带电体。

带电体所带的电荷有两种，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做电荷量。在国际单位制(SI)中，电荷量的单位是库仑，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荷量的“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；所带的正负电荷量相等，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，物体处于电中性状态。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

动画：

带电物体靠近
带电小球

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“湮没”).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.电荷守恒定律是物质属性之一.

迄今为止,所有实验表明,任何带电体所带电荷量都是元电荷量 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍.这种电荷量只能取分立的、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.因此常认为电荷连续分布在带电体上,电荷的变化也是连续的.近代物理从理论上预言,基本粒子由若干种电荷量为 $\pm \frac{1}{3}e$ 、 $\pm \frac{2}{3}e$ 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,一个电荷的电荷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,电荷量没有任何变化.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,电子电荷量应该相同.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,因而两者的运行状态有显著差别.如果电荷的电荷量与运动状态有关,氢分子中质子的电荷量就应该和氦原子中质子的电荷量不同,但两者电子的电荷量是相同的,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,质子的电荷量也是与其运动状态无关的.大量事实证明,电荷的电荷量是与其运动状态无关的.在不同的参考系观察,同一带电粒子的电荷量不变,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,不仅与它们所带电荷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,而把带电体所带电荷集中到一个“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荷量 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,我们引入新的常量 ϵ_0 来代替 k ,两者的关系为



$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad (9.2)$$

ε_0 称为真空中的介电常量. 以 ε_0 代入式(9.1)得

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (9.3)$$

为了表示力的方向,可采用矢量式表示库仑定律,即

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (9.4)$$

式中 \mathbf{e}_r 是由施力电荷指向受力电荷的单位矢量. 近代物理实验表明,当两个点电荷之间的距离在 $10^{-17} \text{ m} \sim 10^7 \text{ m}$ 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

静电力同样是物质之间的相互作用. 这种特殊的物质,叫做电场. 电荷和电荷之间是通过电场这种物质传递相互作用的,这种作用可以表示为

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{电场} \longleftrightarrow \text{电荷}$$

近代物理证实这种看法是正确的. 同时还证实电场和一切实物一样,也具有能量、质量和质量等重要性质,因此,电场也是一种物质. 但场与其他实物不同,几个电场可以同时占有同一空间,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. 用足够小的点电荷 q_0 作为试验电荷,一般试验电荷带正电. 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相同的. 试验电荷 q_0 放在电场中一固定点处,当 q_0 的电荷量改变时它所受的力方向不变,但力的大小将随电荷量的改变而改变,然而始终保持 $\frac{\mathbf{F}}{q_0}$ 的比

值为一常矢量. 因此, $\frac{\mathbf{F}}{q_0}$ 反映了 q_0 所在位置电场的性质,称为电场强度,用 \mathbf{E} 表示,即

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

当 q_0 为一个单位正电荷时, $\mathbf{E} = \mathbf{F}$, 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. 在国际单位制中,电场强度 \mathbf{E} 的单位是牛顿每库仑 ($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$), 也可以写成伏

特每米($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$).

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 $\mathbf{E}=\mathbf{E}(\mathbf{r})$.

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 受到的总静电力为

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

两边除以 q_0 ,得

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

按电场强度定义 $\mathbf{E}=\frac{\mathbf{F}}{q_0}$,有

$$\mathbf{E}=\mathbf{E}_1+\mathbf{E}_2+\dots+\mathbf{E}_n=\sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (9.6)$$

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各自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,由该原理和点电荷电场强度的公式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). \mathbf{r} 为从 q 到 P 点的径矢.当试验电荷 q_0 放在 P 点时, q_0 所受电场力为

$$\mathbf{F}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0q}{r^2} \mathbf{e}_r$$

式中 \mathbf{e}_r 为由施力电荷(场源电荷) q 指向受力电荷(场点电荷) q_0 单位矢量.则 P 点电场强度

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

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,但方向不相同,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 , 第 i 个点电荷 q_i 到任意场点 P 的矢径为 \mathbf{r}_i , \mathbf{e}_i 为径

矢 r_i 的单位矢量, E_i 为 q_i 单独存在时在 P 点产生的电场强度. 则

$$E_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} e_i$$

根据电场强度叠加原理, 可得 P 点总电场强度

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} e_i \quad (9.8)$$

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 p 表示, 即 $p = ql$.

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

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

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

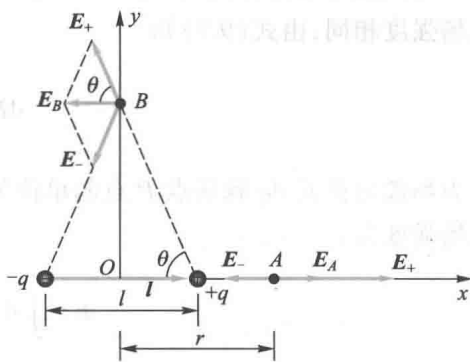


图 9.1

E_+ 沿 x 轴正方向, E_- 沿 x 轴负方向, 所以 A 点总电场强度大小为

$$\begin{aligned} E_A &= E_+ - E_- \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2} \right] \\ &= \frac{q \cdot 2lr}{4\pi\epsilon_0 \left[\left(r - \frac{l}{2}\right) \left(r + \frac{l}{2}\right) \right]^2} \end{aligned}$$

因为 $r \gg l$, 故