



高等师范专科学校教材

普通物理·电磁学

王正清 主编

高等教育出版社

全国高等师范专科学校教材

普通物理·电磁学

王正清 主编

汪昭义 王正清 编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是王正清教授主编的《普通物理学》的“电磁学”分册。它是根据国家教委师范司 1989 年颁布的二年制师范专科学校物理专业教学大纲的基本要求，为适应当前师范专科学校普通物理学教学及培训在职初中物理教师的需要而编写的。

本书共分九章，分别为：真空中的静电场、静电场中的导体、静电场中的电介质、恒定电流、稳恒电流的磁场、电磁感应和暂态过程、磁介质、交流电路、电磁场和电磁波。在编写过程中，作者力图简洁、明确，以较少的篇幅讲清电磁学的基础理论。另外还编写了一些阅读材料和小实验，以扩展知识面和提高动手能力。本书统一采用全国自然科学名词审阅委员会 1988 年公布的物理学名词并按照国家颁布的法定计量单位进行叙述和运算。

本书可作为师专物理专业的教材，也可供教育学院等其它院校有关师生及广大初中物理教师参考。

全国高等师范专科学校教材

普通物理·电磁学

王正清 主编

汪昭义 钟采池 王正清 编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 14.875 字数 380 000

1994 年 6 月第 1 版 1994 年 6 月第 1 次印刷

印数 0001—1 175

ISBN 7-04-004593-1/O · 1295

定价 6.85 元

前 言

本书是王正清主编《普通物理学》教材的第三分册——电磁学部分。它是根据国家教委师范司1989年颁布的师范专科学校物理专业教学大纲的基本要求，为适应当前师范专科学校普通物理教学改革和培训初中师资的需要而编写的。在编写过程中，我们努力做到从物理现象和实验事实出发，着力于基本概念和规律的阐述，力求简洁、明确，突出物理图象；选材精炼，组织周密，着重讨论场的观念，说明“场”和“路”的关系，力求以较少的篇幅，讲清电磁现象的基础理论。电磁学在日常生活、工农业生产和现代科技中有着极其广泛的应用，本书编写了较多的阅读材料，供读者参考，以扩展知识面，增强运用知识的能力。为便于学练结合，我们将练习题与思考题一并编在每节的后面，并尝试着编了一些小实验，引导读者自己动手，提高自制教具、学具的能力。本书统一采用1988年全国自然科学名词审阅委员会公布的新订物理学名词并按国际单位制符号进行叙述和运算。

本书共分九章。引言及第一、二、三章由汪昭义(徽州师专)执笔，第五、六、七、九章由钟采池(南昌师院)执笔，第四、八章由王正清(宜昌师专)执笔。在编写过程中，编者彼此间进行了多次讨论，反复推敲修改。

本书承镇江师专刘昌年同志、南京大学徐游同志、宜春师专李漠清同志、哈尔滨师专田恩瑞同志审阅，提出了许多宝贵的意见和建议。审稿会后，编者对全书又作了必要的修改。在编写过程中，高等教育出版社的同志给予了大力支持。在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平不高，经验不足，书中的缺点、错误在所难免，诚恳地希望得到批评指正。

编者

一九九二年八月

目 录

引言.....	1
第一章 真空中的静电场.....	6
1.1 电荷 电荷守恒定律	6
1.1.1 电荷	6
1.1.2 物质的电结构	8
1.1.3 电荷守恒定律	9
小实验 塑胶薄膜的带电.....	10
练习与思考	10
1.2 库仑定律	11
1.2.1 库仑扭秤实验	11
1.2.2 库仑定律的矢量表示式	12
1.2.3 静电力叠加原理	14
阅读材料 普利斯特列猜想和卡文迪许实验.....	16
练习与思考	18
1.3 电场强度	19
1.3.1 电场	19
1.3.2 电场强度	20
1.3.3 场强叠加原理	21
练习与思考	30
1.4 静电场的高斯定理	31
1.4.1 电场线	31
1.4.2 电通量	32
1.4.3 高斯定理	34
1.4.4 用高斯定理求场强	38
小实验 电场线的立体显示.....	43
练习与思考	45
1.5 静电场的环路定理	47

1.5.1	静电场力作的功	47
1.5.2	静电场的环路定理的导出	48
1.5.3	电势 电势差	49
1.5.4	电势的计算	51
	练习与思考	55
1.6	电势与场强的关系	56
1.6.1	等势面	56
1.6.2	场强与电势的微分关系	57
	阅读材料 静电喷漆	60
	练习与思考	62
第二章	静电场中的导体	64
2.1	静电平衡	64
2.1.1	静电感应现象	64
2.1.2	导体在静电平衡状态的性质	65
2.1.3	尖端放电	67
	阅读材料 从尖端避雷针到圆顶避雷器	74
	小实验 静电除尘装置	75
	小实验 法拉第冰桶实验	75
	练习与思考	76
2.2	空腔导体的静电性质	77
2.2.1	腔内无带电体时的空腔导体的性质	77
2.2.2	腔内有带电体时的空腔导体的性质	78
2.2.3	静电屏蔽	79
2.2.4	静电加速器	79
	练习与思考	82
2.3	电容和电容器	84
2.3.1	孤立导体的电容	85
2.3.2	电容器及其电容	86
2.3.3	电容器的联接	89
	阅读材料 大气电场和利用它刺激农作物生长	94
	练习与思考	95
第三章	静电场中的电介质	99
3.1	电介质的极化	99

3.1.1	电介质及其分类	99
3.1.2	电介质的极化机理	101
3.1.3	极化强度矢量	102
	练习与思考	103
3.2	极化电荷密度与极化强度的关系	104
3.2.1	极化电荷面密度与极化强度	104
3.2.2	极化电荷体密度与极化强度	106
	阅读材料 静电分离机	109
	练习与思考	110
3.3	有电介质时的静电场	111
3.3.1	电介质中的电场	111
3.3.2	有电介质时的高斯定理	113
3.3.3	P, D, E 三矢量的关系式	116
	练习与思考	118
3.4	静电场的能量	120
3.4.1	带电体系的静电能	120
3.4.2	电容器的静电能	122
3.4.3	电场的能量	123
	阅读材料 静电复印	128
	小实验 压电陶瓷点火器	131
	练习与思考	133
第四章	恒定电流	135
4.1	电流	135
4.1.1	电流强度和电流密度	135
4.1.2	电流恒定的条件	138
	练习与思考	140
4.2	欧姆定律及其微分形式	141
4.2.1	欧姆定律 电阻	141
4.2.2	电阻率 电阻率温度系数	143
4.2.3	欧姆定律的微分形式	146
	练习与思考	149
4.3	金属导电的经典理论	150
4.3.1	金属导电的微观机理	150

4.3.2 欧姆定律的微观解释	151
练习与思考	154
4.4 焦耳定律	154
4.4.1 电流的功和功率	154
4.4.2 焦耳定律	156
4.4.3 焦耳定律的微分形式	157
阅读材料 怎样选择家用电度表?	158
练习与思考	160
4.5 电源及其电动势	160
4.5.1 电源中的非静电力	161
4.5.2 电源的电动势	164
练习与思考	165
4.6 含源电路的欧姆定律	166
4.6.1 全电路的欧姆定律	166
4.6.2 一段含源电路的欧姆定律	169
练习与思考	173
4.7 电阻的联接和测量	174
4.7.1 电阻的串联和并联	175
4.7.2 电阻的测量	178
练习与思考	180
4.8 基尔霍夫定律	182
4.8.1 基尔霍夫第一定律——节点电流方程	183
4.8.2 基尔霍夫第二定律——回路电压方程	183
4.8.3 基尔霍夫定律的应用	185
练习与思考	187
4.9 接触电势差和温差电现象	189
4.9.1 接触电势差	189
4.9.2 温差电现象及其应用	191
练习与思考	196
4.10 液体导电和气体导电	197
4.10.1 电解质导电	197
4.10.2 气体导电	200
阅读材料 漫话电池	204

小实验 西红柿电池	206
练习与思考	207
第五章 稳恒电流的磁场	209
5.1 磁场 磁感应强度	209
5.1.1 磁现象	209
5.1.2 磁的相互作用 磁场	212
5.1.3 磁感应强度	215
5.1.4 磁感应线	218
阅读材料 生命世界里的磁	220
小实验 磁感应线的显示	222
练习与思考	223
5.2 毕奥-萨伐尔定律	224
5.2.1 毕奥-萨伐尔定律	224
5.2.2 几种载流导线的磁场	226
小实验 旋转电荷的磁场	231
练习与思考	232
5.3 磁场的“高斯定理”	233
5.3.1 磁感应通量	233
5.3.2 磁场的“高斯定理”	235
练习与思考	236
5.4 安培环路定理	237
5.4.1 安培环路定理	237
5.4.2 安培环路定理应用举例	239
5.4.3 磁场基本定理的重要性	244
练习与思考	244
5.5 磁场对载流导线的作用	246
5.5.1 安培力公式	246
5.5.2 平行长直流电流间的相互作用	248
5.5.3 均匀磁场对载流平面线圈的作用	249
阅读材料 新颖的磁力传动	256
练习与思考	257
5.6 磁场对带电粒子的作用	258
5.6.1 带电粒子在横向磁场作用下的偏转	259

5.6.2	带电粒子在均匀磁场中的圆周运动	261
*5.6.3	带电粒子在磁场中的螺旋线运动	262
5.6.4	科学技术中应用举例	263
	阅读材料 电场与磁场的相互转化	269
	小实验 锯末在洛仑兹力作用下的转动	271
	练习与思考	271
第六章	电磁感应和暂态过程	274
6.1	电磁感应现象及其规律	274
6.1.1	电磁感应现象	274
6.1.2	楞次定律	277
6.1.3	法拉第电磁感应定律	278
	阅读材料 无磁电气设备发展前景	282
	练习与思考	283
6.2	动生电动势	285
6.2.1	动生电动势与洛仑兹力	285
6.2.2	动生电动势的计算	288
6.2.3	交流发电机原理	291
	阅读材料 新发电技术	294
	练习与思考	295
6.3	感生电动势	298
6.3.1	感生电动势与涡旋电场	298
6.3.2	感生电动势的计算	300
6.3.3	电子感应加速器原理	304
	练习与思考	306
6.4	涡电流	307
6.4.1	涡电流的热效应与感应加热	308
6.4.2	涡电流的机械效应与电磁阻尼	310
6.4.3	趋肤效应及其应用	311
	练习与思考	313
6.5	自感和互感	314
6.5.1	自感现象与自感系数	314
6.5.2	互感现象与互感系数	317
6.5.3	互感线圈的串联和并联	319

6.5.4 自感与互感现象的应用	322
小实验 辨认互感线圈的同名端	323
练习与思考	324
6.6 磁能	325
6.6.1 自感线圈的磁能	325
6.6.2 互感线圈的磁能	326
阅读材料 怎样贮能	328
小实验 自感线圈的磁能	330
练习与思考	330
6.7 暂态过程	331
6.7.1 RL 电路的暂态过程	331
6.7.2 RC 电路的暂态过程	336
练习与思考	339
第七章 磁介质	341
7.1 磁介质的磁化	341
7.1.1 磁化强度	341
7.1.2 磁化电流	344
练习与思考	346
7.2 有磁介质时的静磁场方程	347
7.2.1 有磁介质时的安培环路定理	347
7.2.2 磁感应强度与磁场强度	348
7.2.3 磁介质的分类	350
7.2.4 有磁介质时的磁场“高斯定理”	350
练习与思考	352
7.3 顺磁性和抗磁性	352
7.3.1 顺磁性和顺磁质	352
7.3.2 抗磁性与抗磁质	353
练习与思考	355
7.4 铁磁性与铁磁质	356
7.4.1 铁磁质的磁化性能	356
7.4.2 铁磁材料的分类和应用	360
7.4.3 磁畴	362
阅读材料 电饭煲和铁磁性	364

小实验 给蹄形磁铁充磁.....	366
练习与思考.....	366
7.5 磁路	367
7.5.1 磁路定理	367
7.5.2 磁路的串联和并联	369
7.5.3 铁磁屏蔽	372
阅读材料 零磁空间实验室.....	373
练习与思考.....	375
7.6 磁场的能量	376
阅读材料 家用电器与节能.....	379
练习与思考.....	381
第八章 交流电路.....	382
8.1 交流电的基本概念	383
8.1.1 简谐交流电	383
8.1.2 描述简谐交流电的特征量	384
练习与思考.....	388
8.2 三种理想的交流电路	388
8.2.1 纯电阻电路	389
8.2.2 纯电容电路	389
8.2.3 纯电感电路	393
练习与思考.....	395
8.3 交流电路的矢量图解法	396
8.3.1 矢量图解法	396
8.3.2 串联电路	398
8.3.3 RC 并联电路.....	402
阅读材料 直流输电.....	404
小实验 观察交流电的变化.....	406
练习与思考.....	406
第九章 电磁场和电磁波.....	408
9.1 麦克斯韦电磁理论	408
9.1.1 场的基本规律的回顾	408
9.1.2 位移电流	410

9.1.3 麦克斯韦方程组	414
阅读材料 麦克斯韦方程的重要意义	416
小实验 位移电流产生磁场	418
练习与思考	419
9.2 电磁波	419
9.2.1 真空中的平面电磁波	419
9.2.2 电磁波的性质	424
9.2.3 坡印亭矢量	426
练习与思考	429
9.3 电磁波的辐射	430
9.3.1 振荡电路	430
9.3.2 电偶极辐射	436
9.3.3 赫兹实验	439
9.3.4 电磁波谱	440
练习与思考	442
9.4 调幅与调频广播	443
练习与思考	446
9.5 电磁场的物质性	446
9.5.1 光的电磁理论	446
9.5.2 电磁场的物质性	448
习题答案	451

引 言

1. 电磁学发展简史和研究对象

电磁学是物理学基础理论知识中很重要的一部分，也是一门与实际联系得很紧密的应用学科。

对静电现象和永磁体的记载，可追溯到古代。早在公元前 4 世纪的战国时期，《管子》一书就有“上有慈石者，下有铜金”的描述，是我们已发现古籍中关于磁性矿物的最早记载，这与西方最早发现磁石吸铁现象的时间大致相当。公元前 3 世纪的《吕氏春秋》中记有“慈石召铁，或引之也。”从中可以看到汉代以前把磁石写成“慈石”，意即“慈爱之石”乃“铁之母也，故能引其子。”公元 20 年前后的西汉末年《春秋纬》书中载有“玳瑁吸褚”一语，指经摩擦的玳瑁（一种跟龟相似的海生爬行动物的甲壳，光滑、美观，属绝缘体）能够吸引微小物体——“褚”。东汉王充在《论衡》中进一步阐述：“顿牟掇芥，磁石引针”。在此“顿牟”即玳瑁，他把静电与静磁并列，想象为各具相同的“气”性所感动。当然，这仅是对个别具体现象的朦胧解释，远未上升到理性认识。古希腊的泰勒斯在公元前 6 世纪对摩擦过的琥珀可以吸引小纸片的记载，基本上也只停留在现象的定性描述和直觉的认识上。

对电磁学进行系统的研究始于 18 世纪，适逢社会生产发展从工场手工业过渡到机器工业时期。与物理学的其他学科一样，电磁学也是从实验事实出发，抽象出概念和基本规律，再经逻辑推导出基本定理，形成系统的理论，然后用以解释物理现象和解决实际问题。对动物机体上生物电现象的观察，即伽伐尼实验促成了 1800 年伏打电池的发明，有了稳定电流源，开辟了由静电到动电研究的新领域。1820 年，奥斯特（H. C. Oersted）发现电流的磁

效应,揭示了电和磁之间的联系;继而,为找出奥斯特效应的反效应,1831年法拉第(M. Faraday)发现了电磁感应现象,并于1851年提出力线的概念,给电磁场描绘出一幅形象的图景;1865年麦克斯韦(J. C. Maxwell)以数学形式概括出电磁场的基本规律即麦克斯韦电磁方程组,系统总结了前人的工作而建立起统一的电磁理论。随后,电磁原理的研究和应用,在认识和改造世界的进程中展现出巨大的活力和广阔的前景:从发电、输电的能量转换与传递,到电力、照明和无线电通讯等方面的应用,把人类社会推进到电气时代,进而迎来了新技术革命。

电磁学以电和磁及其相互作用为研究对象。作为自然界四种基本相互作用之一的电磁力,遍及宇宙中的一切物体。从巨大的恒星天体,到地球上的山水、草木虫鱼和人类机体,其结构都与电磁相互作用有关。从现代科学和生产技术发展,到人们的日常生活各个领域之中,电磁理论的应用已经是硕果累累,而绚丽之花仍在盛开,灿烂耀眼。这在科技领域主要表现为电磁应用方面的一批新成果,诸如静电复印、大气电场在农业中的利用,电磁灶、微波加热、电致冷等,涉及的范围非常广泛。

2. 电磁学教材的理论体系

电磁学也是一个令人神往的课题,这主要是由于其全部内容可以仅仅归结为麦克斯韦电磁方程组再加上洛伦兹(H. A. Lorentz)力公式,使得整个理论系统十分精致。同时,电磁学是物理学基础部分内容中最成熟的一个分支,它的结构严密、体系稳定,与其他学科的关系密切,可看作一个典型,对掌握物理思维和钻研学业都大有好处。因此,本教材在保留传统电磁学教材的基本内容和体系的前提下,着力于基本概念和规律的阐述,选材精炼,对教学中的难点和重点知识,都作了简洁明快的分析和讨论,尽量精心安排教材系统,组织周密,以便学生掌握电磁学基础知识各部分之间的内在联系。特别强调观察现象和进行物理实验在建

立理论中的作用,以利于学生从感性认识进入理性思维阶段。

电磁学着重讨论电磁场及与场有关的电路问题。场作为自然界中物质存在的一种形式,与实物不同,是在空间连续分布的,并随时间不断变化着。所以,描述场的性质的物理量,以及电磁学讨论的物理规律,采用的研究方法就具有与力学明显不同的特点。相应地,电磁学中运用的数学工具也大为提高。引导学生逐步学会正确的思维方法,恰当地应用高等数学,使“物”与“理”紧密结合、相互渗透:一方面强调观察和实验,由“物”及“理”、就“物”想“理”,以形成清晰的物理图象;另一方面运用数学手段概括和表述物理内容,喻“理”于“物”,并进而解决实际问题。为此,我们从静电场的基本概念和规律讲起,先分析实验现象,总结出经验性的实验定律,引入电场强度矢量和电势标量的概念,导出静电场高斯(K. F. Gauss)定理和环流定理,继而研究电场与导体以及电介质的相互作用,推广为有电介质时的高斯定理。进而提出稳定电流场的环流定理和高斯定理,由此得到直流电路基尔霍夫(G. R. Kirchhoff)第一、第二定律,使场和路有机地联系起来。相应地,从稳定磁场及其与磁介质的相互作用可得到磁感应强度矢量的概念和安培(A. M. Ampere)环路定理与磁场高斯定理。只不过“磁单极”的存在迄今未证实,静磁场问题的结论与静电场的就不尽相同。基于两种单独的静态场研究更进一步深入,发现了电磁感应现象及其规律,表明电场与磁场之间实际上有着极其深刻的相关性。对于随时间变化的电场和磁场来说,在不同的相对运动着的惯性参考系中观察同一电磁感应现象,将会得到不同的解释。事实上,电磁学就孕育着纯朴的相对论形式,虽在早期未被发现,但在麦克斯韦电磁理论中就蕴含了相对论的科学思想。麦克斯韦方程组被认为与经典力学的伽利略(G. Galileo)变换是不相容的,所以在爱因斯坦(A. Einstein)关于相对论的头一篇论文中,第一句话就谈到这件事。从相对运动的角度,从坐标变换时电场和磁场的变换结果来看,已经知道电场与磁场都只是相对的概念:如

果在某一惯性参考系中观察到仅有磁场或电场，则在另一相对运动的惯性参考系中却观察到既有磁场或电场，又有感生电场或感生磁场。这说明电场和磁场乃是统一电磁场的分量，在不同的惯性参考系中分别表现出两个方面不同的性质。在普通物理教学中不必讨论电磁场的相对性。本教材仅在阅读材料中对此作初步介绍，以适当拓宽学生的知识面，满足不同程度读者的需求。

3. 学习电磁学的方法

学习电磁学，不仅为后续专业课诸如电工学、电子线路及电子学乃至电子计算机等课程打下基础，而且也为学生理论思维和科学研究方法打下基础。初学者往往感到电磁学不容易学习，因为电磁场是由于电荷或电流的作用使空间产生了某种变化，这与力学中物体的机械运动不同，是用眼看不见、用手摸不着的。在人们日常生活里虽然经常遇到电磁现象，并且日益增添各种家用电器设备，但是，即使受到静电摩擦和漏电电击的袭扰，大概仍得不出其周围存在电磁场的实际感受。

那么，怎样才能学习好电磁学呢？一方面要尽量从实际观察和感受中经常获取感性认识，初步形成电磁场的真实性印象；另一方面，要力求从具体情况去探索电磁场各种性质的同时，逐步细心地概括和推导出电磁场的概念和规律。只有尽快地适应以上两方面的特点和要求，才能在学习电磁学时争取主动。其次，对电磁学实验应当着重让学生掌握基本电学量的测量方法和仪器的使用，能较熟练地联接线路，学会检查与排除故障，并继续进行测量数据及其误差处理的训练，以进一步培养和提高其实验能力；同时，在此基础上可以因地制宜安排一些电磁学小实验，让学生自行设计并动手动脑去完成，以激发其学习电磁学的兴趣和启动其开展物理科学研究的思维积极性。再次，对电磁学中两类物理量的方向性及其代数值的正负号，必须充分注意。如电场强度、磁感应强度等矢量的方向性，与电流、电动势、磁通量等标量的方向是截然不