

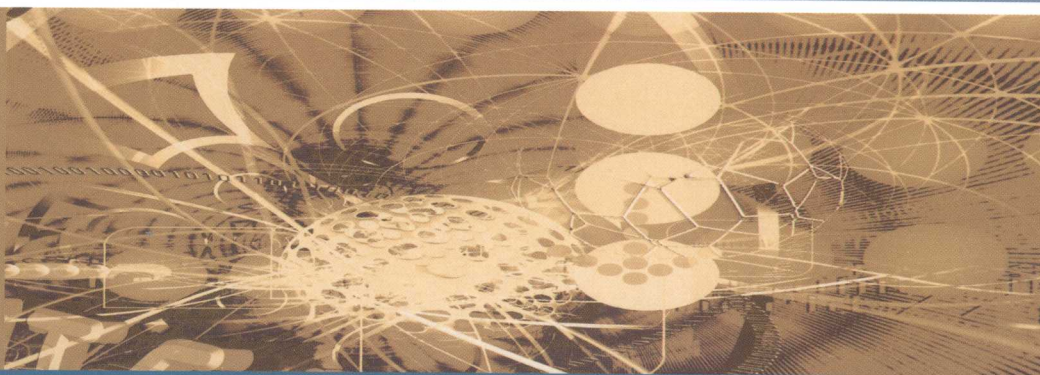


全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

大学物理学

(第二版) 下册

University
Physics



主编 廖耀发 陈义万
副主编 熊才高 王 栋 黄楚云 鞠剑平

014014573

04
423-2
V2



全国教育科学“十一五”规划课题研究成

大学物理学

(第二版) 下册

Daxue Wulixue

主编 廖耀发 陈义万

副主编 熊才高 王 栋 黄楚云 鞠剑平



北航

C1701358



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

04

423-2

V2

C52210410

内容提要

本书是在第一版的基础上,按照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),本着“加强基础,注重应用,方便教学,浅而简明”的原则修订而成。

本书分上、下两册,上册内容包括力学、振动与波、电磁学三部分;下册内容包括热学、光学、近代物理基础以及现代科学与高新技术的物理基础专题选讲四部分。

本书精选了例题与习题,并适当地降低了它们的难度。此外,本书还配套出版了《大学物理学(第二版)电子教案》、《大学物理学(第二版)学习指导》,以辅助教学。

本书适合于培养应用型人才的一般学校,特别是独立学院非物理类专业大学物理课程(少学时)教学使用,也可供相关科技工作者和社会读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/廖耀发,陈义万主编.--2版.
--北京:高等教育出版社,2014.1
ISBN 978-7-04-038881-7

I. ①大… II. ①廖… ②陈… 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 277610 号

策划编辑	高建	责任编辑	高建	封面设计	于涛	版式设计	杜微言
插图绘制	黄建英	责任校对	窦丽娜	责任印制	张福涛		

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	北京天来印务有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787mm×960mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	13	版次	2011年1月第1版
字数	230千字		2014年1月第2版
插页	1	印次	2014年1月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	22.60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 38881-00

第二版前言

本书自 2011 年 1 月面世以来,已在国内多所大学进行了试用。读者反映良好,希望根据教学形势的发展及试用情况进行适当的修订。

本次修订保持了原书的特色及体系,仅在如下几个方面进行了修改:

- (1) 改进了第一版中的印刷错误及表述欠妥之处,以增强全书的可读性;
- (2) 修改并增加了部分联系实际的内容(包括例题、习题),以更加利于应用型人才的培养;
- (3) 修改并增加了部分附录及阅读材料,以更加方便教与学。

本次修订由廖耀发、陈义万担任主编、熊才高、王栋、黄楚云、鞠剑平担任副主编。参加编写的单位及人员有湖北工业大学商贸学院廖耀发、熊才高、鞠剑平、张哲;湖北工业大学陈义万、黄楚云、别业广、阎旭东、闵锐、周挽平、裴玲、胡妮、邓罡;广西工学院鹿山学院王栋、谭敏;武汉科技大学李云宝等。

本次修订得到了各参编学校教材科及其他物理授课老师的大力帮助,特此一并致谢!

编 者

2013 年 7 月

第一版前言

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会 2008 年制定的《理工科类大学物理课程教学基本要求》精神,吸收了我们过去对大学物理教学改革的研究成果,特别是我们近年来参与承担的“十一五”国家级课题“我国应用型人才培养模式研究”物理类子课题的研究成果,借鉴了鄂、桂、皖三地部分物理老师的先进教学理念,按照“研究—实践—再研究—再实践”的原则编写而成。

在本书的编写过程中,我们重点借鉴了国内同类教材的先进思想,保持了我們过去所编教材(廖耀发,邓远霖,吴参,李坤仲,沈霖生,潘超英等,《大学物理学》,华工版,1988;廖耀发,孙端清,郑树文,梁荫中,陶作花等,《大学物理教程》,武测版,1992;廖耀发,张立刚,张兆国,田旭,李长真等,《大学物理》,武大版,2000;廖耀发,张立刚,阎旭东,孙向阳,申文光等,《大学物理教程》,高教版,2006)的特色,本着“加强基础,突出应用,反映近代,方便教学,浅而简明”的原则,精选了本书的内容,重构了本书的体系,力争使本书特色更加鲜明,更加适合于(物理课程)少学时工科专业选用,做到“开卷有益”。

本书分上、下两册出版。上册包括力学、振动与波、电磁学三大部分;下册包括热学、光学、近代物理基础及现代科学技术的物理基础专题选讲等部分。它们涵盖了教育部新的“基本要求”的全部核心内容,涉及了“基本要求”少量的扩展内容。我们认为,这些内容对于“培养应用型人才”来说是非常必需的。

为了方便教学,我们对书中的某些内容标记了“*”号,以供不同专业的师生选用。对于学时更少的专业师生,也可跳过它们而不讲,这对全书的系统性影响也不大。

本书由廖耀发担任主编,陈义万、熊才高、阎旭东担任上册副主编,谢国秋、李云宝、王栋担任下册副主编,参加编写的单位及人员有湖北工业大学商贸学院廖耀发、熊才高、张哲、鞠剑平、刘江海;湖北工业大学陈义万、阎旭东、别业广、闵锐、李文兵;安徽黄山学院谢国秋、刘仁臣;武汉科技大学李云宝、周怡、李钰;广西工学院鹿山学院王栋、谭敏;深圳职业技术学院陈琪莎(插图)。

本书由武汉大学梁荫中教授担任主审。梁教授非常认真、仔细地审阅了全书的所有内容,提出了很多很好的修改建议,对本书质量的提高起到了极大的促

进作用。

由于编者水平所限,书中的缺点错误在所难免,敬请广大师生和读者批评指教,不胜感谢。

编者

2010年4月

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》，其行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

第四篇 热 学

第十五章 气体动理论	2
15.1 平衡态 物态参量 物态方程	2
15.2 理想气体的压强与温度	6
15.3 理想气体的内能	9
15.4 麦克斯韦速率分布律	11
15.5 气体分子的平均碰撞频率与平均自由程	14
习题	17
第十六章 热力学第一定律	20
16.1 功 热量 内能	20
16.2 热力学第一定律	22
16.3 四种典型的热力学过程	23
16.4 循环过程 卡诺循环	28
习题	32
第十七章 热力学第二定律	36
17.1 可逆过程与不可逆过程	36
17.2 热力学第二定律	37
17.3 熵与熵增加原理	40
习题	43
阅读材料	44

第五篇 光 学

*第十八章 几何光学	50
18.1 几何光学的基本定律	50

18.2 光在平面上的反射与折射	52
18.3 光在球面上的反射与折射	55
18.4 薄透镜	59
习题	61
第十九章 波动光学	63
19.1 光与光程	63
19.2 分波面干涉	66
19.3 分振幅干涉	68
19.4 单缝衍射	76
19.5 光栅衍射	80
19.6 光学仪器的分辨本领	84
19.7 光的偏振 马吕斯定律	86
19.8 布儒斯特定律	88
习题	90
阅读材料	93
第六篇 近代物理学基础	
第二十章 狭义相对论基础	100
20.1 狭义相对论的两条基本原理	100
20.2 洛伦兹变换	102
20.3 狭义相对论的时空观	106
20.4 相对论中的质量、动量与能量	108
习题	112
阅读材料	114
第二十一章 量子力学的实验基础	117
21.1 黑体辐射的实验规律	117
21.2 光电效应	120
21.3 康普顿效应	125
21.4 德布罗意波	128
习题	130

第二十二章 量子力学基础	133
22.1 波函数	133
22.2 不确定关系	137
22.3 薛定谔方程	139
22.4 一维无限深势阱	140
22.5 一维势垒 扫描隧穿显微镜	143
习题	146
第二十三章 原子结构的量子理论	148
23.1 氢原子的量子理论	148
23.2 施特恩-格拉赫实验 电子的自旋	150
23.3 原子的壳层结构	152
习题	156
第七篇 现代科学技术的物理基础专题选讲	
第二十四章 固体的能带理论	160
24.1 固体的能带	160
24.2 绝缘体 导体 半导体	162
24.3 半导体的特性及其应用	164
24.4 纳米科学与技术	167
习题	168
第二十五章 激光及其应用	169
25.1 受激吸收 自发辐射 受激辐射	169
25.2 激光的形成	171
25.3 激光的特性及其应用	176
25.4 光纤通信	179
习题	181
习题参考答案	182
附录	189

第四篇 热 学

热学是物理学的一个重要分支,它是研究物质热运动所遵循规律的学科。

我们知道,组成物质的大量分子(或原子)恒处于永不停息的无规则运动中,其激烈程度与物质的温度有关,因而被称为**热运动**。热运动所表现出来的宏观现象称为**热现象**。

计算表明,在标准状态(温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,压强为 $1.013\times 10^5\text{ Pa}$)下, 1 cm^3 的气体大约含有 2.69×10^{19} 个分子,每个分子在 1 s 内与其他分子平均碰撞数十亿次。可见,分子的热运动是一种十分剧烈、十分复杂的运动,因而不能简单地视为机械运动的集合,而必须要有自己特有的研究方法。

热学的研究方法,通常有两种形式:一种是**热力学方法**,它是从宏观的角度出发,通过实验分析、归纳总结、逻辑推理等手段去研究物质状态(简称**物态**)发生变化时相应宏观量的变化以及热与功的转换规律;另一种是**统计方法**,它从物质的微观结构出发,通过合理的假设,采用统计法去建立宏观量(反映物质整体属性的物理量)与微观量(反映组成物质的单个微观粒子属性的物理量)的联系,揭示宏观现象的微观本质。热力学方法可用统计方法来解释,统计方法可用热力学方法来验证,两种方法,相辅相成。

第十五章 气体动理论

大家知道,物质由分子组成,分子间存在间隙,且存在相互作用力,所有分子都在永不停息地无规则运动,这就是**气体动理论**的主要思想.

一切物质的分子都有大小、质量和速度,这些描述单个分子特征的量被称为**微观量**.一般地说,微观量很难直接由实验来测定.实验中容易测量的往往是表征大量分子宏观特征的物理量,如体积、压强等,这些量被称为**宏观量**.

虽然,单个分子的运动是偶然的、无规则的,但大量分子运动的集体表现却是有规律的.这种对大量偶然事件起作用的规律称为**统计规律**.在研究统计规律时需要使用统计力学方法:先对单个分子运用力学原理,然后再对大量分子求统计平均值,从而建立起宏观量与微观量的统计平均值之间的关系,进而揭示出宏观现象的微观本质.

本章主要讨论分子热运动的统计概念及规律.

15.1 平衡态 物态参量 物态方程

15.1.1 平衡态

一般地说,气体的状态是随着气体内外条件的变化而变化的.如果能用一容器控制一定的气体,使之与外界(与该气体有关的周围物体统称为外界)孤立,不与外界发生任何作用(既不交换物质,也不交换能量),则不管气体内部各部分原来的宏观特性(如压强、体积等)如何不同,只要经过一定的时间,便会达到一致.此后,若无外界影响,则其宏观特性将会保持不变.这种状态称为**平衡态**,否则就叫**非平衡态**.几乎所有的热力学函数(参量)都是在平衡态下定义的.

严格地说,在实际中,将气体绝对孤立起来是不可能的.因此,气体的宏观特性长期保持不变的状态也是不存在的,所以说,平衡态仅是一种理想的概念,它是气体在一定条件下对于相对稳定状态的近似.此外,气体达到平衡态后,虽然其宏观特性保持不变,但从微观上看,它的每个分子(或原子)却仍在做无规则的热运动.因此,我们所说的平衡态是一种**热动平衡态**,它与机械运动中所说的**静态平衡态**是有区别的.

15.1.2 物态参量

气体的平衡态常用如下一组**物态参量**(简称**态参量**,亦称**状态参量**)来描述:

1. 体积

体积是气体几何特性的表征,是指气体分子所能达到的空间,而不是指气体分子本身体积的总和,用符号 V 表示,其单位为 m^3 (立方米),有时亦用 L (升) 来表示, $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$.

2. 压强

压强是气体力学特性的表征,是气体对器壁单位面积所表现出来的正压力,用 p 表示. 力学中已经说明,力是动量对时间的变化率,因此也可将压强理解为气体分子在器壁单位面积上表现出来的动量变化率. 压强的单位为 Pa (帕斯卡),简称为帕, 1 Pa 的大小代表 1 m^2 上受到 1 N 的正压力,即

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

3. 温度

温度是个比较复杂的概念^①. 粗略地说,它是物体冷热程度的表征:感觉热,就说明温度高;感觉冷,就说明温度低. 目前,国际上通用的温度为热力学温度,由开尔文首先提出,所以又被称为开尔文温度,用符号 T 表示,其单位为 K (开尔文),简称为开. 此外还有摄氏温度,其符号为 t ,单位为 $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度). 1°C 的大小与 1 K 的大小相同. 1960 年国际计量大会通过决议,规定摄氏温度由热力学温度移动零点来定义,即

$$\frac{t}{^{\circ}\text{C}} = \frac{T}{\text{K}} - 273.15 \quad (15.1)$$

* 15.1.3 热力学第零定律

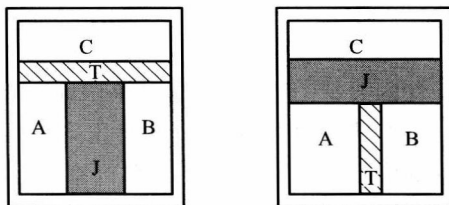
温度的科学概念建立在热力学第零定律的基础上. 在具体介绍热力学第零定律之前,先简要介绍几个相关的概念.

如果一个器壁能将两个不同的物体隔开,只要其位置不变,则不管其中一个物体的状态如何变化,均不会导致另一个物体状态的变化. 这样的器壁被称为绝热壁,否则就叫透热壁(制作精良的杜瓦瓶,其器壁则可视作绝热壁;任何金属做成的器壁均可视为透热壁). 在热力学中,常将通过透热壁进行的接触称为热接触. 实验表明,两个状态不同的物体进行热接触,经过足够长的时间后,它们便可达到一个新的、共同的平衡态. 这种热接触情况下达到的平衡称为热平衡.

如图 15.1(a)所示,设 A、B、C 为三个平衡状态各异的物体,今用绝热壁 J 将 A 与 B 隔开,并使它们同时与 C 进行热接触. 这样,经过一段时间后, A 与 B 便会同时与 C 达到热平衡,这时,如果我们非常迅速地将 A、B 间的绝热壁 J 换成透热壁 T,将 A、B 与 C 间的透热壁换成绝热壁,那么便可发现, A、B 的状态没有

^① 参见:廖耀发. 温度与熵[M]. 北京:高等教育出版社,1989.

任何变化. 这就是说, A 与 B 也达到了热平衡. 这种同时与第三个物体达到热平衡的两个物体也必热平衡的结论称为**热力学第零定律**. 它反映了热平衡的传递性, 因而也叫**热平衡定律**.



(a) A、B 间以绝热壁连接 (b) A、B 间以透热壁连接

图 15.1 热平衡的传递性

热力学第零定律告诉我们, 一切互为热平衡的物体都有一种与该平衡态有关的共同的宏观属性, 我们将这种宏观属性定义为该物体的温度. 换言之, **温度就是决定诸物体是否能够达到热平衡的一种宏观性质**. 几个物体一旦达到了热平衡, 它们必然具有相同的温度; 若将温度相同的几个物体放在一起(热接触), 它们一定会处于热平衡中.

从上面的分析可以看出, 热力学第零定律不仅给出了温度的科学概念, 而且还指出了温度的测量方法, 那就是事先选择好一个物体作为标准(这个被选为标准的物体称为温度计), 然后将它与待测物体分别进行比较, 当它与待测物体达到热平衡时, 标准物体所表示的温度就是待测物体的温度.

15.1.4 理想气体的物态方程

从宏观上讲, 只要严格遵守玻意耳定律, 即满足

$$\frac{pV}{T} = k (\text{常量})$$

的气体均可称为理想气体^①. 这只有在压强趋于零的极限情况才有可能, 因此理想气体也是一种模型, 是实际气体在极限情况下的一种近似.

将上式用于质量为 m' , 摩尔质量为 M 的气体的标准状态 ($p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $T_0 = 273.15 \text{ K}$, $V_0 = \frac{m'}{M} V_{m,0}$), 得

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_0 V_{m,0}}{T_0} \frac{m'}{M} = \nu R$$

^① 若无特别声明, 本篇所涉及的气体均可视为理想气体.

式中, $\nu = \frac{m'}{M}$ 被称为气体的物质的量, $R = \frac{p_0 V_{m,0}}{T_0} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 22.4 \times 10^{-3}}{273.15} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot$

$\text{K}^{-1} = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 称为摩尔气体常量. 于是便有

$$pV = \frac{m'}{M} RT = \nu RT \quad (15.2)$$

这就是理想气体的物态方程, 它是理想气体各物态参量相互关联的表征. 只要知道了气体的某些物态参量, 通过物态方程便很容易求出气体的另外一些参量.

例 15.1 设一刚性容器储存的氧气质量为 0.1 kg , 压强为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, 温度为 47°C . 问:

(1) 此时容器的容积为多少?

(2) 若将氧气的温度降至 27°C , 这时气体的压强又为多少?

解: 求解气体的物态参量和气体的质量及其变化多用理想气体的物态方程来处理.

(1) 根据理想气体的物态方程可以求得气体的体积(亦即容器的容积)

$$V = \frac{m'RT}{Mp} = \frac{0.100 \times 8.31 \times (273 + 47)}{32 \times 10^{-3} \times 1.013 \times 10^5} \text{ m}^3 = 8.2 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

(2) 由题意知, 气体的体积不变, 为 $8.2 \times 10^{-2} \text{ m}^3$; 气体的温度为 300 K , 将其代入物态方程, 得

$$p = \frac{m'RT}{MV} = \frac{0.1 \times 8.31 \times (273 + 27)}{32 \times 10^{-3} \times 8.2 \times 10^{-2}} \text{ Pa} = 9.5 \times 10^4 \text{ Pa}$$

15.1.5 准静态过程及其几何描述

由物态方程式(15.2)可知, 对于一定质量的理想气体, 其物态参量只有两个是可以独立变化的. 因此, 其平衡态只需用两个物态参量(如 p, V)便可确定. 于是, 若以 p 为纵坐标, V 为横坐标作图(这样的图称为 $p-V$ 图), 则图中任何一点(具有确定的 p, V 值)均可代表一个平衡态. 这就是说, 任何一个平衡态, 均可用 $p-V$ 图中的一个几何点来表示, 如图 15.2 中的 A, B 所示.

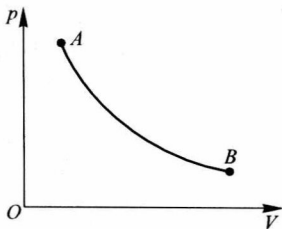


图 15.2 准静态过程曲线

如果气体受到了外界影响, 其平衡态便会发生变化: 原有的平衡态被破坏, 重新达到新的平衡态. 这样的变化被称为过程. 如果过程进行得无限缓慢, 使过程中的每一个中间状态均可近似地看成平衡态, 这样的过程被称为准静态过程, 反之就叫非准静态过程. 由于准静态过程的每一个中间状态均可视为平衡态, 均可在 $p-V$ 图中找到一个相应的代表点, 若将它们连接起来便可得到一条曲线, 这样的曲线称为准静态过程曲线, 常简称为过程曲

线,如图 15.2 中的 AB 曲线所示.这就是说,每一个准静态过程均可用 $p-V$ 图中的一条曲线来表示;反过来, $p-V$ 图中的每一条曲线,均代表着一个相应的准静态过程.若无特别声明,本章所讨论的过程均为准静态过程.

15.2 理想气体的压强与温度

15.2.1 理想气体的微观模型

我们知道,真实气体的分子都有大小,其直径的数量级约为 10^{-10} m;分子间均有相互作用力,其大小与分子间的距离有关;当分子间的距离远大于分子的直径(较稀薄的气体便可满足这一要求)时,分子本身的大小及分子间的相互作用(分子间的碰撞除外)便可忽略.于是,我们有理由假设存在这样一种气体,其特点是:

(1) 分子本身的大小比分子之间平均距离小得多,分子可以看成是质点,且同种分子具有相同的质量;

(2) 分子之间、分子与器壁之间除碰撞外无其他相互作用,所有的碰撞都是完全弹性的(碰撞前后系统的总动能不变).

这就是**理想气体的微观模型**.根据这个模型,理想气体的分子可以视为一个线度极小,且无相互作用(除碰撞瞬间外),并做无规运动的弹性小球.虽然这是一个过于简化的气体模型,但是利用它却能说明气体的一些基本性质,因而在热学中获得较为广泛的应用.

15.2.2 理想气体的压强

前文已经说明,从宏观上看,气体的压强是指器壁单位面积上受到的法向压力;从微观上看则是指大量分子不断对器壁碰撞所导致动量变化的一种平均效果.因此,我们也可以从碰撞的角度来讨论气体的压强问题.

为简便起见,我们假设容器中仅含有一种理想气体,并取器壁的法线方向为 x 轴的负方向,然后将分子按速度来分组.这样,只要我们求出了一组分子与器壁碰撞后在 x 方向的动量变化,通过求和,便可得到整个气体在 x 轴向的动量变化,进而便可求出整个气体的压强.下面分四个方面来进行讨论.

1. 一个分子(质量为 m , 速度为 v_i)与器壁碰撞后的动量变化

如图 15.3 所示,设分子以速度 v_i 沿与 x 轴成 θ 角的方向与光滑器壁发生弹性碰撞,则其 x 轴方向的动量变化为

$$-mv_i \cos \theta - mv_i \cos \theta = -2mv_i \cos \theta = -2mv_{ix} \quad (1)$$

式中,负号表示动量变化与 x 轴反向(即沿法线方向).

2. 一组同类分子与器壁碰撞后的动量变化

如图 15.4 所示,沿 v_i 方向作斜柱体,使其底面积(在壁面上)为 ΔS ,斜高为 $v_i \Delta t$,则其体积为 $v_i \Delta t \Delta S \cos \theta$,所含分子(质量为 m 、速度为 v_i)数为 $n_i v_{ix} \Delta t \Delta S$,与壁碰撞后的动量变化为

$$(n_i v_{ix} \Delta t \Delta S)(-2m v_{ix}) = -2m n_i v_{ix}^2 \Delta t \Delta S \quad (2)$$

式中, n_i 为柱体中具有 v_i 速度的分子数密度.

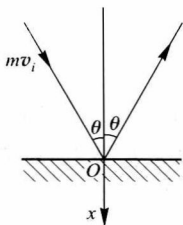


图 15.3 一个分子与器壁的碰撞

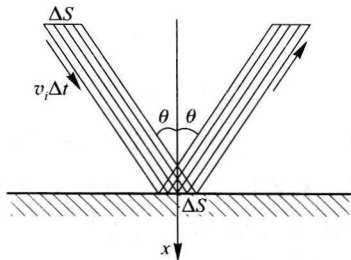


图 15.4 一组同类分子与器壁的碰撞

3. 各组(全体)分子与器壁碰撞后的动量变化

将式(2)对 i 求和,并注意到微观粒子向各个方向运动的机会相同(统计物理将之称为等概率假设^①),柱体中含有 $v_{ix} > 0$ 与 $v_{ix} < 0$ 的分子数相等,而后者是不能与 ΔS 相碰的,因此,上述求和值应该减半.于是,修正后的总动量变化为

$$-m \sum n_i v_{ix}^2 \Delta t \Delta S = -mn \frac{\sum n_i v_{ix}^2}{n} \Delta t \Delta S = -mn \overline{v_x^2} \Delta t \Delta S \quad (3)$$

式中, n 为柱体中气体分子数密度(单位体积的分子数), $\overline{v_x^2} = \frac{\sum n_i v_{ix}^2}{n}$ 为气体分子速度在 x 轴上投影平方的统计平均值.

4. 压强公式的导出

由动量定理可知,式(3)代表的就是气体所获得的冲量.它所获得的平均冲力 $F' = \frac{\Delta I}{\Delta t} = -mn \overline{v_x^2} \Delta S$.

由牛顿第三定律可得气体对器壁的作用力

$$F = -F' = mn \overline{v_x^2} \Delta S \quad (4)$$

注意到气体处于平衡态时,分子向各个方向运动的概率相等,以及几何关系 $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$,则有

^① 统计物理认为,微观粒子向各个方向运动的概率相等,这一结论称为等概率假设.由它所导出的许多结论都与客观实际相符,从而间接地证明了它的正确性.对概率感兴趣的读者可参看书后附录.