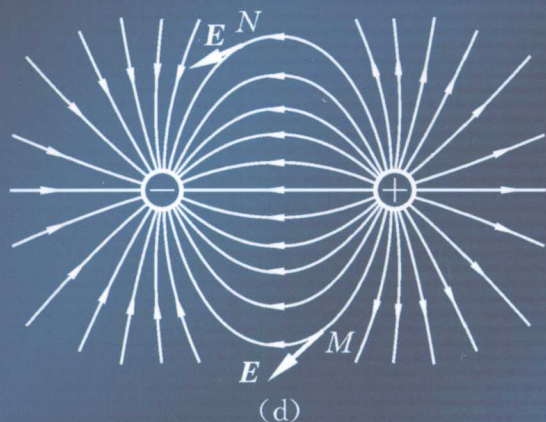




普通高等教育“十一五”规划教材  
普通高等院校物理精品教材

# 大学物理(下)

付茂林 彭志华 主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十一五”规划教材  
普通高等院校物理精品教材

# 大学物理

(下册)

主 编 付茂林 彭志华

副主编 郭 萍 谢安平

参 编 (按姓氏笔画排序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王振华 | 付茂林 | 向 东 | 杜 丹 |
| 李伟军 | 李新霞 | 吴喜军 | 陈 铀 |
| 胡 苹 | 胡继文 | 贾 鹏 | 郭 萍 |
| 彭志华 | 谢安平 |     |     |

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理(下册)/付茂林 彭志华 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009 年 2 月

ISBN 978-7-5609-5050-1

I. 大… II. ①付… ②彭… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202583 号

大学物理(下册)

付茂林 彭志华 主编

策划编辑:周芬娜

责任编辑:王汉江

责任校对:周 娟

封面设计:潘 群

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:武汉中远印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:15

字数:340 000

版次:2009 年 2 月第 1 版

印次:2009 年 2 月第 1 次印刷

定价:26.00 元

ISBN 978-7-5609-5050-1/O · 476

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 简 介

本书是为适应当前教学改革的需要,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会在 2008 年 4 月审订的“理工科类大学物理课程教学基本要求”,结合编者多年的教学实践和教改经验编写而成的。

全书分上、下两册。上册包括力学、机械振动和机械波、热学;下册包括电磁学、波动光学、量子物理基础。书中介绍的主要是理工科普通物理教学大纲要求的基本内容;另选编有阅读材料,所涉及的是物理学知识在各相关领域的应用及拓展,以利于开阔学生的视野。

本书可作为高等学校非物理专业大学物理课程的教材。

# 前 言

---

本书是为适应当前教学改革的需要,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会在2008年4月审订的“理工科类大学物理课程教学基本要求”,结合编者多年的教学实践和教改经验编写而成的。在编写过程中,吸取了多种优秀教材的长处,并考虑了当前高校学时和学生的实际情况。本书的主要特点如下。

1. 贯彻基本要求,力求简炼、综合。内容的选用符合基本要求。对基本要求中规定要掌握、理解和了解的内容分别作了不同的处理。抓住主要内容,去粗取精,突出物理学中的重要定律与定理,从物理学发展过程和教学实际情况两个方面组织教学内容,精选例题、习题,用基本的、通俗的方法讲述物理内容。努力满足广大师生的教学需要,激发学生的学习兴趣,培养学生的创新能力。

2. 围绕核心要素,辐射研究前沿。本书特别注重对物理学核心概念和规律的介绍,如时间与空间,相互作用,传播速度,能量、动量、角动量守恒定律等,并着力将时间与空间,对称与守恒,过程与状态,振动与波,粒子与场,统计性与确定性等贯穿始终。与此同时,大胆地“渗透”一些科技前沿信息,并介绍了非线性物理的一些内容和概念。力图将前沿和基础联系起来,在奠定厚实基础的同时,使之具有广阔的发展空间和广泛的适用性。

3. 精选阅读材料,开阔学生视野。书中编入了多篇阅读材料,以扩大学生知识面,使学生接触到更多新的物理知识和概念,激发学生学习物理的兴趣,提高学生的科学素质。

4. 适应不同专业,便于师生教学。本书编写过程中,既考虑到物理体系的完整性和系统性,又尽量考虑到不同专业对物理知识要求的差异。因此某些加了“\*”号的章节,教师可以根据学校课程设置、教学专业特点和教学学时数来取舍,也可以跳过这些带“\*”号的内容,而不会影响整个体系的完整性和系统性。教材即“一剧之本”,既要满足教师在授课“舞台”有据可依的需要,又要为教师提供了个性发挥的空间。

参加本书编写工作的有付茂林(第1章、第4章),贾鹏(第2章),李伟军(第3章),胡继文(第5章),向东(第6章),谢安平(第7章),陈铀(第8章),郭萍(第9章),彭志华(第10章、第12章),李新霞(第11章),吴喜军和牡丹(第13章、第14章、第15章),王振华(第16章),胡苹(第17章)。全书由彭志华和付茂林统稿,最后

由彭志华负责审稿并定稿。

在编写过程中,我们得到了许多同行们很好的建议及出版社的大力支持和帮助,在此一并表示真诚的感谢。

由于编者水平有限,错误及不妥之处在所难免,请广大师生批评指正,以便今后逐步完善和提高。

编 者

2008年9月

# 目 录

## 第四篇 电 磁 学

|                       |      |
|-----------------------|------|
| 第 9 章 真空中的静电场         | (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           | (6)  |
| 9.2.1 电场              | (6)  |
| 9.2.2 电场强度            | (7)  |
| 9.2.3 场强叠加原理          | (8)  |
| 9.2.4 场强的计算           | (8)  |
| 9.3 静电场中的高斯定理         | (13) |
| 9.3.1 电场线             | (13) |
| 9.3.2 电通量             | (15) |
| 9.3.3 静电场中的高斯定理       | (16) |
| 9.3.4 高斯定理的应用         | (18) |
| 9.4 电势                | (21) |
| 9.4.1 静电场力做功的特点       | (21) |
| 9.4.2 电势能 电势          | (23) |
| 9.4.3 电势的叠加原理         | (24) |
| 9.4.4 电势的计算           | (25) |
| 9.5 等势面 电场强度和电势梯度的关系  | (27) |
| 9.5.1 等势面             | (27) |
| 9.5.2 电场强度和电势梯度的关系    | (28) |
| 思考题                   | (29) |
| 习题                    | (30) |
| 第 10 章 静电场中的导体和电介质    | (33) |
| 10.1 静电场中的导体          | (33) |
| 10.1.1 导体的静电平衡        | (33) |
| 10.1.2 有导体存在时场强与电势的计算 | (35) |
| 10.1.3 静电的应用          | (37) |

|        |                    |      |
|--------|--------------------|------|
| 10.2   | 静电场中的电介质           | (39) |
| 10.2.1 | 电介质的极化             | (39) |
| 10.2.2 | 极化强度矢量             | (41) |
| 10.2.3 | 电极化强度矢量与极化电荷面密度的关系 | (41) |
| 10.3   | 电位移矢量 电介质中的高斯定理    | (42) |
| 10.3.1 | 电位移矢量及其高斯定理        | (42) |
| 10.3.2 | 有介质存在时电场的计算        | (43) |
| 10.4   | 电容与电容器             | (45) |
| 10.4.1 | 孤立导体的电容            | (45) |
| 10.4.2 | 电容器的电容             | (45) |
| 10.4.3 | 电容器电容的计算           | (45) |
| 10.4.4 | 电容器的串联和并联          | (47) |
| 10.5   | 静电场的能量             | (48) |
| 10.5.1 | 电容器的储能             | (48) |
| 10.5.2 | 静电场的能量             | (48) |
|        | 思考题                | (51) |
|        | 习题                 | (51) |
| 第 11 章 | 稳恒磁场               | (54) |
| 11.1   | 磁场 磁感应强度           | (54) |
| 11.1.1 | 基本磁现象 磁场           | (54) |
| 11.1.2 | 磁感应强度              | (55) |
| 11.2   | 毕奥-萨伐尔定律           | (56) |
| 11.2.1 | 毕奥-萨伐尔定律           | (57) |
| 11.2.2 | 毕奥-萨伐尔定律的应用        | (57) |
| 11.3   | 磁场的高斯定理            | (61) |
| 11.3.1 | 磁感应线               | (61) |
| 11.3.2 | 磁通量 磁场的高斯定理        | (61) |
| 11.4   | 安培环路定理             | (63) |
| 11.4.1 | 安培环路定理             | (64) |
| 11.4.2 | 安培环路定理的应用          | (65) |
| 11.5   | 磁场对电流的作用           | (69) |
| 11.5.1 | 磁场对载流导线的作用力        | (69) |
| 11.5.2 | 磁场对载流线圈的作用力矩       | (71) |
| 11.5.3 | 磁场对运动电荷的作用力        | (72) |
| 11.5.4 | 霍尔效应               | (73) |
| 11.5.5 | 介质中的磁场             | (74) |
|        | 思考题                | (77) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 习题                    | (78)  |
| 第 12 章 电磁感应 电磁场与电磁波   | (82)  |
| 12.1 电磁感应定律           | (82)  |
| 12.1.1 电磁感应现象         | (82)  |
| 12.1.2 法拉第电磁感应定律      | (83)  |
| 12.2 动生电动势            | (85)  |
| 12.2.1 电源 电动势         | (85)  |
| 12.2.2 动生电动势          | (86)  |
| 12.2.3 动生电动势与洛伦兹力     | (89)  |
| 12.3 感生电动势和感生电场       | (89)  |
| 12.3.1 感生电动势 涡旋电场     | (89)  |
| 12.3.2 涡旋电场的应用        | (92)  |
| 12.4 自感与互感            | (94)  |
| 12.4.1 自感             | (94)  |
| 12.4.2 互感             | (95)  |
| 12.5 磁场的能量            | (97)  |
| 12.5.1 自感磁能           | (97)  |
| 12.5.2 互感磁能           | (98)  |
| 12.5.3 磁场能量           | (99)  |
| 12.6 位移电流 麦克斯韦方程组     | (101) |
| 12.6.1 位移电流           | (101) |
| 12.6.2 全电流定律          | (102) |
| 12.6.3 麦克斯韦方程组        | (104) |
| 12.7 电磁振荡 电磁波         | (105) |
| 12.7.1 振荡电路 无阻尼自由电磁振荡 | (105) |
| 12.7.2 电磁波的产生与传播      | (107) |
| 12.7.3 真空中的平面电磁波及其特性  | (107) |
| 12.7.4 真空中电磁波的能量      | (109) |
| 12.7.5 电磁波谱           | (110) |
| 思考题                   | (111) |
| 习题                    | (112) |
| 阅读材料 D 超导电性           | (117) |

## 第五篇 波动光学

|             |       |
|-------------|-------|
| 第 13 章 光的干涉 | (121) |
| 13.1 光的相干性  | (121) |
| 13.1.1 光源   | (121) |

|               |                    |       |
|---------------|--------------------|-------|
| 13.1.2        | 单色光                | (122) |
| 13.1.3        | 光的相干性              | (122) |
| 13.1.4        | 光强分布的基本公式 相位差判据    | (123) |
| 13.1.5        | 光程 光程差             | (124) |
| 13.2          | 分波面干涉              | (125) |
| 13.2.1        | 各种分波面干涉装置          | (125) |
| 13.2.2        | 杨氏实验               | (126) |
| 13.2.3        | 菲涅耳双面镜 洛埃镜         | (128) |
| 13.3          | 分振幅干涉              | (129) |
| 13.3.1        | 薄膜干涉概述             | (129) |
| 13.3.2        | 薄膜干涉(一)——等倾干涉      | (130) |
| 13.3.3        | 增透膜和增反膜            | (132) |
| 13.3.4        | 薄膜干涉(二)——等厚干涉      | (133) |
|               | 思考题                | (139) |
|               | 习题                 | (139) |
| <b>第 14 章</b> | <b>光的衍射</b>        | (140) |
| 14.1          | 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理   | (140) |
| 14.1.1        | 光的衍射现象             | (140) |
| 14.1.2        | 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射       | (140) |
| 14.1.3        | 惠更斯-菲涅耳原理          | (141) |
| 14.2          | 单缝夫琅禾费衍射           | (142) |
| 14.3          | 圆孔夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领 | (144) |
| 14.3.1        | 圆孔夫琅禾费衍射           | (144) |
| 14.3.2        | 光学仪器的分辨本领          | (145) |
| 14.4          | 光栅衍射               | (147) |
| 14.4.1        | 光栅衍射现象             | (147) |
| 14.4.2        | 光栅衍射规律             | (147) |
| 14.4.3        | 光栅光谱               | (149) |
| 14.5          | X 射线的衍射            | (151) |
|               | 思考题                | (152) |
|               | 习题                 | (153) |
| <b>第 15 章</b> | <b>光的偏振</b>        | (154) |
| 15.1          | 自然光和偏振光            | (154) |
| 15.1.1        | 横波的偏振性             | (154) |
| 15.1.2        | 自然光                | (154) |
| 15.1.3        | 偏振光                | (155) |
| 15.2          | 起偏与检偏 马吕斯定律        | (155) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 15.2.1 偏振片的起偏与检偏 .....  | (156) |
| 15.2.2 马吕斯定律 .....      | (156) |
| 15.3 反射和折射光的偏振 .....    | (157) |
| 15.4 光的双折射 .....        | (158) |
| 15.4.1 寻常光与非寻常光 .....   | (158) |
| 15.4.2 光轴 主平面 .....     | (159) |
| 15.4.3 波晶片 .....        | (160) |
| 15.5 偏振光的干涉 人为双折射 ..... | (160) |
| 15.5.1 偏振光的干涉 .....     | (160) |
| 15.5.2 人为双折射 .....      | (162) |
| * 15.6 旋光现象 .....       | (163) |
| 思考题 .....               | (164) |
| 习题 .....                | (164) |
| 阅读材料 E 液晶简介 .....       | (165) |

## 第六篇 量子物理基础

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第 16 章 量子力学基础 .....                | (173) |
| 16.1 热辐射和普朗克量子假设 .....             | (173) |
| 16.1.1 热辐射 .....                   | (173) |
| 16.1.2 普朗克量子假设和普朗克公式 .....         | (175) |
| 16.2 光电效应 爱因斯坦光子假设 .....           | (177) |
| 16.3 康普顿效应 .....                   | (180) |
| 16.4 玻尔的氢原子理论 .....                | (183) |
| 16.4.1 氢原子光谱 .....                 | (183) |
| 16.4.2 玻尔氢原子理论 .....               | (184) |
| 16.5 德布罗意的物质波假设 波粒二象性 不确定关系 .....  | (187) |
| 16.5.1 德布罗意的物质波假设 .....            | (187) |
| 16.5.2 波粒二象性 .....                 | (188) |
| 16.5.3 不确定关系 .....                 | (189) |
| 16.6 波函数及其统计意义 薛定谔方程 .....         | (192) |
| 16.6.1 波函数及其统计意义 .....             | (192) |
| 16.6.2 薛定谔方程 .....                 | (194) |
| 16.7 一维无限深势阱 一维谐振子 一维势垒 隧道效应 ..... | (196) |
| 16.7.1 一维无限深势阱 .....               | (196) |
| 16.7.2 一维谐振子 .....                 | (197) |
| 16.7.3 一维方势垒、隧道效应 .....            | (198) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 16.8 氢原子的量子理论 .....              | (200)        |
| 16.8.1 氢原子的薛定谔方程 .....           | (200)        |
| 16.8.2 量子化条件和量子数 .....           | (200)        |
| 16.8.3 电子云 .....                 | (202)        |
| 16.9 电子自旋 原子的壳层结构 .....          | (203)        |
| 16.9.1 电子自旋 .....                | (203)        |
| 16.9.2 原子的壳层结构 .....             | (204)        |
| 思考题 .....                        | (206)        |
| 习题 .....                         | (206)        |
| <b>第 17 章 原子核物理与粒子物理简介 .....</b> | <b>(209)</b> |
| 17.1 原子核的基本性质 .....              | (209)        |
| 17.1.1 原子核的组成 .....              | (209)        |
| 17.1.2 原子核的大小 .....              | (210)        |
| 17.1.3 核力 .....                  | (210)        |
| 17.1.4 核的自旋 .....                | (211)        |
| 17.1.5 原子核的结合能和比结合能 .....        | (211)        |
| 17.2 原子核的放射性衰变 .....             | (213)        |
| 17.2.1 放射性衰变 .....               | (213)        |
| 17.2.2 放射性衰变定律 .....             | (214)        |
| 17.2.3 放射性强度 .....               | (215)        |
| 17.3 几种典型的核反应 .....              | (216)        |
| 17.3.1 核反应 .....                 | (216)        |
| 17.3.2 几种典型的核反应 .....            | (216)        |
| * 17.4 粒子物理简介 .....              | (217)        |
| 17.4.1 粒子的基本特征 .....             | (217)        |
| 17.4.2 粒子的相互作用及其统一模型 .....       | (217)        |
| 17.4.3 粒子的分类 .....               | (218)        |
| 17.4.4 夸克模型 .....                | (220)        |
| 思考题 .....                        | (221)        |
| 习题 .....                         | (222)        |
| 阅读材料 F 磁共振成像技术 .....             | (223)        |
| 附录 基本物理常数表 .....                 | (227)        |
| 参考文献 .....                       | (229)        |

# 第 四 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相互作用相联系。例如,绿色植物吸收太阳光(电磁波),将能量转换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、生产领域以及高新科学技术研究中的许多内容都与电磁现象和电磁规律紧密相关。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的意义。

本篇(第9章到第12章)从场的观点出发,分别介绍电场、磁场以及电磁感应的基本规律。

## 第 9 章 真空中的静电场

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(electrostatic field)。本章研究真空中静电场的基本性质,并从电场对电荷有力的作用以及电荷在电场中移动时电场力将对电荷做功这两个方面,引入描述电场的两个重要物理量——电场强度和电势;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。

### 9.1 电荷 库仑定律

#### 9.1.1 电荷及其性质

物体能产生电磁现象,这都可以归因于物体带了电荷以及这些电荷的运动。通过对电荷(包括静止的和运动的电荷)的相互作用和效应的研究,人们认识到电荷的基本性质有以下几个方面。

##### 1. 电荷的种类

实验表明,自然界只存在两种性质不同的电荷,一种是正电荷,另一种是负电荷;同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。两种电荷的存在,反映了电世界的一种基本对称性。若把所有电荷的电性作一变换,正电变为负电,负电变为正电,则人们观测到的电力不变。一个由带正电的原子核与带负电的电子(electron)组成的电世界所发生的现象,与一个带负电的原子核和带正电的电子所组成的电世界所发生的现象,在实验上不存在任何可观测的差异。也就是说,对电荷电性的变换是一种对称变换。说电子带负电只不过是人为的约定而已。

##### 2. 电荷的量子性

实验证明,在自然界中,电荷总是以一个基本单元的整数倍出现的,电荷的这个特性叫做电荷的量子性(charge quantization)。电荷的基本单元就是一个电子所带电量的绝对值,常以  $e$  表示。经测定:

$$e=1.602\times 10^{-19}\text{ C}$$

在粒子物理研究中,理论上曾预言有电量为  $\pm\frac{1}{3}e$  或  $\pm\frac{2}{3}e$  的被称为夸克(quark)的粒子存在,认为很多基本粒子由若干个夸克或反夸克(antiquark)组成。1990 年诺贝

尔物理奖就授予这方面的几位美国物理学家,以表彰他们对夸克理论的杰出贡献,使得电荷的最小值有了新的结论。但是电荷量子化的规律并没有改变,即电荷只能取分立的、不连续的数值。

一般物体呈电中性(electric neutrality),通过摩擦,静电感应可使物体带电,然而在探讨宏观带电体时,由于带电量比基本电荷大许多数量级,因此电荷的量子性显现不出来,可以认为电荷是连续变化的。

### 3. 电荷守恒定律

实验表明,对于任何系统(无论是在宏观上还是微观上),如果没有净电荷出入其边界,则该系统的正负电荷电量的代数和将保持不变,这一结论称为电荷守恒定律(law of conservation of charge)。例如:在摩擦起电的过程或 $\gamma$ 射线穿过铅板产生正、负电子对时,都有等量的正、负电荷同时出现;正、负电子对复合成 $\gamma$ 光子时,等量的正、负电荷同时消失。电荷守恒定律是物理学的基本定律之一。该定律由富兰克林于1747年提出,直到现在,无论是在宏观世界中,还是在原子、原子核和基本粒子范围内,都未发现违背电荷守恒定律的现象。

### 4. 电荷的相对论不变性

实验还证明,在给电子、质子加速时,高速电子、质子的质量有明显变化,但电量却无任何改变,即一个电荷的电量与它的运动状态无关。也可以说,在不同的参照系中观察,同一带电粒子的电量不变。这一特性称为电荷的相对论不变性(relativistic invariance of electric charge)。

一般情况下,不同种类分子中电子的运动状态是不同的。通过化学反应可以改变分子中电子的运动状态。如果电荷对其运动速率有一个十分微小的依赖关系,那么,由于物体中包含有大量分子,会通过化学反应产生十分可观的电量来,但这种效应从未被观测到。

值得注意的是,电荷的相对论不变性与电荷守恒是电荷的两个本质上不同的属性。以往我们所接触的质量、动量与能量都是守恒量,却不是不变量。守恒量是指在选定的参照系下,在某一过程中,某物理量保持不变;不变量是指在不同的参照系中,对同一物理量的测量结果不变,即与参照系的选择无关。

## 9.1.2 库仑定律

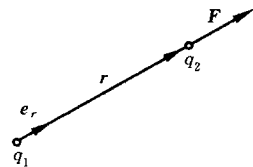
1785年,法国物理学家库仑(A. de Coulomb)用扭秤实验测定了两个带电球体之间的相互作用的电力。库仑在实验的基础上提出了两个点电荷之间相互作用的规律,即库仑定律(Coulomb law)。“点电荷”是一个抽象的模型。当两个带电体本身的线度 $d$ 比问题中所涉及的距离 $r$ 小很多(即 $d \ll r$ )时,带电体就可近似看做是“点电荷”。

库仑定律可表述为:在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力,其大小与它们的电量的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比;作用力的方向沿着这两

个点电荷的连线方向,同性电荷相斥,异性电荷相吸。

如图 9-1 所示,两个点电荷分别为  $q_1$  和  $q_2$ ,由电荷  $q_1$  指向电荷  $q_2$  的矢量用  $\mathbf{r}$  表示。那么,电荷  $q_2$  受到电荷  $q_1$  的作用力  $\mathbf{F}$  为

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



式中:  $\mathbf{e}_r$  为从电荷  $q_1$  指向电荷  $q_2$  的单位矢量,即  $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$ 。图 9-1 库仑定律  
 $\epsilon_0$  叫做真空介电常量(dielectric constant)或真空电容率,是电学中常用到的一个物理量。一般计算时,其值为

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned}$$

由上式可以看出,当  $q_1$  和  $q_2$  同号时,  $q_1 q_2 > 0$ ,  $q_2$  受到斥力作用;当  $q_1$  和  $q_2$  异号时,  $q_1 q_2 < 0$ ,  $q_2$  受到引力作用。静止电荷间的作用力又称库仑力。应当指出,两静止点电荷之间的库仑力遵守牛顿第三定律。由于我们所研究的电荷或处于静止,或其速率非常小( $v \ll c$ ),都属于低速的情况,牛顿第二定律以及由牛顿第二定律所导出的结论,都能适用于有库仑力作用的情形。

**【例 9-1】** 氢原子内电子和原子核之间的距离为  $r = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ ,试计算其电子与原子核之间的库仑力和万有引力,并比较两者的大小。已知氢原子核(即质子)的质量为  $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,电子的电荷为  $-e$ ,质量为  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,原子核的电荷为  $e$ ,万有引力常量  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

**解** 根据库仑定律,电子与原子核之间库仑力的大小为

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(0.53 \times 10^{-10})^2} \text{ N} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

根据万有引力定律,电子与原子核之间万有引力的大小为

$$F_m = G \frac{m_e m_p}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.53 \times 10^{-10})^2} \text{ N} = 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

库仑力与万有引力定律的比值为

$$\frac{F_e}{F_m} = 2.3 \times 10^{39}$$

由此可见,在原子内部电子与原子核之间的库仑力远大于电子与原子核之间的万有引力。因此,在处理电子和原子核之间的相互作用时,万有引力可以忽略不计。正是由于库仑力的作用,电子和原子核能够形成原子,原子和原子能够形成分子,而宏观物体主要也是靠原子、分子间的库仑力来维持的。

库仑定律只讨论两个静止的点电荷间的作用力,若考虑两个以上的静止点电荷之间的作用,就必须运用另一个实验结论:两个点电荷之间的作用力不因第三个点电荷的存在而改变。因此,多个点电荷对一个点电荷的作用力,等于各个点电荷单独存