清华大学教材

物 理 学 教 程

主编 夏学江 史斌星

电 磁 学

陈惟蓉 黄天麟 王以炳 编著

清 华 大 学 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书是清华大学编的《物理学教程》之第二分卷,即《电磁学》.内容包括:真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、恒定电流、恒定电流的磁场、磁介质、电磁感应、电磁场方程组等.各章均配有相应的思考题与习题.

本书可作为理科和物理学时较多的工科各专业的大学物理教材,也可作为其他大学生、科技人员、中学物理教师的参考书和青年读者自学用书.

(京)新登字 158 号

清华大学教材
物 理 学 教 程
主编　夏学江　史斌星

电　　磁　　学

陈惟蓉　黄天麟　王以炳　编著

☆

清华大学出版社出版
北京　清华园
通县宏飞印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所发行

☆

开本:850×1168 1/32　印张:16　字数:415 千字
1994 年 6 月第 1 版　1994 年 6 月第 1 次印刷

印数:0001—3000
ISBN 7-302-01444-2/O·149
定价:10.80 元

物理学教程

序　　言

本书是参照我国通用的高等学校理科类与工科类物理课教学大纲，作为一套普通物理教材而编写的，希望它可供理、工科各专业使用或参考．本书的大部分内容曾在清华大学物理学时较多的几个专业以讲义的形式试用；现在经过修改、重写后分为《力学与热学》、《电磁学》、《波动与光学》、《量子物理学》及《统计与量子力学基础》等五个分卷陆续出版．

本书编者的共同愿望是这套书能帮助读者较好地掌握物理学的基本内容．我们力图把物理学的基本定律、概念、方法准确地叙述清楚；力求帮助读者分清主次，克服学习难点；对于容易产生误解的地方也力图给予必要的说明．有些问题虽然在学生学习中容易产生疑问，但因属于细节问题，没有包括在教材中．本书对某些这样的问题也试图在小字段落、脚注、加* 号章节或附录中给以一些说明，供读者有余力时参考．

物理学是研究自然界最基本规律的一门科学，学习物理和世界观的建立有密切的联系，本书在内容的安排与阐述中力求贯彻辩证唯物主义思想，帮助读者获得对客观世界的正确认识．在人们对物理概念与规律的认识过程中，实验与理论的结合起着极重要的作用，本书在阐明原理概念时，特别是在说明近代物理概念的发展时，也希望能将这一情况反映出来，对于若干重要的实验以及它

们与建立理论、发展概念的关系给予较详细的说明.

物理学日新月异的发展使它在现代科学技术领域中有着越来越广泛和重要的应用.在着重阐明基本原理的基础上,我们也尽可能地向读者介绍一些物理原理的应用和物理学新近发展的材料,使读者增加学习兴趣,开阔眼界和提高理解新技术及其应用的能力.

为了使本书有较大的适应性,我们把内容作了如下安排.凡是不带* 号的各章节属于最基本的内容,可独立于带* 号的章节学习.学时较少的各专业只需学习这些章节.理科专业或学时较多的工科专业则可用带* 号章节、小字段落、附录等作为补充内容.从全书看,五个分卷前三卷是基本教材,我们希望对于一般理科和工科各专业都能适用或可供参考;第四卷可作基本教材也可作选修课教材,视专业而定;最后一卷属于选修课教材.

在编写本书时,我们力图使它便于自学.我们的体会是:学生在学习中不仅应该获得知识与应用知识,还应该锻炼与提高学习的能力.因此在教学中必须注意培养与提高学生的学习能力,其中也包括培养与提高学生读书的能力.我们希望这套教材可供学生独立阅读,有助于培养学生的读书习惯与能力.另一方面,我们认为,如果教材便于自学,则明确了恰当的学习要求与份量后,就可以在课堂上详讲某些部分,略讲某些部分,再留一些部分给学生自学.这会有利于启发与指导学生,培养学生正确的学习习惯.此外,我们也希望这套书能供在职科技人员和自学的青年使用.

作习题是学习理论的重要环节.本书各分卷中都附有一定数量的复习思考题和习题.除基本的习题外,我们还选编了若干有一定难度的题以反映提高的要求(有的题是参考了国内外研究生入学试题选编的).书末附有习题答案.

本书各分卷一律采用国际单位制.物理量的名称和符号也尽可能地符合国际标准化组织(ISO)提出的国际标准.

在本书的编写过程中得到了许多同志的热情帮助.刘绍唐教授审阅了全部内容,从编写的指导思想到具体内容都提出了宝贵的意见;清华大学物理系的许多位年长同志如孟昭英、徐璋本、何成钧、徐亦庄、张礼等教授分别承担了本书某些分卷或某些部分的审阅工作;还有许多同志分别在各分卷中为编写习题、核对答案、制图、抄稿、出版等各方面作了大量的工作;在此对他们表示衷心的感谢.

在编写本书各分卷时,都参考了若干现有的教材,在许多地方得到启发与教益.这里难于一一指出,在此一并致谢.

由于编者能力有限,编写时间仓促,书中一定有不少缺点、错误,欢迎批评指正.

夏学江　史斌星

需要全本请访问 www.ertongbook.com

编 者 的 话

本书是清华大学编写的《物理学教程》的第二分卷,主要内容根据理工科院校中偏重理科的各专业的物理课程要求确定.考虑到物理学是一门实验科学以及普通物理课是为低年级大学生开设的课程,本书在内容结构的安排上基本上保留经典电磁学体系.为了适应现代科学技术迅猛发展对普通物理课程现代化的要求,在近几年教学实践的基础上,书中适当增选了有关现代物理内容和科技新进展.重要的增补为:第七章中增加了电磁场量的相对论变换一节,以期学生在分别学习了电场和磁场的规律后,能站在更高的理论高度认识二者的统一性;第四、五章中加入了磁镜和超导体等段落,目的在于开些窗口,看看电磁学在现代科技中的应用及新发展.某些非基本内容,考虑到要求层次的不同以及与正文内容联系的紧密程度分别以带* 号的章节、小字或章后附录的形式写出.

本书由夏学江教授主编.其中第一、二、三章由黄天麟执笔,第四、五章由陈惟蓉执笔,第六、七章由王以炳执笔.第七章的*§ 7.4主要选自高炳坤老师为本校编写的补充教材.全书由陈惟蓉整理统稿.编者排名以编写工作量为序.刘绍唐教授审阅了部分初稿.崔砚生教授对前期编写的部分稿件提出过许多中肯的意见.此外,本书的编写工作得到清华大学基础物理教研组广大教师的热情支持,在此一并表示感谢.

编者

目　　录

第一章　真空中的静电场…… (1)
§ 1.1　电荷 …… (1)
1.1.1　两种电荷 …… (1)
1.1.2　电荷的量子性 …… (2)
1.1.3　电荷守恒 …… (3)
§ 1.2　库仑定律 …… (4)
1.2.1　点电荷 …… (4)
1.2.2　库仑定律 …… (5)
1.2.3　在国际单位制中 k 的量值 …… (7)
1.2.4　库仑定律的精确性和适用范围 …… (8)
§ 1.3　电场　电场强度…… (10)
1.3.1　电场…… (10)
1.3.2　电场强度…… (11)
1.3.3　点电荷在外电场中受到的电场力…… (13)
§ 1.4　点电荷的场强公式　场强叠加原理…… (14)
1.4.1　点电荷的场强公式…… (14)
1.4.2　场强叠加原理…… (15)
1.4.3　连续带电体产生的电场…… (16)
§ 1.5　高斯定理…… (31)
1.5.1　电力线…… (31)
1.5.2　电通量…… (32)
1.5.3　高斯定理…… (38)
1.5.4　高斯定理对电力线性质的论证…… (43)

1.5.5 高斯定理的应用举例 …… (46)
1.5.6 高斯定理与库仑定律的关系 …… (59)
§ 1.6 电位 …… (59)
1.6.1 静电场力作功与路径无关 …… (59)
1.6.2 电位 …… (63)
1.6.3 点电荷的电位公式 电位叠加原理 …… (66)
1.6.4 电位差 …… (72)
§ 1.7 等位面 电位与场强的微分关系 …… (77)
1.7.1 等位面 …… (77)
1.7.2 电位与电场强度的微分关系 …… (79)
§ 1.8 带电体系的静电位能 …… (86)
1.8.1 固有能 相互作用能 …… (86)
1.8.2 点电荷系的相互作用能 …… (88)
1.8.3 连续带电体系的静电位能 …… (92)
1.8.4 电荷在外电场中的相互作用能 …… (94)
思考题 …… (95)
习题一 …… (97)
第二章 静电场中的导体和电介质 …… (105)
§ 2.1 导体和电介质 …… (105)
§ 2.2 静电场中的导体 …… (106)
2.2.1 导体的静电平衡条件 …… (106)
2.2.2 孤立带电导体表面的电荷
分布 尖端放电 …… (116)
2.2.3 封闭导体壳(壳内空腔无带电体) …… (118)
2.2.4 封闭导体壳(空腔内有带电体) …… (121)
2.2.5 范德格拉夫静电起电机 …… (122)
§ 2.3 电偶极子在外电场中所受的作用 …… (125)
2.3.1 均匀外电场的作用 …… (125)

* 2.3.2 不均匀外电场的作用 …… (126)
§ 2.4 电介质的极化 …… (128)
2.4.1 电介质对电场的影响 …… (128)
2.4.2 电介质的极化 …… (129)
2.4.3 极化强度矢量 …… (131)
2.4.4 极化电荷与极化强度的关系 …… (132)
2.4.5 电介质的极化规律 …… (137)
§ 2.5 有电介质时的电场 电位移矢量 有电介质时的高斯定理 …… (138)
2.5.1 有电介质时的电场 …… (138)
2.5.2 电位移矢量 有电介质时的高斯定理 …… (139)
2.5.3 关于 D 的进一步讨论 …… (146)
§ 2.6 静电场的边界条件 …… (148)
2.6.1 有电介质时的静电场方程 …… (148)
2.6.2 静电场的边界条件 …… (149)
2.6.3 电位移的折射定律 …… (151)
§ 2.7 铁电体 压电效应 …… (153)
2.7.1 铁电体 …… (153)
2.7.2 压电效应 …… (155)
§ 2.8 电容器的电容 …… (156)
2.8.1 孤立导体的电容 …… (156)
2.8.2 电容器的电容 …… (157)
§ 2.9 电容器贮能 电场能量密度 …… (163)
2.9.1 电容器贮能 …… (163)
2.9.2 电场能量密度 …… (165)
思考题 …… (168)
习题二 …… (173)

第三章　恒定电流 …… (180)
§ 3.1　电流强度　电流密度　电流的连续性方程 …… (180)
3.1.1　电流强度 …… (180)
3.1.2　电流密度 …… (181)
3.1.3　电流的连续性方程 …… (183)
3.1.4　恒定电流和恒定条件 …… (183)
3.1.5　恒定电场 …… (186)
§ 3.2　欧姆定律　电阻和电导 …… (187)
3.2.1　欧姆定律 …… (187)
3.2.2　电阻率和电导率 …… (188)
3.2.3　欧姆定律的微分形式 …… (191)
§ 3.3　电流的功和功率　焦耳定律 …… (194)
3.3.1　电流的功和功率 …… (194)
3.3.2　焦耳定律 …… (196)
§ 3.4　金属导电的古典电子论 …… (198)
3.4.1　金属导电的古典电子论的基本概念 …… (198)
3.4.2　根据古典电子论推导欧姆定律 …… (201)
§ 3.5　电动势　一段含源电路的欧姆定律 …… (203)
3.5.1　非静电力 …… (203)
3.5.2　电动势 …… (205)
3.5.3　一段含源电路的欧姆定律 …… (206)
3.5.4　电源的功率和输出功率 …… (207)
*3.5.5　丹聂耳电池 …… (211)
3.5.6　恒定电路中的电荷分布 …… (213)
§ 3.6　基尔霍夫定律 …… (216)
3.6.1　基尔霍夫第一定律 …… (217)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

3.6.2 基尔霍夫第二定律 …… (218)
*§ 3.7 逸出功 接触电位差 …… (223)
3.7.1 逸出功 …… (223)
3.7.2 内接触电位差 …… (225)
*§ 3.8 温差电现象 …… (227)
3.8.1 塞贝克效应 …… (227)
3.8.2 珀耳贴效应 …… (228)
3.8.3 汤姆孙效应 …… (229)
3.8.4 温差电现象的应用 …… (232)
*§ 3.9 气体中的电流 …… (234)
3.9.1 气体的被激导电 …… (234)
3.9.2 气体的自激导电 …… (237)
思考题 …… (240)
习题三 …… (242)
第四章 恒定电流的磁场 …… (249)
§ 4.1 磁场 磁感应强度 …… (249)
4.1.1 基本磁现象 磁性的起源 …… (249)
4.1.2 磁场 …… (252)
4.1.3 磁感应强度 …… (252)
4.1.4 磁力线 …… (254)
§ 4.2 电流的磁场 …… (254)
4.2.1 毕奥-萨伐尔定律 …… (254)
4.2.2 典型电流磁场的计算 …… (256)
4.2.3 匀速运动点电荷的磁场 …… (263)
§ 4.3 磁通连续方程和安培环路定理 …… (265)
4.3.1 磁通量 磁通连续方程 …… (265)
4.3.2 安培环路定理 …… (266)
4.3.3 电流分布呈均匀对称时

磁场的计算 …… (270)
§ 4.4 磁场对运动电荷的作用 …… (276)
4.4.1 洛伦兹力 …… (276)
4.4.2 带电粒子在均匀磁场中的运动 …… (276)
4.4.3 霍耳效应 …… (280)
* 4.4.4 非均匀磁场的磁约束 …… (283)
§ 4.5 磁场对载流导线的作用 …… (286)
4.5.1 安培力公式 …… (286)
4.5.2 均匀磁场对载流线圈的作用 …… (290)
4.5.3 “安培”的定义 …… (295)
附录 4-Ⅰ 毕奥-萨伐尔关于长直电流的磁场的实验 …… (296)
附录 4-Ⅱ 安培环路定理的证明 …… (296)
思考题 …… (302)
习题四 …… (304)
第五章 磁介质 …… (311)
§ 5.1 磁介质的磁化 …… (311)
5.1.1 物质的磁化及其微观机制 …… (311)
5.1.2 磁化强度 …… (314)
5.1.3 束缚电流(磁化电流) …… (314)
§ 5.2 有介质时的磁场 …… (319)
5.2.1 磁场强度 H 和 H 的环路定理 …… (320)
5.2.2 介质的磁化规律 …… (322)
5.2.3 磁场的边界条件 …… (328)
§ 5.3 铁磁质和铁磁性 …… (331)
5.3.1 铁磁质的磁化曲线 …… (331)
5.3.2 铁磁质的磁导率及分类 …… (334)
5.3.3 铁磁性的微观解释 …… (338)

§ 5.4 磁路 …… (340)
5.4.1 铁磁质与非铁磁质的边界 磁路 …… (340)
5.4.2 磁路的计算 …… (342)
5.4.3 磁屏蔽 …… (347)
*§ 5.5 磁荷观点 …… (347)
5.5.1 磁荷观点概述 …… (348)
5.5.2 分子电流观点与磁荷观点的对比与联系 …… (349)
5.5.3 磁荷观点的应用 …… (351)
附录 5-Ⅰ 铁磁质的磁滞损耗 …… (355)
附录 5-Ⅱ 超导体 …… (357)
思考题 …… (366)
习题五 …… (368)
第六章 电磁感应 …… (372)
§ 6.1 电磁感应 …… (372)
6.1.1 电磁感应现象 …… (372)
6.1.2 法拉第电磁感应定律 …… (375)
§ 6.2 电磁感应的应用 …… (383)
6.2.1 交流发电机的简化原理 …… (383)
6.2.2 涡电流 …… (386)
6.2.3 测量磁通 …… (390)
§ 6.3 动生电动势 …… (391)
6.3.1 动生电动势的量值、方向 …… (391)
6.3.2 动生电动势的本质 …… (392)
6.3.3 能量关系 …… (397)
6.3.4 关于洛伦兹力是否对运动电荷作功的问题 …… (398)
§ 6.4 感生电动势 …… (400)

6.4.1 感应电场(涡旋电场) …… (400)
6.4.2 电子感应加速器 …… (404)
§ 6.5 自感 …… (407)
6.5.1 自感现象 …… (407)
6.5.2 自感系数 …… (409)
6.5.3 计算举例 …… (410)
§ 6.6 互感 …… (414)
6.6.1 互感现象 …… (414)
6.6.2 互感系数 …… (414)
6.6.3 互感系数与自感系数的关系 …… (417)
§ 6.7 磁场的能量 …… (419)
6.7.1 自感磁能 磁能密度 …… (420)
6.7.2 互感磁能 …… (422)
§ 6.8 过渡过程 …… (426)
6.8.1 L-R 电路的过渡过程 …… (426)
6.8.2 C-R 电路的过渡过程 …… (429)
思考题 …… (432)
习题六 …… (435)
第七章 电磁场方程组 …… (445)
§ 7.1 位移电流 …… (446)
7.1.1 简单回顾 …… (446)
7.1.2 用到开口电路时的矛盾 …… (447)
7.1.3 位移电流 …… (448)
7.1.4 全电流 …… (453)
§ 7.2 麦克斯韦方程组 …… (456)
7.2.1 积分形式的麦克斯韦方程组 …… (456)
7.2.2 微分形式的麦克斯韦方程组 …… (459)
§ 7.3 电磁场的统一性 电磁场量的相对性 …… (461)

7.3.1 电磁场的统一性 …… (461)
7.3.2 电磁场量的相对性 不同惯性系中场量的变换式 …… (462)
*§ 7.4 电磁场的相对论变换 …… (469)
7.4.1 电量是相对论不变量 …… (469)
7.4.2 磁场是电场运动的相对论效应 …… (469)
7.4.3 电场是磁场的相对论效应 …… (474)
7.4.4 电磁场的相对论变换 …… (479)
思考题 …… (482)
习题七 …… (483)
附表1 SI中各导出电磁学量的定义方程式、量纲式及单位 …… (485)
附表2 有关数值表 …… (486)
习题答案 …… (487)

第一章　真空中的静电场

§ 1.1　电　　荷

1.1.1　两种电荷

公元前 6 世纪,人们就已发现,毛皮和琥珀互相摩擦后,两者便能吸引羽毛、草籽、头发等轻微物体.后来发现,这种性质并非毛皮和琥珀所独有,其它两种不同质料的物体(例如,丝绸和玻璃棒、丝绸和硬橡胶棒等等)互相摩擦后也都能吸引轻微物体.

物体有了吸引轻微物体的性质,人们便说物体带了电荷.带有电荷的物体称为带电体.使物体带电称为起电.用摩擦的方法使物体带电称为摩擦起电.除摩擦起电外,还有其它方法可以使物体带电.

实验发现,两根用丝绸摩擦过的玻璃棒互相排斥;两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒也互相排斥;然而丝绸摩擦过的玻璃棒和毛皮摩擦过的硬橡胶棒则互相吸引.这表明玻璃棒上带的电荷不同于硬橡胶棒上带的电荷.大量实验证明,任何带电体所带电荷(包括从雷电中引下来的电荷),或者与玻璃棒(用丝绸摩擦过的)上的电荷相同,或者与硬橡胶棒(用毛皮摩擦过的)上的电荷相同.这表明自然界中只存在两种电荷.而且,电荷之间的相互作用规律是:同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引.

为了区分两种电荷,美国物理学家夫兰克林(B. Franklin)把丝绸摩擦过的玻璃棒上所带电荷取名为正电荷,把毛皮摩擦过的硬橡胶棒上所带电荷取名为负电荷.

根据带电体之间的相互作用力,我们可以确定物体所带电荷

需要全本请访问 www.ertongbook.com