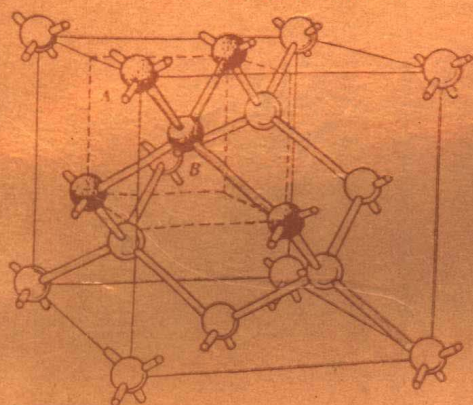


大学物理学

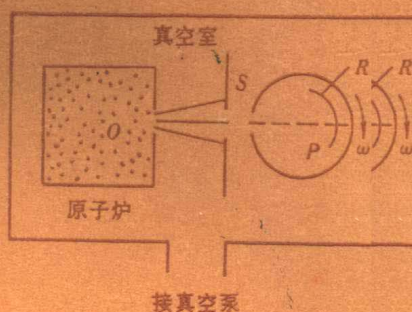
(下册)

华金龙 王少杰 冯伟国 主编

DA XUE WU LI XUE



DA XUE WU LI XUE



DA XUE WU LI XUE :

DA XUE WU LI XUE

DA XUE WU LI XUE :

同济大学出版社

高等工业学校试用教材

大学物理学

(下 册)

主编	华金龙	王少杰	冯伟国
编写	陆瑞征	华金龙	羊亚平
	唐宗岳	吴天刚	顾 牡

同济大学出版社

内 容 提 要

本书根据国家教委颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”编撰,以面向 21 世纪为出发点,内容除覆盖大纲的要求外,增加了阅读材料和专题,以备教学中选用。全书分上、下两册,下册包括热学、物性学、振动与波、光学、近代物理和专题等部分。

本书可作为高等工科学校非物理专业教材,也可供其他类型学校的学生和教师使用或参考。

责任编辑 张智中

封面设计 邹小丹

大 学 物 理 学

华金龙 王少杰 冯伟国 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号, 邮编 200092)

新华书店上海发行所发行

望亭发电厂印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:20.875 字数:605 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—11000 定价:24.60 元

ISBN 7-5608-1705-X/O·146

目 录

第三篇 热学与物性学

13. 气体分子动理论	(3)
§ 13.1 平衡态 状态参量	(4)
§ 13.2 理想气体的状态方程	(7)
§ 13.3 压强和温度的分子动理论解释	(11)
§ 13.4 能量均分定理 理想气体的内能	(18)
§ 13.5 麦克斯韦速率分布律	(22)
§ 13.6 玻尔兹曼分布律	(34)
§ 13.7 真实气体	(37)
§ 13.8 气体分子的平均自由程和碰撞频率	(43)
*§ 13.9 气体内的输运过程	(47)
阅读材料(十) 阿伏伽德罗常数	(54)
思考题	(60)
习 题	(61)
14. 热力学基础	(65)
§ 14.1 准静态过程 功 热量 内能	(65)
§ 14.2 热力学第一定律及其对理想气体等值过程的 应用	(71)
§ 14.3 理想气体的绝热过程	(78)

§ 14.4	循环过程和卡诺循环	(88)
§ 14.5	热力学第二定律和不可逆过程	(99)
§ 14.6	熵和熵增加原理	(105)
§ 14.7	热力学第二定律的统计意义	(115)
阅读材料(十一)	电冰箱 空调 温室效应	(123)
阅读材料(十二)	熵和信息、生命及其他	(126)
思考题	.....	(131)
习 题	.....	(133)
15. 物性学	.....	(139)
§ 15.1	固体 晶体和非晶体	(139)
§ 15.2	晶体的基本结合形式 结合能	(143)
§ 15.3	固体的热学性质	(147)
§ 15.4	固体的力学性质	(154)
§ 15.5	液体 液晶	(160)
§ 15.6	液体的表面现象 表面张力	(163)
§ 15.7	相变	(174)
§ 15.8	气液相变	(178)
§ 15.9	固液相变 固气相变 三相图	(185)
阅读材料(十三)	供冷热工程中的气体	(192)
思考题	.....	(198)
习 题	.....	(199)

第四篇 振动与波

16. 振动学基础	.....	(203)
§ 16.1	简谐振动	(203)
§ 16.2	简谐振动的矢量图示法 周相差	(213)
§ 16.3	简谐振动的能量 平均值	(218)
§ 16.4	简谐振动的合成	(223)

§ 16.5 阻尼振动	(234)
§ 16.6 受迫振动	(239)
§ 16.7 电磁振荡	(243)
*§ 16.8 机械振动与电磁振荡的相互转换	(248)
阅读材料(十四) 传感器入门	(251)
思考题	(257)
习题	(260)
17. 波动学基础	(265)
§ 17.1 机械波的产生和传播	(265)
§ 17.2 平面简谐波	(270)
§ 17.3 简谐波的能量	(280)
§ 17.4 惠更斯原理	(286)
§ 17.5 波的叠加原理 波的干涉	(290)
§ 17.6 驻波	(296)
§ 17.7 多普勒效应	(301)
*§ 17.8 声波	(304)
§ 17.9 电磁波	(307)
§ 17.10 电磁波谱	(314)
阅读材料(十五) 建筑声学 & 超声应用简介	(316)
思考题	(323)
习 题	(325)

第五篇 光 学

18. 工程光学简介	(331)
§ 18.1 光度学基本概念	(331)
§ 18.2 色度学基本概念	(342)
§ 18.3 建筑光环境	(351)
*§ 18.4 工程光学测绘仪器简介	(359)

阅读材料(十六) 形形色色的人造电光源	(369)
思考题	(374)
习 题	(375)
19. 波动光学	(376)
§ 19.1 光的相干性	(376)
§ 19.2 杨氏双缝干涉	(381)
§ 19.3 等倾干涉	(386)
§ 19.4 等厚干涉	(394)
§ 19.5 惠更斯——菲涅耳原理	(402)
§ 19.6 单缝衍射和衍射光栅	(405)
§ 19.7 光学仪器的分辨率	(416)
§ 19.8 X射线的衍射	(419)
§ 19.9 自然光与偏振光	(422)
§ 19.10 起偏与检偏 马吕斯定律	(425)
§ 19.11 反射和折射时光的偏振	(430)
§ 19.12 双折射	(433)
§ 19.13 椭圆偏振光和圆偏振光 波片	(441)
§ 19.14 偏振光的干涉	(445)
§ 19.15 人为双折射现象	(448)
§ 19.16 旋光现象	(450)
*§ 19.17 非线性光学简介	(452)
阅读材料(十七) 全息照相	(457)
思考题	(459)
习 题	(462)

第六篇 近代物理基础

20. 量子物理	(471)
§ 20.1 黑体辐射和普朗克量子假设	(472)

§ 20.2	光电效应和爱因斯坦光子理论	(480)
§ 20.3	康普顿效应(康普顿散射)	(486)
§ 20.4	氢原子光谱和玻尔理论	(491)
§ 20.5	德布罗意假设与电子衍射实验	(500)
§ 20.6	波函数的统计解释	(506)
§ 20.7	不确定性关系	(512)
§ 20.8	薛定谔方程	(515)
*§ 20.9	力学量的算符	(520)
§ 20.10	一维定态	(522)
§ 20.11	电子轨道角动量	(529)
*§ 20.12	氢原子定态	(535)
§ 20.13	电子的自旋	(540)
§ 20.14	激光原理	(543)
思考题	.....	(549)
习 题	.....	(550)
21. 原子核物理和粒子物理简介	.....	(554)
§ 21.1	原子核的基本性质	(554)
§ 21.2	原子核的结合能	(559)
§ 21.3	核力	(561)
§ 21.4	原子核的放射性	(564)
§ 21.5	核反应	(567)
§ 21.6	原子核的裂变和聚变	(572)
§ 21.7	粒子物理的基本特点	(578)
§ 21.8	粒子的分类及其相互作用	(579)
§ 21.9	守恒定律	(584)
*§ 21.10	夸克(层子)模型	(587)
思考题	.....	(589)
习 题	.....	(590)

专 题

22. 固体物理基础	(592)
§ 22.1 晶体的结构	(593)
§ 22.2 固体能带的形成	(598)
§ 22.3 导体、半导体和绝缘体	(603)
§ 22.4 约瑟夫森效应	(606)
§ 22.5 A - B 效应	(612)
23. 非线性物理简介	(616)
§ 23.1 孤立子	(616)
§ 23.2 分形和分维	(620)
§ 23.3 逾渗现象	(626)
§ 23.4 分岔	(630)
§ 23.5 混沌	(635)
§ 23.6 元胞自动机	(641)
附录一 书中物理量的符号及单位	(646)
附录二 常用物理基本常数表	(649)
习题参考答案	(650)
参考文献	(658)

第三篇 热学与物性学

热学是研究物质的热性质和热运动的规律及其应用的科学。凡与温度有关的物体,它的状态、性质及其变化统称为热性质和热现象。

热学研究的对象是由大量微观粒子(分子、原子等)所组成的宏观物体,称为系统,系统以外的物体称为外界或环境。例如,研究气缸内气体的体积、压强等变化时,该气体就是系统,而气缸壁、活塞、发动机的其它部分以及大气等都是外界。

分子或原子处于永不停息的无规则运动之中,这种运动称为热运动。热运动的特点是:大量微观粒子中个别粒子的运动都是不规则的和随机的,但在总体上,在一定的宏观条件下却遵循确定的规律,即统计规律性。这就决定了对热学的研究有宏观的与微观的两种不同的描述方法。

统计物理学是热学的微观理论,它从物质的微观结构出发,运用统计的方法把物体的宏观性质作为微观粒子热运动的统计平均结果,找出宏观量与微观量之间的关系,其目的是从分子运动来解释系统的热性质。热力学是热学的宏观理论,它根据由观察、实验总结出来的热力学定律,用严密的逻辑推理方法来研究系统的热性质。热力学理论具有高度的可靠性和普遍性,可以用它来验证微观理论的正确性;统计物理学则深入揭示热现象的本质。在对热现象的研究上,热力学和统计物理学起到了相辅相成的作用。

热现象是人类生活中最早接触到的一种现象。50 万年前,周口店北京猿人洞穴中的灰烬是热现象的最早遗迹之一。18 世纪

初,欧洲工业革命推动了热学实验,使热学走上实验科学的道路。焦耳(J. P. Joule)从 1840 年开始,以毕生精力测定热功当量,为热力学第一定律的建立奠定了坚实的基础。克劳修斯(R. Clausius)和开尔文(L. Kelvin)先后于 1850 年和 1851 年提出了热力学第二定律的经典表述。

热学的微观理论真正兴起在 19 世纪中叶。1857 年克劳修斯首先用统计概念导出玻意耳定律。1857 年,麦克斯韦(J. Maxwell)提出分子速度的统计分布律,玻耳兹曼(L. Boltzmann)把速度分布律推广到重力场。1902 年,吉布斯(J. W. Gibbs)发展了麦克斯韦和玻耳兹曼理论,使统计物理学发展成完整的理论。

20 世纪是热力学和统计物理学相结合并和其他学科及近代科学技术相结合的发展阶段。量子统计物理学、耗散结构理论、非平衡态热力学和非平衡态统计理论的出现都使热力学和统计物理学的发展和应用远远超出了原来的范畴。

本篇主要介绍气体分子动理论的基本内容和热力学的基本定律,并着重于对系统平衡态的研究。

物性学是研究物质结构与物态变化规律的科学。按传统编排仍把它放在热学中讲授。因为其内容大多涉及固、液、气三类常见聚集态的热性质,比较实用。至于深层次的理论分析如能带理论等将放入第 22 章固体物理基础中讲述。

13

气体分子动理论

气体分子动理论是统计物理学中最简单最基本的内容。气体是由大量分子或原子组成,每摩尔气体包含 6.022×10^{23} 个分子,该常数称为阿伏伽德罗常数,以 N_A 表示

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} (\text{mol}^{-1})$$

分子或原子统称为微观粒子,其线度小于 $10^{-10}(\text{m})$,分子或原子都以不同的形式永不停息地运动着。描述每一个微观粒子运动状态的物理量(如分子的质量、速度、位置、能量等)叫做微观量,微观量不能直接观察与测量。描述一个系统的状态和属性的物理量(如气体的压强、体积、温度、热容量等)叫做宏观量,宏观量一般能直接观察或测量。

气体分子动理论对个别分子的运动应用力学规律,对大量分子的集体行为应用统计平均的方法,认为系统的宏观性质是大量微观粒子运动的统计平均结果,宏观量与相应的微观量的统计平均值有关。例如,气体对容器壁的压强是大量气体分子撞击器壁的集体效果,所以气体的压强就和气体分子因撞击器壁而引起的冲量的平均值有关。

本章着重讨论平衡态气体的性质——压强和温度公式及其微观本质,以及平衡态理想气体所遵循的统计规律——能量均分定理和麦克斯韦速率分布律。

§ 13.1 平衡态 状态参量

13.1.1 平衡态

热学研究物质的热性质,即研究系统的宏观状态及状态变化的规律,系统的宏观状态可区分为平衡态和非平衡态,为了理解平衡态的含意,我们先举例说明。

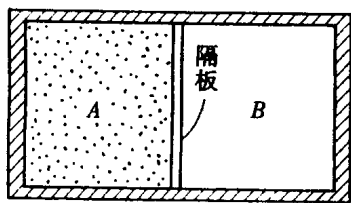


图 13-1 平衡态说明图

设有一封闭容器,用隔板分成 A, B 两部分, A 部贮有气体, B 部为真空,如图 13-1 所示,当隔板抽去后, A 部的气体向 B 部运动,经过一定时间后,容器内气体各处的状态由不均匀达到均匀

一致,此后,如果没有外界影响(如不传热也不做功等),则容器中的气体将始终保持这一状态,即气体不再发生宏观变化。

又如冷热程度不同的两个物体,相互接触后,热的物体变冷而冷的物体变热,最后两物体达到各处冷热程度均匀一致的状态,这时,如果没有外界影响,则两物体将始终保持这一状态,不再发生宏观变化。

类似的现象还可以举出许多,这种在不受外界影响(即系统与外界没有物质和能量的交换)的条件下,无论初始状态如何,系统的宏观性质在经充分长时间后不再发生变化的状态,叫做平衡态。当然,不满足上述条件的系统状态即为非平衡态。

平衡态是个理想的概念,在许多实际问题中,可把实际状态近似地当作平衡状态来处理;必须指出,平衡态是一种热动平衡状态,因为组成系统的大量分子总是不停地运动着;同时也要注意,平衡态与不随时间变化的稳定态不同,例如,一根均匀的金属棒,其两端分别与冰水混合物及沸水接触,经过一定时间后,棒上各点的温度不随时间而改变,但是,这时棒在外界影响下,各处的温度不同,所以,这时棒并不处于平衡态,而说棒处于稳定态,可见平衡

态和稳定态是两个不同的概念。

13.1.2 状态参量

系统的平衡态可以用几个宏观状态参量来描述,对于一定质量的某种气体,如果忽略重力的影响,就可以用体积 V 、压强 P 和温度 T 三个状态参量来描述。应该注意,气体的体积是指气体分子自由活动的空间,而容器的容积则为气体分子活动空间和分子实体体积之和;压强的宏观定义是气体作用于容器壁单位面积上指向器壁的垂直作用力,其国际单位为帕斯卡(代号为帕,Pa),即牛顿·米⁻²(N·m⁻²),其实用单位有标准大气压和工程大气压

$$1 \text{ 标准大气压(atm)} = 1.01325 \times 10^5 (\text{Pa})$$

$$1 \text{ 工程大气压} = 9.80665 \times 10^4 (\text{Pa})$$

下面我们首先对温度这一重要的状态参量作出严格的科学定义。

13.1.3 热力学第零定律和温度的宏观定义

两个系统通过导热壁相互接触后达到一个共同的平衡态,我们称这两个系统处于热平衡状态,或者说它们达到了热平衡。

设想把系统 A, B 用绝热壁隔开,而分别通过导热壁与处于确定状态的热源 C 接触,如图 13-2(a)所示,经过足够长时间后, A 和 B 分别都和 C 达到热平衡,然后将绝热壁与导热壁互换,如图 13-2(b)所示,则观察不到 A, B 的状态发生任何变化,这表明 A 与 B 已处于热平衡。上述实验可概括为热力学定律:“如果两个系统分别和处于确定状态的第三个系统达到热平衡,则这两个系统彼此也将处于热平衡。”历史上,这个定律被公认为独立公理之前,热力学第一定律和第二定律已被命名,因此,就称它为热力学第零定律。

热力学第零定律揭示了互为热平衡的系统之间必定存在一个共同的宏观性质,我们定义表征系统热平衡的宏观性质的物理量为温度,一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。

热力学第零定律不仅给出了温度的宏观定义,而且指出了利

用温度计测量温度的方法,要定量地确定温度的数值,还必须给出温度的数值表示法——温标。

在热力学第二定律基础上引入的一种温标叫做热力学温标,它在历史上最先由开尔文引入,所以也叫开尔文温标,用这种温标所确定的温度叫热力学温度,用 T 表示,它的国际制单位叫开尔文,简称“开”,记作 K 。

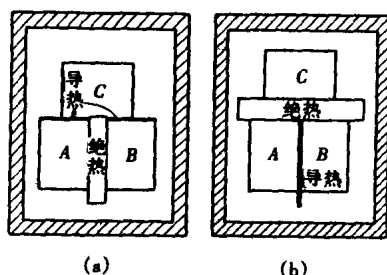


图 13-2 热平衡说明图

生活和技术中常用的温标为摄氏温标,它所确定的温度叫摄氏温度,用 t 表示,单位记作 $^{\circ}C$,它的定义为

$$t = T - 273.15 \quad (13-1)$$

表 13-1 列出了一些典型温度。

表 13-1 典型温度选列

名 称	温 度(K)
宇宙汤(宇宙大爆炸发生 0.01(s)后)	10^{11}
中子星中心	6×10^9
氢弹爆炸中心	10^8
太阳中心和表面	$1.5 \times 10^7, 6 \times 10^3$
等离子体	10^5
地球中心和表面	$6 \times 10^3, 288$
钨熔点	3.6×10^3
水三相点	273.16
高温超导临界温度($Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$, 1988)	125
最早发现超导 Hg 临界温度,(翁纳斯, 1911)	4.15

续表 13-1

名 称	温 度(K)
宇宙背景辐射	2.7
^4He 超流转变, ^3He 超流转变	2.17, 0.0027
顺磁盐绝热退磁	10^{-3}
原子核绝热退磁	10^{-6}
迄今世界最低温纪录两级原子核(铜核)绝热退磁(芬兰, 艾可姆)	5×10^{-8}

§ 13.2 理想气体的状态方程

玻意耳定律表明,一定质量的气体,在一定的温度下,其压强 p 和体积 V 的乘积是个常数。即

$$pV = C$$

对于不同的温度,这一常数的数值是不同的,通常各种气体都近似地遵守这一定律,而且压强越小与此定律符合得越好。严格遵守玻意耳定律的气体称为理想气体,理想气体是实际气体在压强趋于零时的极限情况。

由玻意耳定律得到,对于一定质量的某种理想气体 pV 的乘积只决定于温度,于是我们可以定义一个温标,叫做理想气体温标,以 T 表示其温度值,则

$$pV \propto T$$

该定义只能给出两个温度的比,为了确定某一温度的数值,还必须规定一个温度定点,1954年,国际上规定以水的气、液、固三相平衡共存的温度,即水的三相点温度(详见 § 15.9)作为标准温度定点,规定它的数值为

$$T_3 = 273.16(\text{K})$$

则

$$\frac{T}{T_3} = \frac{pV}{p_3 V_3} \quad (13-2)$$

其中 p_3, V_3 为一定质量的理想气体在水的三相点温度下的压强和体积, p, V 为该气体在任意温度 T 时的压强和体积。

实验指出,在一定的温度和压强下,气体的体积和它的质量 m 或摩尔数 $\frac{m}{M}$ (其中 M 为气体的摩尔质量)成正比,即 $V = \frac{m}{M}v$ (其中 v 为气体的摩尔体积),用 v_3 表示气体在水三相点温度下的摩尔体积,那么(13-2)式可以写成

$$pV = \frac{m p_3 v_3}{M T_3} T \quad (13-3)$$

阿伏伽德罗定律指出,当气体压强趋于零时,在相同温度和压强下,1 摩尔任何气体的体积都相同。那么(13-3)式中 $\frac{p_3 v_3}{T_3}$ 的值对各种气体都一样,用 R 表示,称为普适气体常数或摩尔气体常数,即

$$R = \frac{p_3 v_3}{T_3}$$

将它代入(13-3)式,则得

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (13-4)$$

式(13-4)表示了理想气体在平衡态下三个状态参量 p, V, T 之间的关系,称为理想气体状态方程。在通常的不太高的压强和不太低的温度情况下,各种实际气体都近似地遵守这个方程。

R 的数值可以由 $\frac{p_3 v_3}{T_3}$ 来推算,也可以由 1 摩尔理想气体在冰点 ($T_0 = 273.15(\text{K})$) 及一个大气压 ($p_0 = 1(\text{atm})$) 下的体积 v_0 来推算。实际上,目前一般是用 v_0 来推算 R 的,因为 v_0 的值已根据实验结果求得,它比较准确。1 摩尔理想气体在 $273.15(\text{K})$ 及 1 个大气压下的体积为

$$v_0 = 22.41383 \times 10^{-3} (\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1})$$

由此可算出