



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

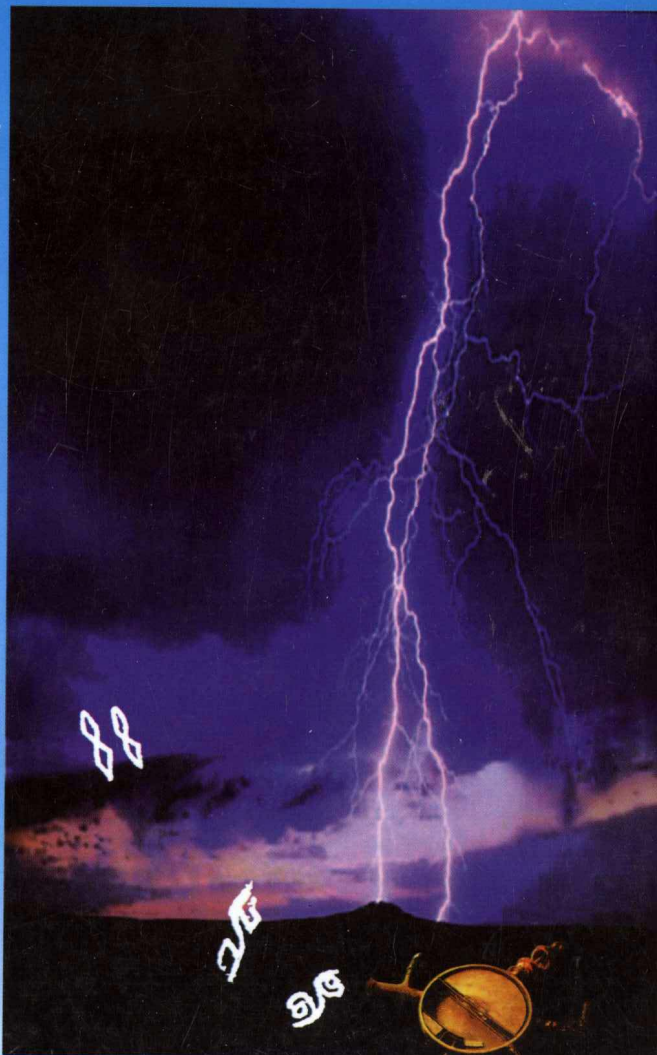
大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

电磁学

第二版

陈秉乾
王稼军
编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

大学物理通用教程

电 磁 学

(第二版)

陈秉乾 王稼军 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电磁学/陈秉乾,王稼军编著. —2版. —北京:北京大学出版社, 2012.2

(大学物理通用教程)

ISBN 978-7-301-19894-0

I. ①电… II. ①陈… ②王… III. ①电磁学-高等学校-教材
IV. ①O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 257592 号

书 名: 大学物理通用教程·电磁学(第二版)

著作责任者: 陈秉乾 王稼军 编著

责任编辑: 瞿 定 顾卫宇

标准书号: ISBN 978-7-301-19894-0/O·0856

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子邮箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

出版部 62754962

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

890 毫米×1240 毫米 A5 12.25 印张 350 千字

2003 年 5 月第 1 版

2012 年 2 月第 2 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000 册

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

《电磁学》内 容 简 介

全套教程包括《力学》、《热学》、《电磁学》、《光学》、《近代物理》，并配有《习题指导》。

《电磁学》包括静电场、静电场中的导体和电介质、直流电、恒定磁场、磁介质、电磁感应、交流电、麦克斯韦电磁场理论八章。本书在阐述电磁学中基本的实验、概念、规律、理论时，有重点地介绍相关发现的历史过程，借以加深理解、提高能力、培育创新意识。本书以电磁场理论为主干，从电磁场的性质与区别、电磁场对物质的作用和物质的电磁性质、电磁场的内在联系和运动变化规律等方面逐步展现这一极具现代精神的经典内容，在加强基础的同时，适当介绍近代发展和相关应用。

本书是一本通用教程，其分量大体上与讲授 40 学时相匹配，适合理、工、农、医和师范院校使用。

大学物理通用教程

第二版说明

这套教程自本世纪初陆续面世以来,至今已重印七次. 这第二版的主要变化是,将原《光学·近代物理》一本书改版为《光学》和《近代物理》两本书,均以两学分即 30 学时的体量来扩充内容,以适应不同专业或不同教学模块的需求.

这第二版大学物理通用教程全套包括《力学》、《热学》、《电磁学》、《光学》、《近代物理》、《习题指导》等六本书. 在每本书的第二版说明中作者将给出各自修订、改动和变化之处,以便于查对.

这第二版大学物理通用教程系普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 作者感谢广大师生多年来对本套教材赐予的许多宝贵意见和建议,感谢北京大学教材建设委员会给予本套教材建设立项的支持,感谢北京大学出版社及其编辑出色而辛勤的工作.

钟锡华 陈熙谋

2009 年 7 月 22 日日全食之日
于北京大学物理学院

《电磁学》第二版说明

《大学物理通用教程·电磁学》第二版与第一版(2003年)的基本内容相同,除少量勘误、订正外,有两处作了增补和扩展。

1. 第一版第8章8.1节内有“历史回顾”一段,扼要介绍了韦伯力公式和麦克斯韦建立电磁场理论的三篇论文。第二版把上述内容予以增补和扩展,单列一节“8.1 简明的历史回顾”,包括“两个基本问题,两种不同观点,两类理论探索”,“韦伯的电磁力公式——超距作用的电磁理论”,“麦克斯韦建立电磁场理论的三篇论文”,“洛伦兹力公式——基本的电磁力公式”。其中,回顾了贯穿电磁学史的两个基本问题(“什么是电”,“电磁作用是超距作用还是近距作用”),介绍了场、源两派代表人物韦伯和麦克斯韦的观点和主要贡献,以及综合两派把经典电磁理论推向顶峰的洛伦兹的观点和主要贡献,阐明了麦克斯韦电磁场方程和洛伦兹力公式的由来、含义和地位,指出了它们是经典电磁理论的两大支柱(犹如力学中的牛顿定律和热学中的热力学定律)。学习历史,可以了解真实的发现过程,领略前辈大师的创新精神,又有助于加深对基本内容的理解。

2. 第一版磁介质(第5章)以“分子电流”观点贯彻始终,“磁荷”观点只在“附注”中寥寥数语,一笔带过。当时的主要考虑是非物理专业学时较少,难以兼顾,且磁单极迄今未见可靠的实验证据,磁荷观点从根本上难以确立。但鉴于磁荷观点曾是磁学发展中的一种理论,且可与静电理论类比,使某些问题的计算较为简单,所得结果又与分子电流观点并行不悖,仍有应用价值,为求全面,在第二版中增补“磁荷观点”一节,作了较为系统的介绍,可供选用也可作为阅读材料。

《大学物理通用教程·电磁学》第一、二版的内容、要求大体上与40学时的非物理类普物课程的电磁学部分相匹配,并具有相当的弹性。自2003年第一版面世以来,北京大学有三类普物课选用本书,电磁学部分的学时分别是45学时(如电子类,化学,工学类专业),30

学时(如数学专业),20 学时(如环境,心理,医学专业).关于学时的掌控,我们的建议是“确保主干,削减枝蔓”.所谓主干,是指静电场、恒磁场、电磁感应、电磁场方程和电磁波、洛伦兹力公式等内容,以场为纲,贯彻始终,应予确保.至于电介质、磁介质、直交流电路以及主干各章节中引伸、发挥、证明、应用的内容及相应习题,则可视学时的多少、各专业的要求以及与后继课(如电路课)的关系予以削减.教材与讲课无需一一对应,教材内容更丰富些,留有阅读的余地,当更有益.

衷心感谢各校师生对本书的鼓励支持,恳切期望批评指正.

陈秉乾 王稼军

2011 年春

大学物理通用教程

第一版序

概况与适用对象 这套大学物理通用教程分四册出版,即《力学》、《热学》、《电磁学》和《光学·近代物理》,共计约 130 万字.原本是为化学系、生命科学系、力学系、数学系、地学系和计算机科学系等非物理专业的系科,所开设的物理学课程而编写的,其内容和分量大体上与一学年课程 140 学时数相匹配.本教程还配有《习题指导》分册,旨在辅导学生准确地掌握基本规律并能正确地解决具体问题,包括某些技巧和方法.这套教程具有较大的通用性,也适用于工科、农医科和师范院校同类课程.编写此书是希望非物理类专业的学生熟悉物理学,应用物理学,并对物理学原理是如何形成的有个较深入的理解,从而使他们意识到,物理学的学习在帮助他们提出和解决他们各自领域中的问题时所具有的价值.为此,首先让我们大略地认识一下物理学.

物理学概述 物理学成为一门自然科学,这起始于伽利略-牛顿时代,经 350 多年的光辉历程发展到今天,物理学已经是一门宏大的有众多分支的基础科学.这些分支是,经典力学、热学、热力学与经典统计力学、经典电磁学与经典电动力学、光学、狭义相对论与相对论力学、广义相对论与万有引力的基本理论、量子力学、量子电动力学、量子统计力学.其中的每个分支均有自己的理论结构、概念体系和独特的数理方法.将这些理论应用于研究不同层次的物质结构,又形成

了原子物理学、原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学和等离子体物理学,等等。

从而,我们可以概括地说,物理学研究物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化,以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律.与自然科学的其他门类相比较,物理学既是一门实验科学,一门定量科学,又是一门崇尚理性、注重抽象思维和逻辑推理的科学,一门富有想象力的科学.正是具有了这些综合品质,物理学在诸多自然科学门类中成为一门伟大的处于先导地位的科学。

在物理学基础性研究的过程中所形成和发展起来的基本概念、基本理论、基本实验方法和精密测试技术,越来越广泛地应用于其他学科,从而产生了一系列交叉学科,诸如化学物理、生物物理、大气物理、海洋物理、地球物理和天体物理,以及电子信息科学,等等.总之,物理学以及与其他学科的互动,极大地丰富了人类对物质世界的认识,极大地推动了科学技术的创新和革命,极大地促进了社会物质生产的繁荣昌盛和人类文明的进步。

编写方针 一本教材,在内容选取、知识结构和阐述方式上与作者的学识——科学观、知识观和教学思想,是密切相关的.我们在编写这套以非物理专业的学生为对象的大学物理通用教程时,着重地明确了以下几个认识,拟作编写方针。

1. 确定了以基本概念和规律、典型现象和应用为教程的主体内容;对主体内容的阐述应当是系统的,以合乎认识逻辑或科学逻辑的理论结构铺陈主体内容.知识结构,如同人体的筋骨和脉络,是知识更好地被接受、被传承和被应用的保证,是知识生命力之本源,是知识再创新之基础.知识的力量不仅取决于其本身价值的大小,更取决于它是否被传播,以及被传播的深度和广度.而决定知识被传播的深度和广度的首要因素,乃是知识的结构和表述。

2. 然而,本课程学时总数毕竟也仅有物理专业普通物理课程的40%,故降低教学要求是必然的出路.我们认为,降低要求应当主要体现在习题训练上,即习题的数量和难度要降低,对解题的熟练程度和技巧性要求要降低.降低教学要求也体现在简化或省略某些定理

证明、理论推导和数学处理上。

3. 重点选择物理专业后继理论课程和近代物理课程中某些篇章于这套通用教程中,以使非物理专业的学生在将来应用物理学于本专业领域时,具有更强的理论背景,也使他们对物理学有更为全面和深刻的认识。《力学》中的哈密顿原理,《热学》中的经典统计和量子统计原理,《电磁学》中的电磁场理论应用于超导介质,《光学·近代物理》中的变换光学原理、相对论和量子力学,均系这一选择的结果。

4. 积极吸收现代物理学进展和学科发展前沿成果于这套通用教程中,以使它更具活力和现代气息。这在每册书中均有不少节段给予反映,在此恕不一一列举,留待每册书之作者前言中明细。值得提出的是,本教程对那些新进展新成果的介绍或论述是认真的,是充分尊重初学者的可接受性而恰当地引入和展开的。

应当写一套新的外系用的物理学教材,这在我们教研室已闲散地议论多年,终于在室主任舒幼生和王稼军的积极策划和热心推动下,得以启动并实现。北大出版社编辑周月梅和瞿定,多次同我们研讨编写方针和诸多事宜,使这套教材得以新面貌而适时面世。北大出版社曾于1989年前后,出版了一套非物理专业用普通物理学教材共四册,系我教研室包科达、胡望雨、励子伟和吴伟文等编著,它们在近十年的教学过程中发挥了很好的作用。现今这套通用教程,在编撰过程中作者充分重视并汲取前套教材的成功经验和学识。本套教材的总冠名,经多次议论最终赞赏陈秉乾教授的提议——大学物理通用教程。

一本教材,宛如一个人。初次见面,观其外表和容貌;接触多了,知其作风和性格;深入打交道,方能度其气质和品格。我们衷心期望使用这套教程的广大师生给予评论和批判。愿这套通用教程,迎着新世纪的曙光,伴你同行于科技创新的大道上,助年轻的朋友茁壮成长。

钟锡华 陈熙谋

2000年8月8日于北京大学物理系

作者前言

“电磁学”是《大学物理通用教程》的第3分册,包括静电场、静电场中的导体和电介质、直流电、恒定磁场、磁介质、电磁感应、交流电、麦克斯韦电磁场理论共8章.本书的内容、结构、体系与国内流行的各类电磁学教程相仿,为广大教师所熟知.现仅就使用时值得注意的几个问题稍加说明,以供参考.

1. 在阐述电磁学中基本的实验、概念、规律、理论时,本书结合相关内容,选取库仑、毕奥-萨伐尔、安培、法拉第、麦克斯韦等人的工作为例,适当介绍提出问题、抓住要害、克服困难、寻找联系、揭示本质、作出发现的历史过程.希望读者能有身临其境之感,体会前辈大师的研究方法、物理思想和科学精神,领略前辈大师的非凡智慧和创新意识,从中汲取营养.进而,再从现代的高度加以审视,达到正确理解、恰当评价、加强基础的效果.如果感到其中有些内容(如安培定律的建立,麦克斯韦关于电磁场理论的三篇论文)不适合课堂教学,可改作阅读材料或讲座.

2. 法拉第和麦克斯韦建立的电磁场理论是19世纪物理学最伟大的成就,也是极具现代精神的经典内容.本书以电磁场理论为主干,从静电场、恒定磁场的性质和它们之间的区别,电磁场对物质的作用和物质的电磁性质,电磁场的内在联系和运动变化规律等方面逐步展现这一宏伟绚丽的历史画卷.多年的实践表明,坚持主干,纲举目张,贯彻始终,是提高教学质量的可靠保证.同时,应注意克服由于研究对象变化(从实物变为场)所导致的不适应和困难,其实这也正是提高学生素质的契机.

3. 电磁学基本规律的广泛应用和近代发展对技术进步和人类文明产生了不可磨灭的深远影响.在本书中,除直流电、交流电作为基本内容单列两章外,其他应用则分散在各章之中,作适当的原理性

介绍. 对此, 请注意把握基础研究与应用研究的联系和区别、基本概念
的延伸或更新、视野的拓展、新研究领域的开辟和对应用前景的关
注, 借以弘扬物理学固有的“崇尚理性, 崇尚实践”的精神. 就具体内
容而言, 如超导体、铁电体、铁磁材料, 如磁单极子, 如尖端放电、分布
电容, 如变压器、三相电, 如矢势、边条件、场方程的微分形式, 如电磁
辐射, 等等, 各具特色, 差别很大, 或讲授或作为阅读材料或删除, 酌
情处置可也.

本书的内容、要求大体上与约 40 学时的 B 类电磁学课程相
匹配.

陈秉乾、舒幼生、胡望雨的《电磁学专题研究》(高等教育出版社,
2001 年 12 月)以及陈熙谋、胡望雨、舒幼生、陈秉乾的《物理教学的
理论思考》(论文集)(北京教育出版社, 1997 年 7 月)两书可供教师
备课时参阅.

陈熙谋教授审阅本书, 提出了许多宝贵的意见, 谨此致谢. 限于
水平, 本书疏漏谬误之处在所难免, 欢迎批评指正.

陈秉乾 王稼军

2003 年春节于北京大学物理系

目 录

第 1 章 静电场	(1)
1.1 库仑定律	(1)
1.2 电场 电场强度 场强叠加原理	(10)
1.3 静电场的高斯定理	(17)
1.4 静电场的环路定理 电势	(28)
1.5 静电场的基本微分方程	(42)
习题	(44)
第 2 章 静电场中的导体和电介质	(49)
2.1 导体和电介质	(49)
2.2 静电场中的导体	(51)
2.3 电容和电容器	(58)
2.4 电介质的极化	(64)
2.5 有电介质存在时的静电场	(74)
2.6 静电场的边界条件	(79)
2.7 带电体系的静电能	(81)
习题	(88)
第 3 章 直流电	(93)
3.1 电流的连续方程 恒定条件	(93)
3.2 欧姆定律 焦耳定律	(96)
3.3 电源的电动势	(103)
3.4 直流电路	(110)
习题	(116)
第 4 章 恒定磁场	(120)
4.1 奥斯特实验	(120)
4.2 毕奥-萨伐尔定律	(125)
4.3 磁场的高斯定理和安培环路定理	(137)

4.4	安培定律	(146)
4.5	洛伦兹力	(161)
	习题	(177)
第 5 章	磁介质	(182)
5.1	“分子电流”模型	(182)
5.2	顺磁质与抗磁质	(184)
5.3	磁化的规律	(188)
5.4	有磁介质存在时的磁场	(194)
5.5	磁荷观点	(199)
5.6	铁磁质	(204)
5.7	磁场的边界条件	(210)
	习题	(212)
第 6 章	电磁感应	(215)
6.1	法拉第电磁感应定律	(215)
6.2	动生电动势 感生电动势 涡旋电场	(222)
6.3	自感与互感	(233)
6.4	暂态过程	(241)
6.5	超导体	(249)
	习题	(258)
第 7 章	交流电	(263)
7.1	交流电概述	(263)
7.2	交流电路中的元件	(271)
7.3	元件的串并联——矢量图解法	(274)
7.4	交流电路的复数解法	(280)
7.5	谐振电路	(292)
7.6	交流电的功率	(300)
7.7	变压器原理	(304)
7.8	三相交流电	(308)
	习题	(314)
第 8 章	麦克斯韦电磁场理论	(319)
8.1	简要的历史回顾	(319)

8.2 麦克斯韦电磁场方程组	(327)
8.3 电磁波 赫兹实验	(336)
8.4 几点说明	(350)
习题	(352)
附录	(354)
附录一 电磁学单位制	(354)
附录二 矢量分析	(358)
习题答案	(362)



静 电 场

1.1 库仑定律

1.2 电场 电场强度 场强叠加原理

1.3 静电场的高斯定理

1.4 静电场的环路定理 电势

1.5 静电场的基本微分方程

1.1 库 仑 定 律

- 扭秤实验及其他实验 电力平方反比律
 - 库仑定律的物理内涵
 - 库仑定律的成立条件
 - 电荷守恒定律 电荷的量子性
- 扭秤实验及其他实验 电力平方反比律

电闪雷鸣的观察、摩擦起电的发现、避雷针的应用、导体与绝缘体的区分、莱顿瓶与伏打电池的发明、电荷是否守恒以及什么是电的探索,等等,粗略地勾画出人类对电现象从观察、应用、研制设备乃至试图作出解释的早期历史轨迹.它宣告:物理学一个新的研究领域——电学诞生了.

物体因带电而彼此吸引或排斥是一个重要的新发现,因为它表明,在非接触物体之间,除了此前已知的万有引力和磁力外,又有了电力.尽管三者有某些雷同之处(如都出现在非接触物体之间,都是有心力等),但也有显著的不同.例如,电力有吸引和排斥,带电有正负之区分,而万有引力则总是彼此吸引,并无负质量的物体;又如,电力与磁力虽都有吸引和排斥,带电有正负,犹如磁体有南北极,但带电物体不受地磁及磁体的作用,不指向南北方向,且正电和负电可以

单独存在;等等.所有这些早期的观察都表明,电力是一种尚待探索的新的作用力.

受牛顿力学的深刻影响,寻找电力遵循的规律成为引人注目的研究课题,它的发现迎来了电学历史上第一个重要的突破.为了撇开带电物体形状、大小等次要因素的影响,人们自然地把注意力集中在两个点电荷之间的电力作用上.

在实验研究尚未开展之前,富兰克林注意到一个重要的现象:将细线悬挂的带电软木小球放在带电金属筒外时,小球明显地受电力作用使细线倾斜;将小球放入筒内时则几乎不受电力作用,细线竖直下垂.富兰克林把这一发现告诉了他的好友普里斯特利.普里斯特利通过类比,认为电力与万有引力一样,也应具有与距离平方成反比的特征.因为,均匀物质球壳对球外物质小球有非零的万有引力作用,而当小球置于球壳内任意位置时,所受万有引力为零,这是万有引力与距离平方成反比的结果(读者可试做证明).类似的现象暗示着类似的特征,普里斯特利的类比猜测为尔后的实验研究指引了方向.善于观察、勤于思索往往是有所发现的开端.

库仑(Charles Auguste de Coulomb, 1736—1806,法国)是试图

通过直接测量来寻找电力规律的第一人.当时的困难在于充电有限、容易漏电,使得电力微弱且有所变化,难以准确测量.库仑原先研究力学,曾发现固体间的滑动摩擦定律: $f = \mu N$. 库仑还是研究和制作扭秤的专家,他曾得出:扭秤金属悬丝所受转矩与扭转角成正比,比例系数与细丝的长度、直径、切变弹性模量等有关.

1785年,库仑设计制作了一台精巧的能够测出 10^{-8} N 微弱作用力的扭秤,用以测量两个带同号电小球(点电荷)之间的电斥力.库仑的扭秤实验如图 1-1 所示,在金属细丝下悬挂一根秤杠,秤杠的一端是带电木髓小球 A,另一端有平衡体 P,另一与 A 相同大小的带电木髓小球 B 用夹子固定.因 A 球受 B 球的电力使秤杠偏转,转动细

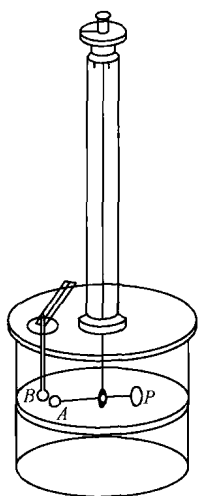


图 1-1 库仑的电斥力
扭秤实验