

 高等学校教材

# 物理学 (第四版) 下册

严导淦 主编

严导淦 吴於人 修订

04

高等教育出版社

高等学校教材

# 物 理 学

第 四 版

下 册

严导淦 主编  
严导淦 吴於人 修订

高等教育出版社

## 内容简介

本书是为全日制普通高等学校本科大学物理课程编写的教材,兼作函授院校、夜大学、网络学院、高等职业技术学院以及高等教育自学考试的教学用书。

本书是在原《物理学》(第三版)的基础上修订而成的。本书修订后,在内容和论述上删繁就简,使之易教易学,以适应广大师生的教学需求。

本书的自学辅导教材《物理学(第四版)阅读和解题指导》亦将同步出版,供函授院校、网络学院的师生作为面授课教学和自学指导用书,亦可作为全日制院校的习题课教学或复习用书。

全书分上、下两册,上册主要内容为力学的物理基础、机械振动和机械波、热学基础和附录;下册主要内容为电磁学、光学、量子物理简介。本书为下册。

## 图书在版编目(CIP)数据

物理学. 下册/严导淦主编. —4版. —北京:高等教育出版社,2003.12  
ISBN 7-04-012978-7

I. 物... II. 严... 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 078922 号

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 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 1/16  
印 张 21.75  
字 数 400 000

版 次 1982 年 6 月第 1 版  
2003 年 12 月第 4 版  
印 次 2003 年 12 月第 1 次印刷  
定 价 22.90 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

|      |     |
|------|-----|
| 策划编辑 | 陶 铮 |
| 责任编辑 | 王文颖 |
| 封面设计 | 于文燕 |
| 责任绘图 | 吴文信 |
| 版式设计 | 陆瑞红 |
| 责任校对 | 康晓燕 |
| 责任印制 | 宋克学 |

## 郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010) 58581897/58581698/58581879/58581877

**传    真：**(010) 82086060

**E - mail：**dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

**邮    编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)64014089 64054601 64054588

# 目 录

## 第 四 篇 电 磁 学

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 引言 .....                    | 3   |
| 第十一章 真空中的静电场 .....          | 4   |
| § 11-1 电荷 .....             | 4   |
| § 11-2 电荷间的相互作用 库仑定律 .....  | 7   |
| § 11-3 静电场 电场强度 .....       | 10  |
| § 11-4 电场强度的计算 .....        | 14  |
| § 11-5 电场线 电通量 .....        | 24  |
| § 11-6 真空中静电场的高斯定理 .....    | 28  |
| § 11-7 静电场的环路定律 电势能 .....   | 35  |
| § 11-8 电势 电势的计算 .....       | 39  |
| § 11-9 等势面 电场强度与电势的关系 ..... | 44  |
| 第十二章 静电场中的导体和电介质 .....      | 49  |
| § 12-1 静电场中的金属导体 .....      | 49  |
| § 12-2 静电场中的电介质 .....       | 55  |
| § 12-3 有电介质时静电场的高斯定理 .....  | 59  |
| § 12-4 电容 电容器 .....         | 64  |
| § 12-5 电场的能量 .....          | 71  |
| 第十三章 电流 .....               | 74  |
| § 13-1 电流强度 电流密度 .....      | 74  |
| § 13-2 稳恒电场 恒定电流 .....      | 78  |
| § 13-3 欧姆定律 电阻 .....        | 80  |
| § 13-4 电功率 焦耳定律 .....       | 85  |
| § 13-5 电动势 闭合电路的欧姆定律 .....  | 87  |
| § 13-6 一段含源电路 多回路电路 .....   | 92  |
| 第十四章 稳恒磁场 .....             | 97  |
| § 14-1 磁的基本现象 .....         | 97  |
| § 14-2 磁场 磁感应强度 .....       | 99  |
| § 14-3 毕奥-萨伐尔定律及其应用 .....   | 101 |
| § 14-4 磁感线 磁场的高斯定理 .....    | 109 |

|             |                               |     |
|-------------|-------------------------------|-----|
| § 14-5      | 安培环路定理 .....                  | 112 |
| § 14-6      | 磁场对载流导线的作用 .....              | 118 |
| § 14-7      | 带电粒子在电场和磁场中的运动 .....          | 125 |
| § 14-8      | 磁场中的磁介质 .....                 | 134 |
| § 14-9      | 有磁介质时磁场的安培环路定理 .....          | 139 |
| § 14-10     | 铁磁质 .....                     | 144 |
| <b>第十五章</b> | <b>电磁感应</b> .....             | 149 |
| § 15-1      | 电磁感应的基本规律 .....               | 149 |
| § 15-2      | 动生电动势 .....                   | 156 |
| § 15-3      | 自感和互感 .....                   | 162 |
| § 15-4      | 磁场的能量 .....                   | 168 |
| <b>第十六章</b> | <b>电磁场与电磁波</b> .....          | 171 |
| § 16-1      | 涡旋电场 .....                    | 171 |
| § 16-2      | 位移电流 .....                    | 175 |
| § 16-3      | 电磁场理论的基本概念 麦克斯韦方程组的积分形式 ..... | 178 |
| § 16-4      | 电磁振荡 .....                    | 180 |
| § 16-5      | 电磁波 .....                     | 183 |
| § 16-6      | 电磁波谱 .....                    | 187 |

## 第 5 篇 波 动 光 学

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 引言 .....                    | 193 |
| 第十七章 光的干涉 .....             | 195 |
| § 17-1 光强度 光的干涉 .....       | 195 |
| § 17-2 杨氏实验 .....           | 199 |
| § 17-3 半波损失 光程 .....        | 202 |
| § 17-4 薄膜的等倾干涉 .....        | 209 |
| § 17-5 薄膜的等厚干涉 .....        | 214 |
| § 17-6 迈克耳孙干涉仪 .....        | 220 |
| 第十八章 光的衍射 .....             | 223 |
| § 18-1 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理 ..... | 223 |
| § 18-2 单缝衍射 .....           | 225 |
| § 18-3 衍射光栅 衍射光谱 .....      | 230 |
| § 18-4 光学仪器的分辨率 .....       | 237 |
| § 18-5 X射线的衍射 布拉格公式 .....   | 240 |
| 第十九章 光的偏振 .....             | 245 |
| § 19-1 自然光和偏振光 .....        | 245 |

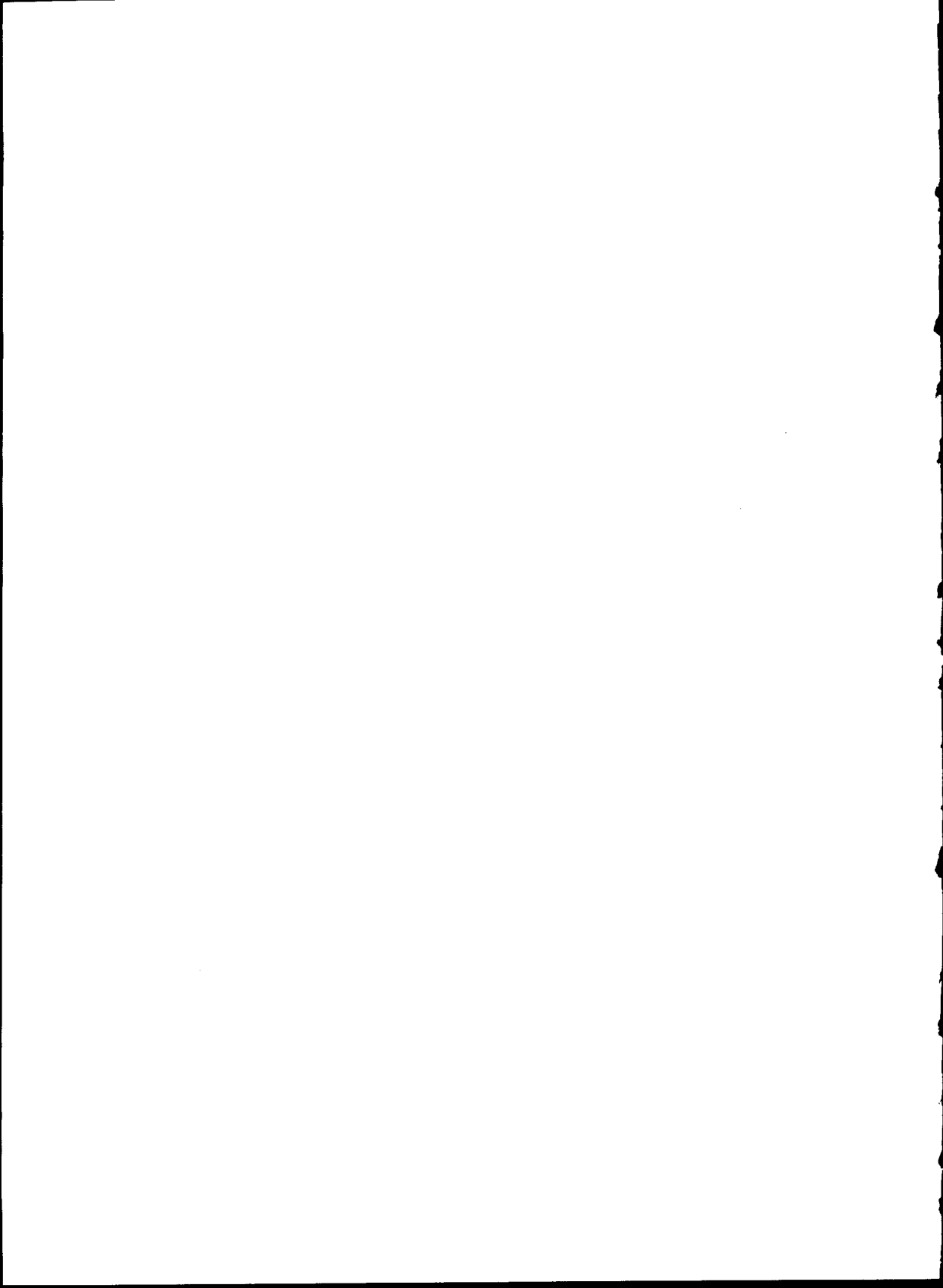
|        |                       |     |
|--------|-----------------------|-----|
| § 19-2 | 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律 ..... | 248 |
| § 19-3 | 反射和折射时光的偏振 .....      | 251 |
| § 19-4 | 椭圆偏振光和圆偏振光 波片 .....   | 256 |
| § 19-5 | 偏振光的干涉 人为双折射 .....    | 259 |

## 第 篇 量子物理简介

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 引言 .....                        | 265 |
| <b>第二十章 早期量子论</b> .....         | 266 |
| § 20-1 热辐射 普朗克量子假设 .....        | 266 |
| § 20-2 光电效应 .....               | 271 |
| § 20-3 康普顿效应 .....              | 277 |
| § 20-4 玻尔量子理论 .....             | 279 |
| <b>第二十一章 量子力学简介</b> .....       | 286 |
| § 21-1 德布罗意的假设 海森伯的不确定关系 .....  | 286 |
| § 21-2 波函数 .....                | 289 |
| § 21-3 薛定谔方程 .....              | 293 |
| § 21-4 定态薛定谔方程的应用 .....         | 295 |
| § 21-5 电子的自旋 多电子原子及电子壳层模型 ..... | 304 |
| § 21-6 激光 .....                 | 309 |
| § 21-7 固体的能带结构 半导体 .....        | 314 |
| <b>第二十二章 原子核物理学简介</b> .....     | 321 |
| § 22-1 原子核的结构和基本性质 .....        | 321 |
| § 22-2 原子核的衰变和衰变规律 .....        | 325 |
| § 22-3 核反应 .....                | 329 |
| § 22-4 原子核能的利用 .....            | 333 |
| § 22-5 基本粒子简介 .....             | 337 |

# 第 篇

## 电 磁 学



# 引 言

电磁学是研究电磁现象及其基本规律的一门学科.它是现代工程技术和自然科学的重要基础.

在日常生活和工农业生产的信息化、自动化方面以及医疗、生物学等各个领域,电磁学得到了广泛的应用.例如,电动机是工程上许多机械的原动力,电灯和电炉是照明和加热的常用器具,电话、电报、传真、电视、电子计算机等是信息传输中最有效的工具.电的广泛应用是与电所具有的各种特性分不开的.第一,电能较容易转变为机械能、热能、光能、化学能等其他形式的能量,所以利用电作为能源最为简便.第二,大功率的电能便于远距离传输,而且能量的损耗较少.第三,电磁信号可借电磁波的形式在空间传播,能够在极短时间内把信号传送到远方.因而便于远距离控制、检测和自动控制,使工业自动化和探测遥远星体成为可能.

电磁学的研究,对人类认识物质结构也是极重要的.从表面来看,自然界中许多现象,如植物的生长、水的冻结等等,似乎与电磁作用无关,但是研究表明,在从原子到细胞的广阔领域内,物质的物理和化学性质以及生物现象都与电磁作用有关.例如,一切化学反应都可归结为分子中的原子在电的相互作用下进行重新组合.

19世纪以来,许多科学家对电磁现象的规律和物质的电结构做了大量的实验和理论研究,总结出了经典电磁理论.

本篇主要研究经典电磁学.

## 第十一章 真空中的静电场

本章首先研究真空中的静电场,继而在下一章讨论有导体和电介质存在时的静电场.

### § 11-1 电 荷

#### (一) 电荷

一切电的现象都起源于电荷的存在或电荷的运动.那么什么是电荷呢?我们把两种质料不同的物体,例如丝绢和玻璃棒相互摩擦后,它们都能吸引羽毛、小纸片等轻微物体(图 11-1).这时,我们就说丝绢和玻璃棒这两个物体都已处于带电状态,它们分别带有电.处于带电状态的物体,称为带电体或电荷.归纳大量的实验结果证明,自然界中只存在两种电荷,即正电荷和负电荷.带同种电荷的物体互相排斥,带异种电荷的物体互相吸引.这种相互作用的吸力或斥力都是电性力.根据带电体的性质和相互之间作用力的大小,我们能够确定物体所带电荷的多少(带电的程度).物体所带电荷的量值以  $q$  或  $Q$  表示.在国际单位制中,电荷的单位是 C,称为库仑,简称库.我们通常将正、负电荷分别表示为正值和负值.例如,将带有等量异种电荷的物体相接触,它们所带正、负电荷之代数和为零,表现为对外的电效应相互抵消,宛如不带电一样.这时,它们呈电中性.这种现象叫做放电或电中和.

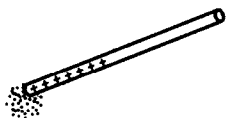


图 11-1 用丝绢摩擦过的玻璃棒能吸引轻微物体

使物体带电,叫做起电.上述用摩擦方法使物体带电,叫做摩擦起电,任何物体都可能带电.要使物体带电,除上述摩擦起电外,有时也可利用接触起电、静电感应等方法.

至于物体为什么会带电?我们可从物质的内部结构来说明.

#### (二) 物质的电结构理论

我们知道,宏观物体(固体、液体、气体)都是由分子、原子组成的.

1911年,卢瑟福(E. Rutherford)根据 $\alpha$ 粒子散射实验的研究结果,提出了原子的有核模型(图11-2),认为:在原子序数为 $Z$ 的元素原子内包含一个正电荷为 $Ze$ ( $e$ 称为元电荷)的原子核,原子的质量几乎全部集中于核上,核直径的数量级为 $10^{-15}\text{ m}$ ,位于原子中央;核外有 $Z$ 个带负电的电子,可看作处于真空中,分别绕核旋转.与原子直径的数量级 $10^{-10}\text{ m}$ 相比,可见原子核远小于原子.

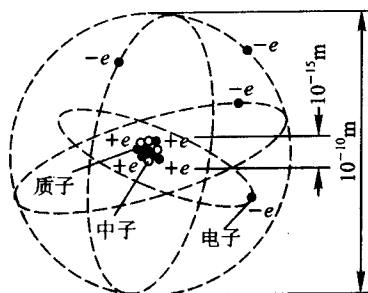


图 11-2 原子的结构

对最简单的氢原子来说,核外仅有一个电子.氢原子的原子核带有电荷 $+e$ ,其质量约为电子的1840倍,称为质子.

原子核中含有带正电的质子和不带电的中子,原子核所带的正电荷就是核内全部质子所带正电荷之总和.一个质子所带电荷的大小和一个电子所带电荷的大小相等,都用 $e$ 表示.据测定, $e \approx 1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$ .我们把一个质子或一个电子所带电荷量的绝对值称为元电荷.质子的质量和中子的质量大致相等.据测定,电子的质量 $m_e \approx 9.11 \times 10^{-31}\text{ kg}$ .现将上述结果列于下表,供参考.

表 11-1 电子、质子、中子的电荷和质量

|     | 电 子   | 质 子        | 中 子        |
|-----|-------|------------|------------|
| 电 荷 | $-e$  | $e$        | 0          |
| 质 量 | $m_e$ | $1840 m_e$ | $1840 m_e$ |

其中: $e = 1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$ ,  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}\text{ kg}$

如上所述,从电学的角度来看,任何物体都是一个拥有大量正、负电荷的集合体.在正常状态下,原子核外电子的数目,等于原子核内质子的数目,因此每个原子内的正、负电荷之代数和为零,即每个原子都呈现电

中性.这时,整个物体对外界不显示电性.换句话说,在一切不带电的中性物体中,总有等量的正、负电荷同时存在.

但是原子核所带的正电荷和核外电子所带的负电荷之间相互作用的电性力,随物质的不同而有强弱.如果有若干个中性的原子或分子,由于外来原因,失去一个或若干个电子,则这些原子或分子内全部质子所带的正电荷多于全部电子所带的负电荷,于是,它们带正电荷而成为正离子;反之,如果有若干个中性的原子或分子从外界获得了一个或若干个电子,则这些原子或分子内的负电荷多于正电荷,于是,它们带负电荷而成为负离子.上述这些现象称为电离.在这两种电离情况下,对整个物体来说,都呈现带电状态.

如上所述,物体带电实际上是获得或失去电子的结果.这意味着电荷不能离开电子、质子而存在.由此看来,电荷乃是电子、质子等微观粒子所具有的一种属性.

可以这么说,所有电磁现象都是电子的得失或运动而引起的.

问题 11.1.1 简述物质的电结构理论;电荷是什么?何谓起电和放电?

### (三) 电荷守恒定律

在两种质料不同的物体相互摩擦而起电的过程中,使每个物体中都有一些电子摆脱了带正电的原子核的束缚,转移到另一个物体上去.但由于不同质料的物体,彼此向对方转移的电子个数往往不相等,其结果,必然是一个物体因失去一部分电子而带正电,另一个物体则得到这部分电子而带负电.所以,摩擦起电时,两个物体总是同时带异种而等量的电荷.

由摩擦起电和其他起电过程的大量实验事实表明,一切起电过程其实都是使物体上正、负电荷分离或转移的过程,在这种过程中,电荷既不能消灭,也不能创生,只能使原有的电荷重新分布.由此可以总结出电荷守恒定律:一个孤立系统的总电荷(即系统中所有正、负电荷之代数和)在任何物理过程中始终保持不变.所谓孤立系统,就是指它与外界没有电荷的交换.电荷守恒定律也是自然界中一条基本的守恒定律,在宏观和微观领域中普遍适用.

根据电荷守恒定律可知,电荷不能被创造或消灭,只能被迁移或中和.当我们分离正、负电荷时,必须付出某种形式的能量,以反抗正、负电荷间的吸引力而作功.在正、负电荷分离过程中,所做的功就转变为电能.相反地,两种电荷互相中和时,电能就转变为其他形式的能量(如热能、声能、光能等).例如,大量的正、负电荷中和时,往往会发生火花,并伴有劈啪声,形成火花放电;火花放电有时甚至还会引起爆炸.所以,随着物体

起电或中和过程的进行,必定有电能和其他形式能量在相互转换着.并且,在转换过程中,是遵循能量守恒定律的.

#### (四) 电荷的量子化

实验表明,电子是自然界具有最小电荷的带电粒子.任一带电体所带电荷量的大小都是电子所带电荷量的大小  $e$  的整数倍,这就是说, $e$  是电荷的一个基本单元.当带电体的电荷发生改变时,它只能按  $e$  的整数倍改变,不能作连续的任意改变.这种电荷只能一份一份地取分立的、不连续的数值的性质,叫做电荷的量子化.电荷的量子就是  $e$ .不过,常见的宏观带电体所带的电荷远大于元电荷,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的.因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续变化的.这正像人们看到江河中滔滔流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个分子、原子等微观粒子组成的一样.

问题 11.1.2 (1) 何谓电荷的量子化? 试述电荷守恒定律.

(2) 在干燥的冬天,人在地毯上走动时,为什么鞋和地毯都有可能带电? 人在夜里脱卸化纤衣服时,为什么衣服上会出现闪光的火花?

## § 11-2 电荷间的相互作用 库仑定律

带电物体相互间有力的作用,这是电荷的一种对外表现,人们对电现象的认识,就是从这种作用开始的.一般地说,两个带电体之间的相互作用,除了和它们所带的电荷有关外,还和它们本身的大小、形状、电荷在带电体上的分布以及周围介质的性质等有关,情况相当复杂.为此,下面我们先讨论最简单的、也是最基本的问题,即两个相对静止的点电荷在真空中相互作用力的规律.

### (一) 点电荷

在电学中,当所研究的带电体之间的距离比它们本身的线度大得多时,我们就可把这些带电体看作点电荷.点电荷本身不一定是体积很小的带电体,只是它的形状和大小可以不必考虑,而用一个拥有带电体全部电荷的几何点来表示;这样,它在空间的位置也就便于确定.

### (二) 真空中的库仑定律

1785年,库仑(C. A. Coulomb)通过扭秤实验,总结出真空中两个静止的点电荷间相互作用的基本规律,称为真空中的库仑定律,简称库仑定

律,可陈述为:在真空中,两个静止的点电荷之间相互作用力  $F$  的方向沿着它们的连线,作用力的大小  $F$  与电荷  $q_1$  与  $q_2$  的乘积成正比,与它们之间距离  $r$  的平方成反比,即

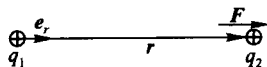
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (a)$$

式中  $k$  是比例系数. 这种静止电荷之间的相互作用力称为静电力,常称库仑力.

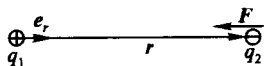
为了确定力的方向,在图 11-3 中,若以  $r$  表示  $q_2$  相对于  $q_1$  的位矢,其大小为  $|r| = r$ ,方向从  $q_1$  指向  $q_2$ ,则电荷  $q_2$  受到  $q_1$  的作用力  $F$ ,可用矢量形式的库仑定律来表示,即

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left( \frac{r}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} e_r \quad (b)$$

式中,  $e_r = r/r$  是沿  $r$  方向的单位矢量,它标志位矢  $r$  的方向. 上式中,若  $q_1$  与  $q_2$  是同种电荷,乘积  $q_1 q_2 > 0$ ,  $F$  沿  $e_r$  的方向,表示为斥力[图 11-3(a)];若  $q_1$  与  $q_2$  是异种电荷,  $q_1 q_2 < 0$ ,  $F$  沿  $e_r$  反向,表示为引力[图 11-3(b)].



(a)  $q_1, q_2$  为同种电荷



(b)  $q_1, q_2$  为异种电荷

图 11-3  $q_1$  对  $q_2$  的作用力

利用式⑥,同样可求电荷  $q_2$  对  $q_1$  的作用力  $F'$ ,它是上述  $F$  的反作用力,即  $F' = F$ . 这时,只需把式中的  $e_r$  理解为从  $q_2$  指向  $q_1$  的单位矢量就行了.

在国际单位制中,电荷的单位是 C(库),距离的单位是 m(米),力的单位是 N(牛),根据间接的实验推断,  $k$  值为

$$k = 8.987\,776 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常,我们引用一个新的常量  $\epsilon_0$  来取代  $k$ ,令  $k = 1/(4\pi\epsilon_0)$ ,则真空中库仑定律便可完整地表示成如下的常用形式,即

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} e_r \quad (11-1)$$

在式(11-1)中,  $\epsilon_0$  称为真空电容率, 它表征真空的电学特性, 在电学中是一个重要的常量, 其值为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}} \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

**问题 11.2.1** (1) 试述库仑定律及其比例系数  $k$ ; 说明  $\epsilon_0$  在国际单位制中的大小和单位. 什么叫做点电荷? 在库仑定律中, 倘若令  $r \rightarrow 0$ , 则库仑力  $F \rightarrow \infty$ , 显然没有意义. 试对此作出解释.

**例题 11-1** 计算氢原子内电子和原子核之间的库仑力与万有引力之比.

**解** 设氢原子中电子的质量为  $m_1$ , 原子核的质量为  $m_2$ , 两者相距为  $r$ , 且因电子和原子核所带的电荷等量异种, 电荷大小均为  $e$ , 故电子与原子核间的库仑力(吸引力)<sup>①</sup>和万有引力大小分别为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}, \quad F_m = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中  $G$  为万有引力常量. 把上两式相比, 有

$$\frac{F_e}{F_m} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} e^2}{G m_1 m_2}$$

查阅表 11-1,  $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $m_1 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1840 m_1$ ; 而常量  $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ ,  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ , 将它们代入上式, 可算出库仑力与万有引力的比值为

$$\begin{aligned} \frac{F_e}{F_m} &= \frac{(9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}) \times (1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}) \times 1840 \times (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})^2} \\ &= 2.26 \times 10^{39} \end{aligned}$$

**说明** 上述结果表明,  $F_e \gg F_m$ , 即在物质的原子内, 电子和原子核之间的静电力远比它们之间的万有引力为大, 因此在考察原子内电子与原子核之间的相互作用时, 万有引力可以忽略不计.

**习题 11-1** 铁原子核里的两个质子间相距  $4.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ . 求: (1) 它们之间的库仑力  $F$ ; (2) 比较这个力与每个质子所受重力  $W$  的大小.

**答案**  $F = 14.4 \text{ N}$ , 斥力;  $W = 1.64 \times 10^{-26} \text{ N}$ ;  $F \gg W$

**习题 11-2** 设例题 11-1 中的氢原子中, 电子沿圆形轨道绕原子核旋转, 轨道半径为  $0.529 \times 10^{-8} \text{ cm}$ . 求电子的向心加速度和每秒钟绕核的转数.

**答案**  $9.04 \times 10^{22} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,  $6.58 \times 10^{15} \text{ r} \cdot \text{s}^{-1}$

### (三) 静电力叠加原理

在一般情况下, 对于两个以上的点电荷, 实验证明: 其中每个点电荷所受的总静电力, 等于其他点电荷单独存在时作用在该点电荷上的静电力

① 在本篇内容及所有问题、例题和习题中, 凡对电荷周围介质的情况未加任何说明时, 均指真空而言.