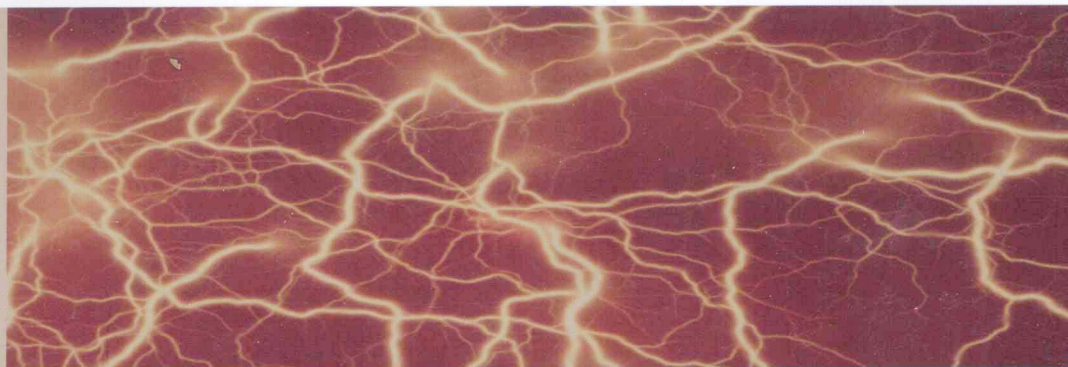


高等学校教材

大学物理学

下册

University
Physics



赵丽萍 李红艳 主 编
蔡传锦 谭金凤 王 婕 张宝金 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

大学物理学

下册

Daxue Wulixue

赵丽萍 李红艳 主 编

蔡传锦 谭金凤 王 婕 张宝金 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)编写的。书中涵盖了基本要求中的核心内容,并精选了一定数量的拓展内容。书中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简化,适当介绍了现代科学技术的发展与应用。在写作风格和插图设计等方面,注意突出物理思想和物理图像,使教材内容通俗易懂。全书分上、下两册。上册内容为力学、相对论基础、电磁学。下册内容为热学、振动与波动、光学、量子物理基础、原子核物理与粒子物理简介和新技术物理基础简介。与本教材配套有《大学物理学习指导书》,对学生学习、巩固本教材的学习效果大有裨益。

本书可作为普通高等学校非物理类理科、工科等专业的大学物理课程教材或参考书,亦可供其他专业学生和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/赵丽萍,李红艳主编. —北京:高等教育出版社, 2013.7

ISBN 978-7-04-037516-9

I. ①大… II. ①赵… ②李… 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 (2013) 第 112985 号

策划编辑 郭亚嫒 责任编辑 王 硕 封面设计 于 涛 版式设计 王艳红
插图绘制 尹 莉 责任校对 刘娟娟 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 涿州市京南印刷厂
开 本 787 × 960 1/16
印 张 18.75
字 数 350 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 29.50 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 37516-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 9 章 气体动理论	1
9.1 气体动理论的基本概念	2
9.1.1 分子热运动	2
9.1.2 分子热运动的统计规律	3
9.2 理想气体的物态方程	4
9.2.1 平衡态	4
9.2.2 气体的状态参量	5
9.2.3 理想气体的物态方程	5
9.3 理想气体的压强和温度	6
9.3.1 理想气体的微观模型及统计假设	6
9.3.2 压强公式及其统计意义	7
9.3.3 温度公式及其统计意义	9
9.4 能量均分定理 理想气体的内能	9
9.4.1 自由度	10
9.4.2 能量均分定理	11
9.4.3 理想气体的内能	12
9.5 麦克斯韦速率分布	13
9.5.1 麦克斯韦速率分布函数	14
9.5.2 三种统计速率	15
9.5.3 气体分子速率分布的测定	17
9.6 玻尔兹曼能量分布	18
9.6.1 玻尔兹曼能量分布律	18
9.6.2 重力场中的等温气压公式	19
9.7 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	20
思考题	22
习题	23

第 10 章 热力学基础	25
10.1 热力学基本概念	25
10.1.1 准静态过程	25
10.1.2 内能、功和热量	26
10.2 热力学第一定律	28
10.3 理想气体的等值过程 摩尔热容	29
10.3.1 等体过程 摩尔定容热容	29
10.3.2 等压过程 摩尔定压热容	30
10.3.3 等温过程	32
10.4 理想气体的绝热过程	33
10.4.1 绝热过程	33
* 10.4.2 多方过程	35
10.5 循环过程 卡诺循环	36
10.5.1 循环过程	36
10.5.2 热机和制冷机	37
10.5.3 卡诺循环	39
10.6 热力学第二定律 卡诺定理	42
10.6.1 热力学过程的方向性	42
10.6.2 热力学第二定律	43
10.6.3 卡诺定理	44
* 10.7 熵 熵增加原理	45
10.7.1 热力学第二定律的统计意义	45
10.7.2 玻尔兹曼熵	47
10.7.3 克劳修斯熵 熵增加原理	48
思考题	51
习题	53
第 11 章 振动	56
11.1 简谐运动	56
11.1.1 简谐运动的基本特征	56
11.1.2 描述简谐运动的物理量	58
11.1.3 简谐运动的旋转矢量表示法	63
11.1.4 简谐运动的能量	65
* 11.2 阻尼振动 受迫振动 共振	67
11.2.1 阻尼振动	67
11.2.2 受迫振动	69

11.2.3 共振	69
11.3 简谐运动的合成	70
11.3.1 同方向、同频率简谐运动的合成	71
11.3.2 同方向、不同频率简谐运动的合成 拍	73
* 11.3.3 相互垂直的简谐运动的合成	74
11.4 电磁振荡	76
11.4.1 LC 振荡电路	76
* 11.4.2 受迫振荡 电谐振	79
* 11.5 振动频谱分析	79
思考题	81
习题	82
第 12 章 波动	85
12.1 机械波的基本概念	85
12.1.1 机械波的形成	85
12.1.2 波动的描述	86
* 12.1.3 物体的弹性形变	88
12.2 平面简谐波	90
12.2.1 平面简谐波的波动表达式	90
12.2.2 波动表达式的物理意义	91
12.2.3 波动中各质点振动的速度和加速度	92
* 12.2.4 波动方程	93
12.3 波的能量 波的强度	96
12.3.1 波动过程中能量的传播	96
12.3.2 波的强度	98
* 12.4 声波 超声波 次声波	98
12.4.1 声波	98
12.4.2 超声波	100
12.4.3 次声波	101
12.5 波的衍射和干涉	101
12.5.1 惠更斯原理 波的衍射	101
12.5.2 波的叠加原理 波的干涉	103
12.6 驻波	107
12.6.1 驻波的产生	107
12.6.2 驻波方程	108
12.6.3 半波损失	110

12.7 电磁波	112
12.7.1 电磁波的产生与传播	112
12.7.2 平面电磁波	114
12.7.3 电磁波的能量	115
12.7.4 电磁波谱	116
12.8 多普勒效应	118
12.8.1 机械波的多普勒效应	118
* 12.8.2 电磁波的多普勒效应	121
* 12.8.3 冲击波	121
思考题	123
习题	124
第13章 光学	128
13.1 几何光学简介	129
13.1.1 几何光学基本定律	129
13.1.2 光在平面和球面上的反射成像和折射成像	132
13.1.3 薄透镜	138
13.1.4 光学仪器	141
13.2 光的干涉	144
13.2.1 光的相干性	144
13.2.2 双缝干涉	145
13.2.3 光程与光程差	148
13.2.4 薄膜干涉	150
* 13.2.5 迈克耳孙干涉仪	159
13.3 光的衍射	161
13.3.1 光的衍射现象	161
13.3.2 惠更斯-菲涅耳原理	162
13.3.3 单缝的夫琅禾费衍射	163
13.3.4 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	167
13.3.5 光栅衍射	169
* 13.3.6 X射线的衍射	174
13.4 光的偏振	176
13.4.1 光的偏振态	176
13.4.2 起偏与检偏 马吕斯定律	178
13.4.3 反射光与折射光的偏振	180
13.5 双折射现象	182

13.5.1 晶体的双折射现象	182
13.5.2 单轴晶体的波面	184
13.5.3 偏振器件	185
*13.6 偏振光的干涉	187
思考题	188
习题	190
第14章 量子物理基础	194
14.1 黑体辐射 普朗克量子假设	195
14.1.1 黑体辐射	195
14.1.2 黑体辐射定律	197
14.1.3 普朗克公式 普朗克量子假设	199
14.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	201
14.2.1 光电效应	201
14.2.2 爱因斯坦光子理论	203
14.2.3 光的波粒二象性	204
14.2.4 光电效应在近代技术中的应用	205
14.3 康普顿效应	206
14.3.1 康普顿效应的实验规律	206
14.3.2 康普顿效应的量子解释	208
14.4 氢原子光谱 玻尔理论	210
14.4.1 氢原子光谱	210
14.4.2 氢原子的玻尔理论	211
14.5 粒子的波动性	215
14.5.1 德布罗意假设	215
14.5.2 德布罗意波的实验证明	217
14.5.3 德布罗意波的统计解释	218
14.6 不确定关系	219
14.7 波函数 薛定谔方程	221
14.7.1 波函数及其统计诠释	222
14.7.2 薛定谔方程	223
14.8 一维定态薛定谔方程的应用	225
14.8.1 一维无限深势阱	225
14.8.2 一维方势垒 隧道效应	227
*14.8.3 一维谐振子	229
14.9 氢原子的量子理论简介	230

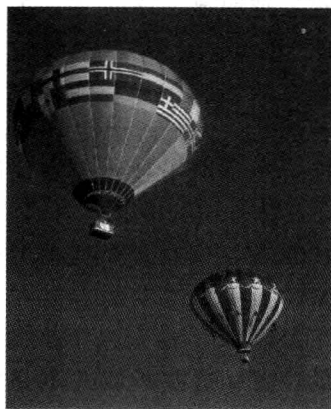
14.9.1 氢原子的定态薛定谔方程	230
14.9.2 量子化条件和量子数	230
14.9.3 氢原子中电子的概率分布	232
* 14.10 原子的壳层结构	233
14.10.1 电子自旋	233
14.10.2 原子的壳层结构	234
思考题	235
习题	236
第 15 章 原子核物理与粒子物理简介	239
15.1 原子核的基本性质	240
15.1.1 原子核概述	240
15.1.2 原子核的自旋和磁矩	241
15.2 原子核的结合能 裂变和聚变	242
15.2.1 原子核的结合能	242
15.2.2 重核的裂变	244
15.2.3 轻核的聚变	247
15.3 原子核的放射性衰变	248
15.3.1 原子核的放射性	248
15.3.2 放射性衰变规律及放射性强度	250
15.3.3 放射性辐射的应用	253
15.4 粒子物理简介	254
15.4.1 基本粒子的由来	254
15.4.2 粒子的分类	256
15.4.3 粒子的相互作用和守恒定律	257
15.4.4 夸克标准模型	259
思考题	261
习题	261
* 第 16 章 新技术物理基础简介	262
16.1 激光	262
16.1.1 激光产生的基本原理	262
16.1.2 激光的特性和应用	265
16.1.3 激光器	265
16.2 半导体	267
16.2.1 固体的能带结构	267
16.2.2 本征半导体和杂质半导体	268

16.2.3 PN 结和其他半导体器件	270
16.2.4 光生伏特效应	271
16.3 超导电性	272
16.3.1 超导体的转变温度	272
16.3.2 超导体的主要特性	272
16.3.3 超导电性的 BCS 理论	274
16.3.4 超导的应用前景	274
16.4 纳米材料	275
16.4.1 纳米材料简介	275
16.4.2 纳米效应	275
16.4.3 准一维纳米材料	277
16.4.4 纳米材料的应用	280
习题参考答案	282
参考文献	289

第9章

气体动理论

热学是研究热现象的规律及其应用的一门学科。热现象是人类在生活中最早接触到的现象之一。18世纪到19世纪，蒸汽机的出现促使人们开始了对热现象广泛的研究。焦耳进行了许多次实验，测定了热功当量，最后确定了能量守恒与转化定律，即**热力学第一定律**。克劳修斯和开尔文独立地发现了能量传递方向的定律，即**热力学第二定律**。热力学的两个基本定律都是从研究热和机械功的相互转化问题中总结出来的。人们通过研究热力学找到了热现象的一般规律，同时对于热的本质的认识也不断完善。克劳修斯第一次清楚地说明了统计的概念，正确地导出了玻意耳定律，并首先引进自由程的概念。麦克斯韦首先认识到分子的速度各不相同而得到速度分布律。玻尔兹曼最初在速度分布律中引进重力场。这样，**气体动理论**就从一些定性的论据发展成一个系统定量的理论。



研究热现象一般有两种方法，一种是从物质的微观结构出发，即从分子、原子的运动和它们之间的相互作用出发，用**微观统计的方法**研究物质热现象的规律；另一种以大量的实验观测为基础，分析热、功转化的关系和条件，从能量转化和守恒的观点出发，研究物质热现象的宏观规律及其应用。研究热现象的两种方法，既有联系又有区别，它们是相辅相成不可分割的。

本章主要研究气体动理论，它以分子的热运动为研究对象，运用微观统计方法，导出描述气体状态的宏观量和描述气体分子运动的微观量的统计平均值之间的关系，从而揭示宏观热现象的微观本质。

9.1 气体动理论的基本概念

9.1.1 分子热运动

物质是由大量分子或原子组成的. 分子是保持物质化学性质的最小粒子, 而原子是化学变化中的最小粒子. 分子结构不同, 其尺度不一样, 分子线度的数量级为 10^{-10} m. 1mol 任何物质中所含有的分子(或原子、离子)数都是相同的, 其值即为阿伏伽德罗常量值.

分子不停地作无规则的热运动. 分子的无规则运动叫做分子热运动. 扩散现象是分子无规则热运动的有力证明. 气体、液体和固体都会发生扩散, 物体温度越高, 无规则热运动越剧烈, 扩散现象越明显. 1827 年, 英国植物学家布朗(R. Brown, 1773—1858)发现了花粉颗粒在液体中不停地作无规则的运动, 这种运动称为**布朗运动(Brown motion)**. 布朗运动是由于微粒受到周围分子碰撞的不平衡而引起的起伏运动. 图 9.1 所示是 1908 年法国物理学家皮兰做实验记录下来的数据, 图中的点是在显微镜的观察下每隔 30 s 所记录下来的几个布朗粒子的位置, 这些折线并不是粒子运动的轨迹, 而是布朗粒子经过流体分子约 1 016 次碰撞后的平均位移. 布朗运动反映了构成物质的分子处于永恒的、杂乱无章的运动之中.

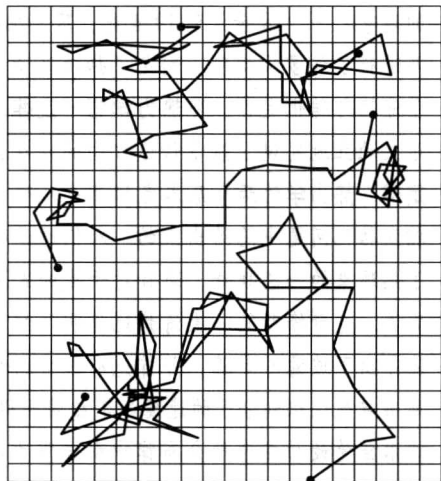


图 9.1 布朗运动

分子之间存在着一定的距离. 以氧气为例, 在标准状态下, 氧气分子的直径约为 3×10^{-10} m, 而氧气分子之间的距离约为分子本身线度的 10 倍左右, 换句话说平均每个氧气分子所占有的体积是氧分子本身体积的 1 000 倍, 因此在标准状态下气体分子自身的体积可以忽略, 从而被当做质点来处理.

分子间存在相互作用的引力和斥力. 分子之间的引力使固体和液体的分子聚集在一起而不分散开. 分子之间的斥力使液体和固体很难被压缩. 分子之间相互作用力的大小和分子距离之间的关系如图 9.2 所示, 横坐标 r 为分子间距, 纵坐标 F 为分子之间的作用力. 由图可知, 分子间距为 $r = r_0$ (约为 10^{-10} m) 时, $F = 0$, 分子间引力和斥力平衡; 当 $r < r_0$ 时, $F > 0$, 分子之间的作用表现为斥

力, 随着间距变小, 斥力急剧增大; 当分子之间的距离 $r > r_0$ 时, $F < 0$, 分子之间的作用表现为引力; 当 $r > 10r_0$ (约为 10^{-9} m) 时, 分子之间的作用力可以忽略不计. 在标准状态下, 气体分子间距约为 10^{-9} m, 分子之间的作用力可以忽略不计.

物质是由大量分子组成的, 分子不停地作无规则的运动, 分子之间存在着一定的距离, 分子间有分子力的作用, 这就是分子热运动的基本观点.

气体分子热运动的基本图像是: 气体由大量分子组成, 分子的碰撞十分频繁, 平均每秒钟碰撞约 10^{10} 次, 分子分布相当稀疏, 分子与分子之间的作用力除了在碰撞的瞬间外可以忽略不计, 分子两次碰撞之间可以认为作匀速运动, 平均速率 500 m/s. 分子间的频繁碰撞, 使能量在气体的各部分均匀分布, 达到平衡状态.

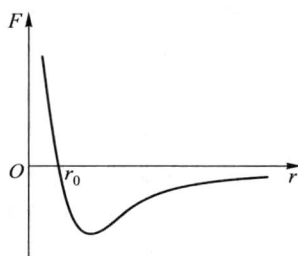


图 9.2 分子力与分子间距的关系

9.1.2 分子热运动的统计规律

组成物质的大量分子, 处于频繁的碰撞中, 具有这种特征的分子热运动是一种比较复杂的物质运动形式, 它与物质的机械运动有本质上的区别, 我们不能简单地用力学方法来解决它. 对于单个分子来说, 其位置、速度、动量和能量都在不停地变化, 因此每个分子的运动状态和状态变化的过程都可以和其他分子有显著的差别, 这些都说明了分子热运动的混乱性或无序性. 所以确定所有分子的无规则运动是十分困难的, 也是没有必要的. 事实上我们关心的是整个气体的宏观性质, 即大量分子整体的行为. 虽然单个分子的运动毫无规律可言, 但是就大量分子的整体表现来看, 却呈现出一种必然的规律性, 这就是统计规律 (statistical law).

如图 9.3 所示, 在一块竖直固定的木板上部钉有许多排列整齐的铁钉, 木板的下部用等长的木条竖直地隔成许多等宽的狭槽, 板的前面盖一个玻璃板, 使小球能存留在槽内, 这种装置通常叫做伽尔顿板. 如果从板顶漏斗形入口处放下一个小球, 小球碰到上边第一排中某一铁钉后偏向一方又落到第二排中某一铁钉上, 又向左 (或右) 偏移, 接着再落到下排某一铁钉上, 这样顺序落下去, 最后小球落入某一槽中. 如此进行几次实验, 可以发现小球每次落入哪

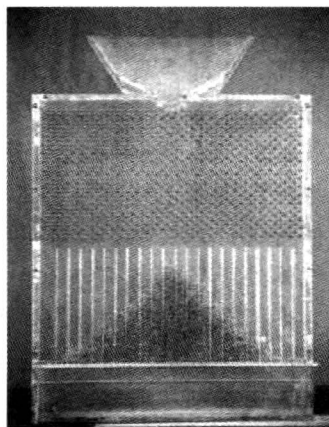


图 9.3 伽尔顿板中小球的分布

个狭槽是不完全相同的, 这表明在一次实验中小球落入哪个狭槽中是偶然的. 如果同时投入足够多的小球, 落在各槽里的小球数目各不相同. 落在中间槽中的小球最多, 距离中间槽越远的槽, 落入的小球越少. 可以用彩笔在玻璃板上画一条连续的曲线来表示小球分布的情况. 多次重复地做下去, 结果每次实验所得的分布曲线彼此近似地重合. 这表明, 尽管一个小球落入哪个槽中是偶然的, 但大量小球的分布规律是确定的, 即遵从统计分布规律.

大量气体分子热运动和伽尔顿板中小球的运动是类似的. 气体是由大量分子组成的, 每个分子都受到频繁的碰撞, 因此描述单个分子运动状态的微观量具有偶然性. 另一方面, 宏观热现象是大量分子热运动的集体表现, 表现出统计规律性. 例如, 气体处于平衡态时, 有确定的压强和温度. 统计规律是对大量偶然事件的整体而言的, 但整体又不能脱离个体, 由此说明描述大量分子整体运动状态的宏观量和描述个别分子运动状态的微观量之间一定有内在的联系. 人们在研究气体分子的行为时, 对个别分子的运动用力学规律, 对大量分子的集体行为应用统计平均的方法, 并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, 宏观量与相应微观量的统计平均值有关, 从而揭示热现象的微观本质.

9.2 理想气体的物态方程

9.2.1 平衡态

气体的各种宏观性质, 在不受外界影响的条件下, 不随时间改变的状态称为气体的平衡态 (equilibrium state). 设有一封闭容器, 用隔板分成 A、B 两部分, 使 A 部充满气体, B 部为真空, 如图 9.4 所示. 现把隔板抽去, A 部的气体迅速向 B 部膨胀, 经过足够长的时间, 气体将均匀分布在整個容器中. 如果以后容器不受到外界的影响, 则容器内的气体将保持这一状态, 不再发生宏观变化, 此时气体处于平衡态.

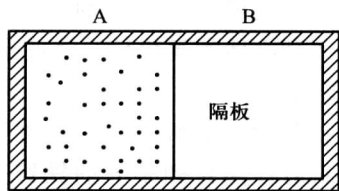


图 9.4 气体的平衡态

平衡态是一个动态的平衡. 气体处于平衡态时, 虽然宏观性质不随时间改变, 但气体分子仍然不停地运动, 只是分子运动的总平均效果不随时间改变.

平衡态是一个理想概念. 我们所说的不受外界影响, 是指外界对系统既不做功又不传热. 容器中的气体不可能不受到外界的影响, 总要与外界发生不同程度能量的转化和物质的交换, 宏观性质严格地不随时间变化是不可能的, 理

想化的平衡态是不存在的。在实际中，当气体状态的变化很微小，可以忽略不计，就可以把气体的状态近似看成是平衡态。本章讨论的气体状态无特别说明时都是平衡态。

9.2.2 气体的状态参量

气体是由大量的作无规则热运动的分子或原子组成的。描述气体分子中单个分子特征的物理量，如分子的速度、质量、动量和能量等，称为**微观量**(microscopic quantity)。我们通常不可能对微观量进行直接观察和测量。气体处于平衡态时，对于整个气体的宏观状态，我们用体积 V 、压强 p 和热力学温度 T 来描述，把这三个物理量叫做气体的**状态参量**(state parameter)，它们都是**宏观量**(macroscopic quantity)。只有气体处于平衡态时，它的宏观性质不随时间发生改变，状态参量 p 、 V 、 T 才有确定的值，才能描述气体的状态。气体动理论就是要揭示气体宏观量的微观本质，即建立宏观量与微观量统计平均值之间的关系。

气体的体积是指气体分子热运动所能到达的空间，气体有充满容器的性质，所以气体的体积就是容器的体积。在国际单位制中，体积的单位为 m^3 (立方米)。有时可以用 L (升) 即 dm^3 (立方分米) 作单位，换算关系为 $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L} = 10^3 \text{ dm}^3$ 。

气体的压强是指气体作用在容器器壁单位面积上的正压力。在国际单位制中，压强的单位为 Pa (帕斯卡)， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。过去也常用 atm (标准大气压) 作压强单位，换算关系为 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

温度是物体冷热程度的表示。温度的数值标定方法叫做温标。日常生活中常用的一种温标是摄氏温标，用 t 表示，其单位为 $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度)；工程上常用的温标是热力学温标，也叫开尔文温标，用 T 表示，它的单位在国际单位制中为 K (开尔文)。两种温标的关系为

$$T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$$

9.2.3 理想气体的物态方程

实验表明，对于一定量处于平衡态的气体，其状态参量 p 、 V 、 T 满足一定的函数关系：

$$f(p, V, T) = 0$$

我们把反映状态参量 p 、 V 、 T 之间关系的这个表达式称为**气体的物态方程**。一般气体的状态方程十分复杂，我们只讨论理想气体的物态方程。

实验还表明，一定质量的气体，在温度不太低、压强不太大的情况下，一般遵守玻意耳定律 (T 不变, $pV = \text{常量}$)、盖吕萨克定律 (p 不变, $V/T = \text{常量}$)、

查理定律(V 不变, $p/T = \text{常量}$). 对不同的气体来说, 任何情况下都严格遵守上述三条实验定律的气体称为**理想气体**(ideal gas). 理想气体是一种理想模型, 真实气体在温度不太低, 压强不太大时, 可以近似看作理想气体.

当质量为 m , 摩尔质量为 M 的理想气体处于平衡态时, 其状态参量 p 、 V 、 T 之间满足方程

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (9.1)$$

式中 R 称为摩尔气体常量, 在国际单位制中 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$. 式(9.1)称为**理想气体的物态方程**(equation of state of ideal gas).

理想气体的物态方程还可以写成其他形式. 设一定量的理想气体分子质量为 m_0 , 总分子数为 N . 用 N_A 表示阿伏伽德罗常量($N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), 则 $m = N m_0$, $M = N_A m_0$, 因此

$$pV = \frac{m}{M}RT = \frac{Nm_0}{N_A m_0}RT = \frac{N}{N_A}RT$$

令 $k = R/N_A = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, k 称为玻尔兹曼常量. 再令 $n = N/V$, n 是单位体积内的分子数, 称为气体的分子数密度. 理想气体物态方程又可写为

$$p = nkT \quad (9.2)$$

一定量的理想气体的每一个平衡态可用一组状态参量(p 、 V 、 T)来表示, 由于 p 、 V 、 T 之间存在式(9.1)所示的关系, 所以通常把气体的平衡态用 $p-V$ 图上的一个点来表示, 如图 9.5 所示. 图中点 A 和点 B 分别表示气体处于两个不同的平衡态, 而 A 、 B 间的连线表示一个由平衡态组成的变化过程, 曲线上的箭头表示过程进行的方向, 不同曲线代表气体不同的变化过程.

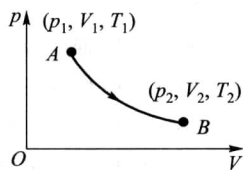


图 9.5 气体平衡态示意图

9.3 理想气体的压强和温度

9.3.1 理想气体的微观模型及统计假设

1. 理想气体的微观模型

基于气体分子热运动的基本观点, 理想气体可以抽象成如下所述的理想化微观模型:

(1) 气体分子本身的大小比起气体分子之间的平均距离来说, 可以忽略不计, 因此理想气体分子可视为质点.

(2) 分子之间以及分子与器壁之间的碰撞是完全弹性碰撞, 每个分子看