

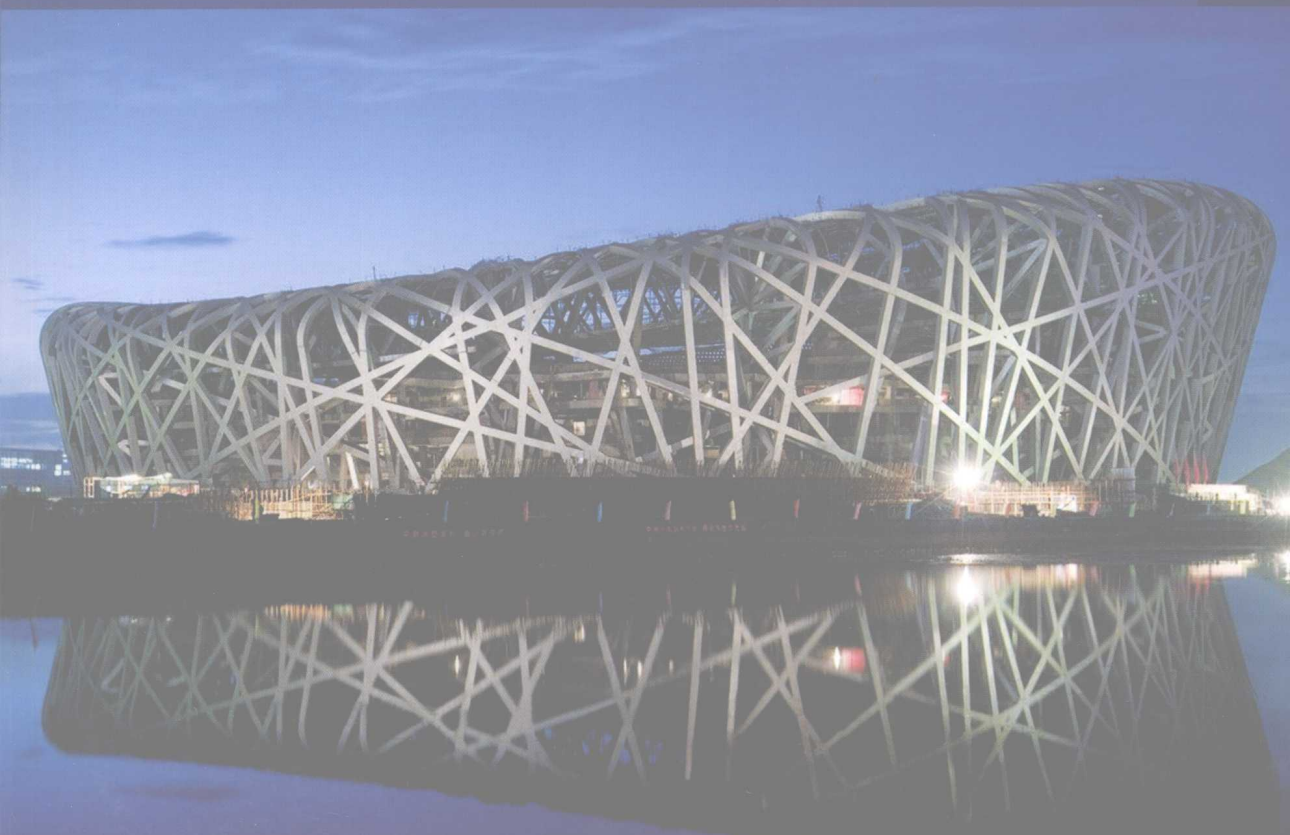
高等院校21世纪课程教材

College Textbook Series for 21st Century

大学物理学

下册

韩家骅 主编



安徽大学出版社

高等院校21世纪课程教材

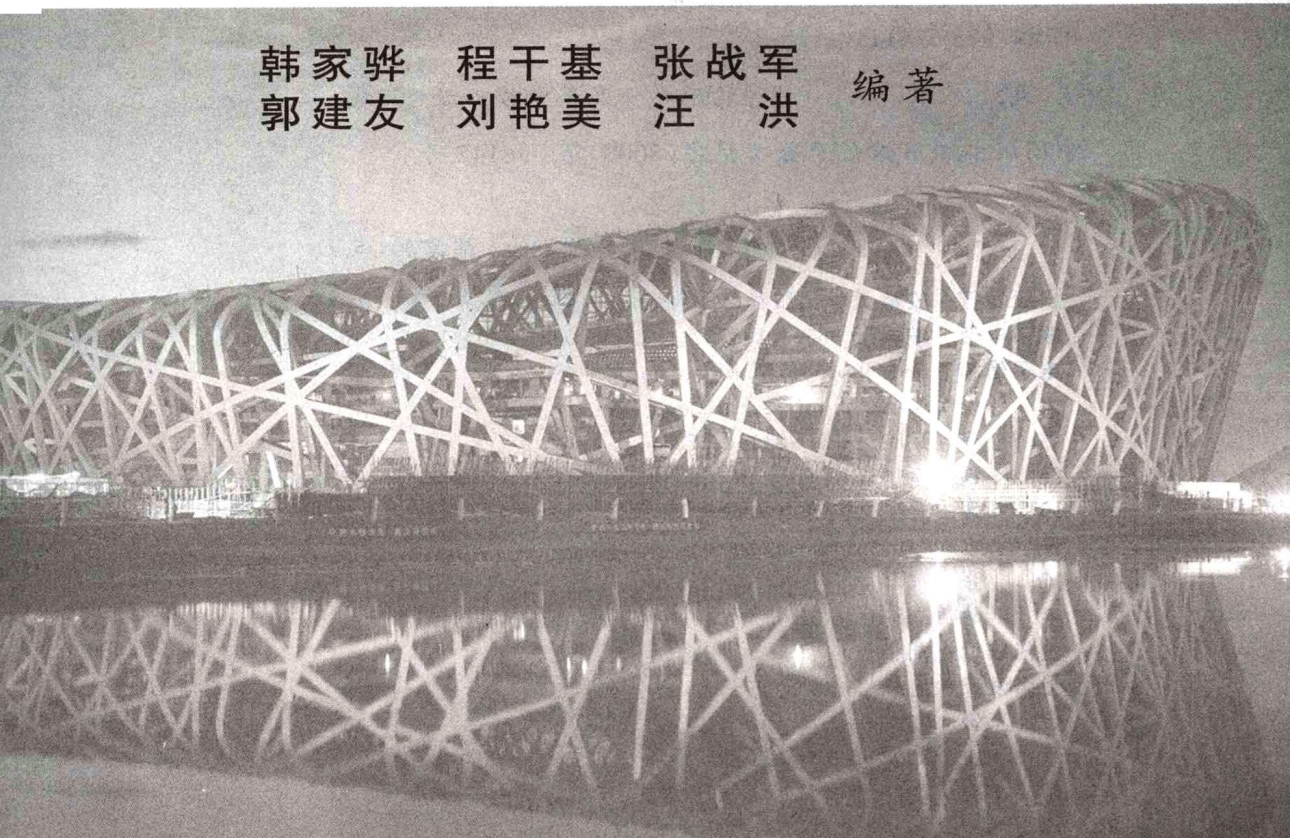
College Textbook Series for 21st Century

大学物理学

下册

韩家骅 主编

韩家骅 程干基 张战军 编著
郭建友 刘艳美 汪洪



安徽大学出版社

内容提要

本书是根据教育部最新颁发的“非物理类理工科大学物理课程教学基本要求”,结合多年教学实践编写的.全书分上、下两册,上册包括力学、狭义相对论和电磁学;下册包括热学、振动、波动、光学、量子物理、核物理与粒子物理、分子与固体、天体物理与宇宙学等.另有一套完整的电子教案《大学物理学电子教案》与本书配套.

本书的内容紧紧围绕“大学物理课程教学基本要求”,难度适中,物理概念清晰,论述深入浅出,体现了视点高、创意新和内容现代化的特色.本书可作为普通高等院校非物理类专业的大学物理课程教材,也可供相关专业的师生选用和参考.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学·下册/韩家骅主编. —合肥:安徽大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81110-478-3

I. 大... II. 韩... III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 098147 号

大学物理学(下册) 韩家骅 主编

- 出版发行 安徽大学出版社(合肥市肥西路3号 邮编 230039)
联系电话 编辑部 0551-5108397 发行部 0551-5107716
电子信箱 ahdxxhps@mail.hf.ah.cn
网 址 www.ahupress.com.cn
书 号 ISBN 978-7-81110-478-3
经 销 全国新华书店
印 刷 合肥创新印务有限公司
开 本 710×1000 1/16
印 张 26.5
字 数 468 千
责任编辑 刘中飞
封面设计 孟献辉
定 价 33.00 元
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2008 年 8 月第 1 次印刷

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换

物理学中常用物理常量表

物理量	符号	2002 年国际科技数据 委员会推荐值	计算取用值	单位
真空中的光速	c	$2.997\,924\,58 \times 10^8$	3.0×10^8	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
阿伏加德罗常量	N_A	$6.022\,141\,5(10) \times 10^{23}$	6.02×10^{23}	mol^{-1}
牛顿引力常量	G	$6.672\,42(10) \times 10^{-11}$	6.67×10^{-11}	$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
摩尔气体常量	R	$8.314\,472(15)$	8.31	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻耳兹曼常量	k	$1.380\,650\,5(24) \times 10^{-23}$	1.38×10^{-23}	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
理想气体的摩尔体积	V_m	$22.414\,10(19) \times 10^{-3}$	22.4×10^{-3}	$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
基本电荷	e	$1.602\,176\,53(14) \times 10^{-19}$	1.60×10^{-19}	C
里德伯常数	R_∞	$109\,737\,31.534$	$10\,973\,731$	m^{-1}
电子质量	m_e	$0.910\,938\,26(16) \times 10^{-30}$	9.11×10^{-31}	kg
质子质量	m_p	$1.672\,621\,71(29) \times 10^{-27}$	1.67×10^{-27}	kg
中子质量	m_n	$1.674\,927\,28(29) \times 10^{-27}$	1.67×10^{-27}	kg
原子质量单位	m_u	$1.660\,538\,86(28) \times 10^{-27}$	1.66×10^{-27}	kg
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$
真空电容率	ϵ_0	$8.854\,187\,817 \dots \times 10^{-12}$	8.85×10^{-12}	$\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
电子磁矩	μ_e	$9.284\,770\,1(31) \times 10^{-24}$	9.28×10^{-24}	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
质子磁矩	μ_p	$1.410\,607 \times 61(47) \times 10^{-26}$	1.41×10^{-26}	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
中子磁矩	μ_n	$0.966\,237\,07(40) \times 10^{-26}$	9.66×10^{-27}	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
核子磁矩	μ_N	$5.050\,786\,6(17) \times 10^{-27}$	5.05×10^{-27}	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
玻耳磁矩	μ_B	$9.274\,015\,4(31) \times 10^{-24}$	9.27×10^{-24}	$\text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
玻耳半径	a_0	$0.529\,177\,210\,8(18) \times 10^{-10}$	5.29×10^{-11}	m
普朗克常量	h	$6.626\,069\,3(11) \times 10^{-34}$	6.63×10^{-34}	$\text{J} \cdot \text{s}$

希腊字母

字 母		英文注音	字 母		英文注音
大写	小写		大写	小写	
A	α	alpha	N	ν	nu
B	β	beta	Ξ	ξ	xi
Γ	γ	gamma	O	$\omicron$	omicron
Δ	δ	delta	Π	π	pi
E	ϵ	epsilon	P	ρ	rho
Z	ζ	zeta	Σ	σ	sigma
H	η	eta	T	τ	tau
Θ	θ	theta	Υ	υ	upsilon
I	ι	iota	Φ	ϕ	phi
K	κ	kappa	X	χ	chi
Λ	λ	lambda	Ψ	ψ	psi
M	μ	mu	Ω	ω	omega

前言

本书是根据教育部最新颁发的“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求”,参考当前国内外物理教材改革动态,结合我们多年的教学实践经验编写而成。本教材按照最新“基本要求”,与传统教材相比,新增加了流体力学、几何光学、固体中分子和电子、天体物理和宇宙学等内容。

为了适应当前高等教育的发展趋势,我们在教材内容的现代化及讲法上做了一些探索和改革。尽量处理好经典物理内容与近代、现代物理内容之间的关系,既考虑到经典物理是学生后续课程和能力、素质培养所涉及的主要知识内容,也注意到在经典物理内容中渗透近代、现代物理的观点、概念和方法;讲法上避免或简化复杂的数学推导,突出物理本质,建立鲜明的物理图象,概念的引入力求明确、完整,基本内容中的难点和疑点均做深入浅出的剖析,并配备了足够数量的具有针对性的例题和习题;结合物理学的新发展和教学特点,在传统教学内容框架下,适当增加了“阅读材料”的选读内容,突出反映物理学科的时代性、应用性以及物理学的最新发展成果,这样既可以开阔学生视野,又能让他们感到所学知识与时代同步,以提高他们的学习兴趣;在讲述物理知识的同时,注意介绍科学建模思想、物理学发展史、科学家创新精神、研究问题的唯物辩证方法和解决问题的能力,以有利于学生知识、能力、素质的协调发展。

全书分上、下两册,上册包括力学、狭义相对论和电磁学,下册包括热学、振动、波动、光学、量子物理、核物理与粒子物理、分子与固体、天体物理与宇宙学等。书中除阅读材料供学生选读外,凡冠以“*”号的章节供教师根据课时数和专业的需要选用。本书可供普通高等院校用作110~150学时的非物理类大学物理课程教材。经过适当裁减后,该书也可用于面向经济管理专业70学时左右的大学物理课程教材。

参加编写的几位教师,都具有多年的教学经验,在编写过程中编者们进行了多次认真的讨论,并互相修改书稿.因此,全书体现了各位编者的教学经验和风格,同时也具有较好的整体性和系统性.

杨德田编写第一、五章,杨青编写第二、三、四、六章,郭建友编写第七、十九、二十一章,汪洪编写第八、九、十、十一章以及第十五章第九节,韩家骅编写第十二、十三、十四、十五章,程干基编写第十六、十七章,张战军编写第十八章,刘艳美编写第二十章,张文亮制作《大学物理学电子教案》,最后由主编韩家骅教授统稿、核定.

感谢史守华教授审阅全部书稿,并提出了宝贵意见;感谢张子云老师校阅了本书中全部习题及其答案;感谢刘中飞同志在本书编写、出版过程中所做的联络、协调工作;感谢所有关心本套教材的教师与同行.真诚地希望得到广大读者的批评和建议.

编 者

2007 年 11 月于安徽大学



CONTENTS

第十二章 热力学基础	1
§ 12-1 平衡态 理想气体状态方程	1
§ 12-2 热力学第一定律 内能 功 热量	6
§ 12-3 热力学第一定律在理想气体等值过程中的应用	9
§ 12-4 绝热过程 *多方过程	13
§ 12-5 循环过程 卡诺循环	18
§ 12-6 热力学第二定律	23
§ 12-7 可逆过程和不可逆过程 *卡诺定理	25
习题十二	27
第十三章 气体动理论	30
§ 13-1 气体分子热运动与统计规律	30
§ 13-2 理想气体压强公式	33
§ 13-3 麦克斯韦速率分布律	36
*§ 13-4 麦克斯韦-玻耳兹曼分布律	42
§ 13-5 温度的微观解释 理想气体定律的推证	43
§ 13-6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	45
*§ 13-7 实际气体的范德瓦耳斯方程	50
§ 13-8 气体分子的平均自由程和平均碰撞频率	52

*§ 13-9 气体内的迁移现象	55
§ 13-10 热力学第二定律的统计意义和熵的概念	59
习题十三	66
阅读资料之四 熵与能、信息、生命及其他	68
第十四章 振动学基础	73
§ 14-1 简谐运动	73
§ 14-2 简谐运动的合成	86
*§ 14-3 阻尼振动	95
*§ 14-4 受迫振动 共振	98
*§ 14-5 电磁振荡	100
习题十四	103
阅读资料之五 非线性振动初步	106
第十五章 波动学基础	116
§ 15-1 机械波的基本特征	116
§ 15-2 平面简谐波	123
§ 15-3 波的能量 能流密度	131
§ 15-4 惠更斯原理	135
§ 15-5 波的干涉	137
§ 15-6 驻 波	141
§ 15-7 多普勒效应	147
*§ 15-8 声波 超声波 次声波	152
§ 15-9 平面电磁波	157
习题十五	164
第十六章 几何光学	167
§ 16-1 几何光学基本定律	168

§ 16-2 光在球面上的反射和折射	169
§ 16-3 薄透镜	176
*§ 16-4 显微镜 望远镜 照相机	183
习题十六	186
第十七章 波动光学	188
§ 17-1 光源 单色光 光的相干性	188
§ 17-2 光程 光程差的概念	191
§ 17-3 分波面干涉	192
§ 17-4 分振幅干涉	195
*§ 17-5 迈克耳逊干涉仪	200
*§ 17-6 光的空间相干性和时间相干性	202
§ 17-7 惠更斯-菲涅耳原理	203
§ 17-8 夫琅禾费单缝衍射	205
§ 17-9 光学仪器的分辨本领	208
§ 17-10 光栅衍射及光栅光谱	211
*§ 17-11 X射线的衍射	216
*§ 17-12 全息照相	218
§ 17-13 光的偏振性 马吕斯定律	220
§ 17-14 布儒斯特定律	223
*§ 17-15 光的双折射现象	224
*§ 17-16 偏振光的干涉	227
*§ 17-17 旋光现象 人为双折射现象	229
*§ 17-18 光与物质的相互作用	232
习题十七	236
阅读资料之六 激光	239
第十八章 量子物理基础	246
§ 18-1 热辐射 普朗克量子假设	246

§ 18-2 光电效应和爱因斯坦光子理论	252
§ 18-3 康普顿散射	257
*§ 18-4 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	260
§ 18-5 微观粒子的波粒二象性	271
§ 18-6 波函数	277
§ 18-7 薛定谔方程	283
§ 18-8 一维定态问题	287
§ 18-9 量子力学和氢原子	296
§ 18-10 电子自旋 多电子原子的壳层结构	300
习题十八	306
阅读资料之七 量子电动力学的发展	308
 第十九章 核物理与粒子物理	 313
*§ 19-1 原子核的一般性质	313
*§ 19-2 核力与原子核结构	317
*§ 19-3 原子核的放射性与衰变	319
*§ 19-4 原子核的裂变和聚变	324
*§ 19-5 粒子及其分类	333
*§ 19-6 基本量子数及守恒性	335
*§ 19-7 标准模型	337
习题十九	340
 第二十章 分子与固体	 341
*§ 20-1 化学键	341
*§ 20-2 晶体结构	348
*§ 20-3 能带理论	352
*§ 20-4 导体 绝缘体 半导体	355
习题二十	362
阅读资料之八 分子器件与半导体照明(LED)	363

第二十一章 天体物理与宇宙学	368
*§ 21-1 宇宙概貌	368
*§ 21-2 宇宙天体运动规律	373
*§ 21-3 哈勃定律和宇宙膨胀	376
*§ 21-4 宇宙大爆炸模型	378
*§ 21-5 超新星	382
*§ 21-6 致密星	383
习题答案	387
附录 A 诺贝尔物理学奖历年获得者简况	394
附录 B 书中物理量的符号及单位	406
参考文献	409

第十二章

热力学基础

习惯上,人们把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.

研究热现象的规律有宏观的热力学和微观的统计物理学两种方法.热力学方法是从能量观点出发,以大量的实验观测为基础,来研究热现象的宏观基本规律及其应用,本章热力学基础将讨论这方面的问题.统计物理学方法是从宏观物体由大量微观粒子(原子、分子等)所组成,粒子不停地做热运动的观点出发,运用概率的方法研究大量微观粒子的热运动规律,这将在下一章气体动理论中讨论.热力学和气体动理论是从不同的角度研究热现象规律的,由于它们研究的是同一类现象(热现象),所以它们是相互关联、相辅相成的.

本章主要讨论热力学第一定律和第二定律,前者实际上是包括热现象在内的能量守恒与转换定律,后者则指明了热力学过程进行的方向和条件.

§ 12—1 平衡态 理想气体状态方程

一、气体的状态参量

用来描写物体运动状态的物理量称为状态参量.例如,位矢和速度是描写物体机械运动状态的力学参量.热力学的研究对象是由大量微观粒子组成的宏观物体,称为热力学系统,简称系统,也叫工质.本章所要研究的对象是气体,是一种最简单的热力学系统.实验表明,对于一定质量的气体,其状态一般可用气体的压强、体积和温度来表示,所以通常把这三个物理量称为气体的状态参量.

气体的压强用 p 表示,在工程上也叫压力,其宏观定义是气体作用在器壁单位面积上的垂直作用力.压强的国际单位为“帕斯卡”,简称“帕”,用 Pa 表示,即 $\text{牛顿} \cdot \text{米}^{-2} (\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$,它与大气压(atm)及毫米汞高(mmHg)的关系为

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

体积一般用 V 表示,其国际单位为“米³”(m³),它与升(L)的关系是

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$$

应该注意的是,气体的体积 V 是指气体分子活动所能到达的空间,而容器的容积则为气体活动空间与分子实际体积之和,两者不能混淆.当不计分子大小时,气体的体积才等于容器的容积.

温度的概念比较复杂,它在本质上与物体内部大量分子热运动的剧烈程度密切相关.下面从宏观上给出温度的科学定义.

经验告诉我们,在没有做功的情况下,若两个物体在相互接触的过程中,有能量从一个物体传递给另一个物体,那么我们就说两个物体之间有温度差.当两个物体之间停止了能量传递后,它们就达到了热平衡.

如图 12-1-1(a)所示,设想把物体 A, B 用绝热壁隔开,而分别通过导热壁与保持状态不变的物体 C 相接触,经过足够长时间后, A, B 分别和 C 达到热平衡.然后将绝热壁与导热壁互换,如图 12-1-1(b)所示,实验表明, A 与 B 的状态不会发生任何变化,即 A 与 B 也处于热平衡.

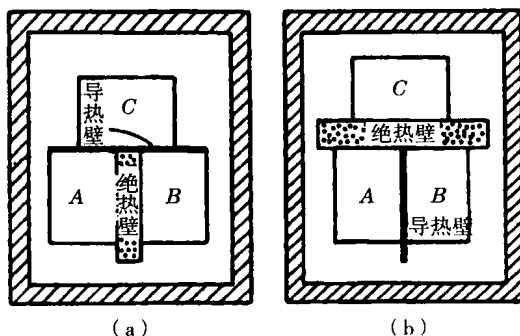


图 12-1-1 热平衡说明图

上述实验可概括为:“如果两个物体分别与处于确定状态的第三个物体达到热平衡,则这两个物体彼此将处于热平衡”.这个结论是否勒(Fowler)于 1939 年提出的,由于它独立于热力学第一和第二定律,同时又很基本,故称其为热力学第零定律.

热力学第零定律揭示了处在同一热平衡状态的所有热力学系统都具有共同的宏观性质,我们定义这个决定系统热平衡的宏观性质为温度.也就是说,温度是决定某一系统是否与其他系统处于热平衡的宏观标志,它的特征就在于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,而且给出了利用温度计测量

温度的依据和方法.但要定量确定温度的数值,还必须给出温度的数值表示法——温标.

最基本的温标是国际单位制中的热力学温标,在历史上最先由开尔文(Kelvin)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. 第 11 届国际计量大会(1960 年)决定,热力学温度单位开尔文是水三相点热力学温度的 $\frac{1}{273.16}$,这意味着将水的三相点温度 273.16 K 规定为热力学温度的固定点.生活和技术上常用的是摄氏温标,它所确定的温度叫摄氏温度,用 t 表示,单位记作 $^{\circ}\text{C}$,它和热力学温标的关系定义为

$$t = T - 273.15$$

必须指出,由上式规定的摄氏温标中,水的冰点为 0°C (273.15 K),非常接近水的三相点 273.16 K,而沸点不是正好等于 100°C ,但却非常接近(为 99.975°C).

二、平衡态

要用状态参量从整体上描述热力学系统的宏观状态,系统必须处于某种稳定的状态.为此,引入平衡态的概念.

当热力学系统与外界没有能量交换、系统内又无不同形式的能量转换时,经过足够长的时间,系统总会达到处处温度相同,所有的宏观量不随时间变化的状态,这种状态就叫平衡态.在平衡态下,系统内的分子仍在不停地做无规则的热运动,只是大量分子运动的平均效果不变,在宏观上表现为系统达到平衡.从微观上看,热力学系统的平衡态是动态平衡,所以常称为热动平衡.

只有在平衡态下,系统的宏观性质才可以用一组确定的参量来描述.因此,状态参量实际上就是描写系统平衡态的参量.例如,一定质量气体的平衡态,可用其状态参量 p, V, T 的一组值来表示.一组参量值表示气体的某一平衡态,而另一组参量值则表示气体的另一平衡态.如果系统的宏观性质随时间而变化,它所处的状态称为非平衡态.在非平衡态下,系统各部分的性质一般说来可能各不相同,并且在不断地变化,所以就不能用统一的参量来描述系统的状态.在下面的讨论中,除非特别声明,所说的状态一般都是指平衡态.

三、准静态过程

热力学系统与外界有能量或质量交换时,其状态就会发生变化.当系统从一个状态不断地变化到另一状态时,我们就说系统经历了一个热力学过程.在热力学中为了能利用系统处于平衡态时的性质来研究过程的规律,则引入了准静态

过程(也叫平衡过程)的概念.所谓准静态过程,即在这种过程中系统所经历的任一中间状态都无限接近于平衡态.换句话说,系统在经历一个准静态过程时,其间任一时刻的状态都可以当做平衡态来处理.

显然,这是一种理想过程.因为状态变化必然会破坏系统的平衡,原来的平衡态被破坏后,需要经过一段时间才能达到新的平衡态.但是,实际发生的过程往往进行较快,以至于在还没有达到新的平衡态以前又继续下一步的变化,因而过程中系统经历的是一系列非平衡态,这样的过程称为非静态过程.不过只要过程进行得足够缓慢,使得过程中的每一步,系统都非常接近于平衡态,这种过程就可以近似地看成准静态过程.实际上,准静态过程就是这种足够缓慢过程的理想极限.在实际问题中,除了一些进行极快的过程(如爆炸过程)外,大多数情况下都可以把实际过程看成是准静态过程.

准静态过程在 $p-V$ 图上可用一条曲线来描述,如图 12-1-2 所示.曲线 AB 上的每一个点都代表系统的一个平衡态,可以用确定的 p, V 值来表示.整条曲线 AB 表示一个完整的准静态过程,而曲线 AB 通常称为过程曲线.显然,非静态过程不能在状态图上用一条曲线来表示.

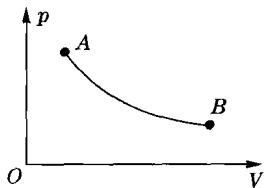


图 12-1-2 准静态过程

四、理想气体状态方程

早在 1802 年,玻意耳(R·Boyle)等人就总结出气体的实验定律,根据实验定律归纳出气体状态方程为

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (12-1-1)$$

式中, m 为气体的质量, M 为 1 mol 气体分子的质量,简称摩尔质量.任何物质,每摩尔中都包含有 N_0 个分子, $N_0 = 6.023 \times 10^{23}$,称为阿伏加德罗常量; R 为普适气体常量,其值为

$$R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

气体状态方程式(12-1-1)不是对所有气体都适用的.我们把在任何情况下都严格遵守式(12-1-1)的气体叫做理想气体.在通常温度和压强范围内的气体,一般都可近似看做理想气体.在没有特殊说明时,我们以后说到的气体,都指理想气体.式(12-1-1)就是理想气体状态方程.

例 12-1-1 有一打气筒,每打气一次可将原来压强 $p_0 = 1.0 \text{ atm}$ 、温度 $t_0 = -3.0^\circ\text{C}$ 、体积 $V_0 = 4.0 \text{ L}$ 的空气压缩到容器中,设容器的容积 $V = 1.5 \times 10^3 \text{ L}$,欲使容器内空气的压强由 $p_0 = 1.0 \text{ atm}$ 变为 $p = 2.0 \text{ atm}$,而温度保持为 $t = 45^\circ\text{C}$,

需要打几次气?

解 设打一次气送入容器中的空气质量为

$$m = \frac{p_0 V_0 M}{RT_0}$$

容器中原有空气质量为

$$m_0 = \frac{p_0 VM}{RT}$$

容器中最后所含空气质量为

$$m'_0 = \frac{pVM}{RT}$$

送入容器的空气总质量为

$$\Delta m = m'_0 - m_0 = \frac{VM}{RT}(p - p_0)$$

因此,需要打气的次数为

$$n = \frac{\Delta m}{m} = \frac{V}{V_0} \frac{T_0}{Tp_0}(p - p_0)$$

将 $p_0 = 1.0 \text{ atm}$, $T_0 = 270 \text{ K}$, $V_0 = 4.0 \text{ L}$, $p = 2.0 \text{ atm}$, $T = 318 \text{ K}$, $V = 1.5 \times 10^3 \text{ L}$ 代入上式,得

$$n = \frac{1.5 \times 10^3 \times 270}{4.0 \times 318 \times 1} \times (2 - 1) = 318 (\text{次})$$

例 12-1-2 一气缸内贮有某种理想气体,它的压强、摩尔体积和温度分别为 p_1 , V_{m1} 和 T_1 ,现将气缸加热,使该气体的压强和体积同时增大,假设此过程中气体的压强 p 和摩尔体积 V_{mol} 满足关系式

$$p = kV_{\text{mol}}$$

式中, k 为常量.

(1)求常量 k ,将结果用 p_1 , T_1 和 R 表示.

(2)设 $T_1 = 200 \text{ K}$,当摩尔体积 V_{m2} 增大到 $1.5V_{m1}$ 时,这样的气体温度为多高?

解 加热前后气体各状态参量应满足关系

$$\frac{p_1 V_{m1}}{T_1} = \frac{p_2 V_{m2}}{T_2} = R \quad (1)$$

(1)当气体处于 p_1 , V_{m1} , T_1 状态时,有

$$p_1 = kV_{m1} \quad (2)$$

由①②两式消去 V_{m1} ,得到

$$k = \frac{p_1^2}{RT_1}$$