



曼彻斯特物理学丛书

电 磁 学

[英] I.S.Grant W.R.Phillips 著

刘岐元 王鸣阳 译

人民教育出版社

13.341/63

0399008

电 磁 学

[英] I. S. Grant W. R. Phillips 著
刘岐元 王鸣阳 译



21113000872709



人民教育出版社

出版前言

本书根据英国 John Wiley & Sons Ltd. 出版的 I. S. Grant, W. R. Phillips 著《电磁学》(Electromagnetism) 一书 1976 年版译出。

《电磁学》为英国《曼彻斯特物理学丛书》(The Manchester Physics Series) 中的一卷。这套丛书由曼彻斯特大学理学院物理系 F. Mandl, R. J. Ellison, D. J. Sandiford 主编, 其余各卷为:《物质的性质》、《光学》、《统计物理学》、《固体物理学》、《原子物理学》、《电子学》。我社陆续出版这套丛书的各卷, 以飨读者。

《电磁学》内容为: 静电力和静电能、电介质、静电场的计算、稳恒电流和磁场、磁介质、电磁感应和磁能、交流电和瞬态过程、线性电路、传输线、麦克斯韦方程组、电磁波、波导管、电磁波的产生、电磁学和狭义相对论。

本书可作为我国高等学校物理系电磁学课程的教学参考书, 也可供有关人员参考。

电 磁 学

[英] I. S. Grant W. R. Phillips 著

刘岐元 王鸣阳 译

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

沈阳新华印刷厂印装

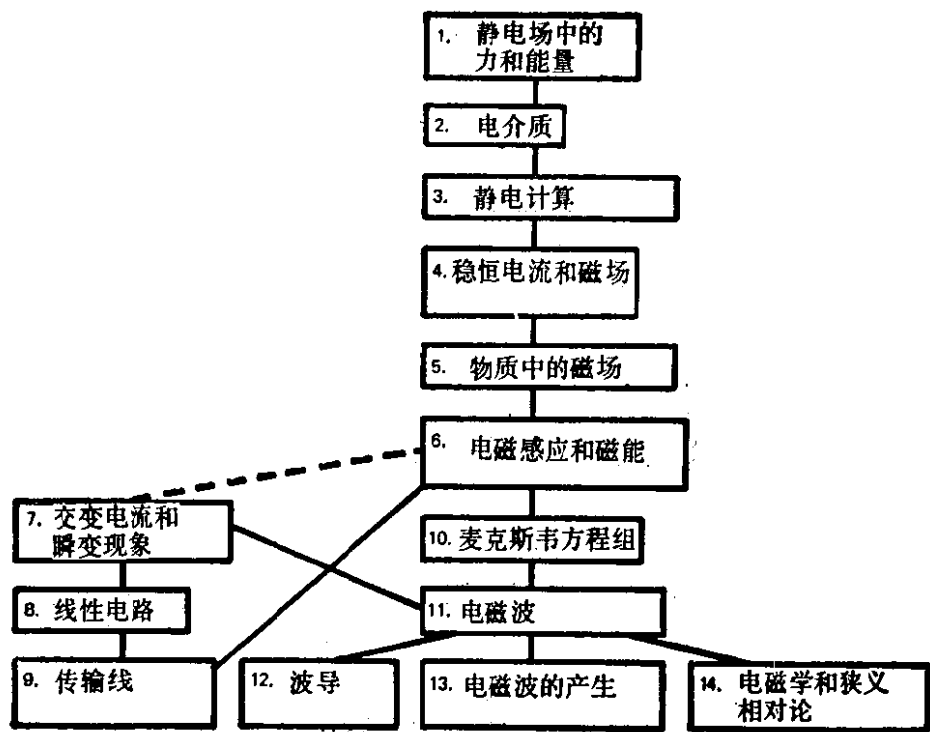
开本 850×1168 1/32 印张 18.625 字数 430,000

1982年4月第1版 1983年4月 第1次印刷

印数00,001—14,300

书号 13012·0755 定价 2.40 元

教学流程图



由此流程图可以看出本书各章之间的逻辑关系。本书中任何一章的内容,只要以实线相连的上面各章已经学过,便不难学懂。关于交流理论的第七和第八两章,如果跳过以前各章,只要学过基尔霍夫定则,也是可以学懂的。不过,严格说来,基尔霍夫定则需要知道前面的内容才能搞懂,所以在此流程图中第六和第七两章之间连接有一根虚线。

曼彻斯特物理学丛书主编前言

在制订大学物理学各门课程的大纲时，曼彻斯特大学物理系同人深感难以找到合适的教科书推荐给学生。其他大学的许多教师显然也有同感。大部分教科书的内容过多，学生没有时间加以消化；而且，按照这些书的编排方式，也极少有可能从中选取一些章节，藉以定出一个自成体系、比重恰当的大纲。正是在这种情况下，产生了编写这套曼彻斯特物理学丛书的想法。

曼彻斯特物理学丛书各卷的材料比我们讲课时的内容大约增添了50%。为此，我们对丛书所应包括的课题作了精选。重点放在基础物理学方面，也包含一些深有启发、饶有兴味和富有价值的应用。考虑到各大学对具体课题的处理相差甚远，我们在组织材料时力求便于教师根据不同的分量、难度和不同的应用重点加以选择。为了这一目的，我们鼓励丛书各卷的作者使用教学流程图来表明各章之间的逻辑联系，并把某些节、段的课题打上星号。这些部分涉及较高深的内容，可供选读而不影响对各卷后继部分的理解。

因为计划把曼彻斯特物理学丛书作为一套体系完整的教材，所以丛书对所阐述的物理学各部分作了通盘安排。各卷深浅程度有所不同：《物质的性质》适用于第一学年，《固体物理学》适用于第三学年。其余各卷介乎于其间，使用时可以有相当大的灵活性。《电磁学》、《光学》、《电子学》和《原子物理学》都是从一年级水平开始，逐步进展为适合二、三年级的课程。《统计物理学》则适用于第二、三学年。丛书各卷的编撰均自成体系，可以单独使用。

这套丛书虽是为英国大学生编写的，同样也适合美国大学一

级以上的课程。在各卷的作者序言中,对于所要求的预备知识,都作了详细说明。

编纂这样一套丛书,必须对采用的单位制作出原则规定。经过尽可能广泛的协商,我们和作者及出版者共同决定,采用国际理论物理和应用物理协会多次建议和详尽解释的国际单位制(SI)。电学和磁学量都用国际单位制表出(其他单位制在电磁学卷中都有说明)。但是,我们并不认为诸如电子伏特这样的物理单位是不合法的。我们也不拘泥于某些细节,如 10 的因子(用 0.012 千克是否就比 12 克好?)、缩写符号(尽管秒的缩写 s 和 sec 对于电子计算机来说并不等同,对于科学家来说却毫无区别)以及诸如此类的琐碎事项等等。

这套丛书的初稿曾在曼彻斯特大学试用过,并在其它大学的教师中广为流传,因而已经听到许多反应。我们非常感谢曼彻斯特和其他大学的广大师生,他们的批评、建议和有益的讨论有助于这套丛书的最后定稿,使它的撰述增色不少。我们要特别感谢各卷的作者,感谢他们的辛勤工作,感谢他们贡献了许多新概念,感谢他们耐心的讨论和经常接受我们的许多建议和要求。我们也向出版者 John Wiley and sons 公司表示感谢,他们在各方面给予我们很大帮助,包括提供初稿的资金。

F. Mandl

R. J. Ellison

D. J. Sandford

于曼彻斯特大学理学院物理系

作者前言

本书是根据作者在曼彻斯特大学讲授经典电磁学课程的讲稿整理而成的。其难易程度适合于英国大学攻读物理学位的学生或者美国大学物理专业的学生。假定读者学过大学预科或高中的物理学和微积分课程，并具备一些矢量的基本知识。电磁学常常是学生在物理学中最先真正要运用到矢量运算的一个分支。在还不习惯的时候，矢量会是一个难点，所以我们从一开始就非常认真对待。每当各种微分矢量算符初次出现时，我们都扼要说明它们的性质。这些说明并不是要取代合适的数学课本，而只是想提醒读者注意 div , grad 和 curl 所有这些符号的含义是什么，并把它们引入作为电磁学的一部分内容。本书前几章就充分地讨论了宏观电场与磁场和微观电场与磁场之间的区别。根据我们的经验，学生们往往会对电场 $\mathbf{E}$ 和 $\mathbf{D}$ 或者磁场 $\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{H}$ 产生混淆。我们认为，用微观电荷分布或者圆电流对这些场的起源作出恰当的说明，是帮助他们克服这种困难的最好办法。

书中各章的逻辑结构示于封二的教学流程图中。只要读者承认基尔霍夫法则和给出元件两端之间电动势的表达式，暂且不去管它们所依据的那些定律，那么，在学习第七和第八两章的交流电理论时就不需要有以前各章的任何预备知识。因此，也可以把第七和第八两章放在有关电磁学课程的开头去讲。书中一些加有星号的节，初次阅读时可以略去，其中并未包括为理解以后各章所必需的材料。

在编写本书的过程中，许多同事和学生提出了许多有益的建议和批评，在此，我们谨向他们表示感谢。书中留下的任何错误由

我们自己负责。另外，金(M. King)夫人和里奇(E. Rich)小姐迅速而准确地为我们打印了手稿，在此一并致谢。

L. S. 格兰特

W. R. 菲利普斯

1975 年 5 月于英国 曼彻斯特

目 录

教学流程图

曼彻斯特物理学丛书主编前言	1
作者前言	3
第一章 静电力和静电能	1
§ 1.1 电荷	2
§ 1.2 电场	7
§ 1.3 物质中的电场	10
1.3.1 原子电荷密度	10
1.3.2 原子电场	11
1.3.3 宏观电场	13
§ 1.4 高斯定理	17
1.4.1 矢量场通量	17
1.4.2 穿出闭合面的电场通量	20
1.4.3 高斯定律的微分形式	25
§ 1.5 静电能	28
1.5.1 静电势	29
1.5.2 电场和电势梯度	31
1.5.3 偶极子电势	35
1.5.4 与原子电场有关的能量变化	38
1.5.5 电容器	41
* 1.5.6 多个带电导体所贮存的能量	46
习题1	48
第二章 电介质	51
§ 2.1 极化	51
§ 2.2 相对介电常数和电极化率	57
2.2.1 局部电场	61
2.2.2 有极分子	63

* 带星号的节可以略去, 因为它们对理解本书的以后部分并不是必不可少的。

2.2.3 无极液体	70
§ 2.3 电介质中的宏观电场	74
2.3.1 极化电荷的体密度	75
2.3.2 电位移矢量	76
2.3.3 $\mathbf{D}$ 和 $\mathbf{E}$ 的边界条件	79
§ 2.4 电介质的能量	83
* 2.4.1 对于能量的进一步说明	84
习题 2	86
第三章 静电场的计算	88
§ 3.1 引言	88
§ 3.2 具有简单对称性的电场	88
§ 3.3 泊松方程	89
3.3.1 唯一性定理	92
3.3.2 静电屏蔽	94
§ 3.4 不同区域之间的界面	95
* § 3.5 静电镜像	97
* § 3.6 有电介质时的电势分布	101
* § 3.7 静电透镜	104
* § 3.8 逐次近似法	109
* § 3.9 二维电势问题	113
静电学小结	118
习题 3	120
第四章 稳恒电流和磁场	123
§ 4.1 电动势和传导	123
4.1.1 电流和电阻	123
* 4.1.2 电阻计算	128
§ 4.2 磁场	131
4.2.1 洛伦兹力	131
4.2.2 磁场线	135
§ 4.3 磁偶极子	139
4.3.1 外磁场中的电流圈	140
4.3.2 磁偶极子的场	143
§ 4.4 安培定律	144

4.4.1	大电流圈的磁场	145
4.4.2	磁场计算举例	150
§ 4.5	安培定律的微分形式	155
4.5.1	算符 curl 和矢量 $\text{curl} \mathbf{B}$	155
4.5.2	磁矢势	159
4.5.3	毕奥-萨伐尔定律	161
§ 4.6	作用在线圈上的力和力偶	165
4.6.1	磁通量	167
* 4.6.2	两个线圈之间的作用力	170
§ 4.7	带电粒子在电场和磁场中的运动	173
4.7.1	一个带电粒子在均匀磁场中的运动	173
* 4.7.2	磁四极透镜	176
习题 4		180
第五章	磁介质	182
§ 5.1	磁化强度	182
5.1.1	逆磁性	185
5.1.2	顺磁性	189
5.1.3	铁磁性	191
§ 5.2	介质内的宏观磁场	192
5.2.1	与一个磁化物体等效的电流	195
5.2.2	磁化率和原子结构	203
§ 5.3	磁场强度矢量 $\mathbf{H}$	205
5.3.1	关于磁场强度 $\mathbf{H}$ 的安培定律	206
5.3.2	场 $\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{H}$ 所遵从的边界条件	211
§ 5.4	磁体	214
5.4.1	电磁铁	215
* 5.4.2	永磁体	224
静磁学小结		228
习题 5		230
第六章	电磁感应和磁能	232
§ 6.1	电磁感应	232
6.1.1	电动势	232
6.1.2	动生电动势	233

6.1.3 法拉第定律	238
6.1.4 电磁感应现象例举	241
6.1.5 法拉第定律的微分形式	248
§ 6.2 自感和互感	250
6.2.1 自感	250
6.2.2 互感	252
§ 6.3 磁能	255
6.3.1 磁场中的能量和力	255
6.3.2 磁滞	265
6.3.3 磁化率的测定	268
§ 6.4 磁场的测定	271
6.4.1 探测线圈	271
6.4.2 其他方法	273
习题 6	275
第七章 交流电和瞬态过程	278
§ 7.1 交流发电机	278
§ 7.2 振幅、相位和周期	281
§ 7.3 交流电路中的电阻、电容和电感	283
§ 7.4 相量图和复阻抗	286
§ 7.5 交流电路中的功率	291
§ 7.6 谐振	294
§ 7.7 瞬态过程	301
习题 7	308
第八章 线性电路	310
§ 8.1 网络	310
8.1.1 基尔霍夫定则	310
8.1.2 交流网络	315
§ 8.2 声频电桥	318
* 8.2.1 变压器比率臂电桥	320
§ 8.3 阻抗和导纳	323
§ 8.4 滤波器和延迟线	329
§ 8.5 变压器	337
8.5.1 理想变压器	338

8.5.2 变压器的应用	342
* 8.5.3 实际变压器	344
习题 8	350
第九章 传输线	355
§ 9.1 信号在无损耗传输线中的传播	357
§ 9.2 几种实用传输线	362
9.2.1 平行导线传输线	362
9.2.2 同轴电缆	364
9.2.3 平行条状传输线	366
§ 9.3 反射现象	368
* § 9.4 失配传输线的输入阻抗	371
* § 9.5 有损传输线	376
习题 9	380
第十章 麦克斯韦方程组	382
§ 10.1 连续性方程	382
§ 10.2 位移电流	384
§ 10.3 麦克斯韦方程组	390
§ 10.4 电磁辐射	394
* § 10.5 微观场方程	396
习题 10	398
第十一章 电磁波	400
§ 11.1 自由空间中的电磁波	401
§ 11.2 平面波和偏振	404
11.2.1 自由空间中的平面波	409
11.2.2 各向同性绝缘介质中的平面波	412
§ 11.3 电磁波中的能量	416
§ 11.4 平面波被导体吸收以及趋肤效应	422
§ 11.5 电磁波的反射和透射	428
11.5.1 电场和磁场的边界条件	428
11.5.2 在电介质界面上的反射	432
11.5.3 在金属界面上的反射	436
* 11.5.4 反射所引起的偏振	438

* § 11.6 电磁波和光子	441
习题 11	443
第十二章 波导管	446
§ 12.1 电磁波在两平行导体板之间的传播	447
§ 12.2 矩形波导管	455
§ 12.3 谐振腔	465
习题 12	470
第十三章 电磁波的产生	472
§ 13.1 推迟势	473
§ 13.2 赫兹偶极振子	477
§ 13.3 天线	484
习题 13	491
第十四章 电磁学和狭义相对论	493
§ 14.1 引言	493
§ 14.2 洛伦兹变换	495
§ 14.3 不同观测者看到的电荷和电磁场	497
§ 14.4 四矢量	502
§ 14.5 四矢量形式的麦克斯韦方程组	506
§ 14.6 电磁场的变换	510
§ 14.7 磁性是一种相对论性现象	516
§ 14.8 从相对论性观点来看推迟势	521
习题 14	524
附录 A 单位	525
A.1 电学单位和标准	525
A.1.1 安培的定义	525
A.1.2 电学标准的定标	527
A.2 高斯单位	532
A.3 国际单位和高斯单位的换算	535
附录 B 矢量	537
B.1 场与微分算符	537
B.2 恒等式	543

附录C 毕奥-萨伐尔定律的推导·····	546
习题解答·····	548
物理常数和转换因子·····	570
主题索引·····	571



第一章 静电力和静电能

人们已十分精确了解的描述力的定律只有两个，即描述不同质量之间引力的定律和描述不同电荷之间电力的定律。当两个质量或两个电荷处于静止时，在这两种情况下，作用于两者之间的力都与它们距离的平方成反比。这两个平方反比定律很久以前就已被发现了：牛顿万有引力定律是在 1665 年提出的，而静电学的库仑定律是在 1785 年提出的。本章论述库仑定律在含有任意数目的静止电荷体系中的应用。在详细研究这个课题之前，值得我们先考虑一下这个定律对整个物理学的重要影响。

为了充分地利用一个力的定律，我们必须要有个力学理论，也就是说，必须要有一个描述在一个已知力作用下物体的行为的理论。以远小于光速运动的宏观物体非常严格地遵循经典牛顿力学的各种定律。例如，正是这些定律和万有引力定律一起，才使人们能够对行星运动作出精确的预测。但是，经典力学在说明对原子尺度的粒子或非常快速运动的物体所作的观测结果时，便完全不适用了。它们的行为只能用量子理论和狭义相对论的概念来理解。这两种理论改变了物理学的研究框架，并使二十世纪的物理学得以取得惊人的进展。

值得注意的是，尽管力学经受了重大的修正，而库仑定律仍然没有改变。虽然对于原子的行为，旧的力学框架不再适用了；但是

如果把库仑力与量子力学和相对论结合在一起运用，当我们把每一个实例的实验结果同理论结论进行严格比较时，就会看到，原子的相互作用能得到极为精确的解释。原则上，原子物理学、固体物理学，甚至于整个化学，都可以由库仑定律演绎出来。当然，这并不是说可以按这种方式去推导出一切。不过，应该记住，我们周围的世界是由原子组成的，而原子极为丰富的多样性和复杂性则为电力所支配。

§1.1 电 荷

本书的大部分章节是介绍电磁学在宏观物体中的应用，在那里电力起源于原子并不是显而易见的。然而，为了强调这种起源，我们就应该从研究原子体系开始。最简单的原子是氢原子，它由一个质子和绕其运动的一个电子所组成。质子和电子相互吸引，所以氢原子是稳定的。与此相反，两个电子彼此相斥，因而趋向于飞离；同样地，两个质子之间的力也是斥力^①。这些现象说明存在着两种不同类型的电荷，而且同号电荷互相排斥，异号电荷互相吸引。质子所带的电荷称为正电荷，而电子所带的电荷称为负电荷。

两个静止的带电粒子之间作用力的大小和方向由库仑定律给出。库仑定律总结了如下四个事实：

- (1) 同号电荷相斥，异号电荷相吸；
- (2) 作用力的方向沿着两个粒子的连线；
- (3) 作用力的大小与每个电荷的电量成正比；
- (4) 作用力的大小与粒子之间距离的平方成反比。

库仑定律的数学表达式为：

^① 如果质子的间距小于 10^{-14} 米，它们将受到非常短程的核力影响。与引力和电力不同，核力尚未为人们所精确了解。然而，在研究原子时，我们并不需要许多更深的核力知识，只要知道它们非常强，足以把原子核的组成部分束缚在一起就够了。