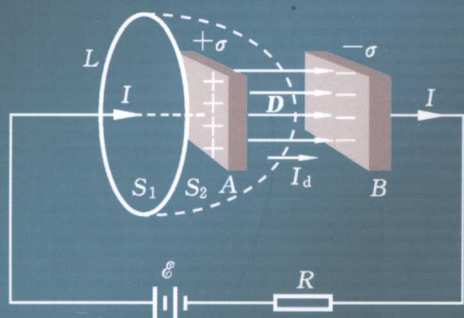




普通高等教育“十一五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理(下)

程永进 姜大华 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

内容简介

大学物理

(下册)

主 编 程永进 姜大华

副主编 谭季麓 魏有峰

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)/程永进 姜大华 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2008 年 9 月

ISBN 978-7-5609-4460-9

I. 大… II. ①程… ②姜… 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 049306 号

大学物理(下册)

程永进 姜大华 主编

策划编辑:周芬娜

责任编辑:周芬娜

责任校对:刘 竣

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:13.75 字数:262 000

版次:2008 年 9 月第 1 版 印次:2008 年 9 月第 1 次印刷 定价:25.00 元

ISBN 978-7-5609-4460-9/O·437

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是为适应新世纪创新型人才培养的需要而编写的,其特点是力求适合当前授课学时的缩短,强化物理教学的基本内容,突出重点,以例题分析为辅助深刻认识物质世界的运动规律,提高学生的自学能力。本书是在多年使用的《大学物理简明教程》讲义的基础上修改而成的。全书分上、下两册。上册包括力学、热学、机械振动和机械波、波动光学,下册包括电磁学、量子物理学基础。与之配套的还有《大学物理辅导与题解》,两者既可彼此独立,又可相互配套使用。

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材,也可作为综合大学和师范院校非物理专业的教材和参考书。

前 言

大学物理是一门重要的基础理论课,它在高等理工科教育中占有重要地位。该门课程的特点是学时少、内容多、难度大,学生们普遍感到课程内容较难理解、不易掌握,希望有一套简明扼要的教材,它提供理工科学生需要掌握的最基本的物理学内容,方便课堂教学和课后复习与知识拓展。

为了适应新世纪培养高素质人才的需要,许多高校都进行了大学物理教学内容和教学方法的改革,出版了一系列高等教育 21 世纪大学物理课程教材,它们各有特色,涉猎广泛,选题深入,内容丰富。随着高等教育的发展和招生人数的扩大,我国的高等教育已经从精英教育逐渐过渡到大众教育,可是现行的多数教材仍然是按照精英教育的培养模式来编写的,这使大学物理课程学时少、内容多、难度大的问题更加突出。在教学中,学生们疲于应付、被动接受,对于物理学的全貌和物理学的思维方法不甚了解,对于物理学的基本概念和基本知识没有很好的把握,违背了开设这门课程的初衷。开设大学物理课程的目的就是要在课程的教学过程中,引导学生仔细考察在物理学中怎样提出问题,如何分析问题,采取什么方法解决问题;通过这样的学习和分析过程获得科学思维的启迪,培养创新意识,为进一步学习和工作打下良好的基础。

由于物理学课程学习上的困难性,部分学生产生了害怕物理课程或厌学的情况,给教师和学生双方都带来了许多困惑。学生们普遍反映虽然能够在课堂上听懂老师对物理知识的阐述,但是由于课时紧,讲授内容多,讲课速度快,学生作笔记比较困难;另外,教材内容多,涉及范围广,给他们的课后复习和加深对所学内容的理解带来一定的难度,许多学生不能独立完成课后练习,影响了他们学习物理课程的积极性。

为了适应我国高等教育进入大众教育阶段的特点,改革大学物理课程的教学内容,我们以理工科学生需要掌握的基本物理学内容为标准,精选教学内容,编写了这一套《大学物理》。该教材在每一章的前面都对物理学整体和该章所涉及的内容进行了概述,使学生对其总体和内容之间的相互联系先有所了解,然后再展开其内容。该教材简明、精练,搭建了大学物理学习的基本框架,使学生在此框架下学习和掌握物理学的基本概念和基本知识,培养自学能力,增强学习物理的兴趣,并为进一步拓展知识打下良好的基础。在使用本教材的同时,学生还可以参考其他物理教材作为该教材的补充。该教材提供了较多例题、习题和思考题,以便学生课后学习、理解和掌握所学物理知识。

本教材的特点是:提纲挈领,思路清晰,问题明确,符合认知规律。可作为高等工

科院校的大学物理课程的教材,同时也可作为文理科部分专业的选用教材,以及深入学习物理学的入门参考书。

本物理教材分为上、下两册,包括一个引论和六个部分,十九个章节。

上册包括:第0章 大学物理引论;第一部分力学(1、2、3、4、5章);第二部分热学(6、7章);第三部分机械振动和机械波(8、9章);第四部分波动光学(10、11、12章)。第0、6、7、8、9、10、11、12章由姜大华执笔,第2、3、4章由谭季麓执笔,第5章由魏有峰执笔。

下册包括:第五部分电磁学(13、14、15、16、17章);第六部分量子物理学基础(18、19章)。第13、14章由谭季麓执笔,第15、16、17、18、19章由程永进执笔。

姜大华、程永进完成了全书的审阅和统稿工作,姜大华、程永进补充了电磁学和量子力学部分的例题及习题,并分别绘制了上、下册的插图底稿,承担了相应的图文审核工作;谭季麓提供附录,补充了部分章节习题。本教材的教学参考学时为104学时,分两学期完成,建议授课学时按如下分配:上册56学时,下册48学时。

本教材在编写过程中,龙光芝教授、汤型正副教授审阅了第二、三、四部分的内容,提出了宝贵的意见和建议,万森老师校阅了第二部分内容;教务处长扬伦教授对本教材提出了指导性的建议,教材科尹明老师为教材出版提供了多方面帮助,在此表示感谢。

姜大华 程永进

2008年7月

目 录

第五部分 电 磁 学

第 13 章 真空中的静电场	(3)
13.1 电荷守恒定律 库仑定律	(3)
一、电荷守恒定律	(3)
二、库仑定律	(4)
13.2 电场强度 场的叠加原理	(5)
一、电场	(5)
二、电场强度	(6)
三、点电荷的电场强度	(7)
四、电场强度叠加原理	(7)
13.3 电场线 电通量 高斯定理及其应用	(9)
一、电场线	(9)
二、电通量	(10)
三、高斯定理	(11)
四、高斯定理的应用	(13)
13.4 电场力的功 电势	(17)
一、静电场力作功的特点	(17)
二、电势	(18)
三、电势的计算	(19)
13.5 电场强度与电势的关系	(20)
一、等势面	(21)
二、电场强度与电势的关系	(22)
本章例题	(23)
思考题	(31)
习题	(32)
习题答案	(33)
第 14 章 静电场中的导体和电介质	(35)
14.1 静电场中的导体	(35)
一、静电感应 静电平衡条件	(36)

二、静电平衡导体的电荷分布	(36)
三、尖端放电	(37)
四、空腔导体内外的静电场	(38)
五、静电屏蔽	(39)
六、有导体存在时静电场的分析与计算	(39)
14.2 电介质及其极化	(40)
一、电介质的极化	(40)
二、电极化强度	(41)
三、电极化强度与极化电荷分布的关系	(42)
14.3 电位移 电介质中的高斯定理	(43)
14.4 电容器及其电容的计算	(44)
一、孤立导体的电容	(44)
二、电容器的电容	(45)
三、电容器电容的计算	(46)
14.5 电场的能量	(48)
一、孤立导体的能量	(48)
二、电场的能量	(48)
本章例题	(49)
思考题	(59)
习题	(60)
习题答案	(61)
第 15 章 真空中稳恒电流的磁场	(63)
15.1 基本磁现象及其本质	(63)
15.2 磁感应强度和磁通量	(65)
一、磁感应强度	(65)
二、磁力线	(66)
三、磁通量	(66)
15.3 毕奥-萨伐尔定律	(67)
一、毕奥-萨伐尔定律	(67)
二、运动电荷的磁场	(68)
三、毕奥-萨伐尔定律的应用	(69)
15.4 安培环路定理及其应用	(71)
一、安培环路定理	(71)
二、安培环路定理的应用	(73)
15.5 磁场对电流的作用	(74)

一、磁场对载流导线的作用力	(74)
二、均匀磁场对载流线圈的作用	(74)
三、磁力的功	(76)
15.6 带电粒子在电场和磁场中的运动	(76)
一、带电粒子在电场中的运动	(76)
二、带电粒子在磁场中的运动	(76)
15.7 霍耳效应	(77)
本章例题	(79)
思考题	(89)
习题	(90)
习题答案	(93)
第 16 章 磁介质中的磁场	(95)
16.1 磁介质	(95)
16.2 物质的磁化	(96)
一、分子电流的起源	(96)
二、顺磁质和抗磁质的磁化规律	(97)
三、磁化强度与磁化电流	(98)
16.3 磁介质中的安培环路定理	(101)
一、磁场强度与磁介质中的安培环路定理	(101)
二、磁化率	(102)
16.4 铁磁质	(103)
一、铁磁质的磁化规律	(103)
二、铁磁质的分类	(105)
三、铁磁质的微观结构	(106)
本章例题	(106)
思考题	(112)
习题	(113)
习题答案	(114)
第 17 章 电磁感应	(115)
17.1 电磁感应定律	(115)
一、电磁感应现象	(115)
二、电磁感应定律	(116)
三、楞次定律	(117)
17.2 动生电动势	(118)
17.3 感生电动势 感应电场	(120)

17.4	自感应	(121)
17.5	互感应	(122)
17.6	磁场的能量	(123)
17.7	麦克斯韦方程组	(124)
	一、变化的电场产生磁场	(124)
	二、麦克斯韦方程组	(126)
	本章例题	(128)
	思考题	(141)
	习题	(142)
	习题答案	(145)

第六部分 量子物理学基础

第 18 章	光的量子性和玻尔氢原子理论	(149)
18.1	黑体辐射 普朗克量子假设	(149)
	一、热辐射基本概念和定律 黑体辐射	(149)
	二、普朗克量子假设	(152)
18.2	光电效应 爱因斯坦光子理论	(154)
	一、光电效应的实验规律	(154)
	二、爱因斯坦光量子理论	(156)
18.3	康普顿效应	(157)
	一、康普顿效应的实验规律	(157)
	二、康普顿效应的光子理论解释	(158)
18.4	光的波粒二象性和普朗克常数	(159)
	一、光的波粒二象性	(159)
	二、普朗克常数的意义	(161)
18.5	玻尔氢原子理论	(161)
	一、氢原子光谱的实验规律	(161)
	二、玻尔氢原子理论	(163)
	本章例题	(167)
	思考题	(171)
	习题	(171)
	习题答案	(173)
第 19 章	量子力学基础	(175)
19.1	实物粒子的波粒二象性	(175)
	一、实物粒子的波粒二象性	(175)

二、德布罗意波的统计解释	(176)
19.2 不确定关系	(177)
19.3 波函数 薛定谔方程	(178)
一、波函数和它的物理意义	(178)
二、薛定谔方程	(179)
19.4 两个简单定态问题的主要结论	(180)
一、一维无限深势阱中的粒子	(180)
二、线性谐振子运动	(182)
19.5 量子力学对氢原子的应用	(183)
一、氢原子的薛定谔方程及其解	(183)
二、方程解的物理意义	(184)
三、量子力学对氢原子光谱的理论解释	(185)
19.6 斯特恩-盖拉赫实验 电子自旋	(186)
一、斯特恩-盖拉赫实验	(186)
二、电子自旋角动量量子化	(188)
三、原子核外电子运动状态的描述	(189)
19.7 原子的壳层结构	(189)
一、原子的壳层结构	(189)
二、原子核外电子分布遵循的两个基本原理	(190)
三、原子核外电子排布顺序与元素同期表	(190)
19.8 激光基本原理	(194)
一、辐射跃迁的三种形式	(194)
二、粒子数按能级分布与粒子数反转	(195)
三、光谱线的自然线宽与激光的纵模	(196)
四、激光的特性及应用	(197)
本章例题	(198)
思考题	(204)
习题	(204)
习题答案	(206)
附录 基本物理常数表	(207)
参考文献	(209)

第五部分

电 磁 学

电磁现象是人类可直接观察到的自然现象之一。电磁学是研究电场、磁场、电磁相互作用的规律及其应用的学科。人类对电磁现象的记录可以追溯到公元前 600 年,我国则在公元前 400 年就已经利用天然磁石做成“指南针”来确定方位。早期电学和磁学是独立发展的两门学科,1820 年前后电流磁效应的发现(奥斯特实验,1819 年)使电和磁联系起来,1831 年法拉第发现了电磁感应现象,紧接着麦克斯韦预言了电磁波的存在,建立了电磁理论,人类对电和磁有了深刻的认识,电磁学理论的发展和应用进入了新的时代。时至今日,电磁学理论深入地应用于科技、生产、生活等多个领域,成为信息时代科技发展的理论基础。

这一部分(第 13 章至第 17 章)从场的观点出发,分别介绍电场和磁场,以及电磁感应的基本规律。

第 13 章 真空中的静电场

本章目录

- 13.1 电荷守恒定律 库仑定律
- 13.2 电场强度 场的叠加原理
- 13.3 电场线 电通量 高斯定理及其应用
- 13.4 电场力的功 电势
- 13.5 电场强度与电势的关系

本章例题

思考题和习题

参考讲课学时 8 学时

任何电荷周围都存在一种特殊的物质,我们称为电场。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。本章研究真空中静电场的基本性质。首先分别从电场对电荷的作用和电荷在电场中运动时电场力对电荷做功两个方面出发,引入描述电场的两个重要物理量,即电场强度和电势;然后介绍反映静电场基本性质的电场叠加原理、高斯定理和电场环路定理,最后讨论电场强度和电势两者之间的微分关系式。

本章所涉及的内容将按照科学思维的方法和逻辑上循序渐进的方式进行讲述。首先提出问题,仔细分析;然后引入概念,表述定律,推导和证明定理;最后进行例题示范。这一讲授风格也将贯穿于该书的其他章节,希望读者认真、细心地学习和体会。

13.1 电荷守恒定律 库仑定律

一、电荷守恒定律

在长期的生活和生产过程中,人们发现一些经过摩擦的物体能够吸引轻微物体。处于这种特殊状态的物体,称为带电体,或者说物体分别带有电荷。

实验证明,物体所带的电荷有两种,分别为正电荷和负电荷,而且自然界也只存在这两种电荷。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性力。电性力与万有引力有些相似,但万有引力总是相互吸引的,而电性力却随电荷的异号或同号有吸引与排斥之分。表示物体所带电荷多少的物理量称为

电量,用符号 q 表示。

为什么摩擦可使物体带电?这可根据物质的电结构加以说明。人们经过长期的探讨,并通过大量的实验,到 20 世纪初,对原子结构的研究得出如下结论:一切宏观物体(实物)都是由原子组成的,而原子又是由原子核与核外电子组成的,原子核包含质子和中子,中子不带电,质子所带电量与电子所带电量大小相等,但符号相反。一个原子中的质子数在通常情况下与电子数是相等的,这时原子整体呈现电中性。但是,在一定外因作用下,物体(或其中的一部分)得到或失去一定数量的电子,使得电子的总数和质子的总数不再相等。那么,这时物体就呈现电性。两种不同质料的物体相互摩擦时,电子会相互转移到对方,并且转移的电子数目往往不相等,结果使得净失去电子的物体带正电,净得到电子的物体带负电。

实验证明,无论是摩擦起电的过程,还是其他方法使物体带电的过程,正负电荷总是同时出现的,而且这两种电荷的量值一定相等。当两种等量的异号电荷相遇时,互相中和,物体就不带电了。由此可见,当一种电荷出现时,必然有相等量值的异号电荷同时出现;当一种电荷消失时,也必然有相等量值的异号电荷同时消失。在一个与外界没有电荷交换的系统内,无论进行怎样的物理过程,系统内正、负电荷量的代数和总是保持不变。这个原理称为电荷守恒定律,它是自然界中的基本守恒定律之一。例如, ${}_{92}^{238}\text{U}$ (铀)放射出 α 粒子(即 ${}_{2}^{4}\text{He}$)后,蜕变为 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ (钍),其核反应式为 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_{2}^{4}\text{He}$,这一过程中电荷是守恒的,因为 $92e = 90e + 2e$ 。

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,电荷的这个特性叫做电荷量子化。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。经测定, $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 。近代物理从理论上预言质子、中子和其他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。然而至今尚未在实验中发现单独存在的夸克。虽然我们说电荷具有量子化特性,但在宏观现象中,我们所遇到的电量要比电子所带电量大多得多。例如,在通电的 220 V, 25 W 灯泡中,每秒钟就有相当于 7×10^{17} 个电子的电量通过灯丝,以致电荷量子化的特性在宏观现象中表现不出来。所以在讨论宏观电荷时可以不考虑其“量子化”,而使用“连续”这一概念。

二、库仑定律

物体带电后的主要特征是带电体之间存在着相互作用的电性力。一般来说,作用力与带电体的形状、大小和电荷分布、相对位置以及周围的介质等因素都有关系,要用实验直接确立电性力对这些因素的依赖关系是困难的。为了使所讨论的问题简单起见,在静电现象的研究中,我们经常用到点电荷的概念,它是从实际带电体抽象出来的理想模型。在具体问题中,当带电体的形状和大小与带电体到研究地点之间

的距离相比允许忽略时,可以把带电体看做点电荷。因此点电荷这一概念只具有相对的意义,它本身不一定是很小的带电体。

1785年,库仑(A. de Coulomb, 1736—1806)从扭秤实验结果总结出了点电荷之间相互作用的静电力所服从的基本规律,称为库仑定律。其表述如下:

在真空中,两个静止的点电荷之间相互作用力的大小与两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,与它们之间的距离 r 的平方成反比,力的方向沿着这两个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸。其数学形式(标量式)可写为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (13.1)$$

式中, k 为比例系数,其数值和单位取决于上式中各量的单位,且可由实验确定。在国际单位制中, $k = 8.98755 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。为了使今后常用的公式简单,令 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, 式

中, ϵ_0 叫做真空介电常数,也称真空电容率。所以 $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$ 。

由于力是矢量,可以把式(13.1)写成矢量式。如图13.1所示,设 q_1 和 q_2 同号, F 代表 q_1 作用于 q_2 上的力,

e_r 代表由 q_1 指向 q_2 的单位矢量,即 $e_r = \frac{r}{r}$, 则

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} e_r \quad (13.2)$$

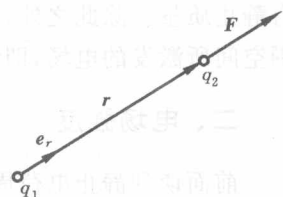


图 13.1 库仑定律

对于库仑定律,要注意几点:

① 力 F 的方向总是沿着两点电荷的连线。当电荷同号时, F 为正,表示同号电荷相互排斥;当两电荷异号时, F 为负,表示异号电荷相互吸引。

② 库仑定律只适用于点电荷。

③ 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,但对于微观带电粒子也完全适用。

实验还证明,各对点电荷之间的静电力彼此是独立的,即任何一对点电荷之间的静电力都遵守库仑定律,并不因为邻近存在其他电荷而改变。所以,当空间有两个以上的点电荷时,作用在某一点电荷上的总静电力等于其他各点电荷单独存在时对该点电荷所施静电力的矢量和,这一结论叫做电场力的叠加原理。

13.2 电场强度 场的叠加原理

一、电场

库仑定律说明了点电荷之间作用力的大小与哪些因素有关,但它并未说明电荷

是如何相互作用的,围绕着这个问题,历史上曾有过长期的争论。一种观点认为,电荷之间的作用力不需要任何介质进行传递,作用过程也不需要时间,一个带电体将瞬间施加作用力到相隔一定距离的另一带电体上,可表示为

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{电荷}$$

这种观点历史上称为超距作用观点。另一种观点认为,电荷之间的相互作用力需要靠中间的其他介质来传递,而且传递的过程是需要时间的。任何电荷都在其周围空间激发电场,而电场的基本特征是对其中的任何电荷都有作用力。因此,电荷之间的相互作用是通过其中一个电荷所激发的电场对另一个电荷的作用来传递的,即

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{电场} \longleftrightarrow \text{电荷}$$

这种传递虽然很快(约 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$),但仍需要时间,这种观点叫做近距作用观点或称场的观点。

理论和大量实验证明场的观点是正确的。电磁场是物质存在的一种形态,它分布在一定范围内,并和一切物质一样,具有能量、动量、质量等属性,所不同的是它没有静止质量。除此之外,场具有叠加性。本章只讨论相对于观察者静止的电荷在周围空间所激发的电场,即静电场。静电场是普遍存在的电磁场的一种特殊情况。

二、电场强度

前面谈到静止电荷周围有静电场,且静电场的一个基本特性是它对引入电场的任何电荷有力的作用,因此,我们可以利用电场的这一特性,从中找出能反映电场性质的某个物理量来。为了定量地了解电场中任意一点电场的性质,可利用一个试探电荷 q_0 放到电场中各点,并观测 q_0 受到的电场力。试探电荷应该满足下列条件:首先它所带的电荷量必须尽可能地小,当把它引入电场时,不致扰乱原来场的分布,也就是不会对原有电场有任何显著的影响,否则测量结果将不能反映被测电场的真实情况;其次试探电荷的线度必须足够小,以至于它可以被看做一个点电荷,能够用它来确定场中每一点的性质,否则,它只能反映出所占空间的平均性质。实验指出,把同一试探电荷 q_0 放入电场中的不同地点时, q_0 所受力的方向和大小也不同,但在电场中每一给定点处, q_0 所受力的方向和大小却是完全确定的。如果在电场中某给定点处我们改变试探电荷 q_0 的量值,就发现 q_0 所受力的方向仍然不变,但力的大小却随 q_0 的量值成正比地改变。由此可见,试探电荷在电场中某点所受到的力,不仅与试探电荷所在点的电场性质有关,而且与试探电荷本身的电荷量有关。然而,试探电荷所受的力 F 与它所带电荷量 q_0 的比值 $\frac{F}{q_0}$ 却与试探电荷本身无关,而仅仅与试探电

荷所在点的电场性质有关,因此,我们可用 $\frac{F}{q_0}$ 作为描述静电场中给定点的客观性质的一个物理量,称为电场强度,简称场强。场强是矢量,用符号 E 表示,即