



曼彻斯特物理学丛书

固体物理学

[英] H. E. Hall 著 刘志远 张增顺 译

高等教育出版社

曼彻斯特物理学丛书

固体物理学

[英] H. E. Hall 著

刘志远 张增顺 译

高等教育出版社

内 容 简 介

本书系[英]曼彻斯特物理学丛书之一,比较系统地介绍了固体物理学的各个方面。全书共13章,大体可分为两部分:前一部分(第1—5章)可作为导论性教程,内容包括晶体结构、晶格振动、可动电子、金属、磁性;后一部分(第6—13章)介绍了周期结构中的波、中子晶体学、绝缘体的热导率、真实金属、费密面、超导电性、磁有序、无序固体。此外,书中配有必要的习题,书末附有提示性的题解,宜于读者参考。

本书可作为我国综合大学、高等师范院校及高等工业学校《固体物理学》课程的教学参考书,也可供从事固体科学工作的科技人员阅读。

本书由张杏奎、胡安校订。

H. E. Hall

SOLID STATE PHYSICS

John Wiley & Sons Ltd. 1974

曼彻斯特物理学丛书

固体物理学

[英] H. E. Hall 著

刘志远 张增顺 译

科学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 字数 300,000

1983年5月第1版 1984年6月第1次印刷

印数 90,001—20,200

书号 13010·0889 定价 2.00 元

译者的话

本书是英国曼彻斯特大学物理系三年级以上优秀學生用的教科书,系[英]John Wiley and Sons Ltd.出版的曼彻斯特物理学丛书之一。

本书的中心论题是原子集合的各种性质不同的基态和激发模式。在叙述上,作者注意由浅入深,强调基本假设,着重阐述基本概念。在内容安排上,约用全书一半的篇幅论述了倒格子和布里渊区。在此之前讨论了电子、声子和磁振子的简化的一维情况,逐步引出难懂的抽象概念,从而本书的前一部分(第1—5章)可作为导论性教程。此外,书中配有必要的习题,书末附有提示性的题解,可帮助读者进一步理解和掌握基本概念和基本原理。

本书可作为我国综合大学、高等师范院校及高等工业学校《固体物理学》课程的教学参考书,也可供从事固体科学方面工作的科技人员阅读。

在翻译过程中曾得到江仁寿先生和其他同志的热情支持和帮助,南京大学张杏奎和胡安同志校阅了译稿,范印哲同志也为本书提出了宝贵意见,在此一并表示衷心感谢!

本书第6—13章和相应题解由刘志远翻译,第1—5章和相应题解及附录等由张增顺翻译。鉴于水平有限,译文错误难免,敬祈读者指正。

1983.4.

曼彻斯特物理学丛书主编序

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。其它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，我们对丛书所应包含的课题作了精选。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份量、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关系，并把某些节和小节的课题标上星号。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：《物性学》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。丛书各卷的编撰自成体系，可以单独使用。

这套丛书虽然是为英国大学生编写的，但同样适合美国大学

一年级以上的课程。在每卷的作者序中,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,我们与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过的国际单位制(SI)。电学和磁学量都用国际单位制表示出(其它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0.012千克是否比12克更好?)、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。

这套丛书的预印本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,因而已经得到许多反应。我们非常感谢曼彻斯特和其它大学的广大师生,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,包括对预印本提供的资助。

F. Mandl

R. J. Ellison

D. J. Sandford

于曼彻斯特大学理学院物理系

作者序

根据曼彻斯特物理学丛书的总目标,我尝试编写了这本固体物理学简明教程,它包括了对该课程特别感兴趣的优秀学生应该学到的(但不多于)全部内容。因此,书中包含的内容远非十分全面,对于现有的很多实际材料进行了极严谨地删节。本书主要以对解释基本原理有益为标准来挑选内容,并且尽力使这些解释清晰和完整。我尽量简化论述,以便抓住基本内容。但是,为了适应于优秀学生的智力,我没有避开讨论难懂的概念或者含糊的假设。特别是考虑到,使用本书的学生今后三十年必将从事与物理学有关的工作,所以基本上避开了对最近流行的计算方法的叙述,而强调基本的假设。这本书的中心论题是原子集合能够具有的各种各样的性质不同的基态。对此,我想事先特别说清楚,以免读者诧异!

本书总的计划如教学流程图①所示。这个计划主要由下面两个因素决定:

(1)几年来,我为物理系优秀学生讲授了一门牢固地基于倒格子和布里渊区理论的课程,并试图为化学系优秀学生讲授一门基本上回避这两个课题的更简单的课程,经过几年的教学之后我得出结论,倒格子和布里渊区是固体物理学的“麦克斯韦方程”。它们是精雅的形式结构,从中可以演绎出许多固体理论;在没有它们的辅助而处理完一些较简单的问题之后,就可以将其作为一个统一的原理来更好地认识它们。因此,在第6章关于周期结构中的波

① 本书把教学流程图编排在正文前面。——译者注

的一般性讨论之前,先讨论了声子(第2章)、电子(第3章)和磁振子(第5章)的一维例子。

(2) 在曼彻斯特大学新的课程安排中,固体物理学课程的后半部分是选修的,因而,我打算把本书前一部分写为适当的导论性教程,包括一些重要的应用。基于这个原因,整个半导体的论述放在第3章。如此颠倒通常的顺序,在金属的前面讲述半导体,似乎从逻辑上看来更可取,因为半导体中的电子气是稀薄的,因而在概念上比较容易弄懂;此外,关于二价金属的讨论需要把能带理论推广到二维情况,因此我把这部分内容放在后面讲述。

这里值得说明的另外一个特点是,在第1章,比起通常的教科书,我讲述了更多的化学知识,而晶体学的内容较少。实际上需要了解的晶体结构并不多;氢分子对原子的结合而言不仅是基本的例子,而且用来说明独立粒子近似的简单性和可疑的有效性也是一个易懂的例子——我想一开始就说明这一点。我审慎运用供读者选修的标有星号的节和附录,颇精心地组织第1章的结构,以使本书关键性的首章在各种水平上都可以让学生按照自己的爱好和智力来阅读。

我期望,上述考虑所形成的这样一种结构将使本书成为一本在份量、广度和深度方面有相当取舍余地的适合于优秀学位标准的教程。各章内容长短不一,但在讲授的大体安排上,我建议每章讲授4—5个学时(每学时50分钟),从而全书包括的内容可讲授50多个学时,比通常给大学生讲授的任何课程学时都多。请读者根据教学流程图适当地选择。第1—5章可以作为内容相当广泛的简要导论性课程的基础,而第1,3,4,6,9和10章却可以作为内容份量差不多、特别以金属的能带结构为重点的范围较窄课程的基础。作为进一步选修的内容,在标题左侧标有星号,这些节和小节可以省略而不致失去连续性,而属于此范畴的段落用仿宋字

排印^①。这些供选择的部分往往难度比较大。还有，如果学生不加深究而承认结果，则也可以把附录省略。这样，依靠取舍标有星号的节和附录，读者可以很方便地调整本书的阅读范围。

本书在曼彻斯特大学使用时，得先要求学生学过 Willmott 著的《原子物理学》和 Mandl 著的《统计物理学》²教程^②，但是，如果需要，也可以只作少许准备：对于量子力学，可读 Heitler 著的《波动力学》³；对于统计力学，要熟悉玻耳兹曼因子，了解玻色和费密分布函数。对于电磁学，要求了解麦克斯韦方程，而且具有《伯克利物理学教程》⁴第 2 卷里有关物质中磁场的概念。

根据丛书的编辑方针和当前的教育实际，我在本书中尽可能合理地使用了 SI(国际单位制)单位。与标准的 SI 惯例很不一致的地方是，在电磁学里讨论物质中的场时，为避免产生混乱，我定义 H ，同 B 一样，以 tesla 为单位，并作了其它相应的改变。关于电磁学中单位制的详细论述，请参阅附录 E。

在出现原子物理学公式的少数情况中，我也使用精细结构常数 $\alpha = (e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c)$ 表述，这样做不仅使公式更加简明，而且与单位制无关。另外，我也越出了严格的 SI，没有回避使用象埃、电子伏特、里德伯和玻尔半径这些实用单位。

最后，因编写这本书我要向大家深表歉意。只有在原子核物理学和射电天文学占优势的曼彻斯特大学物理系来看，我才象一位固体物理学者，由于我不是专门家，我只不过用我理解的方法，来表述一些我本人感兴趣的题目。因此，我可能使用了一些没有发展性的处理方法，就这一点希望专家们鉴谅，也诚恳地期待专家们给我指出谬误。

作为结尾，我要向帮助我对初版提出意见的诸位表示感谢。特

① 原书是在这些段落上加套网纹，以示区别。——译者注

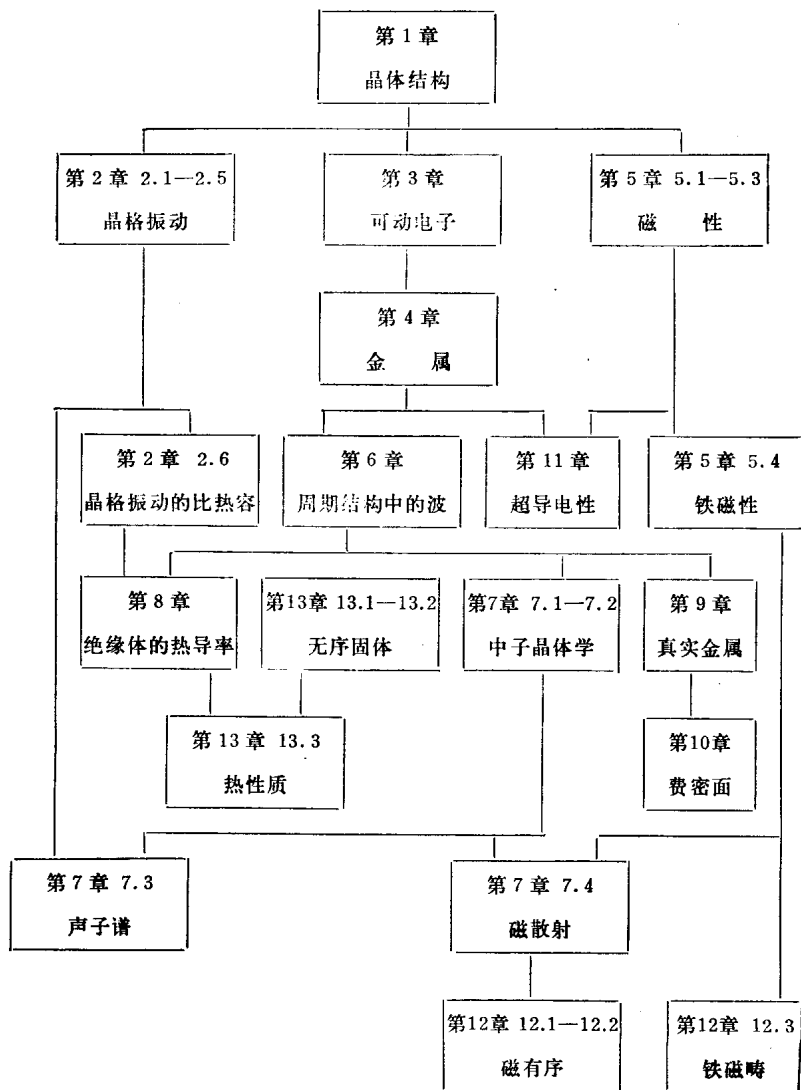
② 注明数字(例如 2, 还有下面的 4, 9 等)的参考书列在书末的参考书目中。

别是,感谢 **F. Mandl** 博士, **P. G. J. Lucas** 博士和 **D. J. Sandiford** 博士, 他们为本书的修改提出了详尽而宝贵的批评和建议. 我也要感谢 **Lucas** 博士允许我采用他的一些习题, 感谢他和 **J. R. Hook** 博士及 **I. S. Mackenzie** 博士核对题解. 此外, 对许可我在本书中采用很多插图的诸位版权所有人, 特别是提供图 1. 28, 1. 29, 10.12 和 12.5 原版照片的诸位作者, 在此一并致谢.

H. E. Hall

1973. 4.

教学流程图



教学流程图说明:

要想弄懂某一方框中的内容, 只需学习自上而下连到该方框的连线上诸方框的内容。另外, 正文中标有星号的小节和排印成仿宋字的部分, 对于其它章来说(同样标有星号的小节则除外), 是不需要的。

目 录

教学流程图

第 1 章 晶体结构	1
1.1 引言	1
1.2 原子间力	3
1.2.1 耦合量子态	4
1.2.2 H_2^+ 离子	5
1.3 结合的类型	9
1.3.1 共价结合	9
1.3.2 离子结合和金属结合	14
1.3.3 弱结合	15
*1.4 共价键的量子力学	16
1.4.1 交换相互作用	22
1.4.2 向离子结合的过渡	24
1.5 晶体几何学	24
1.5.1 晶格	24
1.5.2 晶面和晶向	29
1.6 典型的晶体结构	30
*1.7 X 射线晶体学	45
习题 1	49
第 2 章 晶格振动	51
2.1 弹性和原子力常数	51
2.2 原子链动力学	53
2.3 双原子链	58
*2.4 离子晶体中原子振动同光的耦合	65
2.5 声子	72
2.6 晶格振动的比热容	73
2.6.1 单个谐振子的能量和比热容	74
2.6.2 态密度	77

2.6.3 德拜近似	82
习题 2	87
第 3 章 可动电子	89
3.1 共价晶体中的可动电子	89
3.2 原子链中多余电子动力学	89
3.3 提供电子和空穴的方法	94
3.3.1 施主杂质和受主杂质	94
3.3.2 载流子的热激发	100
3.4 输运性质	108
3.4.1 电导率	108
3.4.2 霍耳效应	112
3.4.3 回旋共振	116
*3.5 半导体器件	118
3.5.1 面结型二极管	118
3.5.2 计数器	124
3.5.3 面结型晶体管	125
习题 3	126
第 4 章 金属	128
4.1 独立可动电子的实验证据	128
4.1.1 固态金属和液态金属	130
4.1.2 半导体中的杂质带	133
4.1.3 软 X 射线发射谱	134
4.2 自由电子模型	136
4.2.1 热平衡费密气体	136
4.2.2 输运特性	140
4.2.3 金属结合	144
4.3 周期性晶格势场的效应	145
4.4 金属、半导体和绝缘体的区分	150
习题 4	156
第 5 章 磁性	158
5.1 磁性是量子效应	158
5.2 顺磁性	159
5.2.1 自由离子的顺磁性	159

5.2.2 传导电子的顺磁性	162
5.3 逆磁性	163
5.3.1 磁场中的动量	164
5.3.2 感应电流的屏蔽	166
5.3.3 磁矩的计算	169
5.4 铁磁性和反铁磁性	170
5.4.1 自发磁化的外斯模型	170
5.4.2 反铁磁性的奈耳模型	177
5.4.3 自旋波	179
5.4.4 磁比热容	185
习题 5	188
第 6 章 周期结构中的波	190
6.1 类波简正模式	190
6.2 晶格衍射	194
6.3 倒格子和布里渊区	199
6.3.1 扩展、简约和周期能区图式	201
6.3.2 其原子构成布喇非格子的结构的能区	205
*6.3.3 其原子不构成布喇非格子的结构的能区	207
习题 6	209
第 7 章 中子晶体学	211
7.1 X 射线与中子的比较	211
7.1.1 结构测定	211
7.1.2 非弹性散射	212
7.1.3 相干和非相干中子散射	213
7.2 中子能量分析技术	215
7.2.1 中子选择器和飞行时间	216
7.2.2 晶体单色仪	217
7.3 声子谱	218
7.3.1 调相晶格衍射	218
7.3.2 实验结果	221
7.4 磁散射	223
7.4.1 磁结构	223
7.4.2 磁振子谱	225

习题 7	227
第 8 章 绝缘体的热导率	228
8.1 中子碰撞	228
8.1.1 散射机制	228
8.1.2 正规过程和倒逆过程	231
8.2 热传导	233
8.2.1 运动学理论	233
8.2.2 声子平衡和声子流	235
8.2.3 高温时的热传导	237
8.2.4 居间温度时的热传导	237
8.2.5 低温时的热传导	237
*8.3 集体效应	239
8.3.1 泊肃叶流	239
8.3.2 第二声	240
习题 8	241
第 9 章 真实金属	243
9.1 为什么电子呈现独立性?	243
9.1.1 等离子体振荡	243
9.1.2 不相容原理和散射	248
9.1.3 不相容原理和离子实波函数	250
9.2 晶体动量和有效质量	251
9.3 输运性质	256
9.3.1 电子-声子散射	256
9.3.2 电阻和热阻的温度关系	258
*9.3.3 电导率同费密面的关系	261
习题 9	263
第 10 章 费密面	264
10.1 近自由电子费密面的作图法	264
10.1.1 正方布喇菲格子	264
10.1.2 面心立方布喇菲格子	266
10.2 费密面的实验测定	270
10.2.1 磁场中的动力学	270
10.2.2 金属中的迴旋共振	272

10.2.3 电子轨道量子化	273
10.2.4 德哈斯-范阿耳芬效应	275
*10.3 碱金属是类自由电子吗?	282
10.3.1 可能的不稳定性	282
10.3.2 光学吸收	284
10.3.3 转矩反常	285
10.3.4 其它观察结果	286
习题 10	287
第 11 章 超导电性	288
11.1 经典的超导电性	288
11.1.1 零电阻和迈斯纳效应	288
11.1.2 超导电性的热力学	291
11.1.3 伦敦方程	293
*11.1.4 高频电阻	295
11.2 与时间无关的量子化	297
11.2.1 磁通量子	297
11.2.2 第 II 类超导体	299
*11.2.3 超导磁体	302
11.3 与时间有关的量子化	303
11.3.1 约瑟夫森结	303
11.3.2 量子干涉仪	306
第 12 章 磁有序	308
12.1 磁矩是否局域?	308
12.1.1 铁族的饱和磁化强度	308
12.1.2 铬的反铁磁性	310
12.1.3 稀土磁性	312
*12.2 连续统分子场理论	313
12.2.1 铁磁性自旋波	315
12.2.2 周期性基态	315
12.2.3 螺旋形基态的激发	317
12.3 铁磁畴	321
12.3.1 布洛赫壁的能量	321
12.3.2 能量均衡	325