



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Physics

根据程守洙、江之永主编
《普通物理学》（第六版）改编而成

普通物理学简明教程

（第二版）下册

■ 胡盘新 汤毓骏 钟季康 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

04/10=7

:2

2007

Physics

根据程守洙、江之永主编

《普通物理学》(第六版)改编而成

普通物理学简明教程

(第二版) 下册

■ 胡盘新 汤毓骏 钟季康 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是在程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第六版)的基础上,根据新制定的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》改编而成。本书在保持原书选材精当,论述严谨,行文简明的前提下,删繁就简、突出重点、由浅入深,力求更加易教易学,以适应高等院校培养应用型人才的教學需要。本书涵盖了《教学基本要求》中的核心(A类)内容,并精选了适量的重要的扩展(B类)内容,对经典物理内容进行了精简和深化,对近代物理内容进行了精选和普化,并适当介绍现代工程技术的新发展和新动态。

本书分为上、下两册,上册包括力学、电磁学,下册包括热学、振动、波动、光学和量子物理。本书可作为高等院校非物理类理工科各专业80~110学时大学物理基础课程的教材,也可供其他有关专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学简明教程. 下册/胡盘新,汤毓骏,钟季康主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2007.12
ISBN 978-7-04-022599-0

I. 普… II. ①胡…②汤…③钟… III. 普通物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第165681号

策划编辑 高建 责任编辑 马天魁 封面设计 赵阳 责任绘图 黄建英
版式设计 王艳红 责任校对 杨雪莲 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印刷	北京京科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787×960 1/16	版次	2004年1月第1版
印张	20.75		2007年12月第2版
字数	380 000	印次	2007年12月第1次印刷
		定价	24.00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

物料号 22599-00

常用基本物理常量表

(2002 年国际推荐值)

物理量	符号	数 值
真空中的光速	c	299 792 458 m/s(精确)
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ N/A ² 12.566 370 614 $\times 10^{-7}$ N/A ² (精确)
真空电容率	ϵ_0	$8.854 187 817 \times 10^{-12}$ F/m(精确)
万有引力常量	G	$6.672 42(10) \times 10^{-11}$ m ³ /(kg·s)
普朗克常量	h	$6.626 069 3(11) \times 10^{-34}$ J·s
	$\hbar = h/2\pi$	$1.054 571 686(18) \times 10^{-34}$ J·s
阿伏伽德罗常量	N_A	$6.022 141 5(10) \times 10^{23}$ /mol
摩尔气体常量	R	$8.314 472(15)$ J/(mol·K)
玻耳兹曼常量	k	$1.380 650 5(24) \times 10^{-23}$ J/K
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	$5.670 400(40) \times 10^{-8}$ W/(m ² ·K ⁴)
摩尔体积(理想气体, $T = 273.15$ K, $p = 101 325$ Pa)	V_m	$22.413 996(39)$ L/mol
维恩位移定律常量	b	$2.897 768 5(51) \times 10^{-3}$ m·K
元电荷	e	$1.602 176 53(14) \times 10^{-19}$ C
电子静质量	m_e	$9.109 382 6(16) \times 10^{-31}$ kg
质子静质量	m_p	$1.672 621 71(29) \times 10^{-27}$ kg
中子静质量	m_n	$1.674 927 28(29) \times 10^{-27}$ kg
电子荷质比	e/m	$1.758 820 12(15) \times 10^{11}$ C/kg
电子磁矩	μ_e	$-9.284 764 12(80) \times 10^{-24}$ J/T
质子磁矩	μ_p	$1.410 570 47(12) \times 10^{-26}$ J/T
中子磁矩	μ_n	$-0.966 236 45(24) \times 10^{-26}$ J/T
电子康普顿波长	λ_c	$2.426 310 238(16) \times 10^{-12}$ m
磁通量子, $h/2e$	Φ	$2.067 833 72(18) \times 10^{-15}$ Wb
玻尔磁子, $eh/2m_e$	μ_B	$9.274 009 49(80) \times 10^{-24}$ J/T
核磁子, $eh/2m_p$	μ_N	$5.050 783 43(43) \times 10^{-27}$ J/T
里德伯常量	R_∞	$10 973 731.568 525(73)$ /m
玻尔半径	a_0	$5.291 772 108(18) \times 10^{-11}$ m
经典电子半径	r_e	$2.817 940 325(28) \times 10^{-15}$ m
原子质量常量	m_u	$1.660 538 86(28) \times 10^{-27}$ kg = 1 u

本书中物理量的名称、符号和单位

量		单位		量纲	备注
名称	符号	名称	符号		
压力(压强)	p	帕[斯卡]	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
热力学温度	T	开[尔文]	K	Θ	
摄氏温度	t	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	Θ	$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$
摩尔质量	M	千克每摩尔	kg/mol	MN^{-1}	
分子质量	m_0	千克	kg	M	
分子有效直径	d	米	m	L	
分子平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	L	
分子平均碰撞频率	\bar{Z}	次每秒	1/s	T^{-1}	
体积分子数	n	每立方米	$1/\text{m}^3$	L^{-3}	
热量	Q	焦耳	J	L^2MT^{-2}	
比热容	c	焦耳每千克开尔文	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	
质量热容	C	焦耳每开尔文	J/K	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
摩尔定体热容	$C_{V,m}$	焦耳每摩尔开尔文	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	
摩尔定压热容	$C_{p,m}$	焦耳每摩尔开尔文	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	
比热容比	γ	—	1	—	
黏度	η	帕秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$L^{-1}MT^{-1}$	
热导率	κ	瓦每米开尔文	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	
扩散系数	D	二次方米每秒	m^2/s	L^2T^{-1}	
熵	S	焦耳每开尔文	J/K	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
振幅	A	米	m	L	
周期	T	秒	s	T	
频率	ν	赫[兹]	Hz	T^{-1}	
角频率	ω	每秒	s^{-1}	T^{-1}	
相位	ϕ	—	1	—	
波长	λ	米	m	L	
波数	$\tilde{\nu}$	每米	m^{-1}	L^{-1}	主要用于光谱学
波速	u, c	米每秒	m/s	LT^{-1}	

续表

量		单位		量纲	备注
名称	符号	名称	符号		
角波数	k	每米	m^{-1}	L^{-1}	
波的强度	I	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
声压	p	帕[斯卡]	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	
声强级	L_I	贝[尔]	B	—	常用分贝 (dB)为单位
特性阻抗	Z	牛[顿]秒每米	$N \cdot s/m$		
折射率	n	—	1	—	
光程差	δ	米	m	L	
辐[射]出[射]度	M	瓦[特]每平方米	W/m^2	MT^{-3}	
单色辐出度	M_λ	瓦[特]每立方米	W/m^3	$L^{-1}MT^{-3}$	
单色吸收比	a_λ	—	1	—	
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	瓦[特]每平方米四次方开[尔文]	$W/(m^2 \cdot K^4)$	$T^{-3}M\Theta^{-4}$	
维恩常量	b	米开[尔文]	$m \cdot K$	$L\Theta$	
逸出功	A	焦[耳]	J	L^2MT^{-2}	常用电子伏特 (eV)为单位
康普顿波长	λ_c	米	m	L	
普朗克常量	h, \hbar	焦[耳]秒	$J \cdot s$	L^2MT^{-1}	
波函数	ψ				
概率密度	$\psi\psi^*$	每立方米	m^{-3}	L^{-3}	
主量子数	n	—	1	—	
角量子数	l	—	1	—	
磁量子数	m_l	—	1	—	
自旋量子数	s	—	1	—	
自旋磁量子数	m_s	—	1	—	
质量数	A	—	1	—	
电荷数	Z	—	1	—	
里德伯常量	R	每米	m^{-1}	L^{-1}	

目 录

第八章	气体动理论	1
§ 8-1	热运动的描述 理想气体模型和状态方程	1
一、	状态参量	2
二、	平衡态 准静态过程	3
三、	理想气体的状态方程	3
§ 8-2	分子热运动和统计规律	5
一、	分子热运动的图像	5
二、	分子热运动的基本特征	6
三、	分布函数和平均值	7
§ 8-3	理想气体的压强和温度公式	10
一、	理想气体的微观模型	10
二、	理想气体压强公式的推导	10
三、	温度的本质和统计意义	12
四、	气体分子的方均根速率	13
§ 8-4	能量按自由度均分定理 理想气体的内能	14
一、	分子的自由度	14
二、	能量按自由度均分定理	16
三、	理想气体的内能	17
§ 8-5	麦克斯韦速率分布律	18
一、	分子速率的实验测定	19
二、	速率分布函数	20
三、	麦克斯韦速率分布律	20
四、	分子速率的三个统计值	22
*§ 8-6	麦克斯韦-玻耳兹曼能量分布律 重力场中粒子按高度的分布	24
一、	麦克斯韦-玻耳兹曼能量分布律	24
二、	重力场中粒子按高度的分布	25
§ 8-7	分子碰撞和平均自由程	26
一、	分子碰撞的研究	26
二、	平均自由程公式	27
*§ 8-8	气体的输运现象	29

一、黏滞现象	29
二、热传导现象	31
三、扩散现象	32
习题	34

第九章 热力学基础 36

§ 9-1 热力学第零定律和第一定律	36
一、热力学第零定律	37
二、热力学过程	37
三、功 热量 内能	37
四、热力学第一定律	39
§ 9-2 热力学第一定律对于理想气体准静态过程的应用	40
一、等体过程 气体的摩尔定体热容	41
二、等压过程 气体的摩尔定压热容	42
三、等温过程	45
四、绝热过程	46
* 五、多方过程	48
§ 9-3 循环过程 卡诺循环	51
一、循环过程	51
二、卡诺循环	51
§ 9-4 热力学第二定律	57
一、热力学第二定律	57
二、两种表述的等价性	58
§ 9-5 可逆过程与不可逆过程 卡诺定理	59
一、可逆过程与不可逆过程	59
二、卡诺定理	61
§ 9-6 熵 熵增加原理	62
一、熵	62
二、自由膨胀的不可逆性	64
三、熵增加原理	65
四、热力学第二定律的统计意义 玻耳兹曼关系式	66
* § 9-7 耗散结构 信息熵	68
一、耗散结构	68
二、信息熵	69
习题	69

第十章 机械振动和电磁振荡 72

§ 10-1 谐振动	72
一、谐振动的特征及其表达式	72
二、描述谐振动的特征量	75
三、谐振动的旋转矢量图示法	78
四、谐振动的能量	83
*§ 10-2 阻尼振动	86
*§ 10-3 受迫振动 共振	89
一、受迫振动	89
二、共振	90
§ 10-4 电磁振荡	92
一、LC 电路的振荡	92
二、力电类比	95
§ 10-5 谐振动的合成	95
一、同一直线上两个同频率的谐振动的合成	96
二、同一直线上两个不同频率的谐振动的合成 拍	97
*三、相互垂直的谐振动的合成	99
*§ 10-6 振动的分解 频谱	101
*§ 10-7 非线性振动与混沌	103
习题	108

第十一章 机械波和电磁波 112

§ 11-1 机械波的产生和传播	112
一、机械波产生的条件	112
二、横波和纵波	113
三、波阵面和波射线	114
四、波长、频率和波速间的关系	115
§ 11-2 平面简谐波	117
一、平面简谐波的波动表达式	117
二、波动方程	121
*三、波动方程的建立	122
四、波速	123
§ 11-3 波的能量 波的强度	125
一、波的能量	125
*二、波动能量公式的推导	126
三、波的强度	127
*四、声强级	128
§ 11-4 电磁波	130

一、麦克斯韦的理论预言	130
二、电磁波的辐射和传播	131
三、平面电磁波的性质	132
四、电磁波的能量	133
§ 11-5 惠更斯原理 波的衍射 反射和折射	135
一、惠更斯原理	135
二、波的衍射	136
* 三、波的反射和折射	137
§ 11-6 波的叠加原理 波的干涉 驻波	138
一、波的叠加原理	138
二、波的干涉	139
三、驻波	142
四、半波损失	145
§ 11-7 多普勒效应	147
一、机械波的多普勒效应	147
* 二、电磁波的多普勒效应	150
* 三、冲击波	151
习题	152

第十二章

波动光学

157

§ 12-1 光源 单色光 相干光	157
一、光源	157
二、单色光	158
三、相干光	158
四、相干光的获得方法	159
§ 12-2 双缝干涉	159
一、杨氏双缝实验	159
二、干涉明暗条纹的位置	160
三、劳埃德镜实验	162
§ 12-3 光程与光程差	163
一、光程	163
二、光程差	164
三、物像之间的等光程性	165
四、反射光的相位突变和附加光程差	165
§ 12-4 薄膜干涉	167
* 一、等倾干涉条纹	167
二、等厚干涉条纹	169
三、增透膜和高反射膜	174

* § 12-5 迈克耳孙干涉仪	176
§ 12-6 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	179
一、光的衍射现象	179
二、菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	179
三、惠更斯-菲涅耳原理	180
§ 12-7 单缝的夫琅禾费衍射	181
§ 12-8 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	185
一、圆孔的夫琅禾费衍射	185
二、光学仪器的分辨本领	186
§ 12-9 光栅衍射	189
一、光栅衍射	189
二、光栅方程	190
三、光栅光谱 谱线的缺级	191
* § 12-10 X射线的衍射	194
§ 12-11 自然光和偏振光	196
一、线偏振光	196
二、自然光	197
三、部分偏振光	198
四、圆偏振光和椭圆偏振光	198
§ 12-12 起偏和检偏 马吕斯定律	199
一、起偏和检偏	199
二、马吕斯定律	199
§ 12-13 反射和折射时光的偏振	201
* § 12-14 光的双折射	204
一、寻常光和非常光	204
二、光轴 主平面	205
三、单轴晶体的子波波阵面	206
四、晶体的二向色性和偏振片	207
* § 12-15 偏振光的干涉 人为双折射	208
一、偏振光的干涉	208
二、人为双折射	209
* § 12-16 旋光性	212
* § 12-17 现代光学简介	215
一、全息照相	215
二、傅里叶光学	216
三、非线性光学	218
习题	219

§ 13-1 热辐射 普朗克的量子假设	224
一、热辐射现象	224
二、基尔霍夫辐射定律	225
三、黑体辐射实验定律	226
四、普朗克的量子假设	230
§ 13-2 光电效应 爱因斯坦的光子理论	234
一、光电效应的实验规律	234
二、经典理论所遇到的困难和缺陷	236
三、爱因斯坦的光子理论	237
四、光的波粒二象性	238
§ 13-3 康普顿效应	239
一、康普顿效应	239
二、光子理论的解释	241
*§ 13-4 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	244
一、氢原子光谱的规律性	244
二、玻尔的氢原子理论	245
三、氢原子轨道半径和能量的计算	246
四、玻尔理论的缺陷	248
§ 13-5 德布罗意波 微观粒子的波粒二象性	250
一、德布罗意波	250
二、物质波实验验证	252
三、粒子波动性的应用	253
四、微观粒子的波粒二象性	253
§ 13-6 不确定关系	255
§ 13-7 波函数及其统计诠释 薛定谔方程	258
一、波函数	258
二、波函数的统计诠释	259
三、薛定谔方程	261
§ 13-8 一维定态薛定谔方程的应用	263
一、一维无限深势阱	263
二、一维势垒 隧道效应	266
*三、谐振子	269
§ 13-9 量子力学中的氢原子问题	271
一、氢原子的薛定谔方程	271
二、量子化条件和量子数	272
三、氢原子中电子的概率分布	273
§ 13-10 电子的自旋 原子的电子壳层结构	277

一、施特恩-格拉赫实验	277
二、电子的自旋	278
三、四个量子数	279
四、原子的电子壳层结构	279
习题	280

第十四章 激光和固体的量子理论 283

§ 14-1 激光	283
一、受激吸收、自发辐射和受激辐射	283
二、产生激光的基本条件	284
三、激光器	286
四、激光的特性及其应用	287
五、激光冷却	288
§ 14-2 固体的能带结构	289
一、电子共有化	289
二、能带的形成	290
三、满带、导带和禁带	291
四、导体、半导体和绝缘体	292
§ 14-3 半导体	293
一、电子和空穴	293
二、杂质的影响	294
三、电阻率和温度的关系	295
四、pn 结	295
§ 14-4 超导体	297
一、超导电现象	297
二、超导体的主要特性	299
三、BCS 理论	303
四、超导电性的应用	303
§ 14-5 团簇和纳米材料	304
一、团簇	304
二、纳米材料	305

习题答案	307
------------	-----

附录 元素周期表

第八章

气体动理论

研究物理学如同看一幅很大的画,近距离观察可以了解每一部分的细节,但还不够,你必须走到远处去观察整个画面,才能把握它的结构,更深入地理解它。

——杨振宁

气体动理论(kinetic theory of gases)是在物质结构的分子学说的基础上,为说明气体的物理性质和气态现象而发展起来的。这些性质和现象包括理想气体定律,微小悬浮粒子的布朗运动,流动气体的黏性力,热的传导和比热,物体的热胀冷缩,固、液、气三态的相互转变,非理想气体的状态方程等等,这些与温度有关的物理性质的变化统称为热现象。和力学研究的机械运动不同,气体动理论的研究对象是分子的热运动。热现象就是组成物体的大量分子、原子热运动的集体表现。如何研究热运动以及热现象中物质、能量和相互作用的关系是我们面临的一个课题。分子热运动由于分子的数目十分巨大和运动的情况十分混乱,而具有明显的无序性和统计性。就单个分子来说,由于它受到其他分子的复杂作用,其具体运动情况瞬息万变,显得杂乱无章,具有很大的偶然性,这就是分子热运动无序性的表现。但就大量分子的集体表现来看,却存在一定的规律性。这种大量的偶然事件在宏观上所显示的规律性叫做统计规律性。正是由于这些特点,才使热运动成为有别于其他运动形式的一种基本运动形式。在本章,我们将根据所假定的气体分子模型,运用统计方法,研究气体的宏观性质和规律,以及它们与分子微观量的平均值之间的关系,从而揭示这些性质和规律的本质。

§8-1 热运动的描述 理想气体模型和状态方程

要研究热运动以及热现象中物质、能量和相互作用的关系,必须根据热运动的特征和性质遴选合适的物理量描述物体的状态。为了突出主要矛盾,撇开次要

因素,还需提出理想模型,以利于解决问题.针对热运动和机械运动的差别,所用的解决问题的方法必然和以前的力学方法有所不同。

一、状态参量

在一定条件下,物体的状态可以保持不变.为了描述物体的状态,我们常常采用一些物理量来表示物体的有关特性,例如体积、温度、压强、浓度等.这些描述状态的变量,叫做**状态参量**(state parameter).对于一定的气体(质量为 m ,摩尔^①质量为 M),它的状态一般可用下列三个量来表征:(1) 气体所占的体积 V , (2) 压强 p , (3) 温度 T 或 t .这三个表示气体状态的量叫做**气体的状态参量**.为了详尽地描述物体的状态,有时还需知道别的参量.如果系统是由多种物质组成的,那就必须知道它们的浓度;如果物体处在电场或磁场中,那就必须知道电场强度或磁场强度.一般地说,我们常用几何参量、力学参量、化学参量和电磁参量等四类参量来描述系统的状态.究竟用哪几个参量才能完全地描述系统的状态,这是由系统本身的情况决定的.

在气体的上述三个状态参量中,气体的体积是气体分子所能达到的空间,并非气体分子本身体积的总和.气体体积的单位为 m^3 .气体有压强,它表现为气体作用在容器壁单位面积上的指向器壁的垂直作用力,是气体分子对器壁碰撞的结果.压强的单位为 Pa ^②,即 N/m^2 .

温度的概念比较复杂,它是建立在热平衡基础上的.根据热力学第零定律(见§9-1),对于A、B、C三个物体,如果A与B彼此间处于热平衡,B与C彼此间也处于热平衡,而且B始终处于确定的状态且不变,则A与C也一定处于热平衡.基于这一事实,A、B、C就具有一个共同的宏观性质,我们将这个性质称为**温度**.温度的本质与物质分子运动密切相关,温度的不同反映物质内部分子运动剧烈程度的不同.在宏观上,简单说来,我们用温度表示物体的冷热程度,并规

① 摩尔是国际单位制中的基本单位之一.按1971年国际计量大会决议,摩尔表示一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与0.012 kg 碳-12的原子数目相等.在使用摩尔时,基本单元应予以指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合.

0.012 kg 碳-12中的原子数目通常记作 N_A , N_A 称为阿伏伽德罗常数, $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.1个碳-12原子的质量的 $\frac{1}{12}$ 定义为原子质量单位,记作 u , $1 u = \frac{0.012}{12 \times 6.022 \times 10^{23}} \text{ kg} = \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} \times 10^{-3} \text{ kg} = 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

这样,对于由分子组成的物质系统来说,该物质1 mol就是该物质 N_A 个分子的集合,这集合的总质量称为该物质的**摩尔质量**,记作 M ,以 kg/mol 为单位.如以 m_0 表示该物质1个分子的质量,显然有: $M = N_A m_0$, $m_0 = \frac{M}{N_A}$.

② 过去常用标准大气压(atm)作为压强的单位,1 atm = 101 325 Pa.

定较热的物体有较高的温度. 温度数值的标定方法称为温标, 常用的有两种: 一是热力学温标 T , 单位是 K; 另一个是摄氏温标 t , 单位是 $^{\circ}\text{C}$. 热力学温度 T 和摄氏温度 t 的关系是: $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$.

二、平衡态 准静态过程

气体平衡状态的概念是个非常重要的概念. 一定质量的气体在一定容器内具有一定的体积 V , 不管气体内各部分原有的温度和压强如何, 如果它与外界没有能量交换, 内部没有任何形式的能量转换(例如没有发生化学变化或原子核的变化等), 也没有外场作用, 经过相当长时间后, 气体内各部分终将达到相同的温度和压强, 并不随时间变化. 当整个气体处于均匀温度之下并且与它周围温度相同时, 该气体就处于热平衡之中. 当整个气体在外场不存在时处于均匀的压强之下, 该气体就处于力学平衡之中. 当整个气体内部不发生化学变化或核反应, 而且化学成分处处稳定不变, 该气体就处于化学平衡之中. 若某种气体处于热平衡、力学平衡与化学平衡之中, 我们就说它处在热力学平衡状态之中. 这种在不受外界影响的条件下, 气体所达到的状态参量不随时间变化的状态称为平衡态 (equilibrium state). 考虑到气体中热运动的存在, 正是热运动才使平衡态得以形成和维持, 所以气体的平衡态应该叫做热动平衡状态 (thermodynamical equilibrium state). 气体分子的热运动是永不停息的, 通过气体分子的热运动和相互碰撞, 在宏观上表现为气体各部分的密度均匀、温度均匀和压强均匀的热动平衡状态. 一定质量的气体的平衡状态, 可用状态参量 p 、 V 、 T 的一组参量值来表示, 例如一组参量值 p_1 、 V_1 、 T_1 表示某一状态, 另一组参量值 p_2 、 V_2 、 T_2 表示另一状态, 等等.

当气体的外界条件改变时, 它的状态就发生变化. 气体从一个状态不断地变化到另一状态, 所经历的是个状态变化的过程. 过程进展的速度可以很快, 也可以很慢. 实际过程常是比较复杂的. 如果过程进展得十分缓慢, 使所经历的一系列中间状态都无限接近平衡态, 这个过程就叫做准静态过程 (quasi-static process) 或平衡过程 (equilibrium process). 显然, 准静态过程是个理想的过程, 它和实际过程毕竟是有差别的, 但在许多情况下, 可近似地把实际过程当作准静态过程处理, 所以准静态过程是个很有用的理想模型.

三、理想气体的状态方程

表示平衡态的三个参量 p 、 V 、 T 之间存在着一定的关系. 我们把反映气体的 p 、 V 、 T 之间的关系式叫做气体的状态方程 (equation of state of gas). 实验表明, 一般气体在密度不太高、压强不太大(与大气压比较)和温度不太低(与室温比较)的实验范围内, 遵守玻意耳 (R. Boyle) 定律、盖吕萨克 (J. L. Gay-Lussac) 定律和查理 (J. A. C. Charles) 定律. 应该指出, 对不同气体来说, 这三条定律的适用范

围是不同的,不易液化的气体,例如氮、氢、氧、氮等适用的范围比较大.实际上在任何情况下都服从上述三条实验定律的气体是没有的.我们把实际气体抽象化,提出**理想气体**(ideal gas)的概念,认为理想气体能无条件地服从这三条实验定律.理想气体是气体的一个理想模型.我们在此处先从宏观上给予定义.当我们用这个模型研究气体的平衡态性质和规律时,还将对理想气体的分子和分子运动作一些基本假设,建立理想气体的微观模型.理想气体状态的三个参量 p 、 V 、 T 之间的关系即理想气体状态方程(equation of state),可从这三条实验定律导出.当质量为 m 、摩尔质量为 M 的理想气体处于平衡态时,它的状态方程为

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (8-1)$$

式中的 R 叫做**普适气体常量**(universal gas constant).在国际单位制中,

$$R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

上面曾指出,一定质量气体的每一个平衡状态可用一组 (p, V, T) 的量值来表示,由于 p 、 V 、 T 之间存在着式(8-1)所示的关系,所以通常用 $p-V$ 图上的一点表示气体的平衡状态.而气体的一个准静态过程,在 $p-V$ 图上则用一条相应的曲线来表示.如图8-1中所示,从I到II的曲线表示从初状态 (p_1, V_1, T_1) 向末状态 (p_2, V_2, T_2) 缓慢变化的一个准静态过程.

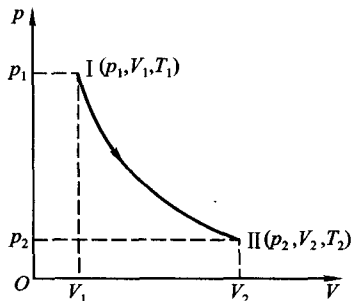


图8-1 平衡状态和准静态过程的示意图

在近代工程技术和科学研究中,经常需要处理高压或低温条件下的气体问题,因此,在应用理想气体状态方程时,必须考虑到真实气体的特征并予以必要的修正.范德瓦耳斯(Van der Waals)导出的方程为

$$\left(p + \frac{m^2}{M^2} \frac{a}{V^2}\right) \left(V - \frac{m}{M}b\right) = \frac{m}{M}RT \quad (8-2)$$

式中 a 和 b 是考虑了分子间相互作用力和分子本身体积的两个修正量,它们取决于气体的性质,可由实验来测定.范德瓦耳斯方程比理想气体状态方程更好地反映了客观实际,在工程应用中还有其他形式的方程.

例题8-1 某种柴油机的气缸容积为 $0.827 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.设压缩前其中空气的温度是 47°C ,压强为 $8.5 \times 10^4 \text{ Pa}$.当活塞急剧上升时,可把空气压缩到原体积的 $\frac{1}{17}$,使压强增加到 $4.2 \times 10^6 \text{ Pa}$,求这时空气的温度.如把柴油喷入气缸,将会发生怎样的情况?(假设空气可看作理想气体.)

解 本题只需考虑空气的初状态和末状态,并且把空气作为理想气体.由式(8-1),我