

统计物理现代教程

上册

〔美〕 L.E. 雷克 著

北京大学出版社

JY11/63/13

统计物理现代教程

上 册

〔美〕L.E.雷克 著

黄 昀 ~~夏蒙林~~

~~仇韵清~~ ~~赵制华~~

北 京 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书系统地介绍了热力学与统计物理学中的基本概念和近代成就,对七十年代的最新成果都作了很好的概述,可作为高等学校物理专业或其它有关专业的本科生与研究生的教材或参考书。

全书共分十七章,上册为十章,下册为七章。下册包括:经典流体、量子流体、初等输运理论、流体力学与昂色格关系、涨落耗散定理、长时尾及非平衡相变等内容。每章末并附有习题及参考书目。

读者对象:从事理论物理、固体物理、物理化学等方面的科技工作者及高等学校师生。

L. E. Reichl

A Modern Course in Statistical Physics

University of Texas Press, 1980

统计物理现代教程

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

新华书店北京发行所发行

北京通县燕山印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 14印张 354千字

1985年8月第一版 1985年8月第一次印刷

印数: 1—32,000册

统一书号: 13209·49 定价: 2.90元

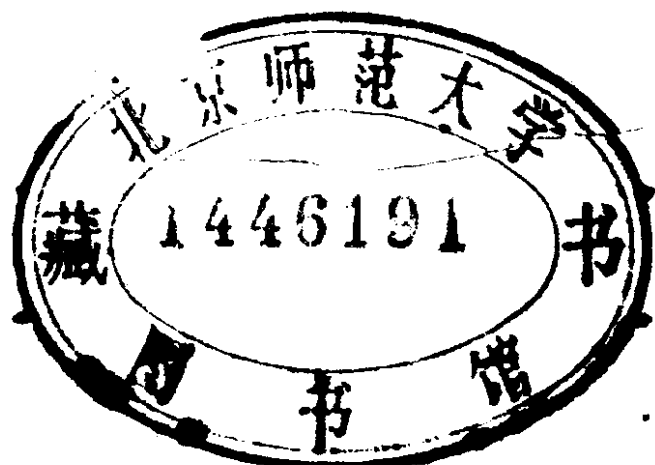
JY1/63/13

统计物理现代教程

下 册

〔美〕L. E. 雷克 著

黄 昀 夏蒙芬 译校
仇韵清 赵凯华



北京大学出版社

译 者 前 言

本书根据 1980 年美国德克萨斯州立大学出版社的英文初版译出，是近年来出版的一本比较好的统计物理教学用书。本书取材广泛，内容基本上概括了现代统计物理学的理论基础与重要课题。论述深入浅出，流畅易读。书中附有大量习题及参考书目。我们认为，本书可作为一本统计物理的大学教材和科研技术人员的参考读物。

在本书的翻译过程中得到了原作者的友好支持，为我们提供了勘误表，使原书中的一些笔误及印刷错误在译本中得以改正。

本书由北京大学物理系同志合作译出。翻译分工如下，第一章，第五章至第八章，第十四章至第十六章：夏蒙葵；第二章至第四章，第十三，十七章和附录：仇韵清；第九章至第十二章：黄昀；全书由赵凯华负责校阅，最后由黄昀负责全书订正。

同时也对郝柏林同志提供原书表示谢意。

由于时间紧迫，译校者水平有限，不妥甚至错误之处恐在所难免，我们诚恳地期待来自广大读者的批评和指正。

译 者

一九八一年十月于北京

前 言

我愉快地将这本统计物理专著介绍给读者。在最近的十年中，这个领域发生着真正的飞跃。我还清晰地记得在第二次世界大战后，当时我是国际纯粹与应用物理学会所属的统计力学热力学委员会的秘书，在布鲁塞尔和佛罗伦萨组织了第一次会议。会议规模虽然不大，但与会者之间却能友好地相聚和讨论。今天这个领域的视野显著地扩大了，研究的问题正成倍地增长。因此比以往任何时候更需要一本综合性评述，它能对学生介绍这个领域中的近代成就。许多年以前，否勒的“统计力学”一书(剑桥大学出版社，1929)就具有这种目的。它曾经被几代学生作为入门书而成功地应用。近年来出版的一些书中，我认为没有一本能完成这个任务。当然统计物理已经出现了许多优秀的专著，但它们中的大多数不是太简单，就是太专门。把统计物理中如此多的新领域综合起来本身就是一件了不起的事。“统计物理现代教程”是统计物理方面一本极好的入门书。我确信它将会鼓励许多年青人去进一步探索这个迷人的课题。最后我必须指出 L. E. 雷克博士为这本书作了很多的准备工作。她在多体理论、非线性响应理论、输运理论以及低温物理方面作出了一系列有益的贡献。

诺贝尔奖金获得者

德克萨斯大学物理与化学工程教授

布鲁塞尔自由大学物理化学教授

I. 普里高京

致 谢

首先我要感谢统计力学中心的主任I. 普里高京教授。他对许多科学领域的深入理解和对某些观点的巨大热忱促使我去探索了若干课题，这些课题都在本书中进行了讨论。在他持续不断的支持和鼓励下，才使本书得以问世。同时我也要感谢欧洲原子能委员会的赞助以及布鲁塞尔自由大学在我写本书部分内容(1977年)时的款待表示谢意。

本书是以1974—1977年在德克萨斯大学一系列专题讲座的讲义为基础写成的。大学生们的积极讨论使手稿得到充实，并使它适于教学。在此对他们表示感谢。

L. E. 雷克

上册目录

译者前言	vii
前言	viii
致谢	ix
第一章 导言	1
第二章 热力学导论	8
§ 2.1 本章提要	8
§ 2.2 态变量与恰当微分	9
§ 2.3 状态方程	14
(一) 理想气体定律	14
(二) 维里展开	14
(三) 范德瓦耳斯状态方程	15
(四) 固体	17
(五) 拉紧的弦	17
(六) 表面张力	17
(七) 电极化强度	17
(八) 居里定律	18
§ 2.4 热力学定律	18
(一) 第零定律	19
(二) 第一定律	20
(三) 第二定律	20
(四) 第三定律	28
§ 2.5 热力学的基本方程	30
§ 2.6 热力学势	32
(一) 内能	32
(二) 焓	35
(三) 亥姆霍兹自由能	36
(四) 吉布斯自由能	38
(五) 巨势	39

(六) 热力学势密度	41
§ 2.7 响应函数	42
(一) 热容量	42
(二) PVT 系统的力学响应函数	44
(三) 磁系统的力学响应函数	45
§ 2.8 平衡态的稳定性	46
(一) PVT 系统的局域平衡条件	46
(二) 局域稳定性的条件	48
(三) 自由能稳定性要求的意义	51
§ 2.9 经典理想气体的热力学性质	54
(一) 内能和熵	54
(二) 焓	55
(三) 亥姆霍兹、吉布斯自由能	55
参考文献	56
习题	57
第三章 热力学的应用	61
§ 3.1 本章提要	61
§ 3.2 气体的冷却与液化	62
(一) 焦耳效应: 自由膨胀	62
(二) 焦耳-汤普森效应: 节流	64
§ 3.3 混合熵和吉布斯佯谬	68
§ 3.4 稀溶液中的渗透压	71
§ 3.5 化学反应的热力学	74
(一) 亲和势	74
(二) 稳定性	77
(三) 质量作用定律和反应热	78
§ 3.6 热机械效应	80
参考文献	83
习题	83
第四章 相变热力学	86
§ 4.1 本章提要	86
§ 4.2 相的共存: 吉布斯相律	88
§ 4.3 相变的分类	90

§ 4.4 纯的 PVT 系统	92
(一) 相图	92
(二) 共存曲线: 克劳修斯-克拉珀珑方程	94
(三) 液-汽共存区	98
(四) 范德瓦耳斯方程	102
§ 4.5 正规二元混合物	105
§ 4.6 京茨堡-朗道理论: λ 点	109
§ 4.7 居里点	113
§ 4.8 超导体	114
(一) 实验性质	114
(二) 超导体的京茨堡-朗道理论	119
§ 4.9 液氦	123
(一) 液态 He^4	124
(二) 液态 He^3	126
§ 4.10 临界指数	127
§ 4.11 纯 PVT 系统的临界指数	129
(一) 实验值	129
(二) 范德瓦耳斯方程	131
§ 4.12 居里点的临界指数	134
(一) 临界等温线的度	135
(二) 磁指数	135
(三) 热容量	135
(四) 磁导率	135
参考文献	136
习题	137
第五章 基本概率理论	141
§ 5.1 本章提要	141
§ 5.2 排列与组合	142
§ 5.3 概率的定义	143
§ 5.4 分布函数	145
(一) 离散随机变量	145
(二) 连续随机变量	146
(三) 联合概率分布	148

§ 5.5 二项式分布	150
(一) 二项式分布	151
(二) 高斯分布(或正态分布)	152
(三) 泊松分布	155
§ 5.6 无规行走	156
§ 5.7 中心极限定理	157
§ 5.8 大数定律	158
参考文献	160
习题	160
第六章 主方程	164
§ 6.1 本章提要	164
§ 6.2 主方程的推导	166
§ 6.3 马尔柯夫链	171
(一) 正则转移矩阵	172
(二) 有吸收态的转移矩阵	174
§ 6.4 无规行走和扩散方程	175
§ 6.5 离散平稳马尔柯夫过程: 普遍解	177
§ 6.6 生灭过程	181
§ 6.7 主方程的展开	184
§ 6.8 马尔萨斯-弗赫耳斯特方程	189
参考文献	192
习题	192
第七章 动力学系统中的概率分布	196
§ 7.1 本章提要	196
§ 7.2 概率密度流体	198
§ 7.3 BBGKY 系列	204
§ 7.4 微观平衡方程(经典流体)	208
(一) 粒子密度平衡方程	209
(二) 动量密度平衡方程	210
(三) 能量密度平衡方程	212
§ 7.5 概率密度算符	213
§ 7.6 约化密度算符	216

§ 7.7 维格纳函数	220
§ 7.8 微观平衡方程(量子流体)	225
参考文献	227
习题	228
第八章 各态历经理论	231
§ 8.1 本章提要	231
§ 8.2 各态历经流	232
§ 8.3 混合流	237
§ 8.4 非谐振子系统	242
参考文献	251
习题	252
第九章 平衡态统计力学: 可解模型	254
§ 9.1 本章提要	254
§ 9.2 平衡系综	257
(一) 闭合孤立系: 微正则系综	259
(二) 闭系: 正则系综	264
(三) 开系: 巨正则系综	267
§ 9.3 固体的热容量	270
(一) 固体的经典理论	270
(二) 固体的爱因斯坦理论	272
(三) 固体的德拜理论	274
§ 9.4 理想气体	279
(一) 经典理想气体: 分子运动论	279
(二) 量子理想气体: 巨正则系综	281
(三) 麦克斯韦-玻耳兹曼气体	284
(四) 玻色-爱因斯坦气体	286
(五) 费米-狄拉克气体	292
§ 9.5 有相互作用费米流体的动量凝聚	298
§ 9.6 有序无序相变	308
(一) 一般讨论	308
(二) 伊辛模型的两个应用	312
(三) 伊辛模型的布喇格-威廉斯近似	313

(四) 伊辛模型的严格解	318
§ 9.7 李-杨相变理论	321
§ 9.8 范德瓦耳斯方程	327
(一) 范德瓦耳斯方程的推导	327
(二) 麦克斯韦作图法	331
参考文献	334
习题	335
第十章 平衡涨落与临界现象	340
§ 10.1 本章提要	340
§ 10.2 爱因斯坦涨落理论	342
(一) 概论	342
(二) 对流体系统的应用	344
§ 10.3 相关函数与响应函数	347
(一) 一般关系	347
(二) 对流体系统的应用	349
(三) 对自旋系统的应用	351
§ 10.4 标度理论	354
(一) 齐次函数	354
(二) Widom 的标度理论	355
(三) Kadanoff 的标度理论	357
§ 10.5 临界指数的微观计算	361
§ 10.6 三角形点阵的临界指数	364
§ 10.7 高斯模型的临界指数	369
§ 10.8 S^4 -模型	373
参考文献	385
习题	386

下 册 目 录

第十一章 经典流体	(389)
§ 11.1 本章提要	(389)
§ 11.2 热力学与径向分布函数	(390)
(一) 约化几率密度	(390)
(二) 热力学量与约化几率密度	(393)
§ 11.3 状态方程的维里展开	(399)
(一) 维里展开与集团函数	(399)
(二) 第二维里系数	(407)
(三) 第三维里系数	(413)
(四) 高级维里系数	(418)
§ 11.4 约化几率密度的维里展开	(420)
§ 11.5 奥尔恩斯坦-则尼克方程与近似图	(425)
§ 11.6 叠加原理	(431)
§ 11.7 稠密流体的实验结果	(435)
§ 11.8 微扰论	(438)
§ 11.9 维里系数的量子修正	(439)
(一) 理想量子气体	(441)
(二) 有相互作用的量子气体	(443)
参考文献	(447)
习题	(449)
第十二章 量子流体	(451)
§ 12.1 本章提要	(451)
§ 12.2 正常玻色流体与费米流体的巨势	(453)
(一) 巨势的累积展开	(453)
(二) 维克定理	(457)
(三) 图表示	(460)

§ 12.3	直接互作用与交换互作用.....	(470)
§ 12.4	电子气体.....	(473)
	(一) 有效哈密顿量.....	(473)
	(二) 极化图形.....	(480)
	(三) 经典电子气体.....	(483)
	(四) 零温极限.....	(486)
§ 12.5	玻色流体与费米流体的传播函数.....	(489)
	(一) 物理阐述.....	(489)
	(二) 图形展开.....	(494)
§ 12.6	戴逊方程与自能结构.....	(497)
§ 12.7	弱耦合费米流体在低温时的元激发.....	(501)
§ 12.8	低温下的弱耦合凝聚玻色流体.....	(507)
	(一) 严格传播函数.....	(507)
	(二) 戴逊方程.....	(511)
	(三) 化学势.....	(515)
	(四) 元激发.....	(515)
	参考文献.....	(517)
	习题.....	(518)
第十三章	初等输运理论.....	(521)
§ 13.1	本章提要.....	(521)
§ 13.2	初等动力理论.....	(522)
	(一) 平均自由程.....	(523)
	(二) 碰撞频率.....	(523)
	(三) 自扩散.....	(526)
	(四) 粘滞系数和热导率.....	(529)
	(五) 反应率.....	(532)
§ 13.3	玻耳兹曼方程.....	(536)
	(一) 两体散射.....	(537)
	(二) 玻耳兹曼方程的导出.....	(540)
	(三) 玻耳兹曼 H 定理.....	(541)
§ 13.4	二组元系统的线性化玻耳兹曼方程.....	(543)

§ 13.5	自扩散系数	(548)
(一)	线性化流体力学方程	(548)
(二)	洛伦兹-玻耳兹曼方程的本征频率	(549)
§ 13.6	粘滞系数和热导系数	(551)
(一)	流体力学方程的简正模频率	(552)
(二)	玻耳兹曼方程的本征频率	(559)
§ 13.7	索宁多项式	(564)
§ 13.8	量子动力论方程	(567)
(一)	基本模型	(568)
(二)	波戈留波夫假设	(570)
(三)	动力方程	(573)
(四)	空间均匀系统	(575)
参考文献		(579)
习题		(580)
第十四章 流体力学与昂色格关系		(583)
§ 14.1	本章提要	(583)
§ 14.2	昂色格关系	(583)
(一)	与时间有关的相关函数及微观可逆性	(584)
(二)	涨落的回归	(586)
§ 14.3	存在磁场时的昂色格关系	(588)
§ 14.4	机械热效应与热分子压强效应	(590)
(一)	机械热效应	(594)
(二)	热分子压力效应	(595)
§ 14.5	最小熵产生	(596)
§ 14.6	单成分正常各向同性流体	(600)
(一)	质量守恒, 连续性方程	(601)
(二)	动量平衡方程	(601)
(三)	能量与熵的平衡方程	(602)
§ 14.7	有化学反应的多成分流体	(607)
§ 14.8	超流体的流体力学	(612)
(一)	流体力学方程组	(613)

(二) 第一声波	(617)
(三) 第二声波	(618)
参考文献	(620)
习题	(621)
第十五章 涨落耗散定理	(624)
§ 15.1 本章提要	(624)
§ 15.2 Wiener-Khinchin定理	(625)
(一) 与时间有关的相关矩阵的性质	(625)
(二) 谱密度矩阵	(626)
(三) 谱密度矩阵与磁场	(628)
§ 15.3 因果律与响应矩阵	(628)
§ 15.4 涨落耗散定理	(634)
§ 15.5 吸收功率	(636)
(一) δ 函数力	(637)
(二) 振荡力	(637)
§ 15.6 简谐束缚的布朗粒子	(638)
§ 15.7 光散射	(641)
(一) 光散射的唯象讨论	(642)
(二) 散射光的强度	(644)
(三) 散射强度的流体力学表达式	(650)
§ 15.8 微观线性响应理论	(654)
§ 15.9 流体力学与线性响应理论	(658)
§ 15.10 以投影算符表示相关函数	(660)
§ 15.11 流体力学方程的普遍意义	(663)
(一) 流体力学方程的普遍形式	(663)
(二) 流体力学模式: 守恒量	(665)
(三) 流体力学模式: 对称破缺	(669)
§ 15.12 铁磁系统	(674)
§ 15.13 超流体中的对称破缺	(680)
参考文献	(681)
习题	(682)