

COLLEGE PHYSICS

大学物理

(下册)

戴坚舟 阴其俊 编著
钱水兔 陈早生

华东理工大学出版社

大 学 物 理

(下 册)

戴坚舟 阴其俊 编著
钱水兔 陈早生

华东理工大学出版社

内 容 提 要

本书是根据原国家教委物理课程指导委员会制定的《高等工业学校物理课程基本要求》的精神,经多年教学实践后编写而成的.全书共分上、下两册.上册包括:力学、振动和波、气体动理论和热力学;下册包括:电磁学、光学、相对论、量子物理.

本书的特点是:内容紧扣基本要求,突出物理模型;注意基础学科与工程学科之间的联系以及在分析方法上的衔接;在物理概念和规律的阐述和分析中,力求清晰、简明,富有哲理性,隐含方法论.

本书可作为一般工科大学及专科学校普通物理课程的教材,也可作函授、业余大学和夜大学的教材或教学参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.下册/戴坚舟等编著. —上海:华东理工大学出版社, 2002. 11

ISBN 7-5628-1347-7

I. 大... II. 戴... III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 097689 号

大 学 物 理

(下 册)

戴坚舟 阴其俊 编著
钱水免 陈早生

出版	华东理工大学出版	开本	787×960 1/16
社址	上海市梅陇路 130 号	印张	24.75
邮编	200237 电话 (021)64250306	字数	479 千字
网址	www.hdlgpress.com.cn	版次	2002 年 11 月第 1 版
发行	新华书店上海发行所	印次	2002 年 11 月第 1 次
印刷	上海市崇明县裕安印刷厂	印数	1-5050 册
ISBN 7-5628-1347-7/O·75		定价: 28.00 元	

前 言

本书是根据原国家教委物理课程指导委员会制定的《高等工业学校物理课程基本要求》的精神,结合多年来的教学实践编写而成的。全书包括力学、振动和波、气体动理论和热力学、电磁学、光学、相对论和量子物理。

物理学是工科大学生必修的基础理论课。该课程充满辩证法和方法论内容,具有丰富的思想方法,是一门典型的思维上训练和方法上传授的课程,也是一门基础学科与工程学科相衔接的关键性课程。本书编者的共同愿望是使本书不仅能帮助读者较好地掌握物理学的基本内容、基本规律,同时使读者掌握科学的分析方法,认识基础学科与工程学科在分析方法上的区别和联系,传授工程型思维方法。

在本书编写过程中,我们以辩证唯物主义观点来阐述物理学的基本规律,突出科学方法论,注意基础学科与工程学科之间的联系,特别注重在分析方法上的衔接;贯彻“少而精、学到手”的原则;对物理概念的阐述和分析,力求清晰、简明,便于自学,富有哲理性,隐含方法论。在系统阐述物理的基本规律、基本方法、基本概念的同时,注意培养学生用高等数学来分析和解决问题的能力,以便对学生进行科学思维的训练。

此外,考虑到不同专业对物理教学的要求以及学生层次、教学课时的差异,除了基本内容以外,同时编写了一些属于提高性质的内容,在书中以“*”标出,供教学中选用或参考,不作为本课程的基本内容。

本书中的力学、振动和波、量子物理由华东理工大学的戴坚舟执笔;电磁学由阴其俊执笔;气体动理论和热力学、光学由钱水免执笔;相对论由华东交通大学的陈早生执笔。全书由戴坚舟统稿审定。

编者在此要感谢刘宝坤、施善定、包曼玲、许丽敏、黄天祥、李夔里等,他们为本书编写提出了许多中肯意见及提供部分资料,使本书增色不少。同时感谢汪溶、陆慧,她们为本书的编写也作了大量的工作。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,衷心希望读者批评指正,以便在修订时予以充实、提高和完善。

编 者

2002年9月

目 录

第三篇 电 磁 学

8 静电场	(3)
8.1 电相互作用	(3)
8.1.1 电荷的量子化 电荷守恒定律	(3)
8.1.2 库仑定律 静电力的叠加原理	(4)
8.1.3 电场和电场强度	(7)
8.1.4 点电荷的电场及其叠加	(9)
8.2 静电场的高斯定理	(16)
8.2.1 电场线和电通量	(16)
8.2.2 高斯定理	(18)
8.2.3 利用高斯定理求场强	(21)
8.3 静电场的环路定理和电势	(24)
8.3.1 静电场力的功	(24)
8.3.2 电势	(26)
8.4 电场强度与电势梯度	(34)
8.4.1 等势面	(34)
8.4.2 电场强度与电势梯度的关系	(35)
8.5 带电粒子在电场中的受力及其运动	(39)
8.5.1 单个带电粒子在匀强电场中的受力及其运动	(39)
8.5.2 电偶极子在电场中的受力及其取向	(42)
思考题	(43)
习题	(44)
阅读材料: 静电场力的应用	(48)
9 静电场中的导体和电介质	(50)
9.1 静电场中的导体	(50)
9.1.1 导体达到静电平衡的条件和性质	(50)
9.1.2 静电平衡时导体上的电荷分布	(51)

9.1.3 有导体存在时静电场的分析和计算	(53)
9.1.4 静电屏蔽	(55)
9.2 电容和电容器	(57)
9.2.1 孤立导体的电容	(57)
9.2.2 电容器	(58)
9.2.3 电容器的串联和并联	(61)
9.3 静电场中的电介质	(63)
9.3.1 电介质及其极化	(63)
9.3.2 电极化强度及其与极化电荷的关系	(66)
9.3.3 有电介质存在时的静电场的分析和计算	(68)
9.3.4 D 、 E 、 P 三矢量之间的关系	(74)
9.4 静电场的能量	(75)
9.4.1 电容器的电能	(75)
9.4.2 静电场的能量	(76)
思考题	(79)
习题	(80)
阅读材料 压电效应及其应用	(84)
驻极体	(84)
电容式传感器	(85)
10 稳恒电流的磁场	(88)
10.1 电流 电源电动势	(88)
10.1.1 电流与电流密度	(88)
10.1.2 电流连续性方程	(91)
10.1.3 电源 电动势	(92)
10.2 电流的磁场	(94)
10.2.1 基本磁现象	(94)
10.2.2 磁起源于电流	(95)
10.2.3 磁场 磁感应强度	(97)
10.2.4 毕奥-萨伐尔定律	(99)
10.2.5 毕奥-萨伐尔定律的应用	(101)
10.2.6 运动电荷的磁场	(105)
10.3 磁场的高斯定理	(107)
10.3.1 磁感应线	(107)

10.3.2 磁通量 磁场的高斯定理	(108)
10.4 安培环路定理	(109)
10.4.1 安培环路定理	(109)
10.4.2 安培环路定理的应用	(110)
10.5 磁场对运动电荷的作用	(114)
10.5.1 洛伦兹力	(114)
10.5.2 带电粒子在均匀磁场中的运动	(115)
10.5.3 带电粒子在非均匀磁场中的运动	(117)
10.5.4 带电粒子在电场和磁场中的运动	(118)
10.5.5 电力和磁力在科学技术中的应用举例	(118)
10.6 磁场对电流的作用	(122)
10.6.1 安培定律	(122)
10.6.2 磁场对载流线圈作用的磁力矩	(125)
10.7 磁力的功	(128)
10.7.1 载流导线在磁场中运动时磁力所做的功	(128)
10.7.2 载流线圈在磁场内转动时磁力所做的功	(128)
思考题	(130)
习题	(131)
11 磁场中的磁介质	(136)
11.1 磁介质的磁化 磁化强度矢量	(136)
11.1.1 磁介质的磁化	(136)
11.1.2 磁化强度和磁化电流	(139)
11.2 有磁介质时的高斯定理和安培环路定理	(141)
11.2.1 有磁介质时的高斯定理	(141)
11.2.2 有磁介质时的环路定理 磁场强度	(141)
* 11.3 铁磁质	(144)
11.3.1 铁磁质的磁化规律	(144)
11.3.2 铁磁质的磁化机理	(146)
11.3.3 铁磁质的分类和应用	(146)
思考题	(147)
习题	(148)
12 电磁感应 电磁场	(149)
12.1 法拉第电磁感应定律	(149)

12.1.1 电磁感应现象	(149)
12.1.2 楞次定律	(150)
12.1.3 法拉第电磁感应定律	(150)
12.2 动生电动势和感生电动势	(154)
12.2.1 动生电动势	(155)
12.2.2 感生电场与感生电动势	(158)
12.2.3 电子感应加速器	(163)
12.2.4 涡电流	(165)
12.3 自感和互感	(167)
12.3.1 自感系数和自感电动势	(167)
12.3.2 自感电路中电流的增长和衰减	(170)
12.3.3 互感系数和互感电动势	(172)
12.4 磁场的能量	(176)
12.4.1 自感储能	(176)
12.4.2 磁场的能量	(177)
12.5 电磁场的理论基础	(178)
12.5.1 位移电流和全电流定律	(179)
12.5.2 麦克斯韦电磁场方程的积分形式	(184)
* 12.6 电磁波	(185)
12.6.1 电磁振荡	(185)
12.6.2 电磁波的产生与传播	(187)
12.6.3 电磁波的特性	(189)
12.6.4 电磁波的能量	(190)
12.6.5 电磁波谱	(191)
思考题	(193)
习题	(194)
阅读材料 磁记录	(198)
等离子体	(199)

第四篇 波动光学

13 光的干涉	(205)
13.1 光的相干性	(205)
13.2 双缝干涉	(206)

13.2.1 杨氏双缝干涉	(206)
13.2.2 菲涅耳双镜和洛埃镜	(209)
* 13.2.3 光源对干涉条纹的影响	(211)
13.3 光程	(213)
13.3.1 光程	(213)
13.3.2 透镜的等光程性	(214)
13.4 薄膜干涉	(216)
13.4.1 等厚干涉	(216)
13.4.2 等倾干涉	(223)
13.5 迈克耳孙干涉仪	(226)
思考题	(227)
习题	(229)
14 光的衍射	(231)
14.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(231)
14.1.1 光的衍射现象	(231)
14.1.2 惠更斯-菲涅耳原理	(232)
14.2 单缝的夫琅禾费衍射	(232)
14.3 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	(236)
14.3.1 圆孔的夫琅禾费衍射	(236)
14.3.2 光学仪器的分辨本领	(237)
14.4 光栅衍射	(239)
14.4.1 光栅衍射	(240)
14.4.2 光栅光谱	(244)
14.5 X射线衍射	(246)
思考题	(248)
习题	(249)
15 光的偏振	(251)
15.1 自然光 偏振光	(251)
15.1.1 自然光	(251)
15.1.2 偏振光	(252)
15.2 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	(253)
15.2.1 起偏和检偏	(253)
15.2.2 马吕斯定律	(254)

15.3	反射和折射时光的偏振	(255)
15.4	光的双折射	(257)
15.4.1	光的双折射现象	(257)
15.4.2	惠更斯原理对双折射现象的解释	(259)
15.4.3	偏振棱镜	(262)
* 15.5	椭圆偏振光和圆偏振光 波片	(263)
15.5.1	椭圆偏振光和圆偏振光	(263)
15.5.2	波片	(264)
15.5.3	偏振光的检验	(266)
* 15.6	偏振光的干涉	(266)
* 15.7	人为双折射现象	(268)
15.7.1	光弹性效应	(268)
15.7.2	电光效应	(269)
* 15.8	旋光现象	(270)
	思考题	(271)
	习题	(272)
	阅读材料 光纤通信	(274)
	液晶	(276)

第五篇 近代物理

16	狭义相对论基础	(281)
16.1	经典力学的相对性原理 伽利略变换	(281)
16.1.1	导言	(281)
16.1.2	经典力学的相对性原理	(281)
16.1.3	伽利略变换	(282)
16.1.4	经典力学的时空观	(283)
16.2	狭义相对论的基本假设 洛伦兹变换	(284)
16.2.1	伽利略变换的失效 光速不变的结论	(284)
16.2.2	爱因斯坦的基本假设	(285)
16.2.3	洛伦兹变换	(285)
16.2.4	洛伦兹速度变换	(288)
16.3	狭义相对论的时空观	(291)
16.3.1	高速运动物体的测量	(291)

16.3.2	运动物体的长度收缩	(291)
16.3.3	“同时”的相对性	(293)
16.3.4	运动的钟“变慢”——时间延长	(297)
16.3.5	因果关系的绝对性	(299)
16.3.6	相对论的时空观	(300)
16.4	相对论动力学	(301)
16.4.1	相对论与动力学	(301)
16.4.2	相对论中的质量、动量和动力学基本方程	(301)
16.4.3	相对论中的质量能量关系	(304)
16.4.4	相对论中的动量能量关系	(307)
	思考题	(308)
	习题	(309)
17	量子物理	(311)
17.1	热辐射	(311)
17.1.1	基尔霍夫定律	(311)
17.1.2	黑体辐射定律	(312)
17.1.3	普朗克的量子假设	(313)
17.2	光电效应	(315)
17.2.1	光电效应的实验规律	(316)
17.2.2	爱因斯坦光子理论	(317)
17.2.3	光的波粒二象性	(318)
17.3	康普顿效应	(320)
17.4	玻尔氢原子理论	(324)
17.4.1	氢原子光谱的实验规律	(324)
17.4.2	玻尔氢原子理论	(325)
17.5	粒子的波动性——德布罗意假设	(329)
17.6	不确定关系	(333)
17.7	薛定谔方程	(336)
17.7.1	波函数	(337)
17.7.2	薛定谔方程	(338)
17.8	一维无限深方势阱	(340)
* 17.9	氢原子的量子理论	(344)
17.9.1	氢原子的薛定谔方程	(344)

17.9.2 三个量子数	(345)
17.9.3 电子的概率分布——电子云	(346)
* 17.10 电子的自旋 原子的电子壳层结构	(349)
17.10.1 电子的自旋	(349)
17.10.2 原子的电子壳层结构	(351)
17.11 激光	(359)
17.11.1 自发辐射和受激辐射	(359)
17.11.2 激光产生的条件	(360)
17.11.3 激光的特性和应用	(363)
17.11.4 激光全息照相	(364)
思考题	(365)
习题	(366)
阅读材料 超导电性	(369)
习题答案	(373)
常用数值表	(384)

第三篇 电磁学

运动和相互作用是物质的永恒属性,所有自然现象都是物质运动的表现,又都是物质相互作用的结果。人们在 20 世纪 30 年代就已认识到,自然界有四种不同性质的相互作用,即引力作用、电磁作用、弱作用和强作用。20 世纪 70 年代末出现了弱电统一理论,并在 1983 年为实验所证实。

电磁作用是物质世界中最普遍的相互作用之一,也是人们了解得最清楚的相互作用。这种作用既存在于宏观物体间,也存在于分子和原子内。电磁力比质引力强 10^{39} 倍,比强作用或弱作用的范围大 10^{10} 倍。正因为如此,电磁作用也许是对日常生活最重要的相互作用,每天所观察到的大多数现象,包括化学和生物过程,都是原子和分子之间的电磁作用的结果。

电磁学所研究的就是物质间电磁的相互作用及电磁场的产生、变化和运动的规律。

从历史上看,电磁学是一门发展较晚的学科,尽管从纪元前到中世纪,人们已积累了一些关于电磁现象的观察资料,如“琥珀拾芥”和“慈石召铁”等记载,但这些都停留在对自然现象的观察上。对电磁现象的定量研究是从 1785 年库仑定律建立时才开始的,其后通过高斯等人的研究形成了静电场理论。1820 年奥斯特发现了电流的磁效应,从此人们开始认识到电与磁之间有某种联系。不久,安培、拉普拉斯等便对电流的磁效应作出了比较完整和正确的描述。1831 年法拉第发现了著名的电磁感应现象,进一步揭示了电与磁的联系。在这样的基础上,麦克斯韦集前人之大成,极富创见地引入了位移电流的概念,以完美的数学形式建立了以一套方程组为基础的完整的宏观的电磁场理论,它使人类对宏观电磁现象的认识达到了一个新的高度。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。

电磁理论的突出特点是研究与“场”有关的问题，正是电磁学向人们提供了关于电磁场的性质及其运动的完整理论，因此这些理论和方法在研究场的方面具有普遍意义。

此外，随着科学技术的不断发展，电与磁也越来越广泛而深入地应用于社会生产和生活的各个方面，除了在能源、动力、通讯等方面早已显示出了它的优越性之外，近代电子工业尤其是电子计算机的飞速发展，各式各样的电器设备已经成为生产和日常生活中必不可少的基本工具。因此可以说，人类生活的各个方面都越来越离不开“电”。

上述这一切都表明，电磁学理论对于我们认识世界、改造世界有着极其重要的意义。

8 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.但是当我们所研究的电荷相对于某参照系为静止时,电荷在这个静止参照系中就只激发电场,而无磁场.这个电场就是本章所要讨论的静电场,并假定电荷的周围为真空,这样可以不涉及电场同其他物体或媒质的相互作用.

本章的主要内容有:从电荷在静电场中受电场力和电荷在静电场中移动时电场力对电荷做功的客观事实出发,引入电场强度和电势这两个描述电场性质的重要物理量,并讨论两者之间的联系;以库仑定律为基础导出静电场的两条基本定理——高斯定理和环路定理,进而阐明静电场的基本性质.

8.1 电 相 互 作 用

8.1.1 电荷的量子化 电荷守恒定律

人们对电的认识,最初来自人工的摩擦起电现象和自然界的雷电现象.早在公元前 585 年,古希腊哲学家泰勒斯就记载了用木块摩擦过的琥珀能够吸引碎草等轻小物体的现象.后来发现,摩擦后能吸引轻小物体的现象并不是琥珀所独有的,像玻璃棒、火漆棒、硬橡胶棒、金刚石、明矾等用毛皮或丝绸摩擦后,也能吸引轻小物体.物体有了这种吸引轻小物体的性质,人们就说它带了电,或有了电荷.带电的物体叫做带电体.使物体带电叫做起电.用摩擦方法使物体带电叫做摩擦起电.

大量实验事实表明,在自然界中有且仅有两种电荷,称为正电荷和负电荷.带同号电荷的物体互相排斥,带异号电荷的物体互相吸引.这种相互作用称为电力.根据带电体之间的相互作用力,我们能够确定物体所带电荷的多寡.物体所带电荷数量的多少,称为电量,通常用符号 Q 或 q 来表示.在国际单位制中,电量的单位为库仑,记作 C.

实验还证明,在自然界中,电荷总是以一个基本单元的整数倍出现,电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质,叫做电荷的量子化.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.1986 年国际推荐的电子电荷绝对值为

$$e = 1.602\,177\,33(49) \times 10^{-19} \text{ C}$$

在通常的计算中,取它的近似值

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

由于电荷的基本单元是如此之小,以至使电荷的量子性在研究宏观现象的绝大多数实验中不表现出来,就像我们在喝水时并不感觉到水是由分子、原子等微粒组成的一样。目前所知道的自然界中几百种微观粒子所具有的电荷或者是 $+e$ 、 $-e$,或者是它们的整数倍。尽管近代物理从理论上预言基本粒子由若干种夸克或反夸克组成,每一个夸克或反夸克可能带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电量。然而至今单独存在的夸克尚未在实验中发现。即使发现了,也不过把基元电荷的大小缩小到目前的 $\frac{1}{3}$,而电荷的量子性依然不变。因此可以说电荷量子化是一个普遍的量子化规则。

按照原子理论,我们知道在正常状态下,物体是电中性的,物体中正、负电荷的代数和为零。如果在一个孤立系统中有两个电中性的物体,由于某些原因,使一些电子从一个物体移到另一个物体上,则前者带正电,后者带负电,不过两物体正、负电荷的代数和仍为零。可见,任何物体带电的过程,只不过是电荷从一个物体转移到另一个物体,就是说,电荷既不能创生,也不能消灭,只能由一个物体转移到另一个物体,或从物体的一处转移到他处。总之,在孤立系统中,不管系统中的电荷如何迁移,系统的电荷的代数和保持不变,这就是电荷守恒定律。

电荷守恒定律不但被经典电磁学的大量实验所证实,而且被大量近代物理实验所证实。化学反应、放射性衰变、核反应等过程都满足电荷守恒定律。电荷是在一切相互作用下都守恒的一个守恒量,电荷守恒定律就像能量守恒定律、动量守恒定律和角动量守恒定律一样,是自然界的基本守恒定律,是物理学的基本定律之一。

8.1.2 库仑定律 静电力的叠加原理

在发现电现象 2 000 多年之后,人们才开始对电现象进行定量的研究。1785 年法国物理学家库仑利用扭秤实验直接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。

点电荷是电学中的一个理想模型,很类似于力学中的质点模型。在具体问题中,当带电体的尺度和形状与带电体间的距离相比可以略去时,就可将它们视为点电荷。

库仑定律表述如下:在真空中两个静止点电荷间的相互作用力的方向沿着两

个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸,作用力的大小与两点电荷电量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比.这一规律可用矢量公式表示为

$$\mathbf{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \mathbf{r}_0 \quad (8-1)$$

式中 q_1 和 q_2 分别表示两个点电荷的电量(带有正、负号), r_{12} 表示两点电荷之间的距离, $\mathbf{r}_0$ 表示从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, k 为比例系数,其数值和单位取决于公式中各量的单位,且可由实验确定. $\mathbf{F}_{12}$ 表示电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力. 当 q_1 和 q_2 同号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_0$ 同方向,表示电荷 q_2 受 q_1 的斥力作用,如图 8-1(a) 所示;当 q_1 和 q_2 异号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_0$ 的方向相反,表示 q_2 受 q_1 的引力作用,如图 8-1(b) 所示. 静止电荷间的作用力又称库仑力.



图 8-1 库仑定律

至于 q_1 同时所受 q_2 的作用力 $\mathbf{F}_{21}$, 实验表明它与 q_2 受到 q_1 的作用力 $\mathbf{F}_{12}$ 大小相等, 方向相反, 且在同一直线上, 即

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

上述结果表明, 两静止电荷之间的库仑力遵守牛顿第三定律.

在国际单位制中, 实验测定比例系数 k 的数值和单位为

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

通常还引入另一个常量 ϵ_0 来代替 k , 使

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

式中 ϵ_0 称为真空介电常数或真空电容率. 在国际单位制中它的数值和单位是

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

于是, 真空中库仑定律的形式又可表示为