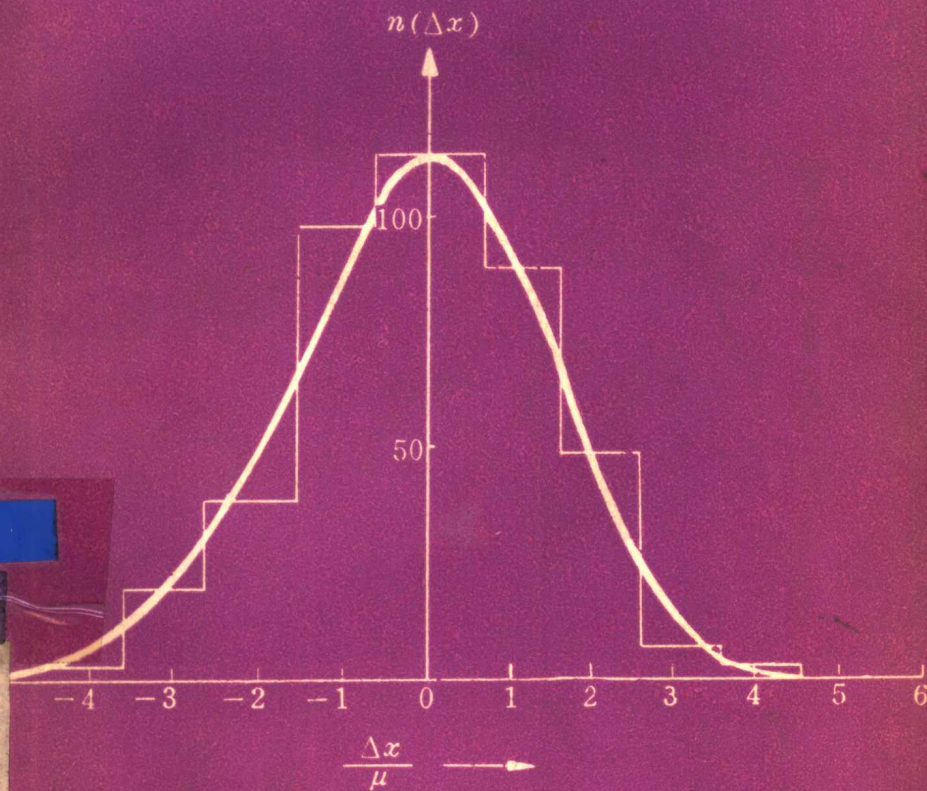


统计力学

上册

R. K. 帕斯里亚 著
湛垦华 方锦清 译



高等教育出版社

统 计 力 学

上 册

R. K. 帕斯里亚 著

湛垦华 方锦清 译

高等教育出版社

统 计 力 学

下 册

R. K. 帕斯里亚 著
湛垦华 方锦清 译

高等教育出版社

内 容 提 要

本书系根据英国珀伽芒出版社 (Pergamon Press) 出版的自然哲学国际丛书第 45 卷, 帕斯里亚 (R. K. Pathria) 著《统计力学》一书 1977 年修订版译出。

全书共十三章。首先, 论述热力学的统计基础和系综理论的基本原理; 接着讨论微正则系综、正则系综和巨正则系综; 随后, 将系综概念和量子力学概念结合起来, 讨论如何将这种表述形式应用于遵循玻色-爱因斯坦统计法和费米-狄拉克统计法的系统, 两体相互作用系统, 以及相变系统。此外, 还讨论了相互作用系统的统计力学主要方法: 集团展开法、微扰法和量子化场方法, 以及相变理论和涨落理论等。

本书分两册出版。上册包括前八章, 下册包括后五章及附录。

本书可作为物理、化学等专业的统计物理参考书, 亦可供自然科学各学科的理论工作者参考。

本书中译本责任编辑: 钟金城

STATISTICAL MECHANICS

R. K. PATHRIA

PERGAMON PRESS

Reprinted with corrections 1977

统 计 力 学

上 册

R. K. 帕斯里亚 著

湛星华 方锦清 译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京市大兴县印刷厂印装

•

开本 850 × 1168 1/32 印张 11 字数 262,000

1985 年 1 月第 1 版 1985 年 1 月第 1 次印刷

印数 00,001—7,300

书号 13010·0954 定价 2.80 元

内 容 提 要

本书系根据英国珀伽芒出版社(Pergamon Press)出版的自然哲学国际丛书第45卷,帕斯里亚(R. K. Pathria)著《统计力学》一书1977年修订版译出。

全书共十三章。首先,论述热力学的统计基础和系综理论的基本原理;接着讨论微正则系综、正则系综和巨正则系综;随后,将系综概念和量子力学概念结合起来,讨论如何将这种表述形式应用于遵循玻色-爱因斯坦统计法和费米-狄拉克统计法的系统,两体相互作用系统,以及相变系统。此外,还讨论了相互作用系统的统计力学主要方法:集团展开法、微扰法和量子化场方法,以及相变理论和涨落理论等。

本书分两册出版。上册包括前八章,下册为后五章及附录。

本书可作为物理、化学等专业的统计物理参考书,亦可供自然科学各学科的理论工作者参考。

本书中译本责任编辑:钟金城

STATISTICAL MECHANICS

R. K. PATHRIA

PERGAMON PRESS

Reprinted With Corrections 1977

统 计 力 学

下 册

R. K. 帕斯里亚 著

湛星华 方锦清 译

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京顺义县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 12.375 字数 297,000

1985年1月第1版 1986年1月第1次印刷

印数 00,001—05,160

书号 13010·01006 定价 2.85 元

译者前言

本书是一本近年来较为完善的统计力学及其应用的专著，同时也是一本多年来在国外享有一定声誉的许多大学的研究生教科书。全书按照量子力学的精神来论述系统的宏观描述与微观描述之间的物理联系。因此，贯穿全书有两个主要论点：用一组量子态来表征一个物理系统的动力学特性；由这些量子态的多重性来确定物理系统的热力学特性。书中详尽地论述了物理系统的平衡态理论，对量子统计学的一些最新应用也作了深入浅出的介绍，其中包括了著者自己的贡献。

当前，非平衡态统计，尤其是远离平衡态问题，是统计物理学中最活跃的研究领域之一。特别是，普利高津教授因为在这个领域的重大贡献于1977年荣获诺贝尔奖金。不过，非平衡态统计理论还正处在发展之中。本书虽未涉及非平衡态统计，但是其表述形式也适用于研究物质的非平衡态。更由于本书具有物理内容丰富、叙述严谨、数学推导完整、循循善诱、自成系统等特色，将有助于读者在统计物理学研究中打下坚实的基础。

本书承蒙西北大学江仁寿教授校阅了部分译稿，核工业部徐锡申副研究员校订全书，使本书增色不少，我们在此谨致衷心的感谢。

最后，由于我们水平所限，书中难免会有不妥和错误之处，乞望广大读者批评指正。

译者

一九八二年七月于北京

前 言

本书系根据作者多年来在麦克马斯特(McMaster)大学(1964—1965年)、亚伯达(Alberta)大学(1965—1967年)、沃特卢(Waterloo)大学(1969—1971年)和温莎(Windsor)大学(1970—1971年)给研究生讲授统计力学的讲稿撰写成书的。在书稿改编过程中,虽然对题材的细节作了相当大的改动,但是,本书的描述风格仍然与原来讲课的风格是相同的。

统计力学是根据物质的“微观”组分的动力学行为来研究“大块”物质的物理性质的一种不可缺少的工具。统计力学的理论体系是同时建立在数理统计和哈密顿力学原理的稳固基础之上的,业已证明它对于近百年来物理学具有不可估量的价值。鉴于统计力学具有如此诱人的普适性,我们认为,对于任何一个学习物理学的人来说,不管他将来打算从事哪个领域的专门研究工作,掌握这门学科所提供的基础知识都是极为重要的。为了提供这些基础知识,采用既相当严格而又不过分烦琐的方式来阐明统计力学的精髓,这就是本书的主要目的。

一个物理系统的动力学特性由一组量子态予以描述这一事实,以及该物理系统的热力学特性则由这些量子态的多重性予以确定这个断言构成我们研究问题的基础。通过研究处于热力学接触的两个物理系统之间的平衡条件,揭示了一个系统的微观描述与宏观描述之间的基本联系。建立这一联系的最好方法之一,就是从一开始就按照量子理论的精神来讨论,于是,我们就可以很自然地得出该系统的熵和其他热力学量。在发展了这种表述形式

之后,只要情况允许,我们就可以将研究结果过渡到经典统计力学的极限情形。这种做法可能并不是什么创新,但是,在本书中作者试图在教科书所允许的范围内尽可能地这样来描述。在这样做的时候,作者力求保持描述的水平比较一致,以便读者不致感到内容深度起伏太大。

本书限于研究物理系统的平衡态,并打算用来作为统计力学的研究生教程。在这个范围之内,所涉及的内容相当广泛,且可以提供足够两个学期课程选用的教材。当然,在使用本书时,最终的选材总是由各位教师自己来决定;作者个人认为1~9章(减去这几章中的很少几节,另加上第13章中的几节)应是这种课程的“基本部分”;第10~12章的内容比较高深一些(但是未必很难),这几章的内容如何选用,则完全依教师的喜好而定。为了读者便于领会本书的内容,书中还用了很多插图来说明。为了帮助读者衡量自己对本书内容的理解程度,书中各章都附有大量的习题。作者希望本书的这些特色会对读者有所帮助。

作者觉得,在教学中最重要的一环之一就是设法引起学生对这门学科的好奇心,而最有效的办法之一就是同他们共同讨论该学科诞生的历史背景(当然,这种讨论在适当的程度上进行)。为此,教师可能愿意在讲课中间偶尔讲述有关各种发展的来龙去脉;同时,教师也可能不愿意由于断断续续地加进一些历史资料而妨碍教学的正常进行。因此,作者决定与正文分开来单独写一篇统计力学的历史回顾。作者相信,读者,特别是教师将会发现这样做是有益的。

对于那些希望超出本书内容继续深入研究统计力学的读者,本书最后列出了一个内容相当广泛的参考文献目录,它包括了种类繁多的参考书和论著——既有早期的又有最新的,既有实验的又有理论的,既有学术性的又有教学用的。

愿本书对广大读者有所裨益。

R. K. 帕斯里亚

加拿大, 安大略省, 沃特卢

目 录

上 册

译者前言	1
前言	1
历史的回顾	1
第一章 热力学的统计基础	12
1.1 宏观态与微观态	13
1.2 统计学与热力学之间的联系: $\Omega(N, V, E)$ 的物理意义	15
1.3 统计学与热力学之间的进一步联系	19
1.4 经典理想气体	23
1.5 混合熵与吉布斯佯谬	32
1.6 微观态的“正确”计数	37
习题	39
第二章 系综理论的基本原理	43
2.1 经典系统的相空间	43
2.2 刘维定理及其推论	46
2.3 微正则系综	49
2.4 实例	52
2.5 量子态与相空间	57
2.6 两个重要定理——能量“均分”定理和“维里”定理	59
习题	64
第三章 正则系综	68
3.1 一个系统与大热库间的平衡	69
3.2 正则系综里的一个系统	71
3.3 各种统计量的物理意义	82
3.4 配分函数的另一种表达式	87
3.5 经典系统	89
3.6 正则系综中的能量涨落: 与微正则系综的对应关系	93

3.7	谐振子系统	100
3.8	顺磁性的统计理论	107
3.9	磁性系统的热力学: 负温度	115
	习题	123
第四章	巨正则系综	131
4.1	系统与粒子-能量库之间的平衡	132
4.2	巨正则系综中的一个系统	133
4.3	统计量的物理意义	135
4.4	实例	139
4.5	巨正则系综的密度涨落和能量涨落: 与其他系综的 对应关系	145
	习题	149
第五章	量子统计学的表述形式	152
5.1	量子力学系综理论: 密度矩阵	152
5.2	各种统计系综	157
5.3	实例	161
5.4	不可分辨粒子所组成的系统	168
5.5	自由粒子系统的密度矩阵和配分函数	174
	习题	181
第六章	简单气体理论	184
6.1	量子力学微正则系综中的理想气体	184
6.2	其他量子力学系综中的理想气体	189
6.3	占有数的统计	193
6.4	动力学的考虑	198
6.5	作整体运动的气体系统	204
6.6	具有内部运动的分子所组成的气体系统	210
	A. 单原子分子	212
	B. 双原子分子	214
	C. 多原子分子	225
	习题	227
第七章	理想玻色系统	234

7.1 理想玻色气体的热力学性质	235
7.2 黑体辐射的热力学	250
7.3 声波场	256
7.4 声场的惯性密度	265
7.5 液氦 II 中的元激发	271
习题	280
第八章 理想费米系统	286
8.1 理想费米气体的热力学性质	286
8.2 理想费米气体的磁性质	295
A. 泡利顺磁性	296
B. 朗道抗磁性和德哈斯-范阿耳芬效应	301
8.3 金属中的电子气	308
A. 热电子发射	314
B. 光电发射	319
8.4 白矮星的统计平衡性质	322
8.5 原子的统计模型	329
习题	334

下 册

第九章 相互作用系统的统计力学: 集团展开法
第十章 相互作用系统的统计力学: 展势法
第十一章 相互作用系统的统计力学: 量子化场方法
第十二章 相变理论
第十三章 涨落
附录

- A. 边界条件对量子态分布的影响
- B. 一些数学函数
- C. 半径为 R 的 n 维球的“体积”和“表面积”
- D. 玻色-爱因斯坦积分
- E. 费米-狄拉克积分
- F. 常用物理常数

G. 国际规定的单位值和当量

H. 常用数学常数

文献

索引

专有名词汉英对照索引

人名汉英对照索引

目 录

第九章 相互作用系统的统计力学: 集团展开法	339
9.1 经典气体的集团展开	339
9.2 物态方程的维里展开	348
9.3 维里系数的计算	351
9.4 关于集团展开法的一般评述	358
9.5 第二维里系数的精确处理	364
9.6 量子力学系统的集团展开	370
9.7 李-杨的两体碰撞方法	377
9.8 两体碰撞方法的应用	388
A. 无相互作用粒子的气体	388
B. 硬球气体	391
习题	398
第十章 相互作用系统的统计力学: 膺势法	402
10.1 二体膺势	403
10.2 N 体膺势及其本征值	409
10.3 非理想费米气体的低温行为	415
10.4 非理想玻色气体的低温行为	422
10.5 玻色流体的基态波函数	430
10.6 具有量子化环流的状态	438
10.7 超流体的“旋转”	445
10.8 量子化涡环和超流动性破缺	451
习题	455
第十一章 相互作用系统的统计力学: 量子化场方法	458
11.1 二次量子化的表述形式	458
11.2 非理想玻色气体的低能态	469
11.3 玻色液体的能谱	476
11.4 非理想费米气体的低能态	483
11.5 费米液体的能谱: 朗道的唯象理论	490

习题.....	499
第十二章 相变理论	504
12.1 关于凝聚问题的一般评述.....	505
12.2 梅逸凝聚理论.....	511
12.3 杨-李理论.....	515
12.4 杨-李理论的进一步评述.....	524
A. 气相和集团积分.....	524
B. 静电比拟.....	525
12.5 相变的动力学模型.....	528
12.6 点阵气体和二元合金.....	535
12.7 零级近似下的伊辛模型.....	539
12.8 一级近似下的伊辛模型.....	550
12.9 一维点阵的精确处理.....	558
A. 组合法.....	558
B. 矩阵法.....	565
C. 巨配分函数的零点.....	567
12.10 二维点阵和三维点阵的研究.....	572
12.11 临界指数.....	581
12.12 对应态定律.....	586
习题.....	592
第十三章 涨落	597
13.1 热力学涨落.....	598
13.2 流体中的空间相关.....	602
13.3 布朗运动的爱因斯坦-斯莫鲁霍夫斯基理论.....	607
13.4 布朗运动的朗之万理论.....	614
13.5 趋向平衡: 福克-普朗克方程.....	622
13.6 涨落的谱分析: 威纳-辛钦定理.....	628
13.7 涨落-耗散定理.....	638
13.8 翁萨格关系.....	642
习题.....	648
附 录	654
A. 边界条件对量子态分布的影响.....	654

B. 一些数学函数	658
C. 半径为 R 的 n 维球的“体积”和“表面积”	672
D. 玻色-爱因斯坦积分	673
E. 费米-狄拉克积分	676
F. 普适物理常数	680
G. 国际规定的单位值和当量	681
H. 一般数学常数	683
参考文献	684
汉英专有名词对照索引	695
汉英人名对照索引	720

历史的回顾

统计力学是旨在根据物质微观组分的动力学行为来解释大块物质的物理性质的一门学科。这门学科所研究的领域简直犹如浩瀚的大自然现象那样广阔无际,因为从原则上说,这门学科适用于研究任何状态下的物质。事实上,它在固态、液态或气态等物质的研究中,在由几相共存和(或)几种成份组成的物质的研究中,在处于极端密度和温度条件下的物质的研究中,在与辐射处于平衡的物质(例如,在天体物理方面)的研究中,以及对于生物样品形态中的物质的研究等,都已经取得了重大的成功。而且,统计力学的表述形式能够使我们既可以研究物质的平衡态,又可以研究物质的非平衡态;的确,这些研究工作有助于我们理解在某一给定时刻 t ,一个“偏离平衡”的物理系统,随着时间的推移,是以什么样的方式趋向于“平衡态”的。

统计力学的早期研究阶段,同它目前的发展状况、它在各方面成功的应用以及它研究范围的广度相比,就显得颇为朴实了。除了诸如伽森狄、胡克等人提到过一些原始想法之外,真正的研究工作开始于伯努利(Bernoulli, 1738)、赫喇帕司(Herapath, 1821)和焦耳(Joule, 1851)等人,他们采用了各自不同的方法为后来成为统计力学前身的气体分子运动论奠定了基础。这些研究者的开拓性工作确立了以下事实:气体的压强是由于气体分子的运动而产生的,并可以通过考虑气体分子对容器器壁撞击的动力学效应计算出压强的大小。于是,伯努利和赫喇帕司能够证明,如果温度保持不变的话,普通气体的压强 P 是与体积 V 成反比的,而与容器的形状根本无关(玻意耳定律)。当然,这个定律包含着一个