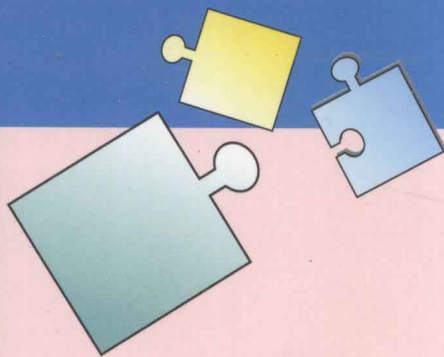


中学物理专题丛书

胡保祥

主编

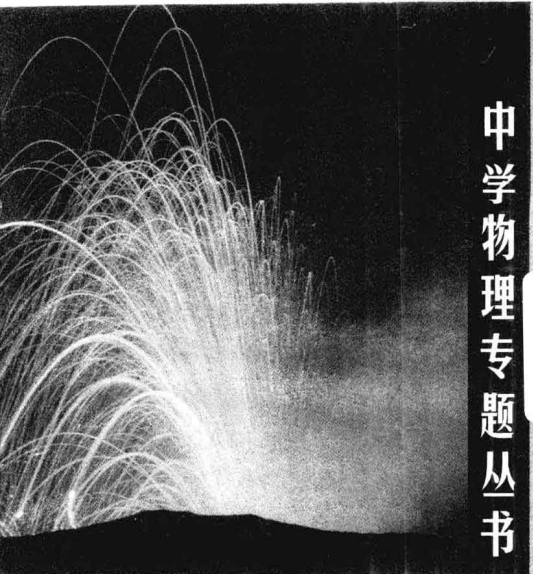


杨火生 朱明松 编著

热力学

ZHONGXUE WULI ZHUANTI CONGSHU

湖北教育出版社



中学物理专题丛书

胡保祥 主编

热力学

杨火生 朱明松 编著

4

湖北教育出版社

(鄂)新登字 02 号

图书在版编目(CIP)数据

热力学/杨火生,朱明松编著. —武汉:湖北教育出版社,2003
(中学物理专题丛书/胡保祥主编)

ISBN 7-5351-3723-7

I. 热… II. ①杨… ②朱… III. 热力学—中学—教学参考资料 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 033565 号

出版 发行:湖北教育出版社
网址:<http://www.hbedup.com>

武汉市青年路 277 号
邮编:430015 电话:027-83619605
邮购电话:027-83669149

经 销:新 华 书 店

印 刷:文字六〇三厂印刷

(441021·湖北襄樊盛丰路 45 号)

开 本:787mm×1092mm 1/32

5.5 印张

版 次:2004 年 2 月第 1 版

2004 年 2 月第 1 次印刷

字 数:107 千字

印数:1—8 000

ISBN 7-5351-3723-7/G·3031

定价:7.50 元

如印刷、装订影响阅读,承印厂为你调换

目录

引言

第一章 分子动理论	3
一 物质是由大量分子组成的	4
参考资料:阿伏伽德罗的 分子假说	7
二 分子的热运动	8
参考资料:佩兰实验与阿伏 伽德罗常数	11
三 分子间的相互作用力	12
四 应用与练习	15
参考资料:布朗运动及其应用	19
第二章 热力学能	22
一 物体的热力学能	22
参考资料:热的本质	25
二 改变热力学能的两种方式	26
三 应用与练习	28
参考资料:焦耳(1818~1889年)	32
第三章 能量守恒定律	35
一 热力学第一定律	35
二 能量守恒定律	37
参考资料:趣说永动机	38
三 能量守恒定律应用	42
四 应用与练习	47

五 能量守恒定律的建立 及其意义	49
六 热力学第二定律	51
参考资料:热力学的诞生	56
七 能源 环境	58
参考资料:我国能源的利用	61

第四章 固体和液体 64

一 晶体和非晶体	64
二 晶体的微观结构	66
三 液体的微观结构	67
参考资料:液晶	69
四 液体的表面张力	71
五 浸润和不浸润	72
六 毛细现象	74

第五章 物态变化 76

一 熔化和凝固	76
参考资料:物态浅说	79
二 汽化和液化	83
参考资料:低温技术	86
三 饱和汽与饱和汽压	89
四 空气的湿度	90
五 露点 湿度计	92
参考资料:蒸汽机与工业革命	94

第六章 气体 98

一 气体的状态和参量	98
二 气体压强的计算	101
三 等温变化 玻意耳定律	108
四 等容变化 查理定律	115

参考资料:热力学温标的建立	125
五 理想气体状态方程	126
参考资料:气体定律的发现	139
六 气体图像的物理意义 及其应用	141
七 应用与练习	152
第七章 气体分子动理论初步	159
一 气体分子运动特点	159
二 理想气体的压强	160
三 理想气体的内能及其变化	162

热学是研究自然界中物质与冷热有关的性质及这些性质变化规律的一门科学。

冷热是人们对自然界的一种最普遍最直接的感觉，人类文化对此早有记载。在我国山东大汶口文化遗址，发现 6000 年前的陶器上刻画有“热”字象形符号，见图 0-1，它上面是日，中间是火，下面是山，表示在太阳照射下，山上起了火。这当然反映了人们对热的感觉。现



图 0-1 古老的“热”字

今的“热”字虽然和这一符号相差甚远，但也离不开它下面那四点所代表的火字。

真正对冷热的客观本质以及有关现象的定量研究约起自 300 年前。首先是人们需要建立温度的概念，用它来表示物体的冷热程度。伽利略就曾制造了一种“验温器”，见图 0-2，他用一根长玻璃管，上端和一个玻璃泡连通，下端开口，插在一个盛有带颜色的水的玻璃容器内，他根据管内水面的高度来判断其周围的“热度”。他的玻璃管上没有刻度，因此还不能

定量地测定温度。此后,人们不断设计制造了比较完善的能定量测定温度的温度计,并建立了几种温标。今天仍普遍使用的摄氏温标就是 1742 年瑞典天文学家摄尔修斯(A.Celsius)建立的。

热学知识在实际生活和科学实践中有重要的应用。在远古时代人类的祖先发现了火,使用了火,从而开创了人类的文明历史;在科学技术高度发展的时代,各种热机和制冷设备的研制,化工、冶金、气象的研究,都离不开热学知识。

研究热现象通常有两种不同的方法。一种是从宏观的观点来研究,根据宏观热现象的规律,确认热是能的一种形式,从而引入了与热现象相关的内能的概念,并把内能跟其他形式的能联系起来,建立了能量守恒定律。另一种是从物质微观结构的观点来研究,建立了分子动理论,说明热现象是大量分子无规则运动的表现(如在标准状态下, 1cm^3 的气体大约含有 2.69×10^{19} 个分子;每个分子在 1s 内平均约与其他分子碰撞十亿次)。这两种研究方法相辅相成,使人们对热现象的研究越来越深入。

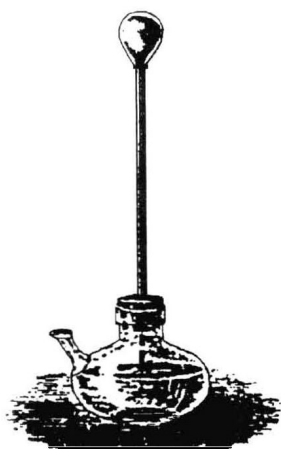


图 0-2 伽利略验温器

第一章

分子动理论

在 17 世纪到 18 世纪期间,随着热学的发展,人们开始探讨热现象的本质,出现了分子动理论的学说。伽森第提出物质是由分子构成的,假想分子是一种硬的粒子,能向各个方向运动,并用来解释固相、液相、气相三种物质状态。胡克和伯努力发展了这个学说,罗蒙诺索夫继续发展了这个学说,明确提出了热是分子无规则运动的表现。令人遗憾的是,这个学说当时还不能定量地解释热现象,认为“热是一种运动的表现”的正确论断,在当时得不到公认,因而这个学说未能得到发展。另一种学说,即认为“热是一种特殊物质”的热质说,占据着统治地位。19 世纪中叶,建立了能的转化和守恒定律,确认热是能的一种形式,而不是一种特殊物质。能的转化和守恒定律的建立彻底否定了热质说,为分子动理论的发展开辟了道路。此后,定量而系统的分子动理论飞速发展起来:克劳修斯认为气体对器壁的压强是由大量气体分子碰撞器壁而产生的,他由此算出了气体的压强,解释了有关气体的实验定律;麦克斯韦认识到气体分子的速率各不相同,而分子的速率是按照一定规律分布的;玻耳兹曼进一步研究分子动理论,使其达到了完善的程度。

分子动理论的基本内容是:物体是由大量分子组成的,分

子永不停息地做无规则运动,分子之间存在着相互作用的引力和斥力。按照分子动理论,热现象是大量分子无规则运动的表现,温度表示分子无规则运动的激烈程度,内能包含大量做无规则运动的分子具有的动能。用分子动理论可以说明很多热现象和物质的性质。人们首先研究了气体,建立了气体分子动理论,说明了气体的宏观性质,随后又用分子动理论研究液体和固体,也获得很大的成果。

一 物质是由大量分子组成的

1. 分子

实验证明,构成物质的单元是多种多样的,或者是原子(如金属),或者是离子(如盐类),或者是分子(如水),甚至还是由千万个原子构成的高分子(如聚丙烯),不论是哪一种微粒,它们做热运动时所遵从的规律都是相同的,在研究热现象时,我们把这些微粒统称为分子。

2. 分子大小

分子的体积是极其微小的。如果把分子视为球体,则它的直径只有几埃($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$),即分子线度的数量级为 10^{-10}m 。在不涉及分子内部结构和运动时,可把分子看作一个弹性小球,这是分子动理论中对分子的简化模型。用油膜法测量分子的直径时依据固体与液体内分子即小球紧密排列;若 V 为油膜体积, S 为单层分子的油膜层面积,则分子直

径为 $d = \frac{V}{S}$ 。

3. 阿伏伽德罗常数

在化学和物理的热学中,阿伏伽德罗常数是一个重要的基本常量,它是联系微观世界和宏观世界的桥梁。它的含义是:1mol的任何物质中含有的分子数相同,这个常数叫做阿伏伽德罗常数,用 N_A 表示。 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

如果 m 表示物体的质量, M 表示该物质的摩尔质量,那么,该物质的分子质量为 $m_0 = \frac{M}{N_A}$; 则该物体内的分子数 $n =$

$$\frac{m}{M} N_A。$$

例1 体积为 10^{-4} cm^3 的油滴,滴在水面上展成单分子油膜,则油膜面积的数量级为()。

- A. 10^8 cm^2 B. 10^6 cm^2
C. 10^4 cm^2 D. 10^2 cm^2

分析 根据油膜法测分子直径的方法,由 $d = \frac{V}{S}$ 得 $S = \frac{V}{d}$, 且取分子直径的数量级 d 为 $10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$ 。

解 油膜面积 $S = \frac{V}{d}$, 即

$$S = \frac{10^{-4} \text{ cm}^3}{10^{-8} \text{ cm}} = 10^4 \text{ cm}^2。$$

故答案 C 正确。

例2 试估算标准状态下氢气分子的距离和水分子间距

(只保留 1 位有效数字)。

分析 气体分子的理想化模型与固体有差异, 它的每个分子并非像固体、液体那样紧密排列, 除开自身的体积外还占据一定的空间, 可将这空间视为一个小立方体。设每个

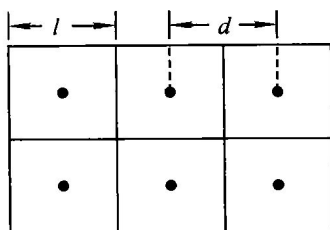


图 1-1

分子占有小立方体的边长 l 和分子间的距离 d 相等, 如图 1-1 所示。若取 1 mol 标准状态下的氢气, 其体积为 22.4 L。

解 由 $V = d^3 N_A$, 得氢气分子间的距离为

$$d = \sqrt[3]{\frac{V}{N_A}} = \sqrt[3]{\frac{22.4 \times 10^{-3}}{6.0 \times 10^{23}}} \text{ m} = 3 \times 10^{-9} \text{ m}。$$

每个水分子占据空间:

$$V_0 = \frac{V}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} \quad (\text{其中 } M \text{ 为水的摩尔质量, } \rho \text{ 为水的密度})$$

水分子间距 r_0 为:

$$\begin{aligned} r_0 = \sqrt[3]{V_0} &= \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{1.8 \times 10^{-3}}{1.0 \times 10^3 \times 6.0 \times 10^{23}}} \text{ m} \\ &= 3 \times 10^{-10} \text{ m} \end{aligned}$$

注: 估算分子间距离既可把分子占据的空间看作是立方体, 也可看作是球体。但一般气体以立方体分子模型计算较为方便。

参考资料

阿伏伽德罗的分子假说

19世纪初,随着化学原子论的确立,分子概念也被提出来。

英国化学家道尔顿(John. Dalton, 1766 ~ 1844)通过对大气的成分、性质以及气体的扩散和混合现象的研究而走向新原子论的观点。1801年,道尔顿发现气体的压力随温度的升高而增大。为了解释这一现象,他设想气体的原子是由一个硬核和包围着核的一层“热雾”所组成。由于这种热雾的作用使原子间相互排斥,对气体加热时这种热雾增多,原子间的排斥就增强。为了解释一种气体能够向其他气体中扩散以及混合气体的压力问题,道尔顿假设同一化学物质的原子则不互相排斥,他根据这个假设解释了他所发现的气体分压定律。

对于各种物质元素在物理性质和化学性质上的差异,道尔顿是用它们的原子在化学个性上的差异来说明的。在1803年9月6日的笔记里,写下了他的新原子学说的基本要点。他认为,一切化学元素都是由不可分割的原子组成的;各种元素的原子以其不同的形状、性质而区别,并具有特定的质量;不同元素的原子以简单整数的比例结合而形成各种化合物的原子。

当时尚未提出“分子”的概念,道尔顿也把不同原子组成的分子称为“复杂原子”。这使他的原子论在解释气体化合时的体积之比,确定化合物中原子的组成以及原子量的测定等问题时遇到了不可克服的困难。

阿伏伽德罗(Amedeo Avogadro, 1776 ~ 1856)是意大利物理学家,他在 1811 年引入“分子”概念,并把它与原子概念相区别。他认为原子是参与化学反应的最小粒子,分子是游离状态下的单质或化合物的能够独立存在的最小粒子;单质分子是由相同元素的原子组成的,化合物的分子则由不同元素的原子所组成。他指出,在气态物质的体积和组成气态物质的分子数目之间的关系上,唯一允许的假设是“相同体积中所有气体分子的数目相等”。

阿伏伽德罗的假说受到了包括道尔顿在内的化学权威们的反对;当时原子论的支持者们也都不希望使原子论复杂化。但是,对“分子”学说的拒绝,却使原子论陷入愈来愈严重的混乱状态。只是到了 1860 年,由于意大利化学家康尼查罗(S. Cannizzaro, 1826 ~ 1910)在一次国际化学会议上的热情阐发和论证,才为阿伏伽德罗的学说争得了它应有的历史地位和普遍的承认,并支持了物理学中分子动理论的发展。

二 分子的热运动

表明分子在不停地无规则运动的现象有两种。一种是在初中物理已经学过的扩散现象,它是指相互接触的两种物质彼此进入对方的现象。其原因是不停地运动的分子进入对方分子的空隙,而不是简单的混合。第二种现象是布朗运动。

1. 布朗运动

布朗运动源于 1827 年英国植物学家布朗发现悬浮在水中

的花粉颗粒不停地做无规则的运动,现在实际上应是泛指“悬浮在液体中的微粒做永不停息的无规则运动”。

布朗运动产生的原因是液体分子对微粒撞击的结果。当微粒足够小时,它受到来自各个方向的液体分子的撞击作用是不平衡的,这种不平衡使微粒发生运动。可见,液体分子永不停息的无规则运动是产生布朗运动的原因,微粒运动的无规则性反映了液体内部分子运动的无规则性。

2. 热运动——分子的动能

实验表明,温度越高,布朗运动的现象越明显,这反映出分子的无规则运动跟温度有关,所以通常把分子的无规则运动叫做热运动。

像运动着的物体具有动能一样,做热运动的分子也具有动能。在热现象中研究单个分子的动能没有意义,而研究大量分子的动能的平均值更有价值,该平均值称为分子热运动的平均动能。从分子动理论的观点看,温度是物体分子热运动的平均动能的标志。

例1 从较暗的房间里观察到射入的阳光光束中有悬浮在空气里的微粒在不停地运动着,试问这些微粒的运动是布朗运动吗?为什么?

分析 布朗运动发生的条件有二:一是有液体或气体分子的无规则运动,从而对微粒产生撞击力;二是微粒足够小,当它受到液体或气体分子的撞击力不平衡时能产生加速度。而本题中的“微粒”能用肉眼看到,在微观领域是相当大的,因此不是布朗运动。

解答 这些微粒在空气中的运动不是布朗运动。因为肉

眼所见的“微粒”是相当大的,它所受到各个方向的空气分子的撞击作用几乎相平衡,不影响其运动状态,这些相当大的微粒的运动是受空气的流动和重力的作用等外部原因引起的。

例 2 从宏观上表现物体温度升高,从微观上,以下说法正确的是()

- A. 组成物体分子的动能都增大
- B. 组成物体分子的温度都升高
- C. 组成物体分子的平均动能增大
- D. 组成物体的每个分子运动的激烈程度增大

分析 分子动理论告诉我们,宏观上物体温度的高低,在微观上是决定于“物体分子热运动的平均动能”。因此在微观上讲“分子的温度”是不正确的;由于分子的热运动是无规则的,不但它们的速度方向不能确定,速率也是有大有小,因此说“组成物体的每个分子运动的激烈程度增大”或“分子的动能都增大”是不可能的。正确的说法应是组成物体分子的平均动能增大,即答案 C 正确。

参考资料

佩兰实验与阿伏伽德罗常数

1827年,英国植物学家罗伯特·布朗(R. Brown, 1773 ~ 1858)用显微镜观察到水中的花粉或其他微粒在不停地做无规则运动,这种运动后来被称作“布朗运动”。这种奇怪的现象究竟意味着什么?直到19世纪70年代,才用液体分子的热运动给予正确的解释。

1905年,爱因斯坦和奥地利物理学家莫路霍夫斯基(M. Von Smoluchowski)发表了对布朗运动的理论研究结果。证明布朗粒子的运动是由于液体分子从四面八方对它们撞击引起的,这种撞击的不规则性和偶然性,使来自不同方向的作用一般地说并不互相完全抵消,由于布朗粒子非常小(线度仅 10^{-4}cm),周围分子不均匀碰撞所产生的不平衡力的作用足以使它发生运动。

通常,每个布朗粒子在液体中所受分子的碰撞约 10^{21} 次/s,因此,粒子的瞬时运动是无法观测的,人们只能每隔一定时间(如20s, 30s)记录一次它的位置。设每次观察相隔的时间为 t ,从理论上可以求出布朗粒子在 t 时间内的位移在 x 轴上的投影 x 的方均值:

$$\overline{x^2} = \frac{KT}{3\pi\eta r}t。$$

这是爱因斯坦关于布朗运动理论的一个重要公式,人们称之为爱因斯坦公式。

1908年,法国物理学家佩兰(J. B. Perrin, 1870 ~ 1942)用实