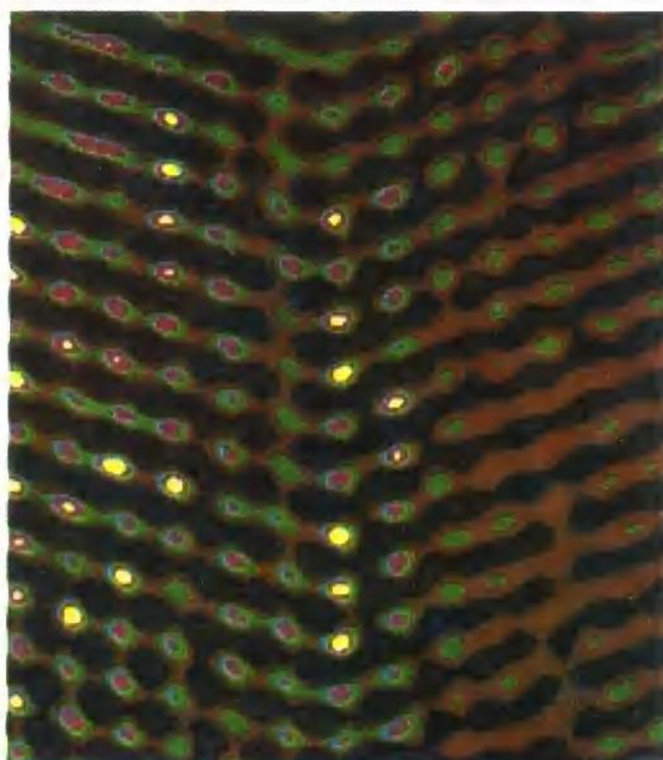


90年代物理学



凝聚态物理学

(美) 物理学评述委员会

科学出版社

JY11/164/22

90年代物理学

凝聚态物理学

〔美〕物理学评述委员会

龚少明 译

蒋平 王以铭 校

科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

《90年代物理学》是美国物理学评述委员会等单位组织几百位科学家编写的一套调查报告,本书是其中之一。

本书将凝聚态物理学中已取得的成就及今后发展的展望和应用作了高度概括性的总结,其中包括固体的电子性质、结构和振动激发、临界现象和相变、固体的磁学性质、半导体、缺陷和扩散、表面和界面、经典流体、液晶、聚合物、非线性动力学和不稳定理论、低温技术等。

本书可作为广大科技干部、大专院校师生及科技工作者的科研(包括科研管理)参考书。

Physics Survey Committee
Physics Through the 1990s
Condensed-Matter Physics
National Academy Press, 1986

90年代物理学

凝聚态物理学

[美]物理学评述委员会

龚少明 译

蒋 平 王以铭 校

责任编辑 李又发

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994年12月第一版 开本: 850×1168 1/32

1994年12月第一次印刷 印张: 8 5/8 插页: 2

印数: 1—1400 字数: 218000

ISBN 7-03-003954-8/O·690

定价: 15.50 元

中 译 本 前 言

《90年代物理学》(Physics Through the 1990s)是由美国全国研究理事会(National Research Council)组织,物理学评述委员会(Physics Survey Committee)所写的调查报告.全书共9册,其中6册分别阐述物理学的6个基本领域,即:《原子、分子物理学和光学》(Atomic, Molecular, and Optical Physics),《凝聚态物理学》(Condensed-Matter Physics),《基本粒子物理学》(Elementary-Particle Physics),《引力、宇宙学和宇宙射线物理学》(Gravitation, Cosmology, and Cosmic-Ray Physics),《原子核物理学》(Nuclear Physics)以及《等离子体和流体》(Plasmas and Fluid).另有3册分别是《总论》(An Overview)、《提要》(A Summary)、《交叉学科和技术应用》(Scientific Interfaces and Technological Applications).

美国全国研究理事会共组织过三次物理学方面的调查.前两次分别于1966年和1972年完成.这次从1983年初开始,组织了近150位物理学家,耗资70万美元,于1986年4月出版本书.

这套书详尽地叙述了1985年前的十几年中物理学和与物理学有关的交叉学科所取得的重大进展以及物理学对其他学科、社会发展和人类进步的影响.本书还对美国物理学在世界上的地位、物理人才的培养和现代大型设备在物理学研究中的作用等作了详细的分析,并预测了20世纪90年代物理学的前沿课题及发展方向.

这套书的内容深入浅出,有一定的权威性,相信它将有助于我国物理学工作者了解当代物理学的重大进展、前沿课题及发展趋势.同时,本书对地球物理、生物物理、材料科学、化学、数学、微电子学、能源与环境科学、光信息技术、国防和医学等与物理有关的

交叉学科的研究和教学人员也有很大的参考价值。此外，对负责制定科技政策的各级政府领导和科研管理部门了解物理学的现状和发展，制定学科发展规划和基金指南等，也有一定的帮助。中国科学院数学部和复旦大学共同组织翻译了此书，将陆续出版。我们坚信，本书的出版将有助于推动我国物理学的发展。

在本书的翻译出版工作中，得到了科学出版社、复旦大学出版社、复旦大学物理系、中国科学院物理研究所、高能物理研究所和等离子体研究所等单位的大力支持，在此仅表谢意。

谢希德 周光召 章 综

序 言

在关于凝聚态物理学的这一展望中，我们要描述这一领域的现状，说明 70 年代初以来的若干重大发现和进展，提出今后 10 年内可能会取得重大发现的领域。我们还要介绍为得到这些发现而必须付出的人力和物力。

凝聚态物理学大体可以划分为固体和液体两大领域。本书中，固体领域又被进一步分为几个分支，包括固体的电子性质、固体的结构和振动激发、临界现象和相变、固体的磁学性质，半导体、缺陷和扩散以及表面和界面。液体领域则分为经典液体、液晶、聚合物、非线性动力学、不稳定性混沌等分支领域。固体和液体这两个领域又通过低温物理学这一分支大体上联系起来。低温物理学所涉及的现象在固体和液体中都能出现。凝聚态物理学这样的划分，反映了有关学术界通过学术会议、短期培训班和讲习班等形式进行组织的方式。

每个分支领域都由一位从事该领域研究的学术界成员进行评述，选人的原则是专业技术成就和广博的科学知识并重。一般说来，这位成员得到学术界中许多同行的协助，除了对凝聚态物理学各分支领域进行评述外，还对那些正在兴起的新材料学科也进行评述，因为这些材料都显示出异常的物理性质，或者可为技术应用提供机会。对曾经引起重大发现的新实验技术也作了评述；对于那些为凝聚态物理学研究人员提供比他们本单位水平高的研究设备的国立研究设施，我们也给予评介。这些评述也是由相应学科领域中的专家撰写的。

本书内容安排如下：第 I 部分用于讨论凝聚态物理学的重要性，简要介绍凝聚态物理学在 70 年代和 80 年代初期所取得的几个最有意义的发现和进展以及很可能为今后 10 年提供令人兴奋

的研究机会的若干领域,并提出今后 10 年凝聚态物理学家所需要的支持以及如何具备这些支持条件的建议。在第 II 部分中详细评述凝聚态物理学各个分支领域,本书最后还附上几个关于新材料、新实验技术及国立研究设施的附录。

当读者通读本书时,不可避免地会对这样的结论有深刻的印象,即凝聚态物理学是物理学中能激励人们智力的领域,该领域所取得的发现已经、并正在对物理学的其它领域(也对化学、数学、生物科学)产生重大的影响。同时,正是这一领域通过其引起的技术发展,对我们的日常生活也产生了最巨大的影响。凝聚态物理学的这 10 年是我们认识凝聚态物质过程中取得重大发现和突出进步的 10 年。当前,它正经历着现有分支领域强化研究而新的分支领域成长壮大的时期。今后 10 年有希望取得新的重大发现和进展。然而,今天处于世界级水平的凝聚态物理学研究所需要的理论方法和实验技术正在变得越来越复杂。随之而来的是研究经费和人力花费的急剧增长,若想要抓住这一领域面临的机遇,就必须以某种方式满足这种人力和经费上的要求。这就是今后 10 年美国的凝聚态物理学充满机遇、同时又是所面临的一场挑战。

最后,我们感谢凝聚态物理学专家小组成员们所作出的技术性贡献以及在草拟本报告中的建议时给予的协助;此外,我们还要对美国凝聚态物理学界的许多成员表示感谢,他们或者撰写有关部分或者审阅并提出修改意见,从而对这份评述的每一部分作出了贡献。本书后面列出了他们的名字*)。他们的宝贵贡献受到高度赞赏。

*) 中译本已删去有关名单。——译者

目 录

中译本前言

序 言

第一部分 重点、机遇和需求	1
第一章 综合评述	2
§1.1 凝聚态物理学及其重要性	2
§1.2 发现	5
1.2.1 人造材料.....	5
1.2.2 量子霍尔效应.....	6
1.2.3 降维效应.....	7
1.2.4 电荷密度波.....	7
1.2.5 无序.....	8
1.2.6 混合原子价和重费米子.....	9
1.2.7 ^3He 的超流相.....	9
1.2.8 重整化群方法.....	10
1.2.9 时间和空间中的混沌现象.....	10
1.2.10 同步辐射的广泛应用	11
1.2.11 原子级分辨率的实验探针	12
§1.3 今后 10 年中凝聚态物理学的研究机遇	12
§1.4 今后 10 年中凝聚态物理学的需求	17
1.4.1 对研究人员的支持.....	20
1.4.2 对国立研究设施的支持.....	25
1.4.3 大学-工业界-政府三者的关系.....	31
第二部分 凝聚态物理学的 10 年	33
第二章 物质的电子结构和性质	34
§2.1 引言	34
§2.2 确定电子结构方法的进展	34

§2.3	多电子效应	36
§2.4	量子霍尔效应	37
§2.5	电子-空穴滴	39
§2.6	电子有序态	40
§2.7	无序系统	44
§2.8	混合介质	47
§2.9	高压下的凝聚态物质	47
§2.10	机遇	49
第三章	固体的结构和振动特性	52
§3.1	引言	52
§3.2	理论计算	53
§3.3	结构和声子谱的测量	55
§3.4	声子的输运	57
§3.5	电子-声子相互作用	59
§3.6	无序固体和非公度相	62
§3.7	相变和非线性激发	64
§3.8	机遇	65
第四章	临界现象和相变	68
§4.1	引言	68
§4.2	什么是临界现象? 物理学家为什么对它们发生兴趣?	68
§4.3	相变和临界点的实例	69
§4.4	历史	71
§4.5	测量什么?	72
§4.6	普适性类由什么决定?	76
§4.7	低维系统的实验实现	80
§4.8	多重临界点	80
§4.9	具有近乎破缺对称性的系统	81
4.9.1	二维超流体和 XY 模型	81
4.9.2	二维晶体的熔化	82

4.9.3	从距列相 A 到向列相的相变	82
§4.10	快冷引起的无序	83
§4.11	无序系统中的逾渗和金属-绝缘体转变	84
§4.12	非平衡系统	84
§4.13	一级相变	85
§4.14	前景	85
第五章	磁学	87
§5.1	引言	87
§5.2	磁性绝缘体	89
5.2.1	低维系统	89
5.2.2	临界现象	91
§5.3	金属磁体	92
5.3.1	过渡金属铁磁体	92
5.3.2	稀土磁体和铜系磁体	94
§5.4	无序系统	96
5.4.1	引言	96
5.4.2	无序铁磁体、反铁磁体和顺磁体	97
5.4.3	自旋玻璃	99
§5.5	磁学中的计算机模拟	102
§5.6	将来的发展	103
第六章	半导体	105
§6.1	引言	105
§6.2	表面和界面	107
§6.3	半导体的缺陷	108
§6.4	半导体中的降维	110
§6.5	化合物半导体的光学性质	111
§6.6	非晶态半导体	113
§6.7	未来展望	114
6.7.1	半导体的表面和界面	114
6.7.2	半导体中的缺陷	116
6.7.3	维数降低的系统	116

第七章 缺陷和扩散	118
§7.1 引言	118
§7.2 老领域产生新领域的实例	119
7.2.1 辐射场中相的显微结构和相的产生.....	119
7.2.2 表面和近表面探针.....	120
7.2.3 离子束微加工.....	122
§7.3 缺陷结构的计算	123
§7.4 原子迁移率的基础	125
§7.5 关于活跃领域的评论	128
7.5.1 简单固体中的点缺陷.....	128
7.5.2 表面扩散.....	129
7.5.3 光化学过程.....	130
7.5.4 分子动力学.....	130
7.5.5 玻璃中位错的运动.....	131
7.5.6 原子级分辨率的缺陷成像.....	132
§7.6 将来研究的几个方向	133
第八章 表面和界面	135
§8.1 引言	135
§8.2 晶体表面的结构	138
§8.3 表面谱和表面元激发	143
§8.4 表面原子和分子的相互作用	146
§8.5 固体和稠密介质间的界面	148
§8.6 理论	149
§8.7 机遇	150
第九章 低温物理学	154
§9.1 该分支领域的定义	154
§9.2 量子流体	154
9.2.1 超流体 ^3He	155
9.2.2 奇妙的量子流体.....	160
§9.3 超导电性	164
9.3.1 非平衡超导电性.....	166

9.3.2	新颖超导材料	167
9.3.3	磁性超导体	167
9.3.4	高转变温度和强磁场材料	168
9.3.5	约瑟夫森效应	169
§9.4	量子晶体	170
§9.5	低温技术	172
§9.6	低温物理学中的研究机遇	174
第十章	液态物理学	177
§10.1	经典液体	177
10.1.1	引言	177
10.1.2	静态性质	178
10.1.3	经典液体的动力学性质	180
10.1.4	胶质系统——皂液	183
§10.2	液晶	185
10.2.1	什么是液晶?	185
10.2.2	为什么液晶令人感兴趣?	186
10.2.3	主要的进展	188
§10.3	将来研究的机遇	189
第十一章	聚合物	192
§11.1	引言	192
§11.2	研究的课题	192
11.2.1	非晶态——溶液和熔体	192
11.2.2	玻璃	195
11.2.3	合成橡胶、凝胶、交叉联结网络	195
11.2.4	聚合物晶体	196
11.2.5	电学性质	197
11.2.6	聚合物的其它性质	198
§11.3	机遇	198
第十二章	非线性动力学、不稳定性 and 混沌	201
§12.1	引言	201
§12.2	主要进展	202

12.2.1	一个新的范例	202
12.2.2	新的实验方法	203
12.2.3	趋向混沌的路线	204
12.2.4	趋向湍流路线的动力学系统理论	206
12.2.5	实验的动力学系统分析	206
12.2.6	非线性稳定性理论	207
12.2.7	花样的演化	208
12.2.8	其它耗散系统中的不稳定性	209
12.2.9	保守系统的非线性动力学	210
12.2.10	一般评论	211
§12.3	当今的前沿	212
12.3.1	二分岔序列	212
12.3.2	花样	213
12.3.3	数值模拟	214
12.3.4	实验方法	214
12.3.5	从弱湍流到完全发育的湍流的转变	214
12.3.6	保守系统	215
12.3.7	非平衡系统	216
12.3.8	新的方向	217
附录 A	凝聚态物理学在国民经济中的应用	219
附录 B	新的实验技术	226
附录 C	新材料	228
§C.1	引言	228
§C.2	过去 10 年的新材料	229
§C.3	新的材料制备技术对凝聚态物理学的影响	230
附录 D	凝聚态的激光光谱	235
§D.1	引言	235
§D.2	过去 10 年的成就	235
§D.3	未来研究的几个方向	238
附录 E	国有研究设施	240
§E.1	引言	240

§E.2	同步辐射研究.....	241
§E.3	中子散射的研究设施.....	249
§E.4	强磁场设施.....	255
§E.5	电子显微术的设施.....	256

第一部分 重点、机遇和需求

本书的内容只限于凝聚态物理学，它是更为广泛的材料科学领域中一个重要部分的基础，但这两个领域之间并没有严格的界限。然而，我们既不评述材料科学，也不评述凝聚态物理学对技术的影响。至于物理学与技术的相互关系问题，将在这套调查报告的另一本书中作较全面的讨论。

第一章 综合评述

§ 1.1 凝聚态物理学及其重要性

凝聚态物理学是研究固体和液体的基础科学,当物质处于这两种状态时,组成原子彼此充分贴近,每个原子同时与很多的近邻原子相互作用。此外,凝聚态物理学还研究介于固、液两态之间的居间态(例如液晶、玻璃、凝胶)、稠密气体和等离子体,以及只在低温下存在的特殊量子态(超流体)。所有这些状态构成了所谓的物质的凝聚态。

凝聚态物理学之所以重要,有两方面的原因。第一,它为力学、流体力学、热力学、电子学、光学、冶金学及固态化学等经典科学提供了量子力学基础;第二,它为高技术的发展做出了巨大的贡献。它已成为晶体管、超导磁体、固态激光器、高灵敏度辐射能量探测器等重大技术革新的源泉。因此,它对通信、计算以及利用能量所需的技术起着直接的作用,并对非核军事技术也产生了深刻的影响。

凝聚态物理学基础研究的动力是求知欲,人们既想了解凝聚态物质的结构单元(即电子、核子、原子和分子)是如何大量($\sim 10^{24}/\text{cm}^3$)紧密地结合在一起而形成肉眼可看得见的世界(世界的很多部分是看不见的),又想知道这些系统所具有的性质。正因为凝聚态物理学是关于自由度数目巨大的系统的物理学,它向人们提出了多方面的智力挑战。探索概念上、数学上及实验上切实可行的途径,以便找出这类系统的本质特征,需要高度的创造性,而严格处理这类系统则是不可能的。

凝聚态物理学之所以有智力上的激励作用,还因为它60年的历史中充满着新现象和新物质状态的发现、新概念的建立,以及

新分支领域的开拓。正是在这个领域中，量子理论和其它理论的进展与实验发生最直接的对立，而且该领域一次又一次地成为观察复杂系统的新概念的源泉和检验场所。事实上，凝聚态物理学源源不断地把自己的基本概念输入于其它科学领域，在这方面它超过了物理学其它各个分支。因此，凝聚态物理学中(诸如多体问题、临界现象、破缺对称性及缺陷等)许多分支学科的进步已对核物理学、基本粒子物理学、天体物理学、分子物理学以及化学产生了巨大的影响。未来的10年中，这类进展将会持续下去，并且可望得到具有相同基本意义的发现。

同时，凝聚态物理学之所以引起人们的兴趣，是因为在这个领域中的许多发现将会得到充分的应用。在物理学的所有分支中，凝聚态物理学通过其所带来的技术发展而对我们的日常生活产生了最大的影响。晶体管导致各种各样电子设备的小型化，半导体芯片使计算机的大量功能得以实现，磁带应用于各种音像设备中，塑料用于制造从厨房用品到汽车车身的物品，催化转换器降低了汽车排污，合成材料用于鼓风式喷射器和现代网球拍，以及核磁共振(NMR)在层析成像中的应用等等，所有这些大家所熟悉的发明，只是凝聚态物理学研究带来的实用性成果中的少数几项而已。今天，一种全新的技术——光通信，正在从凝聚态物理学、光学及光纤化学的研究中发展起来。

以上这些实例说明，凝聚态物理学中的基础科学和基础新技术发展之间是密切相关的。在大学和工业界，从事凝聚态物理学基础科学和技术发展研究工作的人员都是接受过相同教育和训练的，他们使用相同的物理概念和同样的先进设备。由于凝聚态物理学中的基础科学同技术革新之间有如此密切的关系，它同工业部门有一种强烈而自然的联系，这就是凝聚态物理学在领导工业革新方面如此成功的主要原因。

的确，在提高我们的日常生活质量和满足国家需要等方面，凝聚态物理学的研究成果能发挥作用的全部范围，远非以上介绍所能概括的，为了明确地说明这一点，我们列出了表1.1，该表的第