

04-36268

81328

高中物理学习
辅导丛书

分子运动论和热学

物理通报编辑部 编

河北教育出版社

81

高中物理学习辅导丛书

分子运动论和热学

物理通报编辑部 编

河北教育出版社

高中物理学习辅导丛书

分子运动论和热学

物理通报编辑部 编

河北教育出版社出版(石家庄市北马路45号)

唐县印刷厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 3.5 印张 73,000 字 印数: 1—11,220 1987年8月第1版
1987年8月第1次印刷 统一书号: 7509·15 定价: 0.56 元

前 言

为了加强对高中学生课外学习的辅导，物理通报编辑部组织北京、天津、上海、浙江、河北等地部分有经验的教师编写了这套“丛书”。

“丛书”以广大高中学生为主要读者对象。书中渗透着编者多年积累的教学经验和体会。本书意在帮助读者建立起一些清晰的物理图象和基本概念，熟练掌握一些基本的物理规律，学会物理学的学习方法，以及用已学过的物理知识解决一些实际问题。在编写过程中，我们力求以提高学生学习物理的兴趣，克服“物理难”的思想情绪为出发点，从而达到活跃思想，开发智力，培养能力的目的，对提高学生平时的学习效果起到辅助作用。

“丛书”的内容，原则上限于高中阶段的知识范围，但对某些难度较大的问题加强了综合分析。全书共分十二册，每册包括基本概念的剖析、基本规律的阐述及应用中需注意的问题等内容。每一单元后都附有练习题，包括思考题、计算题、实验题等，书后附有习题答案。

本册从分子运动论这一基本理论出发，对由大量分子组成的宏观物体——气体、液体、固体的宏观性质及其微观解释进行了深入浅出的说明；对生活中的一些热现象从理论上进行了探讨。

在“丛书”初稿完成后，高等教育出版社胡南琦教授，

以及京、津、冀的部分有经验的中学物理教师提出了许多宝贵的修改意见。我们还请部分在校高中生试读，给我们提供了读者方面的意见和信息。在此一并表示感谢，

本书由韩宝麟、徐家康、陈炜同志执笔编写。

由于水平所限，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

物理通报编辑部

1986年1月

目 录

绪 论	(1)
一、分子运动论	(4)
(一) 物质是由分子组成的, 分子之间有空隙	(4)
(二) 分子的体积和质量	(5)
(三) 扩散、布朗运动和分子的热运动	(7)
(四) 分子之间的相互作用力	(10)
(五) 物体的内能	(14)
二、固体和液体的性质	(18)
(一) 固体的性质	(18)
(二) 液体的性质	(24)
三、热现象	(34)
(一) 固体、液体和气体的热膨胀	(34)
(二) 温度和温度计	(40)
(三) 热传递	(43)
四、热量、功和能量守恒	(48)
(一) 热量、热平衡方程	(48)
(二) 热功当量	(55)
(三) 能量的转化和守恒定律 热力学第一定律	(57)
五、气体的性质	(61)
(一) 气体分子运动的基本特征	(61)
(二) 气体的状态参量	(63)

(三) 玻意耳——马略特定律 气体的等温变化	(64)
(四) 盖·吕萨克定律 气体的等压变化	(71)
(五) 热力学温标的确定 理想气体	(74)
(六) 查理定律 气体的等容变化	(77)
(七) 理想气体的状态方程	(79)
(八) 克拉珀龙方程	(86)
六、物态变化	(92)
(一) 熔解和凝固 熔解热	(92)
(二) 液体的汽化、饱和汽、沸点和汽化热	(95)
(三) 气体的液化 临界温度	(100)
(四) 空气的湿度和露点	(103)
练习题参考答案	(106)

绪 论

热学是物理学的一个重要组成部分，它是研究热现象的宏观理论。

通常用温度这个物理量表示物体的冷热程度。当物体的温度变化时，它的许多性质也随着变化。例如，物体受热后，温度升高，体积增大；淬火（钢件烧热后，投入水或油中迅速冷却）可以提高钢件的硬度；退火（钢件烧热后，缓慢降温冷却）可使钢件变软。又如，在一个标准大气压下， 100°C 的纯水会沸腾，此时水的表面和内部同时汽化；温度降低则停止沸腾，一定量的水随着温度降低，体积不断缩小，到 4°C 时体积最小；温度再降低，体积反而增大； 0°C 时水要结冰，凝固时体积增大。自然界中，只有铋、硅和镓等少数物质与水一样，其固态的密度比液态小，所有这些与温度有关的物理性质变化，统称为**热现象**。由观察和实验总结出来的热现象的规律构成热现象的宏观理论，称为**热学**。

分子运动论是研究热现象的微观理论。它从物质的微观结构和运动出发研究物质的基本性质和热现象的规律。分子运动论是从气体分子运动论发展起来的。

热学和分子运动论所研究的是热现象的规律及其本质，它们是相辅相成的。热力学第一定律及第二定律的确立为热机的设计、提高热机的效率指出了方向，并且宣判了永动机的死刑。历史上，有些人曾企图设计一种不消耗能量就可对外

做功的永动机（第一类永动机），这是违反热力学第一定律的，因此是无法实现的。后来有人又想设计效率等于100%的热机（第二类永动机），因为它违反了热力学第二定律，所以也是不可能成功的。（本书将不涉及热力学第二定律）

一切物质由微小粒子或原子组成的概念，最早是公元前450(460~370)年左右，由古希腊哲学家德漠克利图和他的老师留基普斯所提出的一种推测。后来亚里斯多德反对这种观点，他主张四元素（土、水、火、气）说，把火看成基本要素。这种学说与我国的五行（金、木、水、火、土）说有些相似。

随着科学和生产的发展，人们对热现象及其规律逐步有了认识。但是对于热现象的本质，并没给出具体的回答。在十七世纪到十八世纪之间，出现了一些定性的分子运动论的假设。1185年伽森第提出物质是由分子组成的，分子是硬球，可以向四面八方飞行，并用来说明物质的固、液、气三态及其转变。1662年玻意耳发表了实验结果，证明一定量的气体在温度保持不变时，其压强与体积的乘积是一个常数。1678年胡克提出了与伽森第相同的主张，他认为气体压强是气体分子与器壁碰撞的结果。1738年伯努利发展了这个学说，并用气体分子与器壁碰撞的概念导出了玻意耳定律。1744年~1748年之间，罗蒙诺索夫明确指出热是分子运动的表现，并提出气体分子运动是无规则的这个重要思想。

在此后的一百年间，分子运动论没有什么发展。十九世纪之后，许多学者作了大量工作，其中以麦克斯韦和玻耳兹曼的工作尤为重要。他们是分子运动论的主要奠基人。前者在1859年首先导出了分子运动的速度分布函数，后者第一个

把速度分布定律用于重力场的情况。他们使分子运动论由定性的理论发展为定量的理论。1870年之后，他们又作了许多工作。值得一提的还有，1850年焦耳发表了有关热功当量的论文，为能的转化和守恒定律（此时热力学第一定律已经确立）提供了坚实的实验基础。十九世纪中期以后，气体分子运动论就成为研究气体性质的指导理论。后来科学家们又对液体和固体分子运动论进行了研究，同样取得了巨大的成果。

一、分子运动论

(一) 物质是由分子组成的，分子之间有空隙

在初中物理中，我们就已知道分子运动论的基本内容：

- ①物质是由分子组成的；②分子永不停息地做无规则的运动；
- ③分子之间有相互作用的引力和斥力。

大量事实都已说明宏观物体是由分子组成的，有些物质则是由原子组成的，如金属单质。分子或原子都是构成物质结构的微观粒子，并且物质结构是不连续的，分子之间存在空隙。场致离子显微镜（或密尔勒尔显微镜）是一台可以观察半球形针尖表面的仪器，它可将图像放大一千万倍，用它可以观察到铂针尖上与个体原子位置对应的模糊斑点，大致可以确定原子的位置。目前可供观察的有铂、钨等为数不太多的材料。此外也曾有人用两万大气压强压缩钢筒中的油，发现油可以从筒壁上渗透出来。这都说明固体是由一个一个的原子或分子组成的，分子之间存在空隙。对于气体，由于它很易压缩，上述论点很易被人接受。

我们可以做一个实验来说明液体分子之间是有空隙的。我们可以取 250 毫升水，再取 250 毫升酒精，将它们一起倒入标有刻度的试管内，然后封闭试管口，用力摇动试管，直到水和酒精混合均匀为止。我们可以发现，二者的混和物的体积并不是 500 毫升，这是什么原因呢？

这是因为，水和酒精在混合过程中，其分子相互作用，重新排列，提高了空间利用率的结果。通过这个实验我们是不难想象液体分子之间是有空隙的。有一点要提请读者注意，液体混合是一个非常复杂的问题，对于上述实验不能理解为“黄豆与小米混合”那么简单。采用水和酒精作实验，是因为它们彼此不发生化学反应，而且可以用任何比例均匀混合。如果用水和油作实验，即使通过剧烈地摇晃之后，油还会漂浮在水面以上。

(二) 分子的体积和质量

分子是能保持物质化学性质而能独立存在的最小微粒。分子有大有小，最简单的分子就是由一个原子组成的分子，称为单原子分子，如氦、氖、氩、氪、氙、氡等等；氧气(O_2)、氢气(H_2)等物质的分子则是双原子分子；水分子(H_2O)是三个原子组成的分子。生物学中的牛胰岛素分子大约有1500个原子(H、C、N、O、S)，分子量约为12000。

由于分子非常小，所以我们用肉眼是看不见的。那么分子究竟有多大呢？我们可以利用阿伏伽德罗常数进行粗略的估算。1摩尔的任何物质所含的粒子数都相同，且等于12克碳-12所含的原子数，这个数叫作阿伏伽德罗常数，通常用字母 N 表示。它是微观世界中一个很重要的参数。

$$N = 6.022045 \times 10^{23} / \text{摩}.$$

液体很难压缩，说明液体分子之间堆积得很紧凑。而绝大多数物质凝固时体积都会缩小，则说明固体分子排列得更紧密，并且预示着分子本身很坚硬。在粗略估计分子的大小时，可以把分子看作“坚硬的小球”模型。分子的“直径”

都是 10^{-10} 米的数量级 (通常把 10^{-10} 米记作 1Å , Å 读作埃). 下面举例说明, 如何估算分子的大小和质量.

例如, 一摩尔水的质量是 18.0152 克, 水的密度是 1.0×10^3 千克/米³. 所以水的摩尔体积约是

$$\frac{1.8 \times 10^{-2} \text{ 千克}}{1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ 米}^3.$$

每个水分子所占的体积约为

$$\frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ 米}^3}{6.02 \times 10^{23}} = 0.3 \times 10^{-28} \text{ 米}^3.$$

水分子的直径约为 3.1×10^{-10} 米, 即 3.1Å . 一个水分子的质量约为

$$\frac{1.8 \times 10^{-2} \text{ 千克}}{6.02 \times 10^{23}} = 3.0 \times 10^{-26} \text{ 千克}.$$

又如, 制造晶体管和集成电路的半导体材料硅, 其摩尔质量是 28.086×10^{-3} 千克, 密度是 2.4×10^3 千克/米³. 用同样的方法可算得其原子直径约是 2.28Å , 原子质量是 4.66×10^{-26} 千克.

纯金属可视为原子堆积而成. 原子直径最小的是铍 (2.22Å), 最大的是铯 (5.66Å). 锂、镉、铀的原子直径很接近, 约为 3.0Å .

如果把物质的原子、分子一个接一个地排列在一条直线上, 那么 1 厘米的长度内可排几千万个.

一个摩尔的任何气体, 在 0°C 、 1 个大气压下的体积是 22.4×10^{-3} 米³, 所含分子数是 6.02×10^{23} 个. 一个分子占的体积约为

$$\frac{22.4 \times 10^{-3} \text{米}^3}{6.02 \times 10^{23}} = 37.2 \times 10^{-27} \text{米}^3.$$

分子之间的距离约为 $33.4 \text{ \AA}$ ，比分子本身约大一个数量级。理想气体分子之间的距离比这个数值还要大。

(三) 扩散、布朗运动和分子的热运动

在日常生活中，我们发现装在容器中的气体，其分子虽然受到重力的作用，但并不集中在容器底部，而是充满整个容器。这是为什么？我们说，这是因为分子本身处在不停地运动之中，并且其运动方向是杂乱无章的。下面我们用实验来说明。

1. 扩散

我们重作上面的实验。在装好水和酒精之后，把玻璃管口向上竖直静放，不要扰动。开始的分界面十分清晰，分界面下部是无色透明的水，分界面上方是红色的酒精。随着时间的延续，分界面逐渐变得模糊，经过足够长的时间，分界面全部消失，整个管中都是混合均匀的酒精水溶液。因为静放不摇动，原来酒精在上，其密度比水小，混合不是重力的作用引起的。因此只能认为分子本身是运动的，而且运动的方向是没有规则的。我们把上述现象叫做**扩散现象**。

不仅液体有扩散现象，气体和固体也同样存在。

如果把两个玻璃筒口对口地竖直静放，两筒中间插块玻璃板，上面的筒内装有空气（密度为 1.29 千克/米^3 ），下面的筒盛红棕色的二氧化碳气（密度 1.49 千克/米^3 ），如图 1-1 所示。小心地抽掉中间的玻璃板，我们可以观察到，由于空气和二氧化碳的密度不同，二氧化碳将会向空气中扩散，空气也同

时向二氧化碳中进行扩散，直到两个筒内的混合气体密度相同为止（经很长时间后）。

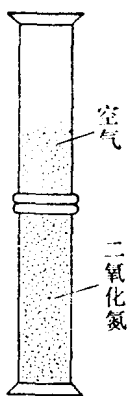


图 1-1

固体中的扩散现象最早是在出土文物中发现的。埋在地下的金制品和铅制品，长期紧紧接触在一起，出土后发现二者的接触面两侧金中有铅，铅中有金。固体中的扩散，在生产中有重要的用途。例如，在晶体管 and 集成电路的生产中，制造 $P-N$ 结时，就是在高温下通过扩散把 P 型或 N 型材料渗入硅单晶片而做成的。又如，把钢件埋在石墨粉中加热，使碳渗入钢件，从而提高钢件的表面硬度（表面渗碳），提高

温度则是为了增加扩散速度。温度越高扩散越快；在同一温度下，气体扩散速度最大，液体次之，固体最小。

2. 布朗运动

1827 年英国植物学家布朗在显微镜下观察悬浮在水面上的花粉时，发现花粉微粒在不停地作无规则的跳跃式运动。这种运动就叫作**布朗运动**。图 1-2 是观察布朗运动的实验装置。其中 1 显微镜，2 盖玻璃，3 悬浮液，4 载物玻璃，5 悬浮液中的图象。

布朗运动的机理在半个多世纪内无人了解。因创立相对论而闻名世界的爱因斯坦指出：液体水分子作不规则的运动，从四面八方撞击浮在液体中的微粒，当微粒足够小时，某瞬时分子撞击微粒的作用不平衡，微粒向作用弱的一侧运动。由于分子撞击微粒是随机的，所以撞击作用弱的方向是不断

改变的，微粒则不断改变其跳跃的方向。1905 年爱因斯坦利用分子运动论对布朗运动进行了定量计算，得出了微粒半径、温度、液体的粘滞系数、观察时间和阿伏伽德罗常数之间的定量关系。

1908 年美国物理学家贝林，筛选了数种不同大小的微粒，使用了水、糖水、

尿液等几种不同的液体，作了大量的测量，并把测得的结果用爱因斯坦推导的公式进行计算，得出阿伏伽德罗常数。贝林用实验定量地证明了分子运动论理论的正确性。所以，他在 1926 年获得了物理学诺贝尔奖金。

微粒的布朗运动是不规则的，它是由分子撞击不平衡引起的，它证实了分子处于不停息的，无规则的运动之中。微粒本身虽然很小，但它仍含大量分子，微粒运动不是分子运动，微粒越小，某瞬时撞击它的分子也少，出现不平衡的可能性越大，布朗运动就明显，反之则不明显。图 1-3 中的黑点是实验中每隔 20 秒记录下的某个微粒的位置，然后按先后顺序用直线联起来。整个折线是 20 秒钟记录一次时，微粒的位移。如果记录的时间间隔改变了，运动“轨迹”也将变化。实际上在 20 秒钟内微粒并不沿直线运动。

实验还表明，在微粒大小、液体种类相同的情况下，温度越高布朗运动就越激烈，反之布朗运动较缓慢。

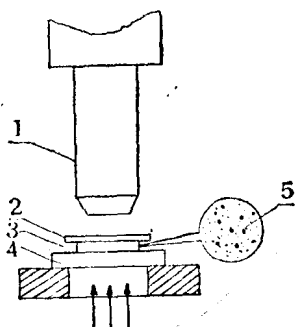


图 1-2



图 1-3

3. 分子的热运动

扩散现象、布朗运动都已证明了：分子不停地作无规则运动，并且与温度相关。因此我们把分子的这种不停地无规则运动叫做**热运动**。分子热运动的激烈程度决定了物体温度的高低，物体温度的高低则代表了分子热运动的激烈程度。

(四) 分子之间的相互作用力

上面已说明，构成物质的分子之间有空隙，分子不停地作热运动。那么，它们何以构成固体和液体？固体和液体能维持一定的体积，固体能保持一定的形状，又是什么原因？这是因为分子之间有相互吸引的作用力（引力）。

我们可以用一个即生动又形象的实验来证明分子间存在引力。取两个铅柱，把它们的横断面用刀修刮成平整的“新”平面。然后把两个新的横断面对接起来，用力挤压一下，如图 1-4 那样吊起来。我们发现二铅柱并不自行分开，而且还能承受几千克的拉力。