

· 下册 ·

大学物理学

江克庆 邓新模 陶相国 李执铨等编



UNIVERSITY PHYSICS

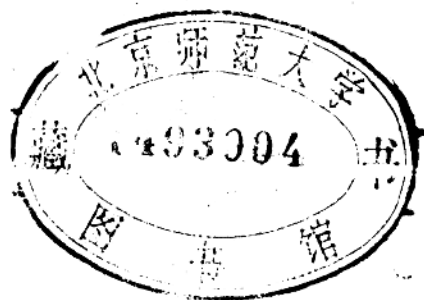
上海科学技术文献出版社

大学物理学

(下册)

江宪庆 何寅 邓新模 徐民友 等编
李执铨 杨庶宜 邵纳川 陶相国

741/65/22



上海科学技术文献出版社

大学物理学

(下 册)

江宪庆 何寅 邓新摸 徐民友 等编
李执铨 杨庶宜 邵纳川 陶相国

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

总 经 销

昆山亭林印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 14 字数 338,000

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数: 1—14,500

ISBN 7-80513-270-4/G·39

定 价: 5.00 元

《科技新书目》178-591

目 录

第四篇 电 磁 学

第十一章 真空中的静电场	3
§ 11-1 引言	3
§ 11-2 电荷和物质	4
§ 11-3 库仑定律	6
§ 11-4 电场 电场强度	9
§ 11-5 电通量 高斯定理	20
§ 11-6 高斯定理的应用	26
§ 11-7 电势	34
§ 11-8 引力场与静电场的类比	48
思考题	50
习题	51
第十二章 静电场中的导体和电介质	55
§ 12-1 引言	55
§ 12-2 静电场中的导体	55
§ 12-3 电容 电容器	64
§ 12-4 静电场中的电介质	69
§ 12-5 电位移矢量 有介质时的高斯定理	78
§ 12-6 静电场的能量	83
§ 12-7 静电的应用	85
思考题	93
习题	96

第十三章 稳恒电流的磁场	100
§ 13-1 引言	100
§ 13-2 磁感应强度 磁感应通量	102
§ 13-3 毕奥-沙伐尔定律	107
§ 13-4 运动电荷的磁场	115
§ 13-5 安培环路定理	117
§ 13-6 磁场对运动电荷的作用	125
§ 13-7 磁场对载流导线的作用	134
思考题	145
习题	147
第十四章 磁介质	158
§ 14-1 引言	158
§ 14-2 磁介质的磁化	158
§ 14-3 磁化强度	163
§ 14-4 磁场强度 有磁介质时的安培环路 定理	165
§ 14-5 稳恒电流的磁场与静电场的类比	169
§ 14-6 铁磁质	170
§ 14-7 超导简介	177
思考题	181
习题	182
第十五章 电磁感应	184
§ 15-1 引言	184
§ 15-2 电源的电动势	184
§ 15-3 电磁感应的基本规律	187
§ 15-4 动生电动势	194
§ 15-5 感生电动势	201

§ 15-6 互感	209
§ 15-7 自感	212
§ 15-8 磁场的能量	214
思考题	219
习题	221
第十六章 电磁场和电磁波	229
§ 16-1 引言	229
§ 16-2 电磁场	230
§ 16-3 麦克斯韦方程组	236
§ 16-4 电磁波	240
§ 16-5 电磁振荡和电磁波的产生	244
§ 16-6 电磁波的能量 坡印廷矢量	251
§ 16-7 电磁波谱	253
思考题	255
习题	256

第五篇 近代物理学

第十七章 狭义相对论	261
§ 17-1 引言	261
§ 17-2 狭义相对论的实验基础	263
§ 17-3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	269
§ 17-4 狭义相对论的时空观	278
§ 17-5 相对论质量和相对论动量	287
§ 17-6 相对论能量	294
思考题	300
习题	301
第十八章 早期量子论	304

§ 18-1	引言	304
§ 18-2	空腔辐射体	304
§ 18-3	紫外光的灾难	308
§ 18-4	普朗克如何解脱困境	309
§ 18-5	光电效应之谜	313
§ 18-6	爱因斯坦光子假说	316
§ 18-7	康普顿效应	319
§ 18-8	原子的核型结构	322
§ 18-9	原子光谱	323
§ 18-10	玻尔氢原子理论	325
§ 18-11	玻尔理论的困难	333
	思考题	333
	习题	335
第十九章	量子力学初步	339
§ 19-1	引言	339
§ 19-2	德布洛意波	339
§ 19-3	测不准关系	343
§ 19-4	量子力学的基本出发点——波粒二 象性	348
§ 19-5	波函数	348
§ 19-6	薛定谔方程	350
§ 19-7	一维势阱	354
§ 19-8	势垒	359
§ 19-9	氢原子的量子力学处理	361
§ 19-10	电子的自旋	369
§ 19-11	分子光谱和能级	371
	思考题	376

习题	377
第二十章 固体物理基础	380
§ 20-1 引言	380
§ 20-2 晶态固体的几何描述	380
§ 20-3 晶胞结构	383
§ 20-4 固体的能带	384
§ 20-5 费米-狄拉克统计	390
§ 20-6 导体 绝缘体 半导体	392
§ 20-7 半导体的掺杂	394
§ 20-8 p - n 结	398
§ 20-9 非晶态物理简介	401
思考题和习题	404
第二十一章 激光	406
§ 21-1 引言	406
§ 21-2 激光产生的物理基础	406
§ 21-3 激光器	410
§ 21-4 纵模和横模	414
§ 21-5 激光全息照相	417
§ 21-6 结语	421
思考题和习题	424
主要参考书目	425
附录 1 历年诺贝尔物理学奖简表	426
附录 2 元素周期表	431
习题答案	432

第四篇

电 磁 学

电磁学是研究电磁运动的各种现象及其规律的科学

早在公元前几百年，人们就分别观察到电现象和磁现象。如一块琥珀经过摩擦之后会吸引纸屑；一块天然磁铁会吸引铁钉等。后来，人们把电现象和磁现象总结发展成彼此独立的两门科学——电学和磁学。1820年，奥斯特(H. C. Oersted, 1777~1851)观察到了电流的磁效应，开拓了“电转化为磁”的新领域。继之，1831年，法拉第(M. Faraday, 1791~1867)观察到电磁感应现象，开始了“磁转化为电”的研究，直到1865年，麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831~1879)才把电磁学定律归结为现今大家所熟悉的形式，这就是著名的麦克斯韦方程组，完成了物理学的第二次大综合。麦克斯韦方程组在电磁学中的地位，与牛顿运动定律及万有引力定律在力学中所处的地位一样重要。

按照近代观点，物质的电结构是物质的基本组成形式，电磁场是物质世界的重要组成部分，电磁作用是物质的基本相互作用之一。因此电与磁的研究渗透到物理学的各个领域，成为研究物质过程必不可少的基础，电磁学理论在现代物理学中占有重要的地位。

由于电能便于转换成其他形式的能量；便于高效率、远距离输送；电磁波传送的速度大；电气仪器的灵敏度高，因此电学研

究与生产技术的发展关系十分密切。电工学、电化学、无线电工学及近代发展起来的遥控和自动控制学、电视学、固态电子学等,都以电磁学的研究为基础。

本篇共分6章,首先讨论电现象,然后讨论磁现象以及电现象与磁现象的联系,最后介绍统一的电磁运动规律。

第十一章 真空中的静电场

§11-1 引言

静电场是相对于观察者静止的电荷所产生的电场，它是研究电磁运动的基础。完整地描写静电场，必须给出空间每一点的电势或场强，用数学语言来说，我们研究的是一个空间位置的标量函数和矢量函数。

微积分和矢量分析是研究场的极为重要的数学工具。在大学物理的力学、热学和光学部分，微积分和矢量代数已被用作描述物理规律和进行计算的手段。在电磁学部分它们更是必不可少的工具。

场是物理学中极为重要的概念。例如在流体力学中，我们可以建立流体的速度场的概念；在力学中建立重力场的概念；在热学中，建立温度场的概念等。上述不同的物质运动形式所对应的场，具有各自的特征。但作为场，在其描述的方式上却有许多相似之处，描写静电场是我们认识场的开始，具有十分重要的意义。

本章研究真空中的静电场。我们从静电场的两条基本规律——库仑定律和场叠加原理出发，推导出反映静电场性质的两条基本定理——高斯定理和环路定理；为了描写静电场的分布，从电荷在电场中受力和电场力对电荷作功两方面，引入了电场强度和电势两个基本物理量；最后用类比法介绍引为场与静电场的相似性。

§ 11-2 电荷和物质

一 电荷

两种不同材料的物体,如丝绢和玻璃棒,互相摩擦后,都能吸引轻微物体,这时,我们称物体带了电(或带了电荷)。实验证明,世界上有两种电荷而且仅有两种电荷,即正电荷和负电荷。带电体间的相互作用力称为电力,同号电荷互相排斥,异号电荷互相吸引。根据电力的大小,我们能够确定电荷的多寡,表示电荷多寡程度的物理量称电量。

二 物质的电结构

物质由分子组成,分子又由原子组成。直至二十世纪初,人

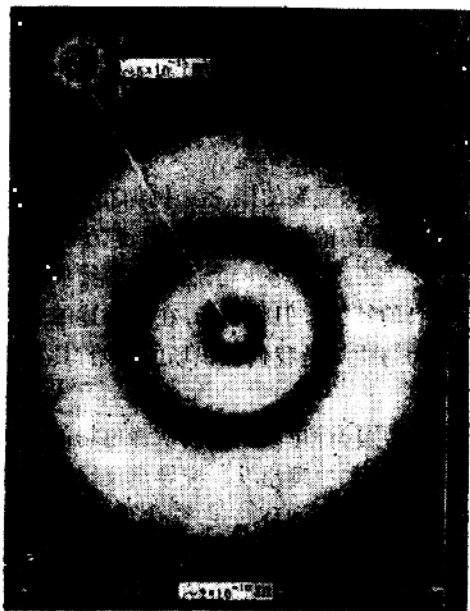


图 11-1 原子的电子云图,左上方是原子核的放大图。

们才弄清楚原子由质子、中子和电子三种粒子所组成。质子带正电；电子带负电，其电量的绝对值与质子电量相等；中子不带电。质子与中子的质量差不多相等，电子的质量却小得多，约为质子质量的 $1/1840$ 。在原子中，质子和中子组成了原子核，原子核半径的数量级为 10^{-15} m；在原子核的外部为围绕其作迅速运动的电子，组成了所谓的电子云，见图 11-1。电子云的外直径（即原子直径）大约为 10^{-10} m，即比核的直径约大 10^5 倍。

在正常情况下，原子核中有多少个质子，原子核外围就有多少个电子，所以原子核带的正电荷的总量总是等于核外所有电子所带负电荷的总电量。故一般物体在正常情况下不显电性，这种状态称为“电中性”。使一个物体带电，实际上就是使它具有多余的电子或者使它失去一部分电子。

三 电荷的量子化

实验表明，任何带电粒子所带的电荷不可能少于一个电子（或者一个质子）所带的电荷。一个电子（或者一个质子）所带电荷为电荷的基本单元，它等于 1.60×10^{-19} 库仑，通常用 e 表示。一些基本粒子，例如中子、光子以及中微子不带电荷，带电物体只能带 e 的整数倍的电荷。当一种物理性质，象电荷那样以分离的“颗粒”形式存在，而不以连续的方式存在，我们就说这种性质是量子化的。在近代物理学中，量子化是基本的概念。在微观世界中，我们将看到如能量、角动量等也是量子化的。

顺便指出，1964 年美国物理学家盖尔曼 (M. Gell-Mann, 1929~) 提出“夸克”(quark) 模型，预言现在已经发现的基本粒子是由夸克组成的。夸克的电量为 $\frac{1}{3}e$ 或 $\frac{2}{3}e$ 。不过，人类至今还没有观察到自由夸克。

四 电荷守恒定律

电荷守恒定律是物理学的基本定律之一。定律指出，在一个封闭的系统中，净电荷量（即正负电荷的代数和）保持不变。在带电粒子湮灭的极端情况下，这个定律仍然成立。例如当一个电子被一个正电子所湮灭时，负电荷与正电荷二者都湮灭；在湮灭前，净电荷为零，在湮灭后，净电荷也为零。电荷守恒定律已被实验所证实。

§11-3 库 仑 定 律

上节我们介绍了电学中几个最基本的概念，这一节我们将定量地讨论电荷间的相互作用力。首先介绍点电荷的概念。

一 点电荷

所谓点电荷，是指这样的带电体，它本身的几何线度比起它到其他带电体或场点的距离小得多。这样的带电体的形状和电荷在其中的分布已无关紧要，因此我们可以把它抽象为一个几何点。

点电荷、质点、刚体、理想气体等都是理想模型。理想模型是运用科学抽象的理想化方法，把事物的某些属性引导到极限值的结果。如把体积缩小为零，不考虑形变的影响等等。运用理想模型可以使复杂的数值运算大大简化，在物理学中有着重要的作用。

二 库仑定律

1785年，库仑(C. A. Coulomb, 1736~1806)用扭秤实验，

首先对电荷间的引力和斥力进行了测量，得出了著名的库仑定律，该定律可表述如下：

在真空中，两个点电荷 q_1 与 q_2

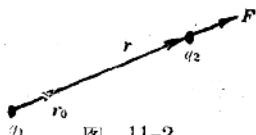


图 11-2

之间的相互作用力的大小, 和 q_1 、 q_2 的乘积成正比, 与它们之间的距离 r 的平方成反比; 作用力的方向沿着它们的连线, 同号电荷相斥, 异号电荷相吸。

如图 11-2 所示, 以 F 表示 q_1 对 q_2 的作用力, r_0 表示由 q_1 到 q_2 方向上的单位矢量, 则

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 = k \frac{q_1 q_2}{r^3} r.$$

式中 r 是 q_2 相对于 q_1 的矢径, 并且记 $r = |r|$ 。

读者可以验证, 只要电量 q 带上相应的正、负号, 上式作为库仑定律的数学表达式, 对任何两个点电荷都是适用的。

式中 k 是比例系数, 它的数值取决于式中各量的单位, 在 SI 中, 以电流的单位安培(A)为基本单位, 电量的单位为库仑(C), 库仑是导出单位。1 库仑的电量就是相当于电流为 1 安培时, 在 1 秒内流过导体横截面的电量, 即 1 库仑 = 1 安培·秒。根据实验测定, 在 SI 中, 比例系数

$$\begin{aligned} k &= 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \\ &\approx 9.00 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2. \end{aligned}$$

若我们引入一个新恒量 ϵ_0 , 令

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

这样真空中库仑定律可写作

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} r_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} r. \quad (11-1)$$

式中 ϵ_0 称为真空中的介电系数, 又称电容率。实验测出

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2. \quad (11-2)$$

显然, 用 ϵ_0 表达的库仑定律中出现了 4π , 公式要复杂些。

但是以后可以看到,由此而推导出来的一些基本方程中,都不出现因子 4π , 形式变得很简单, 因此引入 ϵ_0 还是合适的.

虽然库仑定律是通过宏观带电体的实验研究总结出来的规律, 但物理学进一步的研究表明, 在 10^{-10} m 的距离上, 质子、电子与微观粒子间的电力与库仑定律吻合得十分精确; 即使在 10^{-15} m 距离以内, 库仑定律仍基本适用; 但迄今的实验似乎表明, 在 10^{-16} m 的距离上, 电力比库仑定律预期的要弱十倍. 库仑定律在极小的距离上失败了吗? 由于人们对电子、质子的结构尚未完全认识, 这个问题尚待确定.

例 11-1 氢原子中质子和电子的距离约为 5.3×10^{-11} m, 此两粒子间的电力和万有引力各为多大?

解 由库仑定律, 可以求得两粒子之间的电力

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ = 8.1 \times 10^{-8} \text{ N}.$$

由万有引力定律, 可求得两粒子之间的万有引力

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ = 3.7 \times 10^{-47} \text{ N}.$$

因此, 电力远较万有引力大, 前者约为后者的 10^{39} 倍.

读者在学习了库仑定律以后, 可能联想到, 原子核由中子和质子组成, 质子带正电, 为什么它们没有互相推开呢? 事实上, 原子核中, 除了电力之外, 还有一种称为核力的非电力, 它比电力还要大, 这种核力是短程力.

例 11-2 假设铁原子中的两质子相距 4.0×10^{-15} m, 问此两质子间有多大的库仑斥力?

解 由库仑定律

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 (1.6 \times 10^{-19})^2}{(4.0 \times 10^{-15})^2} = 14.4 \text{ N}.$$

这个巨大的斥力必然被核力（强大的吸引力）的一部分所抵消。这个例子和例 11-1 一起说明，原子核的结合力远强于原子的结合力。原子的结合力又远强于相同粒子相隔同样距离的万有引力。

三 力的叠加原理

实验证明，当几个点电荷同时存在时，施于某一电荷的力，等于各个点电荷单独存在时施于该电荷的静电力的矢量和，这就是所谓静电力的叠加原理。

在图 11-3 中， q_1 与 q_2 对 q 的作用力

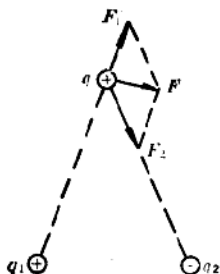


图 11-3

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2.$$

式中 $\mathbf{F}_1$ 与 $\mathbf{F}_2$ 分别为 q_1 、 q_2 单独存在时对 q 的静电力。

在一般情况下，叠加原理可表示成

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i.$$

库仑定律与静电力叠加原理是静电学的最基本的规律。

§ 11-4 电场 电场强度

一 电场

以上我们讨论了带电体之间的相互作用力，然而两个带电体之间的电力是怎样产生的呢？对此，历史上有过长期的争论。

一种观点叫超距作用，其要点为：电力不需要任何媒介，也不需要时间就由一个带电体作用到一定距离的另一个带电体