

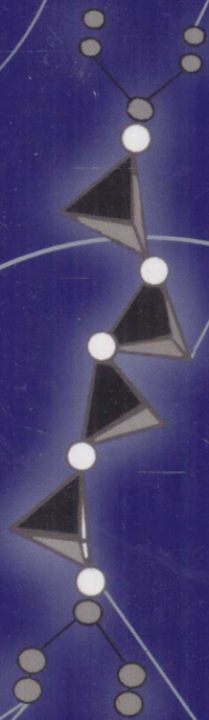
凝聚态

解士杰

韩圣浩

编著

物理



山东教育出版社

凝聚态物理

解士杰 韩圣浩 / 编著

山东教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

凝聚态物理/解士杰,韩圣浩编著.—济南:山东教育出版社,2001

ISBN 7-5328-3428-X

I. 凝… II. ①解…②韩… III. 凝聚态-物理学
IV. 0469

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051542 号

教师出版基金第二届理事会

- 顾问** 吴阶平
- 名誉理事长** 赵志浩 宋木文 吴爱英 柳 斌
董凤基 杨牧之 滕昭庆 车吉心
张小影 吴尚之
- 理事长** 高挺先 官本欣
- 副理事长** (以下按姓氏笔画为序)
王卓明 刘廷奎 孙永大 张士保
张立升 陈光华 陈学振 钟永诚
- 常务副理事长** 孙永大
- 秘书长** 赵 猛
- 副秘书长** 咎 亮
- 理事** 王世农 王卓明 王洪信 刘廷奎
孙永大 杜希福 杨文辉 李华文
李建军 张士保 张立升 张华纲
陈光华 陈学振 陈 钟 邹 健
赵 猛 钟永诚 咎 亮 官本欣
曹宏遂

教师出版基金第二届书稿评审委员会

(以姓氏笔画为序)

顾 问	任继愈	刘国正	吴文俊	季羨林
委 员	于 漪	王炳照	王富仁	刘知新
	刘祚昌	齐 涛	孙永大	张双棣
	张恭庆	陆俭明	周玉仁	周振鹤
	赵彦修	胡壮麟	侯明君	袁行霈
	顾明远	顾振彪	郭齐家	阎金铎
	崔 峦	彭实戈	彭聃龄	蒋绍愚
	裘锡圭			

序 言

物理学是研究物质结构、运动和演变及其物化性质的一门科学。目前,物理学研究可分为三个层次:宇宙和天体物理、凝聚态物理、粒子物理。凝聚态物质是人们日常生活、工作不可或缺的那部分,如矿物质、金属和合金、陶瓷、宝石等等。凝聚态物理是人类认识物质世界的最重要的科学领域之一,对提高人们的科技知识和科学素养有承上启下的作用。这一点可由过去几十年中诺贝尔物理奖的授奖情况证实。凝聚态物理的发展对国民经济、人类生活、国防建设具有巨大的推动作用,例如,半导体的发现导致了现今的信息时代,固体激光的发现引发了光电子技术和光子技术的飞速发展。

凝聚态物理原先是以固体(硬物质)为研究对象,称之为固体物理。随着人类研究活动的扩大和发展,凝聚态物理的研究已经扩展到软物质。这类软物质包含复杂流体、大分子系(统)、生物系(统)等。换句话说,凝聚态物理的研究已经外延到有机体、聚合物和生物体,与化学、生命科学之间的这种实质性的交叉已经构成凝聚态物理的全新领域,其意义和价值无法估量。

对称性及其演变是决定凝聚态物质形态和性质的

关键物理因素. 维度属于对称性范畴. 从高维度向低维度的演变是一种对称破缺的过程. 在维度缩减的方向上, 由于对称破缺引起尺寸效应和量子束缚效应, 出现了许多传统上三维体系中没有的新现象、新效应, 诸如库仑阻塞效应、共振隧穿效应、巨磁电阻效应、超塑性等. 正是这类低维度的受限小量子凝聚态体系中出现的种种新效应掀起了当今纳米科技研究的热潮. 受限小量子体系(即纳米体系)的研究和技术开发将导致新一轮产业革命, 这已是科技界、产业界、经济界的共识.

基于这样的认识, 作者以维度为贯穿全书的主线, 进行编写, 形成特色. 希望该书的出版能起到抛砖引玉的作用, 将出现更多更好的凝聚态物理的教学用书.

梅良模

山东大学物理系

晶体材料国家重点实验室

2001.1.19

前 言

当前的物理学从专业领域划分可分为 8 个二级学科,包含理论物理、粒子物理与原子核物理、凝聚态物理、等离子体物理、原子与分子物理、无线电物理、声学 and 光学,各专业之间可能相互交叉和重叠.其中凝聚态物理继承了原固体物理的全部内容,同时又增添了许多新的内涵,涉及到无序系统物理、准晶物理、介观物理和低维物理等等.1985 年,作者之一的导师、复旦大学孙鑫教授曾在《物理学进展》上发表了《低维凝聚态物理进展》系列文章,使作者深受启发,从维度性出发是认识凝聚态物理的一条有效途径.从 1990 年开始,我们分别对高年级本科生和凝聚态物理专业及材料学专业的研究生开设“凝聚态物理基础”课程.1992 年,南京大学冯端教授等写出了第一部《凝聚态物理学新论》著作,明确指出了凝聚态物理的内涵和外延,概述了当前凝聚态物理的重大成就,极大地推动了我国凝聚态物理的研究进展.受冯先生的间接指导,我们对“凝聚态物理”课的教学逐渐系统化,内容相对也越来越丰富.

1996 年,作者之一在美国宾夕法尼亚大学、诺贝尔奖获得者 Alan G. MacDiarmid 教授指导下从事导电高分子物理研究,进一步领悟到维度性在材料物理性质方面的奇妙作用,MacDiarmid 教授也赞同我们的一些观点,对维度性这一思路给以充分肯定.另一作者在澳大利亚新南威尔士大学攻读博士期间,查阅了大量凝聚态物理方面的相关书籍和文献.回国后,我

们结合多年的教学经验,编写了这部《凝聚态物理》.该书是沿维度性的思路展开的,并尽可能地介绍了凝聚态物理近几十年来的重要成就.《物理学进展》上的一些文章为本书提供了很好的素材,在此向这些作者们表示感谢.

编写过程中,山东大学梅良模教授给予了自始至终的关注和指导,王春雷教授提供了很多有益的建议.另外,魏建华博士以及刘德胜、王鹿霞、陈延学博士生和张大成、李涛硕士生也给予了很大帮助,在此一并表示感谢.

本书得以出版,还得到了山东教育出版社教师出版基金、国家理科基地教材基金、高等学校骨干教师资助计划、晶体材料国家重点实验室、人工微结构与介观物理国家重点实验室和山东大学杰出青年基金等的资助.

凝聚态物理是内容极为丰富的一个领域,新现象和新方法不断涌现.鉴于我们水平有限,只能挂一漏万.书中也难免有错误和不妥之处,恳请大家批评指正.

作 者

2001年2月22日

目 录

第一章 绪 论	1
第二章 凝聚现象	10
§ 2.1 水的凝聚	10
§ 2.1.1 水的气态和液态	11
§ 2.1.2 气-液相变	11
§ 2.1.3 空间关联	13
§ 2.1.4 冰	14
§ 2.1.5 对称性破缺	15
§ 2.1.6 凝聚态系统的共性	17
§ 2.1.7 涨落和空间维度	17
§ 2.2 凝聚理论	18
§ 2.3 相变与临界现象	20
§ 2.3.1 序	22
§ 2.3.2 平均场理论	23
§ 2.3.3 临界指数	30
§ 2.4 液体	35
§ 2.4.1 气-液相变	35
§ 2.4.2 液体关联函数	38
§ 2.5 液体自由能 状态方程	40
§ 2.6 无序系统	43
§ 2.6.1 分布函数	44

§ 2.6.2	二元系统分布函数	46
§ 2.7	分形和分维	47
§ 2.7.1	自相似性	47
§ 2.7.2	分维和标度不变性	50
§ 2.7.3	气-固相变与分形	52
§ 2.7.4	分形理论的应用	54
§ 2.7.5	聚合物分形	55
第三章	固体结构和晶格动力学	59
§ 3.1	晶体结构	59
§ 3.1.1	布喇菲晶格	59
§ 3.1.2	倒晶格	60
§ 3.1.3	对称性	61
§ 3.1.4	固体散射	63
§ 3.1.5	光子、中子、电子散射	65
§ 3.2	液晶和准晶	66
§ 3.2.1	液晶	66
§ 3.2.2	低维序	68
§ 3.2.3	准晶	69
§ 3.2.4	关联函数	71
§ 3.3	固体结合	74
§ 3.3.1	离子性结合	74
§ 3.3.2	共价结合	76
§ 3.3.3	金属性结合	78
§ 3.3.4	范德瓦尔斯结合	78
§ 3.4	晶格动力学	79
§ 3.4.1	振动理论	79

§ 3.4.2 声子	82
第四章 固体电子论	85
§ 4.1 布洛赫定理	85
§ 4.1.1 绝热近似	85
§ 4.1.2 哈特利 - 福克方程	87
§ 4.1.3 布洛赫定理	88
§ 4.1.4 晶体结合能	90
§ 4.2 原子轨道线性组合	91
§ 4.2.1 紧束缚方法	91
§ 4.2.2 键轨道模型	92
§ 4.2.3 LCAO 方法	94
§ 4.3 正交化平面波方法	96
§ 4.4 赝势方法	98
§ 4.5 缀加平面波方法	99
§ 4.5.1 Muffin - tin 势	100
§ 4.5.2 缀加平面波	100
§ 4.6 有效质量理论	102
§ 4.7 带间光跃迁	106
§ 4.7.1 基本理论	106
§ 4.7.2 直接跃迁	107
§ 4.7.3 间接跃迁	109
第五章 维度性	111
§ 5.1 低维凝聚态体系	114
§ 5.1.1 零维体系	114
§ 5.1.2 一维体系	115
§ 5.1.3 二维体系	117

§ 5.2 维度的一般特征	119
§ 5.2.1 布里渊区和费米面	119
§ 5.2.2 状态密度	120
§ 5.2.3 外磁场中的电子能谱	122
§ 5.2.4 屏蔽势	123
§ 5.2.5 等离子体的振荡频率	124
§ 5.3 序	125
§ 5.3.1 铁磁体 XY 模型的序	126
§ 5.3.2 晶格的序	128
§ 5.4 关联函数	132
§ 5.5 准长程关联	134
§ 5.5.1 低温下的关联函数	134
§ 5.5.2 高温下的关联函数	138
§ 5.6 跃迁和局域化	140
§ 5.6.1 跃迁电导	140
§ 5.6.2 Anderson 局域化的标度理论	142
§ 5.7 多孔硅简介	145
第六章 零维体系	149
§ 6.1 团簇	151
§ 6.1.1 幻数	153
§ 6.1.2 理论模型	154
§ 6.1.3 团簇材料的界面效应和结构重排	159
§ 6.2 团簇与原子核的比较	160
§ 6.2.1 壳结构	162
§ 6.2.2 集体振荡	163
§ 6.3 C_{60} 分子	167

§ 6.4 C_{60} 固体性质	171
§ 6.4.1 C_{60} 分子电子态	171
§ 6.4.2 C_{60} 固体性质	173
§ 6.4.3 C_{60} 超导性	174
§ 6.5 介观系统	177
§ 6.5.1 AB 效应	178
§ 6.5.2 超小颗粒磁性	181
§ 6.6 半导体量子点	184
第七章 一维体系	187
§ 7.1 一维晶格的能带和布里渊区	188
§ 7.2 一维晶格体系的 Peierls 不稳定性	191
§ 7.2.1 一维体系的紧束缚模型	192
§ 7.2.2 Peierls 不稳定性理论	196
§ 7.2.3 电荷密度波与自旋密度波	200
§ 7.2.4 Peierls 相变的判据	203
§ 7.3 一维体系的非线性元激发	204
§ 7.3.1a 聚乙炔	204
§ 7.3.1b 金属卤化物	206
§ 7.3.2 孤子图象	207
§ 7.3.3 孤子的平均场理论	209
§ 7.3.4 连续介质模型	210
§ 7.3.5 电子-晶格耦合体系的自治方程	213
§ 7.4 纳米碳管	215
§ 7.5 一维准晶物理性质	222
§ 7.5.1 Fibonacci 准晶的电子、声子性质及理论 方法	224

§ 7.5.2 准周期超晶格	228
§ 7.6 准一维量子线	229
§ 7.6.1 准一维量子线的输运特征	230
§ 7.6.2 一维介观环中的持续电流	234
第八章 二维体系	237
§ 8.1 二维体系的基态和激发态	238
§ 8.2 拓扑性元激发	242
§ 8.2.1 自旋系统中的涡旋	242
§ 8.2.2 晶格系统中的位错	244
§ 8.3 拓扑性元激发之间的相互作用	246
§ 8.4 K-T相变	249
§ 8.4.1 K-T相变的单体理论	249
§ 8.4.2 二维等离子体介电函数	253
§ 8.4.3 K-T相变的多体理论	255
第九章 表面体系	258
§ 9.1 表面概念	258
§ 9.1.1 表面定义	258
§ 9.1.2 表面相变	259
§ 9.1.3 固体表面原子结构	262
§ 9.2 固体的表面与界面	265
§ 9.3 表面电子态	269
§ 9.3.1 金属功函数	270
§ 9.3.2 表面能	271
§ 9.3.3 表面电子态	274
§ 9.4 表面原子振动	280
§ 9.4.1 半无限线性链	280

§ 9.4.2 表面色散关系	283
§ 9.5 薄膜的表面与界面	286
第十章 电子体系	290
§ 10.1 费米体系	290
§ 10.2 费米液体理论	292
§ 10.3 介电函数和等离子体	294
§ 10.4 电子关联	295
§ 10.5 二维电子系统	300
§ 10.5.1 Wigner 晶化	302
§ 10.5.2 液氮表面的靛凹(Dimple)	305
§ 10.6 霍尔效应	306
§ 10.6.1 经典霍尔效应	306
§ 10.6.2 整数量子霍尔效应(IQHE)	309
§ 10.6.3 分数量子霍尔效应(FQHE)	312
第十一章 超导和超流	315
§ 11.1 金属导电理论	315
§ 11.2 超导体	318
§ 11.3 超导态的 BCS 理论	321
§ 11.4 高 T_c 超导体	326
§ 11.4.1 2-1-4 化合物	327
§ 11.4.2 1-2-3 化合物	329
§ 11.4.3 特征性质	330
§ 11.5 高温超导体理论模型	332
§ 11.5.1 超导特征参量	332
§ 11.6 富勒烯超导体	338
§ 11.7 液氮	340

§ 11.7.1	超流 ^3He 和 ^4He	340
§ 11.7.2	量子流体	343
第十二章	超晶格	346
§ 12.1	超晶格材料制备技术	346
§ 12.2	超晶格材料	352
§ 12.2.1	组分超晶格	353
§ 12.2.2	多元型超晶格	354
§ 12.2.3	多维超晶格	355
§ 12.2.4	应变超晶格	355
§ 12.2.5	掺杂超晶格	356
§ 12.2.6	非晶态超晶格	357
§ 12.2.7	磁性超晶格	357
§ 12.2.8	微米超晶格	357
§ 12.3	超晶格电子态	359
§ 12.4	磁电子学	366
§ 12.4.1	自旋极化输运过程	367
§ 12.4.2	磁电阻效应	368
第十三章	凝聚态物理常用方法简述	374
§ 13.1	多粒子理论	375
§ 13.1.1	波恩-奥本海默近似	375
§ 13.1.2	单电子近似	376
§ 13.2	二次量子化	378
§ 13.2.1	理想粒子系统	378
§ 13.2.2	单位变换和场算符	380
§ 13.2.3	平移不变系统哈密顿量的二次量子化	381