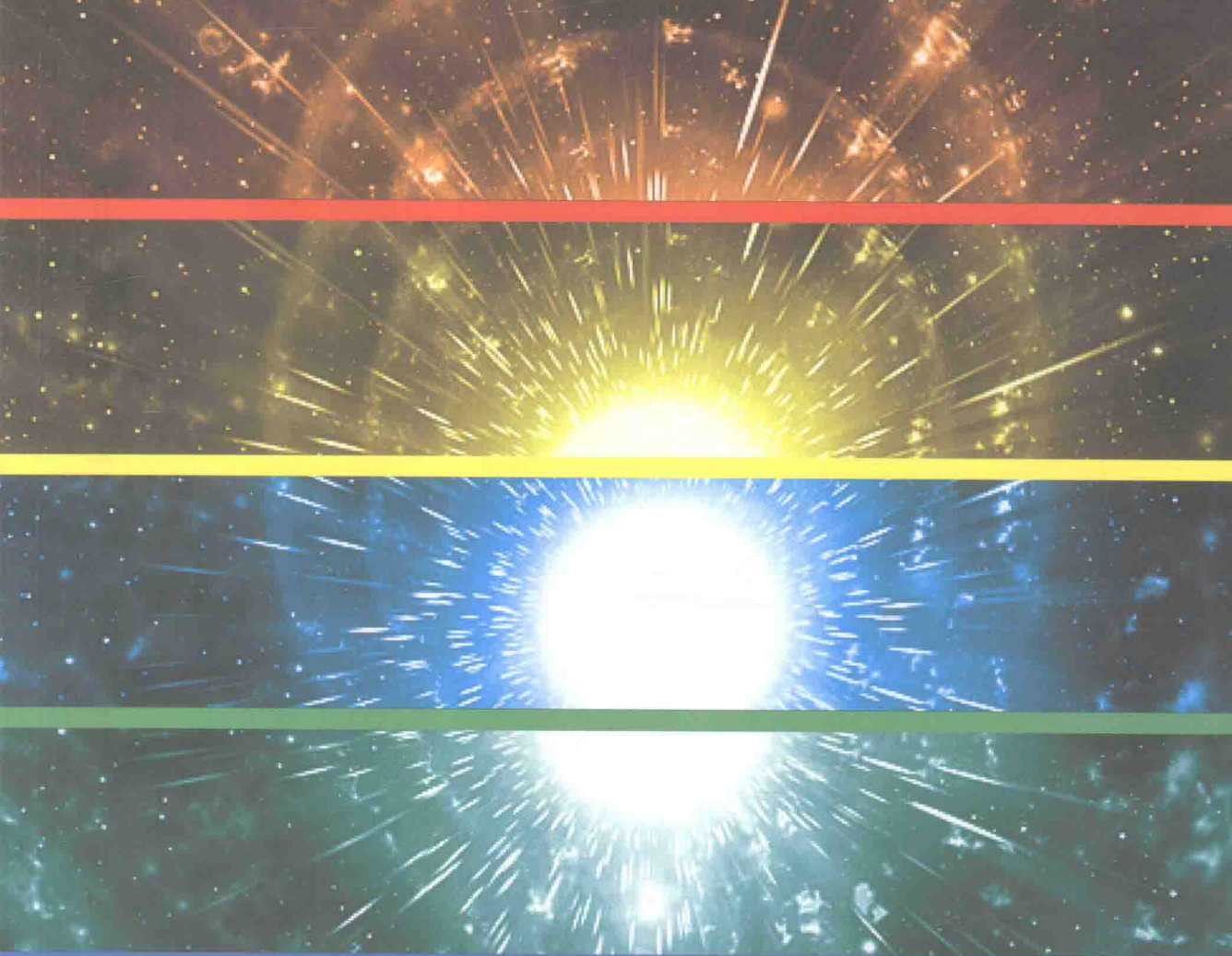




大学物理学 (下册)

吴延斌 韩笑 林欣悦 孙力 / 编著



清华大学出版社

大学物理学

(下册)

吴延斌 韩笑 林欣悦 孙力 / 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会 2010 年重新制定的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写的。全书分上、下两册,本书为下册,包括热学篇、机械振动和机械波篇、波动光学篇及量子力学篇。本书作为工科物理及理科非物理专业大学物理教材的改革尝试,注重对经典内容的精简和深化,对近代物理内容的精选和普化,对新技术、新观点的拓展,力求注意各部分知识之间的相互联系,同时保持难度适中。

本书可作为高等工科院校各专业的物理教材,也可作为综合大学和师范院校非物理专业的教材和参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 下册/吴延斌等编著. —北京:清华大学出版社,2017

ISBN 978-7-302-46950-6

I. ①大… II. ①吴… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 074140 号

责任编辑:佟丽霞 刘远星

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.25

字 数:492 千字

版 次:2017 年 5 月第 1 版

印 次:2017 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:42.00 元

产品编号:070672-01

前 言

2010年教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分会对《理工科类大学物理课程教学基本要求》(简称《基本教学要求》)进行了重新编写,划分出了基本核心内容的A类知识点和作为拓展内容的B类知识点。要求各高校不仅要保证基本知识结构的系统性和完整性,还要在知识的深度和广度上有所拓展。为顺应这一要求,并考虑到目前普通高等学校学生对大学物理课程学习的特点,我们编写了本书。

本书以2010版的基本要求为指导,不仅融入了作者多年教学经历所积累的成功经验,而且还融合了国内外众多优秀教材的优点,并考虑到目前学生学习和教师教学的新特点,主要侧重于以下几个方面:

1. 精简经典内容,深化教学体系。在内容上以《教学基本要求》中A类知识点为核心,对B类知识点选择性地做了适当拓展,既保证了基本知识结构、系统的完整,又开拓了学生的视野。

2. 开“窗口”,注重内容现代化。书中以阅读材料的形式,把一些当前高新技术领域中的基础性物理原理引入,大力促进了读者对现代物理学观念的形成。

3. 注重培养全局掌握,运用知识综合能力。书中精选的例题和习题,力求突出对物理概念和原理的运用,避免冗长的数学推导。

全书分上、下两册,上册包括力学篇、电磁学篇;下册包括热学篇、机械振动和机械波篇、波动光学篇和量子力学篇。本书作为工科物理及理科非物理专业大学物理教材的改革尝试,注重对经典内容的精简和深化、对近代物理内容的精选和普化、对新技术新观点的拓展,力求注意各部分知识之间的相互联系,同时保持难度适中。书中部分带“*”号的章节,表示超出课程范围,即选学的内容。本书可作为高等工科院校各专业的物理教材,也可作为综合大学和师范院校非物理专业的教材和参考书。

本书的编者集合了沈阳大学物理系的各位优秀教师,他们都有多年从事大学物理课程教学的经验和教学研究、科学研究的体会。第1~3章由林欣悦、吴延斌完成,第4、16~18章由王立国、黄有利完成;第5、6章由张会完成;第7、11、12章由韩笑完成;第9、10章由王建华完成;第8、13~15章由孙力完成;刘文中负责全书图稿和习题部分的整理工作。另外吴延斌、韩笑还负责全书的统稿工作。

由于编者水平有限,加之时间仓促,如有疏漏和不妥之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2016年8月

目 录

第3篇 热 学

第9章 气体动理论基础	3
9.1 气体动理论的基本概念	3
9.1.1 热力学系统的描述	3
9.1.2 平衡态	4
9.1.3 温度	4
9.1.4 理想气体状态方程	6
9.2 理想气体的压强	7
9.2.1 理想气体的微观模型	7
9.2.2 理想气体的压强公式	8
9.3 温度的微观意义	9
9.3.1 温度的统计解释	9
9.3.2 气体分子方均根速率	10
9.4 能量均分定理	11
9.4.1 自由度	11
9.4.2 能量均分定理	12
9.4.3 理想气体的内能	13
9.5 麦克斯韦速率分布律	14
9.5.1 麦克斯韦速率分布函数	14
9.5.2 三个统计速率	15
*9.6 麦克斯韦速度分布与外场中粒子分布律	18
9.6.1 麦克斯韦速度分布律	18
9.6.2 重力场中粒子按高度的分布	19
9.6.3 玻耳兹曼分布律	20
9.7 分子的平均碰撞频率和平均自由程	22
9.7.1 平均自由程	22
9.7.2 分子的平均碰撞频率	22
*9.8 气体内的输运过程	24
9.8.1 黏滞现象	24

9.8.2 热传导现象	25
9.8.3 扩散现象	26
本章小结	26
阅读材料 9.1 天空中的涨落	28
阅读材料 9.2 温室效应	29
习题	31
第 10 章 热力学基础	35
10.1 热力学基本概念	35
10.1.1 热力学系统与热力学过程	35
10.1.2 功、热量及内能	36
10.2 热力学第一定律	37
10.2.1 热力学第一定律的概念	37
10.2.2 热力学第一定律的应用	38
10.3 绝热过程及多方过程	43
10.3.1 绝热过程	43
10.3.2 多方过程	45
10.4 循环过程及卡诺循环	48
10.4.1 循环过程	48
10.4.2 卡诺循环	51
10.5 热力学第二定律	53
10.5.1 可逆过程与不可逆过程	53
10.5.2 热力学第二定律的两种表述	55
10.5.3 卡诺定理	56
10.6 热力学第二定律的统计意义及熵	57
10.6.1 热力学第二定律的微观意义	57
10.6.2 热力学第二定律的统计意义	58
10.6.3 熵及熵增加原理	59
*10.6.4 熵的力学表示	60
*10.6.5 熵的计算	61
本章小结	62
阅读材料 10.1 大气环流	63
阅读材料 10.2 超流氦的喷泉效应,它违背热力学第二定律吗?	64
习题	67
第 4 篇 机械振动和机械波	75
第 11 章 机械振动	75
11.1 简谐运动	75

11.1.1	简谐运动的特征和表达式	75
11.1.2	描述简谐振动的特征量	76
11.2	简谐运动的旋转矢量表示法	79
11.2.1	旋转矢量表示法	79
11.2.2	旋转矢量图的应用	80
11.3	单摆和复摆	82
11.3.1	单摆	82
11.3.2	复摆	83
11.4	简谐运动的能量	83
11.5	简谐运动的合成	85
11.5.1	两个同方向同频率的简谐运动的合成	85
11.5.2	同方向不同频率简谐运动的合成及拍现象	87
11.5.3	两个相互垂直的简谐运动的合成	88
11.6	阻尼振动、受迫振动及共振	91
11.6.1	阻尼振动	91
11.6.2	受迫振动	92
11.6.3	共振	92
	本章小结	93
	阅读材料 非线性振动与混沌	95
	习题	97
第 12 章	机械波	101
12.1	机械波的产生和传播	101
12.1.1	机械波的形成	101
12.1.2	横波和纵波	102
12.1.3	波动几何描述	103
12.1.4	描述波动的三个基本物理量	103
12.2	平面简谐波	105
12.2.1	平面简谐波的波函数	105
12.2.2	波函数的物理意义	106
12.2.3	波动方程	109
12.3	波的能量	110
12.3.1	波动能量的传播	110
12.3.2	能流和能流密度	112
12.3.3	波的吸收	113
12.4	惠更斯原理与波的衍射	113
12.4.1	惠更斯原理	113
12.4.2	波的衍射	114
*12.4.3	波的反射和折射	115

12.5 波的干涉	116
12.5.1 波的叠加原理	116
12.5.2 波的干涉	117
12.6 驻波	120
12.6.1 驻波的产生	120
12.6.2 驻波方程	120
12.6.3 驻波的特点	121
12.6.4 半波损失	122
12.6.5 弦线上的驻波	123
12.7 多普勒效应	125
12.7.1 波源静止,观察者以 u_R 相对于介质运动	125
12.7.2 观察者静止,波源以 u_S 相对于介质运动	126
12.7.3 波源以 u_S 运动,观察者以 u_R 运动(相向运动为正)	127
本章小结	127
阅读材料 超声、次声和噪声	129
习题	134

第5篇 波动光学

第13章 光的干涉	141
13.1 光源及光的相干性	141
13.1.1 光是电磁波	141
13.1.2 光源	142
13.1.3 光波的叠加	144
13.2 杨氏双缝干涉	145
13.2.1 杨氏双缝干涉分析	145
13.2.2 洛埃镜干涉	147
*13.2.3 菲涅耳双镜干涉	148
13.3 光程及光程差	148
13.3.1 光程	149
13.3.2 光程差	150
13.3.3 薄透镜不附加光程差	150
13.4 薄膜干涉	151
13.4.1 薄膜干涉分析	151
13.4.2 等倾干涉	152
13.5 等厚干涉	154
13.5.1 等厚干涉分析	154
13.5.2 劈尖	155
13.5.3 牛顿环	158

13.6 迈克耳孙干涉仪	159
*13.7 光的时空相干性	161
13.7.1 空间相干性	161
13.7.2 时间相干性	162
本章小结	163
阅读材料 托马斯·杨和菲涅耳	165
习题	166
第14章 光的衍射	170
14.1 光的衍射现象及惠更斯-菲涅耳原理	170
14.1.1 光的衍射现象及分类	170
14.1.2 惠更斯-菲涅耳原理	171
14.2 单缝的夫琅禾费衍射	172
14.2.1 单缝的夫琅禾费衍射实验	172
14.2.2 菲涅耳半波带法	172
14.3 光学仪器的分辨本领	176
14.3.1 圆孔夫琅禾费衍射	176
14.3.2 光学仪器的分辨本领	177
14.4 光栅衍射	178
14.4.1 光栅衍射分析	178
14.4.2 光栅光谱	182
*14.5 X射线衍射	183
*14.6 全息照相	184
14.6.1 全息照片的拍摄和再现	184
14.6.2 全息术的应用	187
本章小结	187
阅读材料 光纤及其应用	188
习题	190
第15章 光的偏振	193
15.1 自然光及偏振光	193
15.1.1 横波的偏振性	193
15.1.2 自然光	193
15.1.3 线偏振光	194
15.1.4 部分偏振光	194
15.2 起偏及检偏	195
15.2.1 偏振片的起偏和检偏	195
15.2.2 马吕斯定律	196
15.3 反射和折射时光的偏振	197

* 15.4 双折射现象	199
15.4.1 双折射现象及寻常光和非常光	199
15.4.2 晶体的光轴与光线的主平面	200
15.4.3 用惠更斯原理解释双折射现象	201
* 15.5 偏振光的干涉及人为双折射现象	202
15.5.1 椭圆偏振光与圆偏振光及波片	202
15.5.2 偏振光的干涉	203
15.5.3 人为双折射现象	204
* 15.6 旋光现象	205
本章小结	206
阅读材料 液晶	207
习题	212

第6篇 量子力学

第16章 早期量子论	217
16.1 黑体辐射和普朗克量子假设	217
16.1.1 热辐射及基尔霍夫定律	217
16.1.2 绝对黑体的辐射定律	219
16.1.3 普朗克量子假设	220
16.2 光电效应及爱因斯坦的光子理论	221
16.2.1 实验装置	221
16.2.2 光电效应的实验规律	221
16.2.3 经典理论解释光电效应遇到的困难	222
16.2.4 爱因斯坦光子假设	223
16.2.5 光子的能量及动量	223
16.3 康普顿效应	225
16.3.1 实验装置	225
16.3.2 实验结果	225
16.3.3 经典理论解释的困难	225
16.3.4 用光子理论解释	226
16.3.5 康普顿效应公式的推导	226
16.4 玻尔的氢原子理论	228
16.4.1 原子光谱的实验规律	228
16.4.2 玻尔的氢原子理论	230
16.4.3 用玻尔理论计算氢原子轨道半径及能量	232
16.4.4 对玻尔理论的评价	234
本章小结	235
阅读材料 丹麦科学家玻尔	235

习题	238
第 17 章 量子力学基础	240
17.1 微观粒子的波粒二象性	240
17.1.1 德布罗意假设	240
17.1.2 德布罗意波的实验证实及电子衍射实验	241
17.1.3 德布罗意波的统计解释	242
17.2 测不准关系	243
17.3 波函数及薛定谔方程	245
17.3.1 波函数	245
17.3.2 薛定谔方程	247
17.4 一维定态薛定谔方程应用	248
17.5 量子力学中的氢原子问题	250
17.5.1 氢原子的能级	251
17.5.2 氢原子的波函数	252
17.5.3 氢原子核外电子的概率分布	252
17.6 电子自旋及原子的电子壳层结构	253
17.6.1 施特恩-格拉赫实验	254
17.6.2 假设	254
17.6.3 原子壳层结构	255
本章小结	256
阅读材料 量子力学十大应用	256
习题	261
第 18 章 量子物理应用	264
18.1 固体能带结构	264
18.1.1 布洛赫定理	264
18.1.2 一维周期场中电子运动的近自由电子近似	265
18.2 激光原理	267
18.2.1 激光产生原理	268
18.2.2 激光技术的应用	269
18.3 半导体	271
18.4 超导体	273
18.4.1 超导体的概念	273
18.4.2 超导的主要特性	273
18.4.3 高温超导体的发现	277
18.4.4 超导的意义及应用	278
18.5 核物理	283
18.5.1 核物理的发展历程	283

18.5.2 核物理的应用	284
18.5.3 核物理应用的启示	285
18.6 粒子物理	286
18.6.1 粒子物理的概念	286
18.6.2 粒子家族	286
18.6.3 守恒律	288
18.6.4 标准模型	289
18.6.5 总结与展望	290
本章小结	290
习题	291
附录 A 希腊字母读音表	293
附录 B 基本物理常量	294
附录 C 国际单位制的基本单位	295
附录 D 常用物理量的国际单位制导出单位	296
附录 E 物理名词中英文对照表	297
习题答案	301

第3篇 热 学

热学是研究物质的各种热现象和变化规律的一门学科。与温度有关的现象称为**热现象**,从微观看,热现象就是宏观物体内部大量分子或原子等微观粒子永不停息的无规则热运动的平均效果。

18 世纪到 19 世纪,蒸汽机的广泛应用推动了热现象及规律的研究。迈耶、焦耳、亥姆霍兹等人建立了与热现象有关的能量转化和守恒定律,即**热力学第一定律**。开尔文、克劳修斯等人建立了描述能量传递方向的**热力学第二定律**。这种以观察和实验为基础,运用归纳和分析方法总结出热现象的宏观理论称为**热力学**。另一种研究热现象规律的方法是从物质的微观结构和分子运动论出发,以每个微观粒子遵循力学规律为基础,运用统计方法,导出热运动的宏观规律,再由实验确认。用这种方法所建立的理论系统称为**统计物理学**(气体动理论)。19 世纪,克劳修斯、麦克斯韦、玻耳兹曼、吉布斯等人在经典力学基础上建立起**经典统计物理**。20 世纪初,由于量子力学的建立,狄拉克、爱因斯坦、费密、玻色等人又创立了**量子统计物理**。

热学包括气体动理论和热力学两部分。热力学的结论来自实验,可靠性好,但对问题的本质缺乏深入了解。气体动理论的分析对热现象的本质给出了解释,但是只有当它与热力学结论相一致时,气体动理论才能得到确认,因此,两者相辅相成,缺一不可。

经验告诉我们,自然界中宏观物体的各种性质,大都随着它的冷热状态的变化而变化,物体的冷热状态通常用“温度”这个量来表述。例如,物体的体积会因温度变化而变化。很硬的钢件烧红后会变软,若经过突然冷却(淬火)又会变得很坚硬。一般金属导体,温度升高,其电阻也随之增大;而另一些金属或化合物在低温下其电阻会突然消失,变成超导体。室温下的半导体,在高温下会变成导体,而当它冷却到很低温度时,又会变成绝缘体。有很强的剩磁的铁磁质,当加热到其居里温度以上时,又会变成没有剩磁的

顺磁体。宏观物体在各种温度下都存在热辐射,温度越高,对应于辐射强度极大值的光波波长越短,因而辐射光的颜色随温度的升高由红向黄、蓝、紫变化。化学反应快慢、生物繁殖生长等都与温度有关。总之,与物体冷热状态相关联的热现象在自然界中是一种普遍存在的现象。所以学习和掌握热学规律对于从事生产和发展现代科技都是非常重要的。

第9章 气体动理论基础

物质形态可以分为固态、气态和液态。从微观角度分析,物质主要由分子、原子等微观粒子组成。气体动理论是运用统计方法分析分子、原子等微观粒子运动对物质热性能的影响,是统计物理最简单、最基本的内容。气体动理论通过微观模型建立、统计方法运用,从而获得大数微观粒子的统计平均结果,并通过实验加以验证。

本章首先从宏观角度介绍系统、平衡态、温度、状态方程等热学基本概念。然后在气体的微观特征的基础上讲解平衡态统计理论的基本知识——气体动理论,阐明平衡态下宏观参量(压强和温度)的微观意义、气体分子的内能、气体分子的麦克斯韦速率分布、分子的平均碰撞频率和平均自由程等。最后对非平衡态气体热现象做简单的介绍。

9.1 气体动理论的基本概念

9.1.1 热力学系统的描述

热学是研究一切与热现象有关问题的科学,其对象是大量微观粒子构成的宏观物体,可以是固体、液体和气体,我们把热学的研究对象称为热力学系统,简称系统。热学规律不仅与研究对象的构成有关,同时还应注意影响研究对象的外部环境物质,研究对象以外的物质称为系统的外界。一般情况下,系统与外界之间既有物质的交换(粒子流,即泄漏、扩散、蒸发等),又有能量的交换(能流,即做功、热传递)。根据系统与外界相互作用形式不同,将研究系统分为三种:

孤立系统:系统与外界既无能量交换又无物质交换的理想系统,即不受外界影响的系统。

封闭系统:系统与外界只有能量交换而无物质交换的系统。

开放系统:系统与外界既有能量交换又有物质交换的系统。

系统的性质及其变化规律的研究,需要对系统的状态加以描述。系统具有不同的宏观属性,如几何属性(体积)、力学属性(压强)、热学属性(温度)、电磁属性(磁感应强度、电场强度)、化学属性(摩尔质量、物质的量)等。热学所要描述的是大量分子构成的宏观热力学系统。从整体上对一个系统的状态加以描述的方法称为宏观描述。宏观描述中所采用的可直接测量的量表征系统状态和属性,该物理量称为宏观量。对于给定的气体、液体和固体,所用的化学组成、体积、压强、温度、内能等物理量就是宏观量。从微观结构和微观运动研究系统微观属性,微观粒子均具有大小、质量、位矢、速度、动量、能量等。任何宏观物质都是由大量的分子或原子组成的,分子或原子统称为微观粒子。通过对微观粒子运动状态的说明而

对系统的状态加以描述,这种方法称为微观描述。描述单个微观粒子的运动状态的物理量称为**微观量**,如分子的质量、速度、位置、动量、能量等。在热力学实验中,我们通常不能对微观量进行直接观察和测量。

宏观描述和微观描述是描述系统同一状态的两种不同方法,它们之间存在一定的内在联系。宏观物体所发生的各种现象都是它所包含的大量微观粒子运动的集体表现,宏观参量总是大量微观参量的统计平均的结果。例如,气体的压强就是大量气体分子发生碰撞产生动量改变的集体效果,所以气体的压强是气体分子因碰撞而引起的动量单位面积变化率的平均值。对热现象的研究,一方面要通过宏观描述找出热力学系统中宏观量之间的关系,另一方面要通过微观描述并利用统计平均的方法来了解宏观量的微观本质。气体动理论的任务是揭示气体宏观量的微观解释,建立宏观量与微观量统计平均值间的关系。

9.1.2 平衡态

热力学系统可以分为平衡态系统和非平衡态系统。对于一个封闭系统,由初始状态经过足够长时间,系统的宏观状态不再随着时间的变化而发生变化的状态,称为**热平衡态**,简称**平衡态**。金属棒一端置于沸水中,另一端置于冰水中,在两个稳恒热源之间,经过足够长的时间,金属棒达到一个稳定状态,称为**稳恒态**。稳恒态存在热流注入,因此稳恒态不是平衡态。

系统平衡态必须满足两个条件:一是系统与外界在宏观上无能量和物质交换;二是系统的宏观性质不随时间变化。可理解为,系统处于热平衡态时,系统内部任一微小体积元均处于力学平衡、热平衡、相平衡和化学平衡。

需要说明:①平衡态仅指系统的宏观性质不随时间变化,从微观角度讲,系统处于平衡态下,组成系统的大量粒子仍在不停地、无规则地运动着,只是大量粒子运动的平均效果不变,宏观上表现为系统达到平衡态——**热动平衡态**;②热平衡态是一种理想状态。

系统由初始状态达到平衡态所经历的时间,称为**弛豫时间**。在弛豫过程中,系统处在非平衡态,即在没有外界影响的条件下系统的宏观性质仍在变化。

以相互独立的宏观量描述系统的平衡态称为系统的**状态参量**。给定系统的平衡态可以用体积(V)、压强(p)和温度(T)等状态参量来描述,也可用 p - V 、 p - T 和 V - T 等状态图上的一个点来表示。

9.1.3 温度

温度是热力学中一个非常重要和特殊的状态参量,在生活中,通常用温度来表示物体的冷热程度。这是初中物理所建立的温度概念,但是这种定义不能准确描述系统状态。例如,在寒冷的冬天,用手接触一个铁球或一个木球,我们会明显感觉到铁球要比木球冷,但实际上它们具有相同的温度。其中的原因不在于物体本身的温度,而在于两种物质的导热能力不同。因此,要定量表示出系统的温度,必须给温度一个严格而科学的定义。

如图 9-1(a)所示,假设两个独立的封闭系统 A 和 B,各自处于一定的平衡态。如果将 A 和 B 两系统相互接触,则两系统间发生能量交换,系统状态发生改变,经过一定时间,两系统的宏观状态不再发生改变,此时两系统处于相同的平衡态。即使再次分开,两系统的冷热程度均相同。如图 9-1(b)所示,在不受外界影响的情况下,如果系统 A 和系统 B 同时与系

统 C 处于热平衡,即使 A 和 B 没有接触,它们也必定处于热平衡,这一规律叫做**热力学第零定律**。

热力学第零定律表明:两个热力学系统处于同一个热平衡状态时,它们必然具有某种共同的宏观特征,这一特征可以描述这些系统的平衡状态。当两系统这一宏观特征相同时,彼此接触后系统间不再发生热传导现象,若该宏观特征不同,彼此接触后必然产生热传递,彼此间的热平衡态也会发生改变。决定系统彼此处于热平衡的这一共同宏观特征称为系统的**温度**。因此,温度是决定不同系统之间是否处于热平衡的宏观性质。处于热平衡的多个系统具有相同的温度。同样,具有相同温度的几个系统,它们也必然处于热平衡。

热力学第零定律的重要性不仅在于它给出了温度的定义,而且指出了温度的测量方法。选定一种合适的物质(测温物质)作为系统,通过系统与温度有关的特性来测量其他系统的温度。该系统就是**温度计**。为了定量地测量温度,还必须给出温度的数值表示方法,称为**温标**。

日常生活中常用的一种温标是摄尔修斯(A. Celsius)建立的摄氏温标(t),用液体(酒精、水银或煤油)作测温物质,用液柱高度随温度的变化作测温属性。在标准大气压强下,冰水混合物的平衡温度 0°C ,水沸腾的温度为 100°C ,在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间按温度计测温性质随温度作线性变化来等分刻度。在科学技术领域中,常用的是另一种温标,称为热力学温标。用 T 表示热力学温度,国际单位制中的单位是开尔文,简称开(K),这种温标不依赖于任何测温物质和任何测温性质,故为国际上通用的温标。摄氏温标和热力学温标之间的换算关系为

$$T = t + 273.15$$

即规定水的三相点(水、冰和水蒸气平衡态共存的状态)为 273.15K 。

表 9-1 给出了一些实际的温度值,目前实验室内已获得的最低温度为 $2.4\times 10^{-11}\text{K}$,这已经非常接近 0K 了,但永远不能达到 0K 。

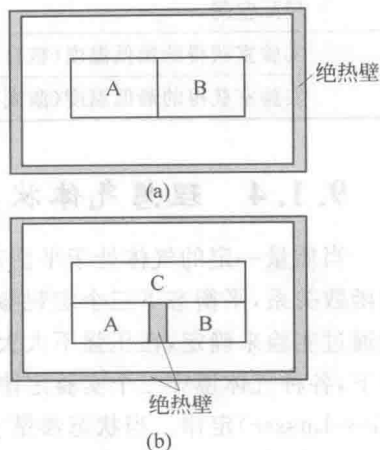


图 9-1 热力学第零定律

(a) 两个系统接触; (b) 两个系统与第三个系统分别接触

表 9-1 一些实际温度

宇宙大爆炸后的 $10\sim 45\text{s}$	10^{32}K
氢弹爆炸中心	10^8K
太阳中心	$1.5\times 10^7\text{K}$
地球中心	$4\times 10^3\text{K}$
乙炔焰	$2.9\times 10^3\text{K}$
月球向阳面	$4\times 10^2\text{K}$
吐鲁番盆地最高温度	323K
地球上出现的最低温度	185K