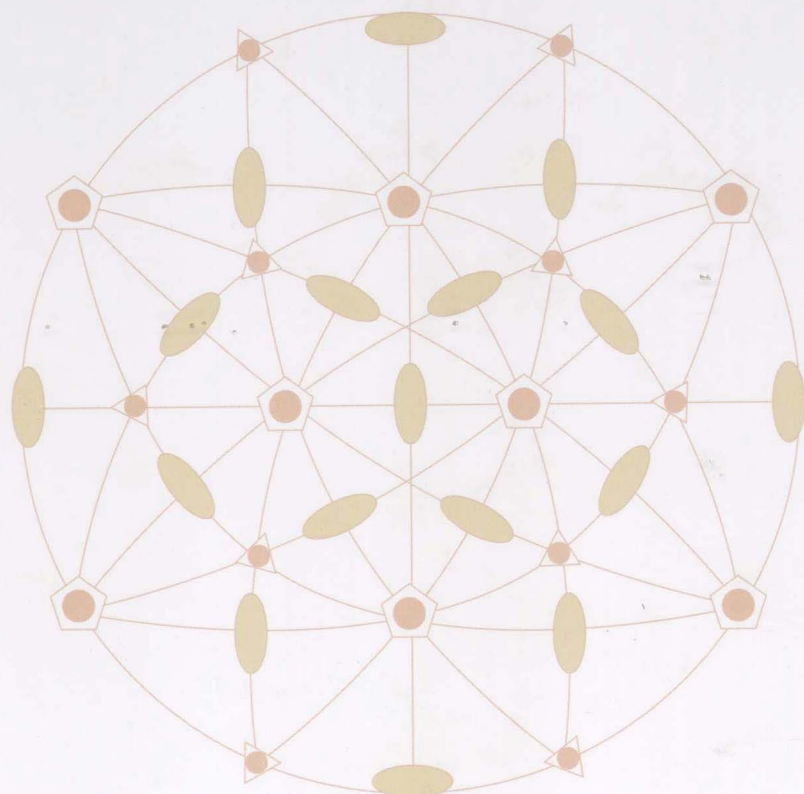


# 凝聚态物理学

(下卷)

Condensed Matter Physics (Volume II)

冯端 / 金国钧



---

# 凝聚态物理学 (下卷) ...

Condensed Matter Physics (Volume II)

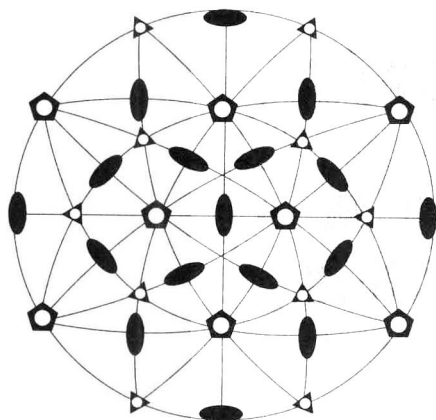
---

冯端 / 金国钧



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

---



图书在版编目(CIP)数据

凝聚态物理学. 下卷 / 冯端, 金国钧著. — 北京:  
高等教育出版社, 2013. 10 (2014. 1 重印)

ISBN 978 - 7 - 04 - 036758 - 4

I. ①凝… II. ①冯… ②金… III. ①凝聚态物理学  
IV. ①O469

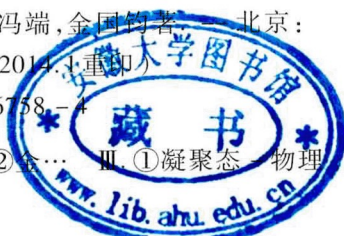
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 313984 号

Ningjutai Wulixue

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
印 刷 北京中科印刷有限公司  
开 本 850mm × 1168mm 1/16  
印 张 45.75  
字 数 900 千字  
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2013 年 10 月第 1 版  
印 次 2014 年 1 月第 2 次印刷  
定 价 108.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物 料 号 36758 - 00



## 内容提要

本书被列入新闻出版总署“十二五”国家重点图书出版规划。本书在把握从固体物理学到凝聚态物理学历史发展脉络的基础上，为凝聚态物理学建立了一个逻辑上合理明晰的概念体系，并对学科涵盖的丰富内容进行了全面系统的论述。全书除一章综览外，共有八编，计三十八章，分两卷出版。本册为下卷。

接上卷的前四编之后，下卷包括后四编。第五编为临界现象，从分析涨落和关联出发，论述了凝聚物质中由温度、几何参数、时间和非热物理量调控的各类临界现象，强调了标度理论和重正化群方法；第六编为元激发，首先给出了元激发的一般特征、分类原则和场论描述，然后分别论述了与原子位移有关的振动激发，与自旋进动联系的自旋激发，与电子相互作用关联的电子激发，以及来自不同类型激发之间耦合的耦合型激发；第七编为织构和拓扑缺陷，从广义弹性和流体动力学出发，论述了晶体、液晶、铁磁体和超导体中缺陷的拓扑和几何性质，结构和能量学，力学和物理性质，以及有缺陷介入的相变；第八编为超出平衡态，一方面在传统的凝聚物质范围内，探讨了与成核、失稳分解和畴壁形成有关的相变动力学，以及从力学、几何和能量角度分析了晶体生长和形貌学，另一方面考虑在远离平衡区，从失稳走向混沌，直至湍流问题，以及强调凝聚态物理学基本概念的开拓潜力，表现出在地震、生物等与复杂性有关的学科中的应用。

本书体系精审、视野开阔、论述融贯、内容新颖，对于从事凝聚态物理学及相关学科的研究工作者是一本富有启发性且便于阅读的科学论著，也可以作为攻读凝聚态物理学与相关学科学位的研究生的入门参考书。

# 目 录

## 第五编 临界现象

第二十章 涨落、关联和耗散	3
§20.1 概率分布	3
§20.1.1 Gauss 分布	3
§20.1.2 幂律分布和其它非 Gauss 分布	5
§20.2 统计物理学中的涨落和关联	7
§20.2.1 物理量的涨落	7
§20.2.2 Poisson 公式	8
§20.2.3 关联函数	9
§20.2.4 涨落的空间关联性	11
§20.2.5 涨落的时间关联性	11
§20.3 随机过程	12
§20.3.1 Brown 运动理论和扩散方程	13
§20.3.2 Levy 飞行理论和反常扩散	15
§20.3.3 Langevin 方程	18
§20.3.4 主方程	18
§20.3.5 Fokker-Planck 方程	19
§20.4 动力学响应	20
§20.4.1 线性响应	20
§20.4.2 Onsager 倒易关系	22
§20.4.3 广义极化率	23
§20.4.4 涨落耗散定理	24
§20.4.5 Nyquist 公式	26
§20.5 量子涨落	27
§20.5.1 量子简并气体的涨落	27
§20.5.2 涨落的量子力学处理	29
§20.5.3 量子自旋的涨落	30
参考文献	30

<b>第二十一章 热临界现象</b> . . . . .	<b>32</b>
§21.1 临界点区域 . . . . .	32
§21.1.1 临界行为 . . . . .	32
§21.1.2 临界指数 . . . . .	34
§21.1.3 标度律 . . . . .	35
§21.2 平均场描述 . . . . .	36
§21.2.1 Ising 系统的关联函数 . . . . .	37
§21.2.2 关联函数的平均场结果 . . . . .	38
§21.2.3 偏离平均场理论 . . . . .	39
§21.2.4 平均场理论的有效范围 . . . . .	41
§21.3 标度理论 . . . . .	43
§21.3.1 自由能的齐次性 . . . . .	43
§21.3.2 关联函数的标度变换 . . . . .	44
§21.3.3 有限尺寸标度 . . . . .	47
§21.4 实空间重正化群方法 . . . . .	49
§21.4.1 参量重正化 . . . . .	49
§21.4.2 配分函数与自由能 . . . . .	52
§21.4.3 三角晶格上的 Ising 自旋 . . . . .	53
§21.5 动量空间重正化群方法 . . . . .	57
§21.5.1 自旋变量连续化 . . . . .	57
§21.5.2 Gauss 模型 . . . . .	58
§21.5.3 动量空间中的标度变换 . . . . .	60
§21.5.4 动量空间的重正化处理 . . . . .	62
参考文献 . . . . .	64
<b>第二十二章 广义的临界现象</b> . . . . .	<b>66</b>
§22.1 普适性及其意义 . . . . .	66
§22.1.1 普适类 . . . . .	66
§22.1.2 $n$ -矢量模型 . . . . .	68
§22.1.3 聚合物统计的磁类比 . . . . .	71
§22.1.4 Potts 模型 . . . . .	73
§22.1.5 凝胶和渗流 . . . . .	75
§22.2 从渗流到聚合物 . . . . .	77
§22.2.1 几何临界点 . . . . .	77
§22.2.2 正方晶格上的渗流集团 . . . . .	79
§22.2.3 自回避行走和聚合物构象 . . . . .	82
§22.2.4 座 - 键渗流和溶胶 - 凝胶转变 . . . . .	85

§22.3 局域化的标度理论及其发展	87
§22.3.1 无相互作用电子气的标度分析	87
§22.3.2 无相互作用电子气的电导率和维度性	91
§22.3.3 二维相互作用电子气的金属 – 绝缘体相变	92
§22.3.4 二维相互作用电子气中电导的标度行为	95
参考文献	97
<b>第二十三章 动力学临界现象</b>	<b>99</b>
§23.1 临界慢化	99
§23.1.1 含时的 Ginzburg–Landau 方程	99
§23.1.2 动力学 Ising 模型	101
§23.1.3 动力学普适类	104
§23.2 动力学标度行为	106
§23.2.1 动力学临界指数	106
§23.2.2 一维 Glauber 模型的动力学标度	107
§23.2.3 物理量的动力学标度函数	109
§23.2.4 正常金属 – 超导体转变点附近的电导率	111
§23.3 动力学重正化群	114
§23.3.1 动力学 Ising 链的时间粗粒化	114
§23.3.2 含时 Ginzburg–Landau 模型的动量空间处理	116
§23.3.3 各向同性 Heisenberg 铁磁体中的模耦合	118
参考文献	121
<b>第二十四章 量子临界现象</b>	<b>122</b>
§24.1 量子相变	122
§24.1.1 量子效应和相变	122
§24.1.2 横场 Ising 模型	124
§24.1.3 横场 Ising 模型的平均场处理	126
§24.1.4 相图	128
§24.2 量子标度和重正化	130
§24.2.1 临界指数	130
§24.2.2 量子标度变换	132
§24.2.3 动力学指数的卷入	134
§24.2.4 与温度有关的标度	135
§24.2.5 横场 Ising 链的实空间重正化	138
§24.3 金属 – 绝缘体相变	141
§24.3.1 密度驱动的相变	141
§24.3.2 无序驱动的相变	143

§24.3.3 关联驱动的相变	147
§24.4 一些体材料的量子临界性质	150
§24.4.1 重电子化合物	151
§24.4.2 欠掺杂铜氧化物	154
§24.4.3 巡游铁磁体	158
§24.5 低维结构中的电子行为	162
§24.5.1 量子点中的单重态 – 三重态转变	162
§24.5.2 碳纳米管中的金属 – 半导体转变	164
§24.5.3 碳单层中的电子关联	165
参考文献	168

### 第六编 元 激 发

<b>第二十五章 元激发的特性</b>	<b>173</b>
§25.1 元激发家族	173
§25.1.1 元激发的内涵	173
§25.1.2 元激发的分类	174
§25.1.3 分数统计	176
§25.2 多粒子系统的场量子化	179
§25.2.1 全同粒子的二次量子化	179
§25.2.2 电子波	180
§25.2.3 格波	181
§25.2.4 电磁波	182
§25.2.5 电子 – 声子耦合	184
§25.2.6 电子 – 光子耦合	188
§25.2.7 声子 – 光子耦合	189
§25.3 正则变换	191
§25.3.1 平均场近似下的双线性 Hamilton 量	191
§25.3.2 简单二次型 Hamilton 量的对角化	192
§25.3.3 超流理论中的 Hamilton 量对角化	193
§25.3.4 超导理论中的 Hamilton 量对角化	195
§25.4 元激发与相变	195
§25.4.1 Goldstone 定理	195
§25.4.2 Hohenberg–Mermin–Wagner 定理	197
§25.4.3 软模的铁电相变	200
§25.4.4 Peierls 畸变	202
参考文献	206



<b>第二十六章 振动激发</b> . . . . .	<b>208</b>
§26.1 分子振动 . . . . .	208
§26.1.1 双原子分子的简谐振动 . . . . .	208
§26.1.2 多原子分子和水分子 . . . . .	210
§26.1.3 键荷模型和 Fuller 烯 . . . . .	212
§26.1.4 密度泛函和钠团簇 . . . . .	214
§26.2 体材料中的振动 . . . . .	216
§26.2.1 无序固体中的晶格动力学 . . . . .	216
§26.2.2 二能级系统中的隧道态 . . . . .	218
§26.2.3 分形晶格中的分形子 . . . . .	221
§26.2.4 无公度结构中的振幅子和相位子 . . . . .	223
§26.2.5 二十面体准晶的声子谱 . . . . .	225
§26.3 低维结构中的振动 . . . . .	227
§26.3.1 碳单层的声子色散关系 . . . . .	228
§26.3.2 碳纳米管的声子模 . . . . .	230
§26.3.3 Fibonacci 超晶格中的耦合光学界面模 . . . . .	232
§26.3.4 量子点中的声子 . . . . .	234
§26.4 Bose 液体中的声子和旋子 . . . . .	237
§26.4.1 Landau 激发谱图像 . . . . .	237
§26.4.2 Bogoliubov 理论 . . . . .	240
§26.4.3 Feynman 理论 . . . . .	242
§26.4.4 囚禁 Bose 气体中的集体模 . . . . .	245
参考文献 . . . . .	247
<b>第二十七章 自旋激发</b> . . . . .	<b>248</b>
§27.1 自旋波的特征 . . . . .	248
§27.1.1 磁相互作用 . . . . .	248
§27.1.2 波矢区域 . . . . .	250
§27.1.3 磁矩运动方程 . . . . .	251
§27.2 局域磁矩磁体 . . . . .	253
§27.2.1 铁磁自旋波的半经典途径 . . . . .	254
§27.2.2 铁磁自旋波的量子化处理 . . . . .	256
§27.2.3 反铁磁体和亚铁磁体中的自旋波 . . . . .	259
§27.2.4 磁场诱导的磁振子的 Bose-Einstein 凝聚 . . . . .	262
§27.2.5 磁渗流结构中的磁分形子 . . . . .	265

§27.3 巡游电子磁体 . . . . .	267
§27.3.1 个别自旋激发 . . . . .	267
§27.3.2 集体自旋激发 . . . . .	269
§27.3.3 自洽自旋涨落 . . . . .	273
§27.4 铁磁薄膜中的自旋波 . . . . .	276
§27.4.1 表面效应和边界条件 . . . . .	276
§27.4.2 自旋波共振 . . . . .	279
§27.4.3 交换自旋波的微观计算 . . . . .	280
§27.4.4 静磁模 . . . . .	283
参考文献 . . . . .	285
<b>第二十八章 电子激发 . . . . .</b>	<b>287</b>
§28.1 Fermi 液体 . . . . .	287
§28.1.1 相互作用电子的微观描述 . . . . .	287
§28.1.2 Landau 唯象理论 . . . . .	290
§28.1.3 Fermi 液体的可测量性质 . . . . .	293
§28.2 个别激发和集体激发 . . . . .	295
§28.2.1 介电响应函数 . . . . .	295
§28.2.2 对激发 . . . . .	298
§28.2.3 体等离子激元 . . . . .	299
§28.2.4 低维等离子激元 . . . . .	302
§28.3 量子 Hall 效应和量子自旋 Hall 效应 . . . . .	303
§28.3.1 整数量子 Hall 效应 . . . . .	303
§28.3.2 分数量子 Hall 效应 . . . . .	307
§28.3.3 准粒子 . . . . .	311
§28.3.4 集体模 . . . . .	313
§28.3.5 碳单层中的反常量子 Hall 效应 . . . . .	314
§28.3.6 量子自旋 Hall 效应和拓扑绝缘体 . . . . .	316
§28.4 Luttinger 液体 . . . . .	320
§28.4.1 相互作用一维电子气 . . . . .	320
§28.4.2 电荷 - 自旋分离的集体激发 . . . . .	324
§28.4.3 一维电子输运 . . . . .	327
参考文献 . . . . .	329
<b>第二十九章 耦合型激发 . . . . .</b>	<b>331</b>
§29.1 激子 . . . . .	331
§29.1.1 Frenkel 激子 . . . . .	331
§29.1.2 Wannier 激子 . . . . .	333

§29.1.3	受限激子	335
§29.1.4	激子的统计	338
§29.1.5	激子的凝聚	339
§29.2	极化子、孤子和轨道子	341
§29.2.1	极化子	342
§29.2.2	双极化子	344
§29.2.3	激子极化子	346
§29.2.4	导电聚合物中的孤子和极化子	347
§29.2.5	轨道子	349
§29.3	电磁激元	352
§29.3.1	电磁声子	353
§29.3.2	表面电磁声子	355
§29.3.3	电磁激子	357
§29.3.4	微腔电磁激子	360
§29.3.5	亚波长小孔的光学透射	361
§29.4	磁体中的耦合激发	364
§29.4.1	磁极化子	364
§29.4.2	电磁磁振子	367
§29.4.3	磁声模	368
	参考文献	371

## 第七编 织构和拓扑缺陷

第三十章	广义弹性和流体动力学	375
§30.1	晶态固体的经典弹性力学	375
§30.1.1	经典弹性力学的序参量方法	375
§30.1.2	形变和应变张量	376
§30.1.3	弹性自由能	377
§30.1.4	弹性常数	377
§30.1.5	应变场	378
§30.2	熵致弹性	380
§30.2.1	长链分子的拉伸	380
§30.2.2	橡胶的高弹性	381
§30.2.3	应力场诱导的有序化	383
§30.3	滞弹性聚合物和蛇行	383
§30.3.1	滞弹性的测量	384
§30.3.2	单分散线性聚合物熔体的滞弹性的实验结果	385
§30.3.3	管道模型和蛇行	385

§30.3.4 蛇行理论的修正	388
§30.4 液晶的取向弹性	389
§30.4.1 自由能和 Frank 弹性常数	389
§30.4.2 边界条件和织构	390
§30.4.3 外场和织构	391
§30.5 XY 模型的一般弹性问题	394
§30.5.1 格点模型	394
§30.5.2 连续模型	395
§30.6 经典流体力学	395
§30.6.1 理想流体的 Euler 方程	395
§30.6.2 理想流体的环量守恒	396
§30.6.3 黏性流体的 Navier–Stokes 方程	397
§30.7 氦 II 的流体力学	398
§30.7.1 运动方程	398
§30.7.2 声波在氦 II 中的传播	398
参考文献	401
<b>第三十一章 缺陷的拓扑和几何性质</b>	<b>402</b>
§31.1 弹性连续介质中线缺陷的产生和表征	402
§31.1.1 Volterra 过程	402
§31.1.2 弹性连续介质中的 Burgers 环路	403
§31.2 晶体中的位错	403
§31.2.1 刃型位错和螺型位错	404
§31.2.2 位错的滑移和攀移	405
§31.2.3 Volterra 过程在晶体中的应用	406
§31.2.4 位错的运动方式	407
§31.2.5 晶体的位错和范性应变	408
§31.3 液晶中的缺陷	411
§31.3.1 向列相中的缺陷	412
§31.3.2 胆甾相中的缺陷	413
§31.3.3 蓝相	415
§31.3.4 近晶相和柱状相中的缺陷	416
§31.4 基于同伦群的缺陷拓扑学理论	421
§31.4.1 应用同伦群对有序介质中奇点分类	421
§31.4.2 同伦群概述	423
§31.4.3 同伦路径和基本群	423
§31.4.4 缺陷及其数学表述	425
§31.4.5 推广到晶体介质	426

---

参考文献	427
<b>第三十二章 缺陷的结构与能量学</b>	<b>429</b>
§32.1 点缺陷	429
§32.1.1 热力学平衡态中的点缺陷	429
§32.1.2 点缺陷的形成能	430
§32.1.3 点缺陷迁移的激活能	431
§32.1.4 点缺陷的形成	431
§32.1.5 离子晶体的点缺陷	433
§32.1.6 离子导体	435
§32.1.7 离子晶体的色心	436
§32.1.8 杂质原子	438
§32.2 线缺陷	440
§32.2.1 位错的连续介质模型	440
§32.2.2 直刃型位错的应力场	441
§32.2.3 直螺型位错的应力场	442
§32.2.4 直位错的能量	442
§32.2.5 位错的晶格模型	445
§32.2.6 位错与其它缺陷的相互作用	449
§32.2.7 Frank-Read 源引起的位错线增殖	451
§32.3 平移界面	452
§32.3.1 堆垛层错	452
§32.3.2 体心立方金属中的位错	455
§32.3.3 共价晶体中的堆垛层错与位错	457
§32.3.4 铜氧化物高温超导体中的复杂堆垛层错	458
§32.3.5 反相畴界	458
§32.3.6 晶体学切变面	461
§32.4 孪晶	462
§32.4.1 反映孪晶	462
§32.4.2 旋转孪晶	464
§32.5 晶界	464
§32.5.1 小角度晶界	465
§32.5.2 大角度晶界	467
§32.6 外延生长和相界	469
§32.6.1 基本概念	469
§32.6.2 相界	469

§32.7 向错	472
§32.7.1 向错的连续介质模型	472
§32.7.2 晶体中的向错	472
参考文献	474
<b>第三十三章 缺陷敏感的力学性质与物理性质</b>	<b>475</b>
§33.1 范性形变	475
§33.1.1 范性屈服	475
§33.1.2 理论屈服强度	476
§33.1.3 晶体范性形变的几何学与晶体学	479
§33.1.4 温度影响下的范性流变	482
§33.2 断裂	486
§33.2.1 理论断裂强度	486
§33.2.2 断裂的 Griffith 理论	487
§33.2.3 脆性与韧性	489
§33.3 材料的强化与增韧	491
§33.3.1 金属材料的强化	491
§33.3.2 陶瓷材料的增韧	496
§33.3.3 复合材料	499
§33.4 铁磁晶体中的畴壁	501
§33.4.1 畴结构的能量	502
§33.4.2 畴壁的结构	503
§33.4.3 铁磁体中的磁畴	504
§33.4.4 磁性颗粒	506
§33.4.5 磁化曲线与磁滞回线	507
§33.5 II 型超导体中的涡旋晶格	511
§33.5.1 线性 Ginzburg–Landau 方程	512
§33.5.2 涡旋晶格的 Abrikosov 解	512
§33.5.3 不可逆性	514
§33.5.4 钉扎	515
§33.5.5 热涨落	516
§33.5.6 涡旋物质	518
参考文献	521
<b>第三十四章 缺陷介入的相变</b>	<b>522</b>
§34.1 从涨落到环流	522
§34.1.1 涨落、有序和维度	522
§34.1.2 二维熔化模型	524

§34.1.3 XY 模型中的奇异性与 $^4\text{He}$ 超流体	525
§34.2 二维 XY 模型与超流转变中的 Kosterlitz–Thouless– Berezinskii 相变	526
§34.2.1 XY 模型以及二维超流转变的输运理论	526
§34.2.2 振幅涨落和 Landau 理论	529
§34.2.3 重正化处理和实验观察	530
§34.3 二维熔化	532
§34.3.1 二维晶体的不稳定性	532
§34.3.2 平移有序和取向有序以及 Landau 理论	534
§34.3.3 光滑衬底上的熔化	537
§34.4 扭转晶界相	540
参考文献	541

## 第八编 超出平衡态

第三十五章 相变动力学	545
§35.1 相图和序参量	545
§35.1.1 Ising 模型和二元合金的相图	545
§35.1.2 守恒定律	548
§35.1.3 序参量场的运动方程	549
§35.2 均匀成核与非均匀成核	550
§35.2.1 成核的热动力学理论	550
§35.2.2 晶核长大的动力学分析	550
§35.2.3 非均匀成核	551
§35.3 二元合金相分离中的成核 – 生长与失稳分解	553
§35.3.1 成核 – 长大机制	553
§35.3.2 失稳分解动力学	556
§35.4 畴的粗化	562
§35.4.1 标度概念	562
§35.4.2 非守恒序参量场的生长规律	563
§35.4.3 守恒序参量场的生长规律	565
§35.5 $n$ -矢量序参量场的推广	568
§35.5.1 运动方程以及拓扑缺陷	569
§35.5.2 Porod 定律及其推广	569
参考文献	570

<b>第三十六章 晶体生长和形貌</b> . . . . .	<b>571</b>
§36.1 生长形貌学的物理基础 . . . . .	571
§36.1.1 表面张力 . . . . .	571
§36.1.2 质量和能量的运输 . . . . .	574
§36.1.3 涨落和微扰 . . . . .	575
§36.2 晶体的多面体式生长 . . . . .	576
§36.2.1 晶体的平衡外形 . . . . .	576
§36.2.2 晶体的运动学外形 . . . . .	578
§36.3 与结构和表面微形貌相关的生长动力学 . . . . .	578
§36.3.1 晶体表面的原子结构 . . . . .	579
§36.3.2 粗糙面的生长 . . . . .	580
§36.3.3 光滑面的生长 . . . . .	581
§36.3.4 邻位面的生长 . . . . .	583
§36.4 固液界面生长形态的形成 . . . . .	585
§36.4.1 定性讨论 . . . . .	585
§36.4.2 定量判据 . . . . .	587
§36.5 枝晶生长 . . . . .	590
§36.5.1 针状生长动力学导论 . . . . .	590
§36.5.2 二维生长 . . . . .	592
§36.5.3 推广到三维情况 . . . . .	594
§36.5.4 枝晶生长的形态相图 . . . . .	597
§36.6 在标量场和矢量场中的生长形态 . . . . .	598
§36.6.1 理论框架 . . . . .	598
§36.6.2 溶液中晶体的生长 . . . . .	598
§36.6.3 黏性指进 . . . . .	599
§36.6.4 扩散限制聚集作用 . . . . .	600
§36.6.5 在弹性固体中应力场的张量特征 . . . . .	602
§36.6.6 各向同性和各向异性的裂纹图像 . . . . .	602
§36.7 生物膜和巨型囊泡的形状 . . . . .	603
§36.7.1 生物膜的流体镶嵌模型 . . . . .	603
§36.7.2 生物膜自发弯曲的 Helfrich 模型 . . . . .	604
§36.7.3 轴对称的形状方程式和其解 . . . . .	605
参考文献 . . . . .	606
<b>第三十七章 从失稳走向混沌</b> . . . . .	<b>607</b>
§37.1 热对流 . . . . .	607
§37.1.1 Rayleigh–Benard 问题 . . . . .	607
§37.1.2 基本方程和边界条件 . . . . .	608



§37.1.3 线性稳定性分析	610
§37.2 Taylor–Couette 流	613
§37.2.1 液体动力学方程及其在柱坐标中的解	613
§37.2.2 Reynolds 数和相似性定律	614
§37.2.3 Taylor–Couette 流的稳定性判据	615
§37.2.4 与相变类比	617
§37.3 Lorenz 方程和混沌运动	618
§37.3.1 Rayleigh–Benard 问题的一个简化模型	618
§37.3.2 Lorenz 方程的解展示的对流态	619
§37.3.3 Lyapunov 指数和奇异吸引子	621
§37.4 通向混沌之路	623
§37.4.1 倍周期级联过程	623
§37.4.2 Logistic 映射	623
§37.4.3 标度和普适性	626
§37.4.4 阵发	628
§37.5 圆映射	630
§37.6 二维复映射	632
§37.6.1 Henon 映射	633
§37.6.2 Smale 映射	634
§37.6.3 从实映像到复映像	636
§37.7 混沌理论与现实世界的关联	638
§37.7.1 混沌中实验观测序列的周期加倍	638
§37.7.2 凝聚态物理中观察到的魔梯的一些实例	639
§37.7.3 从观测的时间序列信号中构建吸引子	640
§37.7.4 混沌系统的控制	642
§37.8 量子系统中混沌现象的若干表现	644
§37.8.1 能级的分配	644
§37.8.2 能级的排斥	644
§37.8.3 能级间隔的分形分布	646
参考文献	646
<b>第三十八章 复杂性</b>	<b>647</b>
§38.1 算法复杂度	647
§38.1.1 如何定义复杂性	647
§38.1.2 Turing 机	648
§38.1.3 Kolmogorov 理论	649
§38.1.4 计算、信息和物理	651