



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

热物理学基础

包科达 编著

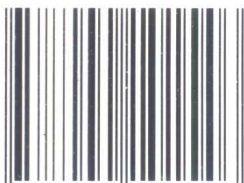


高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

Fundamentals of Thermal Physics



ISBN 7-04-010154-8



9 787040 101546 >

定价 20.70 元

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

热物理学基础

包科达 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材、“九五”国家教委重点教材和教育部高等学校理科物理学和天文学教学指导委员会“九五”规划教材.本书在编写过程中除保持了我国现行教材注重基础、由浅入深、不拘泥于宏观微观两种方法的界限等优点外,着重在加强熵的教学,加强概率、统计方法和统计规律性的教学,加强量子论的教学等几个方面作了改革.全书包括平衡态和状态方程、气体分子动理论、气体分子热运动速度的统计分布律、能量均分定理和理想气体的内能、热力学第一定律、热力学第二定律、液体、固体、单元系的复相平衡和相变、气体内分子的碰撞和输运现象等 10 章.

本书可作为普通高等院校物理类专业的教材或参考书,对于其他理工科专业,本书也是教师备课的参考书和优秀学生的辅助读物.

图书在版编目(CIP)数据

热物理学基础/包科达编著. —北京:高等教育出版社,2001.12

ISBN 7-04-010154-8

I. 热... II. 包... III. 热学; IV. Q551

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 063838 号

热物理学基础

包科达 编著

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 张 24.5

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

字 数 450 000

定 价 20.70 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

序

作者多年来在北京大学为物理系和理科其他系的本科生讲授“热学”课程。本书就是在课程讲义的基础上,吸取国内外有关教材的长处编撰而成的。

在编写过程中,我们在保持我国现行教材注重基础、由浅入深、不拘泥于宏观微观两种方法的界限等优点的同时,着重在以下几方面作了改革:

(1) 加强“熵”的教学。首先把熵的概念提前引入,在热力学第一定律之后就宏观上对单相均匀系引入熵的概念。其次在多种层次上应用多种方法定义熵,例如介绍了三种宏观上定义熵概念的方法,它们是类比法(§5.7),在经验温标下对单相均匀系应用的乘子法(§5.7)和喀拉氏公理法(§6.6)。在微观上可从系统无序度量度(§3.3)解释熵函数,得到著名的玻耳兹曼熵公式。为不同专业按自身的要求选用不同引入熵的途径,提供了可能。

以卡诺、开尔文和克劳修斯的工作为代表的工程法,是我国现行的热学教材在宏观上概括熵和热力学第二定律的熵表述的主要方法。本书中介绍的用喀拉氏公理法(§6.6、§6.7)构筑热力学第二定律的熵表述的优点在于,无需通过复杂的循环过程,而只需讨论一个以任意物质为工作物质的绝热过程,它还把熵与热力学温度的定义更加紧密地联系在一起。在讲授这部分内容时,建议重点放在§6.6的内容,至于§6.7的证明可由学员自己阅读,而§6.8的内容则可根据专业的要求选择性地讲授。

§10.4中介绍的玻耳兹曼积分微分方程和 H 定理,实质上就是通过讨论气体中发生的动力学过程,进一步证明了不可逆过程中的熵增加原理。它们是近代非平衡统计力学和不可逆过程热力学发展的基础。

(2) 加强概率、统计方法和统计规律性的教学。热物理学是研究大量粒子组成的系统热运动规律的学科,这就决定了概率论和统计规律性教学的重要性。实际上,概率论和统计方法在现代科学技术发展的其他领域中的作用也越来越重要。值得注意的是,我们是在讨论具体热物理问题中讲授概率和统计方法的,所以,教学中的重点是三个“台阶”和三个分布。三个“台阶”分别是理想气体的压强公式和温度公式(§2.2、§2.3),麦克斯韦速度分布律和微粒在重力场中的玻耳兹曼分布律(§3.4、§3.6),麦玻分布律(§4.3)。三个分布是高斯分布(§3.2)、二项分布(§3.2)和近独立子系的最概然分布(§3.2)。

EAD-01

(3) 加强量子论的教学. 很难设想, 作为一本 21 世纪的物理教材, 一点也不反映 20 世纪物理学主要成就之一的量子论. 事实上, 量子论的发展是与热学问题紧密联系在一起的, 物质的热物理性质在量子论的基础上才能得到合理的解释. 为此, 我们在普通物理的层次上编写了 § 4.4 和 § 4.5 的内容. 建议主要讲授 § 4.4 的内容, 而 § 4.5 的内容可根据专业的要求选择性地讲授或由学员自由选读.

(4) 我们还结合有关章节的内容, 编写了一些可供学员课外阅读的材料和专题介绍(约占全书总量的 22%), 例如: 测温术今昔、1990 国际实用温标、原子分子论和分子动理论发展简介、应用分子涨落解释光的散射和临界乳光现象、离心技术和大气环流、月球和行星大气的逃逸问题、利用泻流技术分离同位素、恒星的演变和黑洞、熵和信息、热力学定律与宇宙论、液晶、材料的弹性和强度、应用自由能和自由焓判据分析范氏气体的气液相变、临界现象和连续相变、超导体及其应用、热辐射、气相化学反应的分子动理论等, 以使学员看到所学的基础知识与科学技术前沿的关系, 既扩展知识面, 又提高学习的兴趣.

本书内容用两种不同的字号编排. 基本部分用五号字编排, 辅助部分(包括例题、思考题、习题和供课外阅读的材料和专题等)用小五号字编排. 讲授全部基本教材(其中 § 1.2.3、§ 3.2、§ 3.5、§ 4.3、§ 5.7、§ 6.11、§ 9.2 和 § 9.6 可根据专业的要求选择性地讲授)约需 60 学时.

虽然本书基本保持了现行教材的叙述顺序和章节, 但在体系、结构和内容方面都有相当的改革, 这些变化是否恰当可行, 有待于同行和有关专家的评说指正. 恳请广大教师和读者不吝赐教, 并提出宝贵的批评建议.

在编写本书的过程中, 作者得到了教育部“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的子项目“热学课程的体系结构内容改革的研究”的资助. 作者对关心、支持、鼓励本书编写出版的高等教育出版社、北京大学物理系和有关部门的领导以及有关院校的同行表示衷心的感谢.

作 者

2000 年末于北京大学燕北园

责任编辑	胡凯飞
封面设计	张楠
责任绘图	杜晓丹
版式设计	周顺银
责任校对	许月萍
责任印制	杨明

目 录

绪言	1
§ 0.1 热学研究的对象	1
§ 0.2 热学研究的方法	1
0.2.1 宏观方法	2
0.2.2 微观方法	2
0.2.3 近独立子系微观运动状态的子相宇几何表示法	2
§ 0.3 热学研究的特点	4
第一章 平衡态和状态方程	6
§ 1.1 平衡态 状态参量	6
§ 1.2 温度和温标	9
1.2.1 温度	9
1.2.2 热力学第零定律和温标	9
1.2.3 国际实用温标(IPTS)和 1990 国际温标	15
§ 1.3 状态方程	17
1.3.1 单元均匀系的状态方程	17
1.3.2 纯物质的 $p-V$ 图	17
1.3.3 纯物质的 $p-V-T$ 图	20
1.3.4 理想气体状态方程	22
1.3.5 摩尔气体常数 R	25
1.3.6 状态方程的普遍形式	27
§ 1.4 膨胀系数和压缩系数	28
思考题	30
习题	31
第二章 气体分子动理论	36
§ 2.1 物质分子动理论的基本图象	36
2.1.1 物质结构的分子、原子学说	36
2.1.2 分子处于不停顿的无规则的热运动之中	40
2.1.3 分子间存在着相互作用力——分子力	44
2.1.4 讨论	46
§ 2.2 理想气体的压强公式	48

2.2.1	理想气体的微观模型	48
2.2.2	平衡态和细致平衡原理	49
2.2.3	理想气体的压强公式	50
2.2.4	道尔顿分压定律和混合气体的状态方程	52
§ 2.3	温度的统计解释	53
2.3.1	理想气体微观模型中温度的概念	53
2.3.2	理想气体的温度公式	54
§ 2.4	范德瓦耳斯方程	57
	思考题	62
	习题	63
第三章	气体分子热运动速度的统计分布律	66
§ 3.1	概率分布和概率分布函数	66
3.1.1	概率和统计规律性	66
3.1.2	概率分布和色散	68
3.1.3	连续的随机变量和分布函数	69
§ 3.2	三种常用的分布	71
3.2.1	高斯分布	71
3.2.2	二项分布	73
3.2.3	近独立子系的最概然分布——麦克斯韦-玻耳兹曼分布	78
§ 3.3	系统的无序度和态函数熵	81
§ 3.4	麦克斯韦速度分布律和速率分布律	83
3.4.1	速度空间和麦克斯韦速度分布律	83
3.4.2	麦克斯韦速率分布函数及其基本性质	86
3.4.3	实验测定麦克斯韦速率分布函数	87
3.4.4	统计规律性和涨落	89
§ 3.5	麦克斯韦速率分布律和速度分布律应用举例	91
3.5.1	麦克斯韦速率分布律的应用举例	91
3.5.2	麦克斯韦速度分布律的应用举例	94
§ 3.6	重力场中微粒按高度的分布和玻耳兹曼分布律	100
3.6.1	重力场中微粒按高度的分布	100
3.6.2	玻耳兹曼分布律	102
3.6.3	玻耳兹曼分布律及其配分函数	104
	思考题	105
	习题	107
第四章	能量均分定理和理想气体的内能	111
§ 4.1	能量按自由度均分定理	112
4.1.1	自由度的概念	112
4.1.2	能量按自由度均分定理	113

§ 4.2 理想气体的内能和定体热容	114
§ 4.3 能量均分定理的统计解释	116
4.3.1 单原子分子气体能量均分定理的统计解释	117
4.3.2 双原子分子气体能量均分定理的统计解释	118
4.3.3 麦玻分布律和经典的能量均分定理	122
§ 4.4 经典热容理论的缺陷和量子概念的提出	123
4.4.1 杜隆-珀替定律和理想固体模型	123
4.4.2 经典理论的缺陷和量子概念的提出	124
4.4.3 爱因斯坦的固体晶格的热容理论	127
§ 4.5 量子近独立子系的两种统计分布	129
4.5.1 黑体辐射和普朗克的量子论	129
4.5.2 光子气体和玻色-爱因斯坦分布	131
4.5.3 费米子和费米-狄拉克分布	137
4.5.4 费米分布对自由电子气体的应用	138
思考题	145
习题	146
第五章 热力学第一定律	148
§ 5.1 准静态过程及其中所作的功	148
5.1.1 准静态过程	148
5.1.2 准静态过程中所作的功	149
§ 5.2 内能函数和热量	151
5.2.1 内能函数的微观解释	151
5.2.2 内能函数的宏观解释	152
5.2.3 热量	154
§ 5.3 热力学第一定律的表述	155
5.3.1 热力学第一定律的表述	155
5.3.2 功和热量的微观解释	156
§ 5.4 态函数焓和定压热容	157
5.4.1 态函数焓	157
5.4.2 定压热容和比热	158
5.4.3 理想气体的热容公式	161
§ 5.5 热力学第一定律对理想气体的应用	163
5.5.1 等体、等压和等温过程	163
5.5.2 绝热过程	164
5.5.3 多方过程	166
§ 5.6 焦耳-汤姆孙效应	169
§ 5.7 单相均匀系中的态函数熵	172
5.7.1 单相均匀系中定义熵的两种方法	173

5.7.2 温熵图($T-S$ 图)	174
5.7.3 $T-S$ 图上理想气体的多方过程	175
思考题	177
习题	178
第六章 热力学第二定律	184
§ 6.1 可逆过程和不可逆过程	184
§ 6.2 不可逆过程中所作的体积功	187
§ 6.3 热力学循环及其效率	188
§ 6.4 热力学第二定律的表述	191
6.4.1 热功转换的不可逆性和热力学第二定律的开尔文表述	192
6.4.2 热传递的不可逆性和热力学第二定律的克劳修斯表述	193
6.4.3 开尔文表述和克劳修斯表述的等价性	194
§ 6.5 热力学第二定律的统计解释	195
§ 6.6 绝热不可达原理及其对可逆过程的应用	197
6.6.1 引进态函数熵的两种宏观方法	197
6.6.2 绝热不可达原理的表述	199
6.6.3 绝热不可达原理对可逆过程的应用和态函数 σ	199
6.6.4 热力学温度和态函数熵	201
6.6.5 可逆过程中的热力学微分方程	202
§ 6.7 存在熵和热力学温度的证明	205
6.7.1 存在态函数熵的证明	205
6.7.2 存在热力学温度的证明	206
§ 6.8 绝热不可达原理对不可逆过程的应用和熵增加原理	208
6.8.1 熵增加原理	208
6.8.2 克劳修斯不等式	210
6.8.3 热力学第二定律的熵表述	211
6.8.4 自由能和自由焓判据	213
§ 6.9 绝热不可达原理与热力学第二定律	214
§ 6.10 卡诺循环和卡诺定理	216
6.10.1 卡诺循环及其效率	216
6.10.2 卡诺定理和提高热机效率的方向和限度	220
§ 6.11 关于热力学第二定律的讨论	222
6.11.1 熵与信息	222
6.11.2 热力学定律和宇宙论	225
思考题	227
习题	228
第七章 液体	233
§ 7.1 液体的物性性质	233

7.1.1	相对于气体和固体的液体	233
7.1.2	液体的结构及其径向分布函数	235
* 7.1.3	液体的状态方程和内能函数	237
* 7.1.4	液晶	240
7.1.5	液体粘滞性的艾林分子动力论	242
§ 7.2	液体的表面性质	244
7.2.1	液体的表面张力系数	244
7.2.2	存在曲面分界的系统中的力学平衡条件	248
7.2.3	两种介质交界面上的力学平衡条件	249
7.2.4	毛细现象	252
	思考题	253
	习题	254
第八章	固体	258
§ 8.1	晶体	258
8.1.1	晶体的宏观特征	258
8.1.2	晶体的微观结构	259
§ 8.2	非晶态固体	263
§ 8.3	晶体的结合	265
8.3.1	晶体结合的基本类型	265
8.3.2	固体的结合能	266
* § 8.4	固体的表面	271
8.4.1	晶体的表面结构	271
8.4.2	晶体的表面能	271
* § 8.5	固体的弹性和强度	273
8.5.1	固体材料的弹性	273
8.5.2	固体材料的强度	275
8.5.3	晶体中的缺陷	278
	思考题	280
	习题	280
第九章	单元系的复相平衡和相变	282
§ 9.1	平衡相变和非平衡相变	282
9.1.1	开放系统的热力学微分方程和化学势	282
9.1.2	相平衡条件	283
9.1.3	平衡的稳定条件	284
§ 9.2	单元系的复相平衡和平衡相变	286
9.2.1	相平衡曲线和三相点	286
9.2.2	克拉珀龙-克劳修斯方程及其应用	287
9.2.3	相变潜热和蒸气压方程	289

§ 9.3 范德瓦耳斯状态方程和气液相变	290
9.3.1 范德瓦耳斯状态方程的等温线	290
9.3.2 液体的蒸发及其微观解释	297
§ 9.4 曲面液体上的饱和蒸气压	298
§ 9.5 液体的沸腾	300
§ 9.6 临界现象和连续相变	301
9.6.1 临界点附近的相变热力学	301
9.6.2 厄仑菲斯特方程	307
9.6.3 临界指数和经典的朗道(Landau)理论	308
9.6.4 普适性和标度律	316
思考题	317
习题	318
第十章 气体内分子的碰撞和输运现象	320
§ 10.1 气体分子的碰撞和平均自由程	320
10.1.1 有效碰撞截面	320
10.1.2 平均自由程和平均碰撞频率	322
10.1.3 有效碰撞截面的概率解释	326
10.1.4 气体分子按自由程的分布	327
§ 10.2 输运过程的宏观规律	329
10.2.1 粘滞(内摩擦)现象	331
10.2.2 热传导现象	333
10.2.3 扩散现象	335
10.2.4 热辐射	337
§ 10.3 气体中输运现象的微观解释	341
10.3.1 热传导现象	342
10.3.2 粘滞现象	344
10.3.3 扩散现象	346
10.3.4 气相化学反应的分子动理论	347
§ 10.4 玻耳兹曼积分微分方程和 H 定理	349
10.4.1 玻耳兹曼积分微分方程	349
10.4.2 H 定理	352
10.4.3 策梅洛(Zermelo)和洛施密特(Loschmidt)的驳难	354
10.4.4 厄仑菲斯特(T. Ehrenfest and P. Ehrenfest)对 H 定理的解释	356
思考题	358
习题	358
索引	362
参考书目	378

绪 言

§ 0.1 热学研究的对象

热学或者热物理学是物理学的一个分支,是一门研究物质热运动规律的学科.实验表明,宏观物体如气体、液体、固体和等离子体等,都是由大量微观粒子(分子、原子、离子、电子等)组成的.这些微观粒子以各自的方式相互作用,并处于不停顿的无规则运动之中,这种大量微观粒子的无规则运动称为物质的热运动.热学的主要研究对象是物质热运动的性质、热运动对物体宏观性质的影响和物质的热运动形式与其他运动形式之间的转化.

当人们着手讨论物质的热运动性质时,总是把物体的某一部分或者空间某一确定的区域从周围事物中分隔出来.这种分隔出来集中注意力加以研究的对象,在热学中被称为系统,而把周围能够对系统产生影响的事物称为介质.

被绝热壁(绝热壁的概念见 § 1.2)所包围的,不能与周围介质发生热相互作用的系统称为热孤立系或者绝热系.不能与周围介质发生物质交换的系统称为封闭系.与周围介质完全隔离,既不发生机械的相互作用,也不发生热的相互作用和物质交换的系统,称为孤立系.

由一种化学成分组成的系统称为单元系,如氧气、纯水、纯金属等.由多种化学成分组成的系统称为多元系,如空气、盐水、合金等.当一个系统的各个部分的性质完全一致时,称为均匀系或者单相系,例如物质的气态、液态或固态都是均匀系.当系统的各部分性质之间有差别,或由若干个被界面隔开的均匀部分组成时,称为非均匀系或者复相系.复相系中每个均匀部分都称为一个相,如气相、液相、固相等.水蒸气和水在一定温度和压强条件下达到平衡而共存就是一种复相系.固态复相系如铝硅(Al-Si)合金和铝碳(铝基底上掺碳纤维或颗粒)复合材料等,作为新型的功能性材料,已得到广泛的应用.

§ 0.2 热学研究的方法

系统确定后,重要的是定义一些量,用以描述系统所处的状态及其随时间的

变化.在热学研究中,常用两种不同的方法描述系统所处的状态,它们是宏观的方法和微观的方法.

0.2.1 宏观方法

热学研究的宏观方法满足于用少数几个能直接感受的和可观测的物理量,例如体积、压强、温度和浓度等描述和确定系统所处的状态.我们把这些可以感受和观测的量称为**宏观的状态参量**或者**宏观量**.人们从生活实践的大量观察中发现,宏观状态参量之间是有联系的,它们的变化是互相制约的,制约关系除与物质的性质有关外,还必须遵循一些基本的热学规律,例如热力学的第零定律、第一定律、第二定律和第三定律.正是这些热力学的基本定律,构成了热学研究的宏观方法的基本出发点和依据.因此,宏观描述是一种大尺度的、粗线条的、感性的描述.用这种方法研究热现象的学科有热力学、不可逆过程的热力学等.它们属于**宏观理论**或**唯象理论**的范畴.

0.2.2 微观方法

用微观方法研究物质热运动性质的学科有**分子动理论**、**统计物理学**等.这些学科基于物质结构的原子分子学说,认为系统是由大量微观粒子(统称之为分子)组成的.从经典力学的观点看,每个分子的运动状态可以用坐标 q_i 和动量 p_i ($i=1,2,\dots,N$) 来确定, N 是系统所包含的分子的总数目.整个系统所处的状态可以用 $2N$ 个微观量 $(q_1, \dots, q_N; p_1, \dots, p_N)$ 加以确定.微观坐标和动量以及与之相联系的力学量如分子的动量、动能、角动量等称为**微观的状态参量**或**微观量**.微观量不能直接感受并加以测量.用微观方法描述和讨论物质热运动性质的通常做法是:假设物质的微观模型,并在此模型的基础上从理论上讨论物质热运动所必须遵循的规律,把理论研究得到的结论与实验相比较,加以验证.因此,人们常常把用这种方法研究物质热运动性质的学科称为**微观理论**或者**唯理的学科**.

0.2.3 近独立子系微观运动状态的子相宇几何表示法

作为一个例子,我们介绍一种系统微观运动状态的经典描述方法——近独立子系微观运动状态的子相宇几何表示法.设系统由 N 个相同的分子组成,每个分子有 r 个自由度.我们把这种有比较复杂的内部结构的分子称为子系,而把子系之间的相互作用可忽略的系统叫**近独立子系**.若用 E_i 表示第 i 个子系的能量,则近独立子系的总能量可写作:

$$E = \sum_{i=1}^N E_i. \quad (0.2.1)$$

设 $q_{\nu}、p_{\nu}(\nu=1,2,\dots,r)$ 是第 i 个分子的坐标和动量,显然子系的能量应为这些变量的函数:

$$E_i = E(q_{1i}, \dots, q_{ri}, p_{1i}, \dots, p_{ri}). \quad (0.2.2)$$

现在设想以 $2r$ 个变量 $q_{\nu}、p_{\nu}(\nu=1,2,\dots,r)$ 为正交坐标轴组成抽象的 $2r$ 维空间,这样的空间称为分子空间或者子相宇.子相宇中的每一个点都代表子系可能的一个运动状态,称为相点.全部 N 个分子在同一时刻的运动状态在子相宇中表示为 N 个相点.这样我们就得到了一种描述系统微观运动状态的几何方法.

当子系可处理为质点或只考虑它的质心运动 ($r=3$) 时,系统的微观运动状态可在 6 维的子相宇中加以表示(如图 0.2.1).在某些情况下只讨论系统分子按动量的分布,此时 6 维空间将被 3 维的动量空间或速度空间[见图 0.2.2(a)]所取代.相类似的,当只讨论系统分子按位置的分布时,6 维空间降为 3 维的位形空间或几何空间[见图 0.2.2(b)].

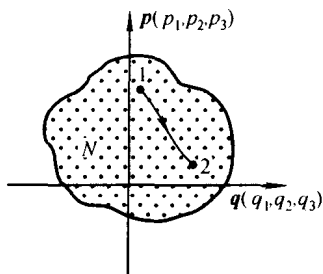


图 0.2.1 6 维的子相宇空间

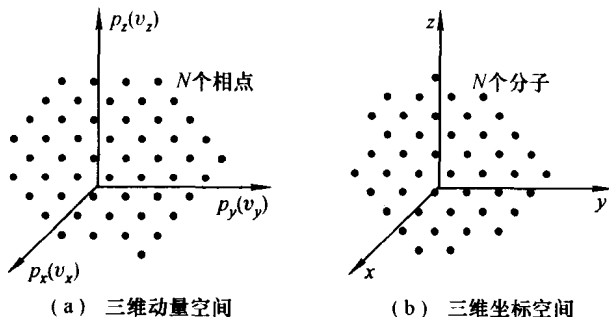


图 0.2.2

实际上,由(0.2.1)式可知:只要适当选择计算能量的参考点,使每个子系的能量 E_i 总是正的,则在给定保守系统的总能量 E 后,子系的能量最多等于 E ,故它在子相宇中可活动的区域将限制在:

$$E_i(q_1, \dots, q_r, p_1, \dots, p_r) \leq E \quad (0.2.3)$$

规定的相空间内,用 Ω 表示此可活动的区域.则整个系统的运动状态由 N 个相点在 Ω 中的分布确定.为了表示这种分布,可将 Ω 分割成 k 个微小的相体元(见图 0.2.3):

$$\Delta\omega_l \equiv (\Delta q_1 \cdots \Delta q_r, \Delta p_1 \cdots \Delta p_r)_l, l = 1, 2, \dots, k. \quad (0.2.4)$$

这里的 k 虽然很大,但仍有限.我们要求 $\Delta\omega_l$ 足够小,使得在其中的子系能量 E_l 可以相当正确地近似为 $\Delta\omega_l$ 中心处的能量 $E_l(q_{1l}, \dots, p_{1l})$.当然,实际上应略有差异,但 $\Delta\omega_l$ 越小,这种差别也越小.

若定义与相体元 $\Delta\omega_l$ 相应的相点分布为 a_l ($l = 1, 2, \dots, k$), 即 $\Delta\omega_l$ 内有 a_l 个相点, 则:

$$\sum a_l = N, \quad \sum E_l a_l = E. \quad (0.2.5)$$

为讨论方便起见,我们用 $\{a_l\}$ 表示一个分布 $\{a_l\} \equiv (a_1, a_2, \dots, a_k)$, 并把它称为**类别分布**, 因为

它只关心子系的数目按其微观态的分布,并不关心它们是哪些子系.按经典力学的观点,子系是可以**通过编号加以辨认的**,因此类别分布是不编号的子系按其运动状态的分布.编号的子系按其微观运动状态的分布叫**个别分布**.由个别分布确定的系统的运动状态称为**系统的微观态**,由类别分布描述的系统的运动状态是**系统的宏观态**.

不难看出,与一个给定的类别分布 $\{a_l\}$ 的宏观态相对应微观态的数目为:

$$W = \frac{N!}{a_1! a_2! \dots a_k!}, \quad (0.2.6)$$

其中 $N!$ 是编好号的子系的总排列数,除以 $a_l!$ 是因在 $\Delta\omega_l$ 内子系相同,故必须从总排列数中加以扣除.普朗克给 W 起名为**热力学概率**.

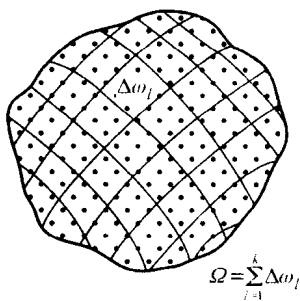


图 0.2.3 相点的分布

§ 0.3 热学研究的特点

初看起来,热学研究的宏观方法和微观方法的出发点很不相同,它们之间不可能有什么联系,但进一步的研究表明,二者实际的联系紧密,这是因为描述系统宏观态的状态参量是系统相应微观量的**统计平均值**.譬如**气体压强**这个宏观可观测的状态参量,就是气体分子碰撞容器器壁过程中,单位时间里作用于器壁单位面积的冲量的统计平均值.事实上,尽管气体分子的运动状态千变万化,例如在标准状态下, 1 cm^3 的空气中约有 3×10^{19} 个气体分子;平均地讲,每个分子在每秒里大约与其他分子碰撞几十亿次;在容器的每 1 cm^2 的器壁上,每秒钟约经受 10^{24} 次空气分子的碰撞.但是,经验告诉我们,一定状态下气体的压强仍维持完全确定的数值.这种系统的个别微观运动状态的偶然性和它在宏观上表现出来的确定规律性,是大量分子组成的物质的热运动形式区别于其他物质运动形式的一个基本特点,称之为**统计规律性**.因此,尽管组成物质的微观粒子的运动规律可以由经典的牛顿力学加以确定,服从**力学规律性**,但对于热学的问题,