统计物理学

《伯克利物理学教程》第五卷

〔美〕F. 瑞夫 著

科学出版社

China 需要全本请访问 www.ertongbook.com

53.34
712

统计物理学

《伯克利物理学教程》第五卷

〔美〕F. 瑞夫 著

周世勋　徐正惠　龚少明 译

1982.10.
图书馆藏

科学出版社

1979

1110166

O572.06

内 容 简 介

本书为《伯克利物理学教程》第五卷，研究由大量分子或原子组成的宏观体系的热运动规律.作者试图从原子论的基本概念出发，建立新的统计物理学系统. 全书共八章. 第一、第二章为预备性概念；第三、第四、第五章为全书的中心内容；第六、第七、第八章为理论的进一步阐述及其在化学、生物学等领域的应用. 各章都有大量习题，不但可以加深对概念的理解，而且对统计物理学在其他领域的应用也颇有启发.

本书可供高等院校理工科师生和物理学工作者参考，也可供从事化学、生物学等专业的科技工作者参考.

F. Reif
STATISTICAL PHYSICS
Berkeley Physics Course——Vol. 5
McGraw-Hill, 1967

统 计 物 理 学

《伯克利物理学教程》第五卷

〔美〕F. 瑞夫 著
周世勋　徐正惠　龚少明 译

*

科学出版社出版
北京朝阳门内大街 137 号
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

*

1979 年 9 月第 一 版　开本：787×1092　1/32
1979 年 9 月第一次印刷　印张：15 1/4
印数：0001—55,300　字数：344,000

统一书号：13031・918
本社书号：1302・13—3

定价：1.55 元

China

中译本前言

自六十年代初期以来，美国一些重点大学，为了解决基础物理教材内容陈旧，与现代科学技术蓬勃发展的要求不相适应的矛盾，开始对大学基础物理课程试行改革．《伯克利物理学教程》就是这种尝试之一．它是美国近年来较为流行的供大学理工科学生头二年使用的基础物理学教程，一共包括五卷：1. 力学；2. 电磁学；3. 波动学；4. 量子物理学；5. 统计物理学．原教程编写的意图，是尽可能地反映近百年来物理学的巨大进展，按照当前物理学工作者在各个前沿研究领域所使用的方式来介绍物理学．全教程引入狭义相对论、量子物理学和统计物理学的概念，从较新的统一的观点来阐明物理学的基本原理，以适应现代科学技术发展对物理教学提出的要求．在编写过程中曾吸收了在各个前沿领域工作的许多物理学工作者的意见，经过较长时间的教学试验和多次修改，于1963 年开始出版．迄今已重版多次，对美国大学物理教学有较大影响．原书比较偏重于理论方面，实验方面另编有《伯克利物理学实验》一书．鉴于这部教程在取材、编排和写法上有一些特点，对如何利用新的科学技术成就来改革和充实基础物理教学内容尚有可供借鉴之处，按照“洋为中用”的方针，我们翻译出版中译本，以供我国高等院校师生和科技人员参考．由于各卷内容相对独立，我们将分别出版．

必须指出，这部教程完全是按照美国教学原则编写的，不一定适合我国的具体情况，在观点上也会存在一些问题．希望读者阅读时注意．

在中译本中，我们对原书作了少量删节，删去的主要有和原书内容关系不大的一些物理学家的照片和简单传记材料以及其他一些材料．原书各章附有一些参考读物，考虑到这些读物有的出版较早，国内难以找到，我们也已一律删去．读者可以根据需要与可能，参考有关的书籍．

译文错误或不当之处，请读者批评指正．

需要全本请访问 www.ertongbook.com

原 书 序 言

本书是《伯克利物理学教程》的最后一卷，专门研究由许多原子或分子组成的大型(即宏观)体系;因而它为统计力学、分子运动论、热力学及热学等学科提供了一本入门书．我所遵循的方法,既不是按照这些学科进展的历史顺序,也不是沿袭传统的方式．我的目标是宁可采用现代的观点，用尽可能系统和简洁的方法阐明：原子论的基本概念如何导致明晰的理论框架,能够描述和预言宏观体系的性质。

在写作这本书的过程中，我心目中的读者是：他对这门学科没有任何先入之见，在第一次遇到这门学科时只是从他学过基础物理和原子性质的有利地位出发．因此，我选择的叙述次序就是要对这样的读者有启发作用，他打算自己去发现如何获得宏观体系的知识．在力求使叙述明晰和统一的过程中，我系统地阐述一个基本原理作为整个讨论的基础，这个原理指出,一个孤立体系有向最无规则状况接近的趋向.尽管我限于集中阐述一些简单的体系，但处理这些体系的方法是能广泛应用并易于推广的．尤其是，我在全书都试图强调物理洞察力，也就是迅速而直接地了解有重要意义的那些关系的能力．因此我力求作到：详细地讨论物理概念，而不迷失于数学公式中;用简单的例证说明普遍的抽象概念;对一些重要的量作出数值估计；并且把理论与由观察和实验得出的真实世界联系起来．

我不得不极其细心地选择本卷中应包括的题材．我的意图是要强调那些最基本的概念，它们不但对于物理学工作者

China

有用，也对化学、生物学、或工科的读者有用.“教学说明”概括说明了本书的结构和内容，并为教师和学生提供了若干指南. 本书采用非传统的讲述次序，目的在于强调宏观尺度的描述和原子尺度的描述之间的关系，然而却并不一定要牺牲那些传统的方法中所固有的优点. 具体地讲，值得提出下列几个特点：

(i)读者学完第七章后(即令他略去了第六章)，对于经典热力学的基本原理与重要应用的理解程度，就应象他按传统方式所学习到的一样好. 当然，关于熵的意义他将有更深入的理解，还会对统计物理学有相当深入的了解.

(ii)我在本书中曾特意强调，统计理论导出的某些结果，在内容上纯粹是宏观的，而且与我们对所研究体系的原子结构可能假定为什么样的模型完全无关. 这样，书中就十分明显地说明了经典热力学的普适性以及与模型的无关性.

(iii) 虽然按历史叙述的方法极少能对某一学科提供最严格的或最有启发性的阐述，但是熟悉一些科学概念的演变，还是有意义的，并且是有教益的. 因此，本书中也有若干必要的评论，使学生对本学科的进展有某些理解.

学习本卷所需的前提，除了经典力学和电磁学的基本知识外，只需要懂得最简单的原子论以及下列最初步的量子论知识：量子态和能级的意义，海森伯测不准原理，德布罗意波长，自旋的概念以及箱中的自由粒子问题. 所需的数学工具不超过简单的微分、积分和泰勒级数. 掌握了《伯克利物理学教程》前几卷(特别是第四卷)主要内容的读者，当然对学习本书准备了充分的基础. 本书也能很好地用作任何其他现代基础物理学教程的最后部分，就是说适用于二年级或二年级以上大学生水平的任何同类课程.

正如我在前言的开头指出的，我的目标是充分阐述一门

China

复杂学科的基础，使它成为简洁的、明晰且易于为初学学生所接受的。虽然这个目标是值得向往的，但是达到它却是困难的。对我来说，写这本书的确是一项艰巨而独特的工作；它耗费了难以置信的时间，真使我感到精疲力尽。如果我知道我已经足够好地达到了我的目的，因而本书确实是有些用处，就是对我的某种补偿了。

教 学 说 明

本 书 的 结 构

本书分为三个主要部分，我将依次叙述.

A. 预备性概念(第一、二章)

第一章：本章对本书所要探讨的最基本的物理概念作定性介绍，使学生懂得宏观体系的特点，并把学生的思考引向一条富有成果的路线.

第二章：本章在性质上更象数学，试图使学生熟悉概率论的基本概念(假定学生预先并没有几率的观念). 全章始终强调了系综的概念，所举的例子全都是物理上很有意义的情况. 尽管本章是针对后面各章的应用而写的，但所讨论的几率概念当然期望在更广泛的范围内都可以应用.

这两章不必花太多时间，实际上，有些学生很可能已有足够的基础，已经熟悉了这两章的部分内容. 虽然如此，我明确地建议这样的学生也不要跳过这两章，而是把这两章当作有益的复习.

B. 基本理论(第三、四、五章)

这部分是本书的核心. 实际上，本卷主题的逻辑的及定量的发展是从第三章开始的(就这个意义上说，前两章可以略去，但从教学效果来看，那是不明智的).

第三章：本章讨论如何用统计术语描述由许多粒子所组

成的体系．本章还引进了统计理论的基本假设．学完这一章后，学生应当已经认识到：宏观体系的定量理解，本质上说，取决于对体系可到达的状态数的研究，但他还不可能看到这一认识具有多么有用的价值．

第四章：本章是真正的收益．这章很自然地从研究两个体系如何通过热传递发生相互作用入手．但是，这一研究很快就导出了熵、绝对温度、正则分布(即玻耳兹曼因子)等一些基本概念．到本章结束，学生就能处理一些很实际的问题了．事实上，他已懂得了如何由基本原理计算物质的顺磁性质和理想气体的压强．

第五章：本章把理论的概念完全引到实际中来．因而本章讨论如何把原子论与宏观测量联系起来，如何从实验上确定一些物理量，例如绝对温度、熵等．

时间十分紧迫的教师教完这五章就可结束，而不必感到惋惜．到此为止，学生应当已十分清楚地懂得了绝对温度、熵和玻耳兹曼因子，即统计力学和热力学的最基本的概念．(的确，至此尚未讲到的唯一热力学结果只是准静态绝热过程中熵保持不变．)我认为这样本课程的基本目的已经达到了．

C. 理论的详尽阐述(第六、七、八章)

这一部分由彼此独立的三章组成，在某种意义上，每一章都可以独立存在，而不必以另外两章为前提．并且在读另一章之前只选用任一章的开头几节也是完全可行的．因此，任何教师都可利用这一灵活性以适应他自己的爱好或学生的兴趣．其中第七章又是整个理论中最重要最基本的一章，因为它完成了热力学原理的讨论．它也可能是对化学或生物学的学生最有用的一章．

第六章：这一章把近似经典概念引入统计描述中，从而

1110166

讨论正则分布的某些特别重要的应用．气体分子的麦克斯韦速度分布及能量均分定理是本章的主要论题．作为例证的应用包括分子束、同位素分离及固体比热等．

第七章：本章一开头就证明在准静态绝热过程中熵保持不变．这就完成了热力学定律的讨论，然后这些定律又以最普遍的形式加以总结．这一章还讨论了几个重要的应用：普遍平衡条件，包括吉布斯自由能的性质，相平衡，以及对热机和生物有机体的意义．

第八章：这最后一章打算阐述体系的非平衡性质．本章以最简单的平均自由程论证处理稀薄气体的输运过程，也阐述了粘滞性、热传导、自扩散及电导等．

本书基本结构的阐述就到此为止．在伯克利进行教学的过程中，大约用了基础物理学教学时间中最后四分之一中的八周时间，完成了本书主要内容的教学任务．

前面的概述清楚地表明，尽管本书的叙述方式是新颖的，但仍有自己严密的逻辑结构．这一逻辑发展过程可能学生比教师更感到自然和直接，因为学生接触这一课题时没有成见，而教师的头脑已受到教授这门课程的传统方法的影响．我奉劝教师们重新考虑这门学科．如果顽强的习惯势力会使教师不明智地掺进传统的观点，那么他可能会打乱本书的逻辑发展，可能就会不是使学生明白，反而是使学生模糊了．

本书的其他特点

附录：四节附录包括了若干有关的外围题材．特别对高斯和泊松分布专门作了讨论，因为它们在许多领域中都是重要的，而且又与《伯克利物理学教程》的实验部分有关系．

数学注释：这些注释只是把正文中或某些习题中用得着

需要全本请访问 www.ertongbook.com

的数学片断集中起来.

数值常数：可在书末的表中查到.

定义摘要：为了便于引证和复习，在每章末尾列出了这些摘要.

习题：习题是本书的一个重要组成部分. 为了提供丰富的启发性材料,我列入了大约160道题供选用，尽管不能指望每个学生都做完,但我鼓励他在读完每一章之后,应能解答章末习题的大部分;否则,他不能从本书得到什么好处. 带星号"*"的习题稍许难一些. 补充题主要涉及附录中所讨论的题材.

习题答案：绝大多数习题答案已列在书末. 有了这些答案，自学本书就方便了. 尽管我赞成学生首先设法解出题目再看答案;但是我相信,如果在求出结果之后马上核对一下答案，在学习方法上是有益的. 这样，可以及时发现自己的错误,促使他进一步思考,而不是被错误所蒙蔽，以至于无根据地自满.（尽管我力求使书后所列的答案正确无误,但是我不能担保这一点.如果读者把可能发现的任何错误告诉我,我将非常感谢.）

辅助材料：例证说明及各种注解组成的材料，用小体字排出，以使它们与逻辑发展的主要内容区别开来. 这些材料第一次阅读时不要跳过去，但是以后复习时就不必再看.

方程(公式)编号：方程在每章之内按次序编号，一个简单的数字,如(8),即指这一章中的方程编号8. 两个数字指其他各章的方程,如(3.8)指第三章的方程(8),(A.8)指附录A中的方程(8),(M.8)指数学注释中的方程(8).

China

对学生的忠告

学习是一个积极主动的过程，单纯阅读或死记硬背得不到什么真正效果．对待书中的内容要象你自己去力图发现它那样，教科书只是一种指导，你应当超过它．科学的任务在于学会思考的方法，这些方法对描述和预言所观察世界的特性来说是有效的．学会新的思考方法的唯一办法是具体思考．应努力去追求深入的知识，努力在前人还未发掘的地方去寻找新的关系和简单性．尤其不能死记公式，要学会推理的方式方法．值得用心记忆的关系只是少数几个重要关系式，我已经把它们明显地罗列在各章末尾了．如果这些关系式还不足以使你用大约 20 秒或更短一些时间内就能联想起其他的重要公式，那么你就还没有弄懂主要内容．

最后，掌握少数几个基本概念要比堆砌大量零乱的事实和公式重要得多．如果说，我在本书中对某些简单的特例（如自旋或理想气体体系）似乎讲得太多的话，这是有意的．某些显然是简单的陈述，往往发现会明显地导出意想不到的普遍结论，这在统计物理学和热力学的研究中更是如此．相反，也发现许多问题很易导致概念上的佯谬，或者导致似乎是无法处理的计算工作．这就又一次表明，相当简单的例子常常能够解决概念上的困难，并指出新的计算步骤或近似方法．因此，我的最后忠告是：你先试图很好地理解简单的基本概念，然后去做许多习题，包括书中给出的习题和你自己提出的问题．只有这样，你才能鉴别你的理解情况，也只有这样，才能懂得如何靠自己而成为一位独立的思考者．

目　　录

中译本前言 …… v

原书序言 …… vii

教学说明 …… x

第一章　宏观体系的特性 …… 1

1.1　平衡中的涨落 …… 3

1.2　不可逆性和趋近平衡 …… 18

1.3　其他例证 …… 39

1.4　平衡情况的性质 …… 45

1.5　热与温度 …… 51

1.6　典型的数值 …… 57

1.7　宏观物理的重要问题 …… 65

定义摘要 …… 71

习题 …… 72

第二章　基本的几率概念 …… 78

2.1　统计系综 …… 78

2.2　几率之间的基本关系 …… 92

2.3　二项式分布 …… 95

2.4　平均值 …… 107

2.5　自旋体系平均值的计算 …… 114

2.6　连续的几率分布 …… 123

定义摘要 …… 128

重要关系式 …… 129

习题 …… 130

第三章　多粒子体系的统计描述 …… 138

3.1　指定体系状态 …… 139

China

3.2 统计系综 …… 148
3.3 统计假设 …… 152
3.4 几率计算 …… 160
3.5 宏观体系的可到达状态数 …… 163
3.6 约束、平衡和不可逆性 …… 171
3.7 体系间的相互作用 …… 178
定义摘要 …… 186
重要关系式 …… 187
习题 …… 187
第四章 热相互作用 …… 193
4.1 宏观体系间的能量分布 …… 193
4.2 趋向热平衡 …… 201
4.3 温度 …… 202
4.4 微小的热转移 …… 210
4.5 与热库接触的体系 …… 213
4.6 顺磁性 …… 219
4.7 理想气体的平均能量 …… 224
4.8 理想气体的平均压强 …… 230
定义摘要 …… 235
重要关系式 …… 236
习题 …… 236
第五章 微观理论与宏观测量 …… 252
5.1 绝对温度的确定 …… 252
5.2 高和低的绝对温度 …… 257
5.3 功、内能和热 …… 263
5.4 热容量 …… 272
5.5 熵 …… 277
5.6 强度量和广延量 …… 279
定义摘要 …… 280
重要关系式 …… 281

China

习题 …… 281
第六章 经典近似中的正则分布 …… 291
6.1 经典近似 …… 291
6.2 麦克斯韦速度分布 …… 301
6.3 麦克斯韦分布的讨论 …… 305
6.4 泻流和分子束 …… 313
6.5 均分定理 …… 320
6.6 均分定理的应用 …… 322
6.7 固体的比热 …… 325
定义摘要 …… 332
重要关系式 …… 332
习题 …… 333
第七章 一般热力学相互作用 …… 342
7.1 状态数与外参量的关系 …… 342
7.2 适用于平衡时的一般关系 …… 349
7.3 应用于理想气体 …… 354
7.4 统计热力学的基本表述 …… 360
7.5 平衡条件 …… 365
7.6 相平衡 …… 372
7.7 无序向有序的转变 …… 381
定义摘要 …… 390
重要关系式 …… 391
习题 …… 391
第八章 输运过程分子运动论基础 …… 400
8.1 平均自由程 …… 401
8.2 粘滞性与动量输运 …… 406
8.3 热传导与能量输运 …… 415
8.4 自扩散与分子输运 …… 420
8.5 电导与电荷的输运 …… 426
定义摘要 …… 429

China

重要关系式 …… 430
习题 …… 430
附录 …… 437
A.1 高斯分布 …… 437
A.2 泊松分布 …… 443
A.3 能量涨落的幅度 …… 446
A.4 气体中的分子碰撞和压强 …… 449
数学注释 …… 452
M.1 求和号 …… 452
M.2 几何级数的和 …… 453
M.3 n 大时$\ln n!$的导数 …… 453
M.4 n 大时 $\ln n!$ 的值 …… 454
M.5 不等式 $\ln x \lesssim x-1$ …… 456
M.6 积分 $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2}dx$ 的计算 …… 457
M.7 $\int_0^{\infty} e^{-\alpha x^2}x^n dx$ 型积分的计算 …… 458
补充题 …… 460
常数表 …… 464
习题答案 …… 465

需要全本请访问 www.ertongbook.com