

高等学校教材

# 电磁学

赵凯华

陈熙谋

(第二版)



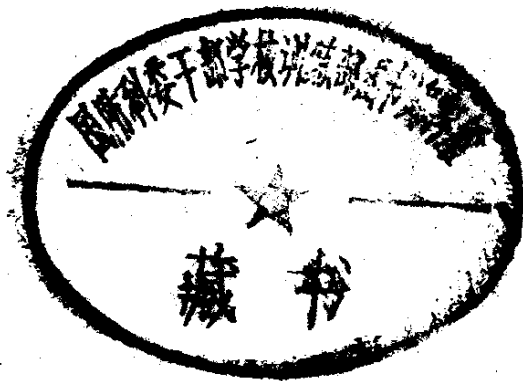
高等教育出版社

高等学数教材

# 电 磁 学

赵凯华 陈熙谋

GF117.05



高等教育出版社

本书第一版是由赵凯华、陈熙谋两同志在北京大学物理系使用的电磁学讲义的基础上，根据1977年10月全国高等学校理科物理教材会议所订的教材编写大纲改编而成的。1980年8月教育部颁发了综合大学物理学专业《普通物理学(电磁学)教学大纲(四年制)》，本书内容与该大纲的要求基本一致。第二版根据五年来使用情况和教学发展的实际作了适当的修改和补充。

本书系统地阐述了电磁现象的基本规律和基本概念，内容较丰富，并收集了较多的思考题和习题。全书内容包括：静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒电流、稳恒磁场、电磁感应和暂态过程、磁介质、交流电、麦克斯韦电磁理论和电磁波、电磁学的单位制。

本书可作为高等学校物理专业电磁学课程教材，也可供其它专业有关教师、学生参考。

高等学校教材

电 磁 学

赵凯华 陈熙谋

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

密云县河槽印刷厂印装

\*

开本850×1168 1/32 印张30.375 字数730,000

1985年6月第2版 1985年6月第1次印刷

印数00,001—28,000

书号13010·01051 定价6.70元

## 第二版序

1980年8月教育部颁发了经高等学校理科物理教材编审委员会审订的综合大学物理学专业《普通物理学(电磁学)教学大纲(四年制)》，本书第一版内容与该大纲的要求基本一致。第二版主要作了如下几方面的修改：(1)在近几年的教学实践中，再次比较了某些章节的不同讲法，我们认为有必要作适当的改动，改动的部分有安培环路定理的证明，磁化强度矢量与磁化电流关系的推导，位移电流的引入等。(2)增添了绪论、某些附录和小字部分的内容，如静电场边值问题的唯一性定理，安培实验和矢量分析中的一些推导和证明，不同参照系之间电磁场的变换等。它们或者提供了一些历史和背景知识，或者以读者可以接受的方式，论述了一些较深的理论问题。我们希望这对教学的深入能有所裨益。为了更突出本课程的基本要求和重点，把某些相对次要的内容改为小字。(4)改正了原书第一版中一些书写、印刷以及习题答案中的疏漏和错误。谨向几年来热情向我们指正的广大教师和读者致以衷心的感谢。

作者

1984年6月于北京大学

## 第 一 版 前 言

1958年以来作者之一在北京大学物理系讲授电磁学，曾多次编写讲义。本教材以历年来所用的讲义为基础，根据1977年10月在苏州召开的全国高等学校理科物理教材会议制订的教材编写大纲改编而成。

电磁学是理科物理类专业的一门重要基础课。编写本教材时，我们力求在广泛介绍电磁现象的基础上，着重于基本规律和基本概念的系统阐述，尽可能保证理论体系的完整。关于实际应用，我们不过多地去介绍具体的细节，而是试图对理论在实际中的应用有哪些方面、问题是以怎样的方式提出的、以及理论在各个领域中的适用条件等作些概括，以求读者对电磁理论的应用，从整体上有所了解，从而在工作中具备较广的适应性。以上是我们的一些想法。我们感到本教材尚不很成熟，在某些方面仅仅是一些初步的尝试，还有待于在教学实践的基础上进一步改进和提高。

本教材部分内容取材较为深广，介绍了一些现代物理的应用，以适应不同的专业要求，并有利于开阔学生的眼界。为了分清主次，突出基本内容，本书用大、小两种字体排印。大字部分自成体系，反映教学的基本要求；小字部分可作进一步学习的参考。

为了教学方便，书中附有若干附录，介绍一些与内容有关的数学工具。书中收集了一些思考题、习题，其中有的反映了现代物理内容。思考题和习题总的数量较大，可供教师、学生根据不同情况加以选择。

本教材很多地方吸取了我校任课教师的教学经验。章立源、钟锡华二同志过去参加过本课的讲义编写工作。这次在本教材的

改编过程中,郭敦仁同志修改了部分初稿;钟锡华同志详细地阅读了初稿,和我们多次进行了有益的讨论,提供了他在教学中的心得和体会。张之翔同志把多年来收编的习题集提供给我们选择。周岳明、史凤起、冯庆荣等同志帮助演算和核对了习题答案。今年2—3月在本教材的审稿会议上,北京师范大学(主审)、中国科学技术大学、南开大学、山东大学、吉林大学、河北大学、内蒙古大学、北京师范学院等八个兄弟院校的同志们提出了不少宝贵的修改意见。温承诚、艾铁友同志帮助绘制了一部分插图。作者谨此一并表示感谢。

本教材分上、下两册。上册的内容有静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒电流、稳恒磁场;下册的内容有电磁感应和暂态过程、磁介质、交流电、麦克斯韦电磁理论和电磁波、电磁单位制。

本教材内容涉猎较广,作者水平有限,加以脱稿仓促,错误和不妥之处在所难免。我们诚恳地希望广大教师和读者给以批评和指正。

赵凯华 陈熙谋

1978年3月于北京大学

# 目 录

绪论 .....	1
第一章 静电场 .....	15
§ 1 静电的基本现象和基本规律 .....	15
1.1 两种电荷 .....	15
1.2 静电感应 电荷守恒定律 .....	17
1.3 导体、绝缘体和半导体 .....	19
1.4 物质的电结构 .....	20
1.5 库仑定律 .....	22
思考题 .....	25
习题 .....	26
§ 2 电场 电场强度 .....	27
2.1 电场 .....	27
2.2 电场强度矢量 $E$ .....	28
2.3 电场强度叠加原理 .....	32
2.4 电荷的连续分布 .....	35
2.5 带电体在电场中受的力及其运动 .....	39
思考题 .....	42
习题 .....	42
§ 3 高斯定理 .....	45
3.1 电力线及其数密度 .....	45
3.2 电通量 .....	52
3.3 高斯定理的表述和证明 .....	54
3.4 从高斯定理看电力线的性质 .....	59

3.5 高斯定理应用举例	61
思考题	69
习题	70
§ 4 电位及其梯度	73
4.1 静电场力所做的功与路径无关	73
4.2 电位差与电位	76
4.3 电位叠加原理	82
4.4 等位面	85
4.5 电位的梯度	89
4.6 小结	93
思考题	94
习题	95
*§ 5 带电体系的静电能	101
*5.1 点电荷之间的相互作用能	101
*5.2 电荷连续分布情形的静电能	107
*5.3 电荷在外电场中的能量	109
*5.4 带电体系受力问题	110
思考题	111
习题	112
附录A 矢量乘积 立体角 曲线坐标系	112
A.1 矢量的乘积	112
A.2 立体角	116
A.3 柱坐标系和球坐标系	117
<b>第二章 静电场中的导体和电介质</b>	<b>127</b>
§ 1 静电场中的导体	127
1.1 导体的静电平衡条件	127
1.2 电荷分布	132



1.3	导体壳(腔内无带电体的情形)	136
1.4	导体壳(腔内有带电体的情形)	142
	思考题	146
	习题	150
§ 2	电容和电容器	153
2.1	孤立导体的电容	153
2.2	电容器及其电容	154
2.3	电容器的并联、串联	160
2.4	电容器储能(电能)	163
	思考题	166
	习题	168
§ 3	电介质	177
3.1	电介质的极化	177
3.2	极化的微观机制	179
3.3	极化强度矢量 $\mathbf{P}$	181
3.4	退极化场	185
3.5	电介质的极化规律 极化率	189
3.6	电位移矢量 $\mathbf{D}$ 与有介质时的高斯定理 介电常数	191
*3.7	电介质在电容器中的作用	196
*3.8	压电效应及其逆效应	197
3.9	小结	199
	思考题	200
	习题	201
§ 4	电场的能量和能量密度	209
	习题	213
附录 B	静电场边值问题的唯一性定理	213
B.1	问题的提出	214

B.2	几个引理	211
B.3	叠加原理	216
B.4	唯一性定理的证明	216
B.5	静电屏蔽	217
B.6	有电介质的情形	219
<b>第三章</b>	<b>稳恒电流</b>	<b>223</b>
§ 1	电流的稳恒条件和导电规律	223
1.1	电流强度 电流密度矢量	223
1.2	电流的连续方程 稳恒条件	226
1.3	欧姆定律 电阻 电阻率	228
1.4	电功率 焦耳定律	234
1.5	金属导电的经典微观解释	237
	思考题	242
	习题	243
§ 2	电源及其电动势	246
2.1	非静电力	246
2.2	电动势	247
2.3	电源的路端电压	248
2.4	闭合回路的电流强度和输出功率	251
*2.5	丹聂耳电池	253
2.6	稳恒电路中电荷和静电场的作用	256
	思考题	258
	习题	259
§ 3	简单电路	260
3.1	串联和并联电路	260
3.2	平衡电桥	268
3.3	电位差计	272

思考题	275
习题	280
§ 4 复杂电路	288
4.1 基尔霍夫方程组	290
*4.2 电压源与电流源 等效电源定理	296
*4.3 叠加定理	301
*4.4 Y- $\Delta$ 电路的等效代换	302
思考题	304
习题	305
§ 5 温差电现象	310
5.1 汤姆逊效应	311
5.2 珀耳帖效应	312
5.3 温差电效应及其应用	314
思考题	318
§ 6 电子发射与气体导电	318
6.1 脱出功和电子发射	318
*6.2 气体的被激导电	321
*6.3 气体的自持导电	322
*6.4 等离子体与受控热核实验	325
习题	327
<b>第四章 稳恒磁场</b>	<b>331</b>
§ 1 磁的基本现象和基本规律	331
1.1 磁的基本现象	331
1.2 磁场	335
1.3 安培定律	337
1.4 电流强度单位——安培的定义和绝对测量	344
1.5 磁感应强度矢量 $\mathbf{B}$	346

思考题.....	350
§ 2 载流回路的磁场 .....	352
2.1 毕奥-萨伐尔定律 .....	352
2.2 载流直导线的磁场 .....	353
2.3 载流圆线圈轴线上的磁场 .....	355
2.4 载流螺线管中的磁场 .....	361
思考题 .....	367
习题 .....	367
§ 3 磁场的“高斯定理”与安培环路定理 .....	372
3.1 磁场的“高斯定理” .....	373
3.2 安培环路定理的表述和证明 .....	377
3.3 安培环路定理应用举例 .....	380
思考题 .....	384
习题 .....	385
§ 4 磁场对载流导线的作用 .....	387
4.1 安培力 .....	387
4.2 平行无限长直导线间的相互作用 .....	387
4.3 矩形载流线圈在均匀磁场中所受的力矩 .....	389
4.4 载流线圈的磁矩 .....	390
4.5 直流电动机的基本原理 .....	392
4.6 电流计线圈所受的磁偏转力矩 .....	395
思考题 .....	397
习题 .....	397
§ 5 带电粒子在磁场中的运动 .....	405
5.1 洛伦兹力 .....	405
5.2 洛伦兹力与安培力的关系 .....	408
5.3 带电粒子在均匀磁场中的运动 .....	410

5.4	荷质比的测定	413
5.5	回旋加速器的基本原理	417
5.6	霍耳效应	419
*5.7	等离子体的磁约束	423
	思考题	425
	习题	427
*§ 6	不同参照系之间电磁场的变换	434
6.1	相对论力学的若干结论	434
6.2	电磁规律的协变性和电荷的不变性	439
6.3	电磁场的变换公式	442
6.4	运动点电荷的电场	443
6.5	运动点电荷的磁场	446
6.6	对特鲁顿-诺伯实验零结果的解释	450
	思考题	451
	习题	451
<b>第五章</b>	<b>电磁感应和暂态过程</b>	<b>455</b>
§ 1	电磁感应定律	455
1.1	电磁感应现象	456
1.2	法拉第定律	461
1.3	楞次定律	466
1.4	涡电流和电磁阻尼	468
1.5	趋肤效应	472
	思考题	474
	习题	476
§ 2	动生电动势和感生电动势	479
2.1	动生电动势	480
2.2	交流发电机原理	483

2.3 感生电动势 涡旋电场 .....	486
2.4 电子感应加速器 .....	488
思考题 .....	491
习题 .....	491
§ 3 互感和自感 .....	493
3.1 互感系数 .....	493
3.2 自感系数 .....	497
*3.3 两个线圈串联的自感系数 .....	502
3.4 自感磁能和互感磁能 .....	504
思考题 .....	507
习题 .....	508
§ 4 暂态过程 .....	511
4.1 $LR$ 电路的暂态过程 .....	511
4.2 $RC$ 电路的暂态过程 .....	515
*4.3 微分电路和积分电路 .....	517
4.4 $LCR$ 电路的暂态过程 .....	520
思考题 .....	523
习题 .....	524
§ 5 灵敏电流计和冲击电流计 .....	527
5.1 灵敏电流计 .....	527
*5.2 冲击电流计 .....	532
思考题 .....	541
附录C 二阶线性常系数微分方程 .....	542
第六章 磁介质 .....	549
§ 1 分子电流观点 .....	549
1.1 磁介质的磁化 磁化强度矢量 $M$ 及其与磁化电流的关 系 .....	549

1.2	磁介质内的磁感应强度 $B$ .....	555
1.3	磁场强度矢量 $H$ 与有磁介质时的安培环路定理和“高斯 定理” .....	577
	习题 .....	560
*§ 2	等效的磁荷观点 .....	561
*2.1	磁的库仑定律 磁场强度矢量 $H$ 磁偶极子 .....	561
*2.2	磁介质的磁化 磁极化强度矢量 $J$ 及其与磁荷的关系 .....	567
*2.3	退磁场与退磁因子 .....	569
*2.4	两种观点的等效性 .....	573
	思考题 .....	581
	习题 .....	581
§ 3	介质的磁化规律 .....	584
3.1	磁化率和磁导率 .....	584
3.2	顺磁质和抗磁质 .....	587
3.3	铁磁质的磁化规律 .....	592
3.4	磁滞损耗 .....	597
*3.5	铁磁质的分类 .....	599
*3.6	铁磁质的微观结构 .....	602
	习题 .....	605
§ 4	边界条件 磁路定理 .....	609
4.1	磁介质的边界条件 .....	609
4.2	磁感应线在边界面上的“折射” .....	612
4.3	磁路定理 .....	612
4.4	磁屏蔽 .....	620
	习题 .....	621
§ 5	磁场的能量和能量密度 .....	626
	习题 .....	631

第七章 交流电 .....	635
§ 1 交流电概述 .....	635
1.1 各种形式的交流电 .....	635
1.2 描述简谐交流电的特征量 .....	639
习题 .....	642
§ 2 交流电路中的元件 .....	642
2.1 概述 .....	642
2.2 交流电路中的电阻元件 .....	644
2.3 交流电路中的电容元件 .....	645
2.4 交流电路中的电感元件 .....	647
2.5 小结 .....	650
思考题 .....	652
习题 .....	652
§ 3 元件的串联和并联(矢量图解法) .....	653
3.1 用矢量图解法计算串、并联电路 .....	653
3.2 用矢量图解法计算同频简谐量的叠加 .....	654
3.3 串联电路 .....	657
3.4 并联电路 .....	660
*3.5 串、并联电路的应用(旁路、相移、滤波) .....	662
思考题 .....	667
习题 .....	669
§ 4 交流电路的复数解法 .....	674
4.1 用复数法计算同频简谐量的叠加 .....	674
4.2 复电压、复电流及复阻抗的概念 .....	675
4.3 串、并联电路的复数解法 .....	677
*4.4 复导纳 .....	681
4.5 交流电路的基尔霍夫方程组及其复数形式 .....	683



*4.6	等效电源定理和Y— $\Delta$ 阻抗代换公式的运用	687
*4.7	有互感的电路计算	692
	思考题	694
	习题	696
§ 5	交流电的功率	698
5.1	瞬时功率与平均功率 有效值和功率因数	698
5.2	有功电流与无功电流 提高功率因数的第一个作用	703
5.3	视在功率和无功功率 提高功率因数的第二个作用	705
5.4	有功电阻和电抗	707
*5.5	电导与电纳	710
5.6	品质因数(Q值)、损耗角( $\delta$ )和耗散因数( $\tan \delta$ )	712
	思考题	715
	习题	715
§ 6	谐振电路与Q值的意义	718
6.1	串联谐振现象 谐振频率和位相差	718
6.2	储能与耗能和Q值的第一种意义	722
6.3	频率的选择性和Q值的第二种意义	725
6.4	电压分配和Q值的第三种意义	728
*6.5	阻尼振荡和Q值的第四种意义	730
6.6	并联谐振电路	732
	思考题	734
	习题	735
§ 7	交流电桥	735
7.1	基本原理	736
*7.2	几种常用的交流电桥	738
	思考题	740
	习题	740