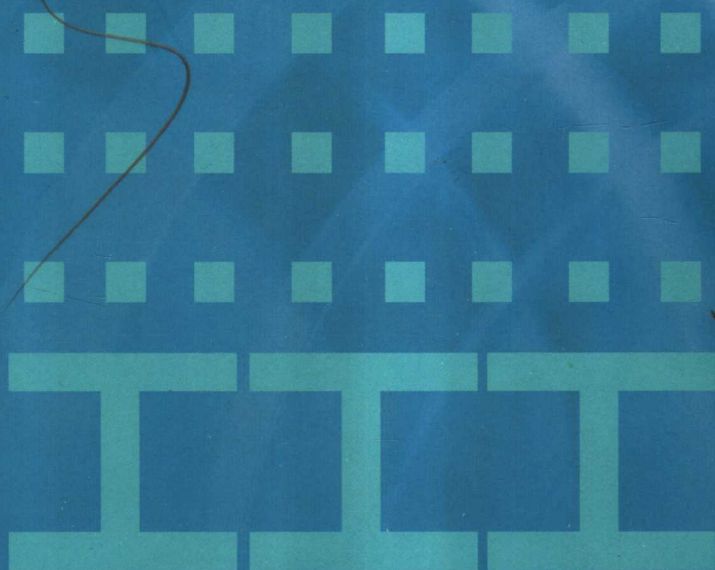


GONGKE WULI

工科物理

《工科物理》编写组 编著

下册



中国科学技术大学出版社

04
290
:2
2007

工 科 物 理

下 册

《工科物理》编写组 编著

主 编 张清泽 陈 宇 储德林

副主编 梅洛勤 张 辉 江海燕

赵素贵 王 平

中国科学技术大学出版社

2007·合肥

图书在版编目(CIP)数据

工科物理. 下册/《工科物理》编写组编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2007.2

ISBN 978-7-312-02040-7

I. 工… II. 工… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004506 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号 邮政编码:230026)

合肥现代印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:700 mm×1 000 mm 1/16 印张:16 字数:304 千

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

印数:1~4 000 册

定价:23.00 元

前 言

为了适应 21 世纪人才培养的需要,编写出适用于工科院校的大学物理教材是当前迫切要解决的问题,我们经历多年的编撰、试用,根据教育部 2004 年颁发的《高等学校非物理类专业物理课程基本要求》,完成了这套工科物理教材。

在编写过程中,始终遵循着“思想性、科学性、针对性”的原则.在内容选择上,我们考虑到当代物理学和科学技术的发展,特别是工科大学物理教学的特点,加强了理论基础的系统性叙述,使学生具有必要的物理学基础,同时在培养学生科学思想和方法、开拓创新能力方面有所侧重;我们加强了应用方面的内容,直接把经典理论和近代物理成就与工程技术和军事高科技相结合,突出实践性和针对性,增强学生理论联系实际的素质,拓宽学生的视野。

本套教材共分为 6 篇 20 章,包括力学、机械振动和机械波、热学、电磁学、波动光学和量子物理等,分上下两册出版.在例题、习题和应用知识的选择上既有助于学生理解物理概念,同时又提高联系实际的能力。

本套教材的编写是物理教研室同志多年努力的结果,杨蕾、李成军同志参与了部分教材的修改工作,校对了全书。

由于我们的学识和教学经验所限,编写时间仓促,书中一定会存在着不少错误和缺点,衷心希望广大读者批评、指正。

编 者

2006 年 10 月

目 录

前 言	(I)
-----------	-------

第四篇 电 磁 学

第 10 章 真空中的静电场	(4)
10.1 库仑定律	(4)
10.1.1 电荷基本性质	(4)
10.1.2 库仑定律	(5)
10.2 电场 电场强度	(7)
10.2.1 电场 电场强度	(7)
10.2.2 电场强度的计算	(8)
10.3 高斯定理	(13)
10.3.1 高斯定理	(13)
10.3.2 高斯定理的应用	(16)
10.4 电势	(19)
10.4.1 静电场的环路定理	(19)
10.4.2 电势	(20)
10.4.3 电势的计算	(22)
10.4.4 等势面 电场强度与电势梯度的关系	(26)
10.5 应用	(28)
10.5.1 范德格拉夫静电加速器	(28)
10.5.2 静电对火箭、导弹、卫星的影响	(29)
思考题	(31)
习题	(32)
第 11 章 静电场中的导体和电介质	(35)
11.1 静电场中的导体	(35)
11.1.1 静电平衡	(35)
11.1.2 静电屏蔽	(36)

11.2	静电场中的电介质	(37)
11.2.1	电介质的极化	(37)
11.2.2	电介质中的高斯定理	(39)
11.2.3	介质击穿	(42)
11.3	导体的电容 电容器	(43)
11.3.1	孤立导体的电容	(43)
11.3.2	电容器的电容	(44)
11.4	静电场的能量	(45)
11.4.1	电容器的能量公式	(45)
11.4.2	电场的能量	(46)
	习题	(47)
第 12 章	稳恒电流的磁场	(49)
12.1	稳恒电流	(49)
12.2	磁感应强度	(51)
12.2.1	基本磁现象	(51)
12.2.2	磁场 磁感应强度	(52)
12.3	毕奥-萨伐尔定律	(54)
12.3.1	毕奥-萨伐尔定律	(54)
12.3.2	毕奥-萨伐尔定律的应用	(55)
12.4	磁场的高斯定理	(59)
12.4.1	磁感应线 磁通量	(59)
12.4.2	磁场的高斯定理	(60)
12.5	安培环路定理	(61)
12.5.1	真空中的安培环路定理	(61)
12.5.2	安培环路定理的应用	(62)
12.6	磁场对电流的作用	(64)
12.6.1	磁场对载流导线的作用	(64)
12.6.2	磁场对载流线圈的作用	(67)
12.6.3	磁力的功	(69)
12.7	带电粒子在磁场中的运动	(70)
12.7.1	洛伦兹力	(70)
12.7.2	带电粒子在磁场中的运动	(71)
12.8	应用	(72)
12.8.1	霍耳效应及应用	(72)
12.8.2	导轨炮	(73)

思考题	(75)
习题	(75)
第 13 章 磁场中的磁介质	(80)
13.1 磁介质的磁化机制	(80)
13.1.1 磁介质的分类	(80)
13.1.2 磁化机制	(81)
13.2 磁介质中的安培环路定理	(82)
13.2.1 磁介质的磁场	(82)
13.2.2 磁场强度	(83)
13.2.3 磁介质中的安培环路定理	(84)
13.3 铁磁质	(85)
13.3.1 铁磁质的磁化规律	(86)
13.3.2 磁畴	(87)
13.3.3 铁磁质的应用	(88)
习题	(89)
第 14 章 电磁感应	(91)
14.1 电磁感应定律	(91)
14.1.1 电动势	(91)
14.1.2 法拉第电磁感应定律	(92)
14.2 动生电动势	(96)
14.3 感生电动势	(98)
14.4 自感和互感	(100)
14.4.1 自感	(100)
14.4.2 互感	(102)
14.5 磁场的能量	(103)
14.5.1 螺线管磁场的能量	(103)
14.5.2 一般磁场的能量	(104)
14.6 应用	(105)
14.6.1 感应电炉	(105)
14.6.2 电子感应加速器	(106)
习题	(107)

第 15 章 麦克斯韦方程组和电磁波	(111)
15.1 麦克斯韦电磁场理论的建立	(111)
15.1.1 法拉第的力线思想和开尔文的类比研究	(111)
15.1.2 麦克斯韦的 3 篇论文	(112)
15.2 位移电流	(113)
15.3 麦克斯韦方程组	(116)
15.3.1 麦克斯韦方程组的积分形式	(116)
15.3.2 麦克斯韦方程组的微分形式	(117)
15.4 电磁振荡 电磁波辐射	(118)
15.4.1 电磁振荡	(118)
15.4.2 电磁波的辐射	(119)
15.4.3 偶极振子辐射	(120)
15.4.4 赫兹实验	(121)
15.5 电磁波	(122)
15.5.1 电磁波的性质	(122)
15.5.2 电磁波的能量	(123)
15.5.3 电磁波谱	(124)
习题	(125)

第五篇 波动光学

第 16 章 光的干涉	(130)
16.1 光源 相干光	(130)
16.1.1 光源	(130)
16.1.2 单色光与复色光	(131)
16.1.3 相干光	(131)
16.2 分波阵面干涉	(132)
16.2.1 杨氏双缝实验	(132)
16.2.2 菲涅耳双镜	(134)
16.2.3 劳埃德镜实验	(135)
16.3 光程 薄透镜的等光程性	(136)
16.3.1 光程	(136)
16.3.2 薄透镜的等光程性	(137)

16.4	分振幅干涉	(138)
16.4.1	薄膜干涉	(138)
16.4.2	劈尖干涉	(140)
16.4.3	牛顿环	(142)
16.4.4	迈克耳孙干涉仪	(143)
16.4.5*	时间相干性	(145)
	思考题	(145)
	习题	(146)
第17章	光的衍射	(148)
17.1	衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(148)
17.1.1	衍射现象	(148)
17.1.2	惠更斯-菲涅耳原理	(148)
17.1.3	衍射分类	(149)
17.2	单缝的夫琅禾费衍射	(150)
17.3	圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	(153)
17.3.1	圆孔的夫琅禾费衍射	(153)
17.3.2	光学仪器的分辨本领	(154)
17.4	光栅衍射	(156)
17.4.1	光栅构造	(156)
17.4.2	光栅方程	(157)
17.4.3	光栅光谱	(158)
17.5	X射线的衍射	(160)
	思考题	(161)
	习题	(162)
第18章	光的偏振	(164)
18.1	自然光 偏振光	(164)
18.1.1	自然光	(164)
18.1.2	线偏振光	(165)
18.2	起偏与检偏 马吕斯定律	(166)
18.2.1	起偏与检偏	(166)
18.2.2	马吕斯定律	(166)
18.3	反射光与折射光的偏振	(167)
18.4	双折射现象	(169)
18.4.1	双折射现象	(169)

18.4.2 单轴晶体的波面 惠更斯原理对双折射现象的解释	(170)
18.5 应用	(171)
18.5.1 光纤干涉仪	(171)
18.5.2 相控阵雷达的工作原理	(173)
思考题	(176)
习题	(177)

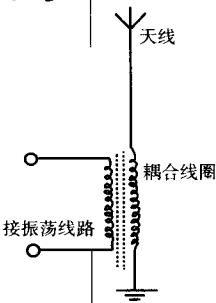
第六篇 量子物理

第 19 章 量子物理基础	(182)
19.1 热辐射 黑体辐射 普朗克能量子假设	(182)
19.1.1 热辐射	(182)
19.1.2 黑体辐射	(183)
19.1.3 普朗克能量子假设 普朗克黑体辐射公式	(184)
19.2 光电效应	(186)
19.2.1 光电效应的实验规律	(186)
19.2.2 波动学说的困难	(188)
19.2.3 爱因斯坦光子假说 光电效应方程	(188)
19.2.4 光的波粒二象性	(190)
19.3 康普顿散射	(192)
19.4 玻尔量子化假说 玻尔氢原子理论	(196)
19.4.1 氢原子光谱的实验规律	(196)
19.4.2 卢瑟福的原子核模型 经典物理的困难	(197)
19.4.3 玻尔量子化假说 玻尔氢原子理论	(199)
19.4.4 玻尔理论的局限性	(203)
19.5 德布罗意波	(203)
19.5.1 德布罗意假设	(203)
19.5.2 电子衍射实验	(205)
19.5.3 德布罗意波的统计解释	(207)
19.6 不确定关系	(208)
19.7 波函数 薛定谔方程	(211)
19.7.1 波函数	(211)
19.7.2 薛定谔方程	(212)

19.7.3 薛定谔方程在一维问题中的应用	(214)
思考题	(218)
习题	(219)
第 20 章 激光及其应用	(221)
20.1 激光原理	(221)
20.1.1 自发辐射与受激辐射	(221)
20.1.2 受激辐射的相干性	(223)
20.1.3 激光的产生	(224)
20.1.4 谐振腔	(226)
20.2 激光技术	(228)
20.2.1 模式选择	(228)
20.2.2 调 Q	(229)
20.2.3 选频	(230)
20.2.4 频率转换	(231)
20.3 典型激光器简介	(231)
20.4 激光特性与应用	(234)
20.4.1 激光特性	(234)
20.4.2 激光技术的应用	(235)
习题	(238)
习题答案	(239)

DISIPIAN DIANCIXUE

第四篇 电磁学



电磁学是研究物质电磁运动规律及其应用的学科. 电磁相互作用是自然界已知的 4 种基本相互作用之一, 也是人们认识得较深入的一种相互作用. 在日常生活和生产活动中, 在对物质结构的深入认识过程中, 都要涉及电磁运动. 因此, 理解和掌握电磁运动的基本规律, 在理论和实践上都有极其重要的意义.

电磁运动是物质的又一种基本运动形式. 关于电磁现象的观察记录, 可以追溯到公元前 6 世纪希腊学者泰勒斯, 他观察到用布摩擦过的琥珀能吸引轻微物体. 在我国, 公元前 4 世纪前后《吕氏春秋》中就有“慈石召铁”的相关记载. 关于电磁现象的定量研究, 最早可以从 1785 年库仑研究电荷之间的相互作用开始. 以后泊松、高斯等人对静电(磁)场作了深入研究. 伽伐尼于 1786 年发现了电流, 伏特、欧姆、法拉第等人发现了关于电流的定律. 1820 年奥斯特发现了电流的磁效应, 在此基础上, 毕奥、萨伐尔、安培、拉普拉斯等作了进一步的定量研究. 1831 年法拉第发现了电磁感应现象, 并提出了场和力线的概念, 进一步揭示了电与磁的联系. 麦克斯韦集前人智慧, 再加上他极富创见的关于感应电场和位移电流的假说, 建立了以一套方程组为基础的完整的电磁场理论. 麦克斯韦的这一成就可以认为是从牛顿建立力学理论到爱因斯坦提出相对论的这段时期中物理学史上最重要的理论成果, 麦克斯韦也被爱因斯坦誉为“自牛顿以来的最伟大的理论物理学家”.

本篇共分 6 章, 分别介绍真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒磁场、磁场中的磁介质、电磁感应、麦克斯韦方程组和电磁波.

第 10 章 真空中的静电场

一般来说,运动电荷将同时激发电场和磁场,电场和磁场是相互关联的.但是,在某种情况下,例如当我们所研究的电荷相对某参考系静止时,电荷在这个静止参考系中就只激发电场而无磁场.这个电场就是本章所要讨论的静电场.

10.1 库仑定律

10.1.1 电荷基本性质

一切电磁现象,都归因于物体带上了电荷以及电荷的运动.自然界中的电荷只有两种:正电荷和负电荷.同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引.宏观带电体所带电荷种类的不同,根源在于组成它们的微观粒子所带电荷种类的不同:质子带正电荷,电子带负电荷,中子不带电荷.物体所带电荷的多少称为电量,用符号 Q 或 q 表示,在 SI 制中,电量的单位是库仑,符号为 C. 正电荷所带电量为正值,负电荷所带电量为负值,一个带电体所带总电荷量为其正负电荷的代数和.

电荷的量子性 大量实验表明,电荷总是以一个基本单元的整数倍出现,这个特性称作电荷的量子性.电荷的基本单元是一个电子所带电量的绝对值,即

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

关于电荷具有基本单元的概念,法拉第、阿累尼乌斯、斯通尼等人都在此做过重要的贡献.特别是,1913 年密立根设计了著名的油滴试验,直接测定了这个基本单元——电子的电量.实验发现,许多基本粒子都带有若干倍或正或负的基元电荷.例如,一个质子,一个正电子都带有一个正的基元电荷.一个负电子,一个反质子都带有一个负的基元电荷.微观粒子所带的电荷都是基元电荷的整数倍.然而,近代物理预言,基本粒子由若干种夸克或反夸克所组成,每一个夸克或反夸克带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电量.但迄今为止,单独存在的夸克或反夸克

在实验中都尚未发现(即使存在,电荷的量子性依然不变).

电荷的相对论不变性 根据相对论理论,粒子的运动速度与光速可比拟时,其质量与运动速度服从质速关系.然而,一个电荷的电量与它的运动状态无关.例如,氢分子和氦原子核外都有两个电子,这些电子的运动状态相差不大.氢分子中有两个质子,相距大约 0.07 nm . 氦原子中也有两个质子,但它们紧密地束缚在一起,组成一个原子核运动.氦原子中两个质子的能量很大,与氢分子中两个质子的能量大约相差 10^6 倍的数量级,因此两者的运动状态显著不同.如果电荷的电量与运动状态有关,则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.然而实验表明,氢分子和氦原子都精确地呈电中性,说明质子所带电量是与其运动状态无关的.

由于在不同的参考系中观察,同一个电荷的运动状态不同,但电荷的电量与其运动状态无关,换句话说,在不同的参考系中观察,同一带电粒子的电量不变.电荷的这一性质称作电荷的相对论不变性.

电荷守恒定律 实验指出,对于一个系统,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保持不变,这又称为电荷守恒定律.这是自然界在电磁领域所遵循的又一基本守恒定律.宏观物体的各种电现象,如带电、电中和、电流等都是由于微观带电粒子在物体内部运动的结果.因此,电荷守恒的实质就是系统内粒子的总电荷数守恒.

关于“守恒”,应准确理解其意义.现代物理研究表明,粒子在相互作用过程中,电荷是可以产生和消失的,然而电荷守恒的规律并未受到破坏.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(称作正负电子对的“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(称作正负电子对的“湮灭”).在已观察到的各种过程中,正、负电子又各带有等量异号电荷,所以这种电荷的产生和消失并不改变系统中的电荷数的代数和,因而电荷守恒定律仍然成立.

10.1.2 库仑定律

实验证明:电荷与电荷间有相互作用力,其大小不仅与带电体的电量和它们之间的距离有关,而且还与带电体的大小、形状有关.为了便于定量研究带电体之间的相互作用力,科学家提出了点电荷的理想模型.当带电体的线度比它们间的距离小得多时,带电体的形状、大小对它们之间作用力影响很小,这时就可把带电体近似看成一个没有形状和大小的带电几何点,这个带电几何点就称为点电荷.

“点电荷”同力学中的“质点”一样,只有相对的意义.一个带电体是否可视

为点电荷主要取决于它的大小、形状对两带电体之间的作用力的影响程度,若没有影响,或影响小到可以忽略不计时,此时带电体可被视为点电荷.若影响较大,则不能看成点电荷,这种情况下,可将带电体分割成无数个小的带电体,每个小的带电体可以视为点电荷,此时带电体就是点电荷的集合.

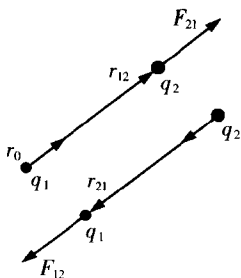


图 10-1 两点电荷之间的作用力

库仑定律 在发现电现象后的两千多年的时期内,人们对电的认识一直停留在定性阶段,从 18 世纪中叶开始,不少人着手研究电荷之间作用力及其定量规律.法国科学家库仑(1736 ~ 1806) 为了测量静电力,发明了扭秤,并通过实验总结出库仑定律:在真空中两个静止点电荷之间的静电作用力与这两个点电荷所带电量乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,作用力的方向沿着两个点电荷的连线,如图 10-1 所示.在 SI 制中,它的数学表达式为

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \mathbf{r}_0 \quad (10-1)$$

式中 q_1, q_2 分别表示两个点电荷的电量, r_{21} 为它们之间的距离, $\mathbf{r}_0$ 表示从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, ϵ_0 是真空中介电常数(电容率),

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$\mathbf{F}_{21}$ 表示电荷 q_2 受电荷 q_1 的作用力,当两个点电荷同号时, $\mathbf{F}_{21}$ 与 $\mathbf{r}_0$ 同向,表明电荷受到排斥力作用;当两个点电荷反号时, $\mathbf{F}_{21}$ 与 $\mathbf{r}_0$ 反向,表明电荷受到吸引力作用.而电荷 q_1 受电荷 q_2 的作用力 $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{F}_{21}$ 大小相等,方向相反,作用在一条直线上,可表示为

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} \quad (10-2)$$

研究表明,两个静止点电荷之间距离的数量级在 $10^{-15} \text{ m} \sim 10^9 \text{ m}$ 的范围内时,库仑定律与实验结果吻合得非常好.库仑定律和即将阐述的高斯定理构成了静电学的基础.

例 10-1 在原子尺度下起作用的电力导致了卢瑟福提出了原子的核模型.卢瑟福在他的 α 粒子散射实验中发现,当 α 粒子具有足够高的能量,它能到达与原子的距离为 $2 \times 10^{-14} \text{ m}$ 的地方.试计算在这一距离时, α 粒子所受金原子核的斥力,并和它们之间的万有引力相比较.

解 已知 α 粒子的带电量为 $2e$,金原子的带电量为 $79e$,由库仑定律可得此斥力大小为

$$F_C = \frac{2e \times 79e}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times 2 \times 79 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-14})^2} \text{ N} = 91 \text{ N}$$

α 粒子的质量为 $6.68 \times 10^{-27} \text{ kg}$,金原子核的质量为 $3.27 \times 10^{-25} \text{ kg}$,由万有引力