# 八、分子运动论 内能

我们已经学习过固体、液体和气体的基本性质，现在要进一步通过学习分子运动论，讨论热观象的本质。并学习物体内能的概念，从能量的观点认识热现象。

## 分子运动论

分子运动论是人们在对大量实验事实观察的基础上提出的对物质结构的一种基本假设。其要点是：**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**。下面我们着重介绍分子运动论的实验基础。

### 物体是由大量分子组成的。

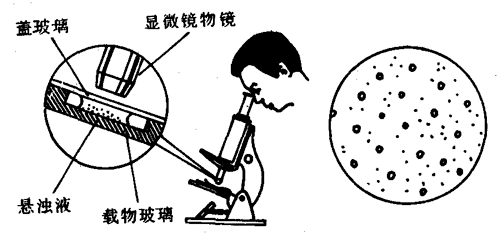
我们知道，物体是由大量分子组成的，1摩尔（mol）的任何物质含有的分子数相同，这叫做阿伏伽德罗常数。它的值*N*A＝6.02×1023/摩尔。

分子是很小的。物理学中有各种不同的方法来测定分子的大小，一种粗略地测定分子大小的方法是油膜法。把一小滴体积为*V*的油滴，滴在静止的水面上，油在水面上会尽可能散开，形成单分子薄膜。测出油膜的表面积*S*，就可算出单分子油膜的厚度d＝V/S。如果把分子看成球形，并认为分子紧密排列在一起，这油膜的厚度就等于油分子的直径。测定结果表明，油分子直径的数量级是10-10米。

要注意的是：把分子看作球形，是一种简化的模型。实际上分子的内部结构很复杂，我们一般只要知道分子大小的数量级就可以了。

### 分子永不停息地做无规则运动

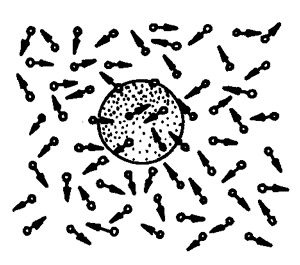
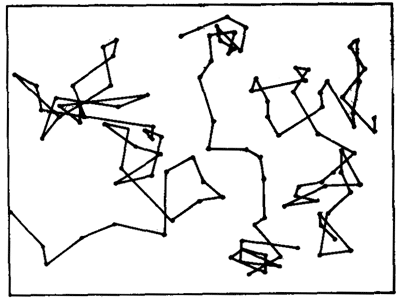
1827年，英国植物学家布朗在显微镜下观察到水中的花粉微粒和其他悬浮着的小颗粒在不停地做无规则运动。以后，人们又发现在温度均匀和没有外力作用时，在显微镜下都能观察到悬浮在渡体和气体中的小颗粒的无规则运动。人们把这种小颗粒的无规则运动叫做布朗运动。我们把少量烟墨墨汁用水稀释后，取一小滴放在显微镜下观察（图2-34），就可看到小碳粒的布朗运动，而且碳粒越小，运动越明显；温度越高，运动越明显。图2-35所示的是在显微镜下观察到的做布朗运动的三颗微粒的运动情况。这个图是根据每隔30秒记录的微粒所在位置，用直线把这些位置依次连接起来形成的三条折线。从这些折线可以看出小颗粒的运动是无规则的。



**图2-34**

布朗运动产生的原因是什么呢？图2-36描绘了一个小颗粒受到周围液体分子撞击的情景，每个液体分子撞击小颗粒时都给小颗粒一个作用力，由于颗粒体积很小，在某一瞬间和它相撞的分子数也比较少，如果从某一方向撞击的分子数多于其他方向撞击的分子数，小颗粒受到的作用力就不平衡，这个瞬时合力使小颗粒的运动状态发生变化。下一瞬间，在另外方向上的作用力大一些，那么小颗粒的运动状态又发生变化，这样就引起了小颗粒的无规则运动。做布朗运动的小颗粒虽然不是分子，但它的无规则运动正是液体分子做无规则运动的反映。

**图2-35**



**图2-36**

如果颗粒较大，虽然它也受到周围液体分子的撞击，但由于同时跟它撞击的分子较多，来自各个方向的撞击作用可以认为是相互平衡的，所以较大的颗粒的布朗运动极不明显，难以观察。

从温度越高小颗粒的运动越激烈的实验事实，表明分子的无规则运动是跟温度有关的，温度越高，分子运动越激烈，所以分子的无规则运动也叫**热运动**。

### 问题探讨

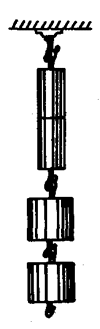
S：从图2-35来看，我认为在较短的时间内颗粒的运动还是有规则的，因为至少在30秒内，颗粒的运动轨迹是直线。

T：图2-35所画的并不是颗粒实际运动的轨迹，而是记录了颗粒每隔30秒所在位置的变化，若干段短直线只是这一系列位置变化的连线。如果时间间隔取得再短一些，那么每一小段直线将被另外一些不规则的折线所代替。这些折线也不是颗粒的运动轨迹，所以说颗粒在任何时间内的运动是无规则的。

### 分子间的相互作用力

组成物体的分子之间存在着相互作用力，把物体拉长或压缩都要用力，这表明拉长物体时，分子之间相互作用力表现为引力；压缩物体时，分子之间的相互作用力表现为斥力。

分子间的相互作用力是分子引力和斥力的合力，它是一种短程力，只有在分子间距离很近时才显现出来。例如把两块表面平整的铅块靠放在一起，它们之间不显现分子力的作用；当把它们紧密地贴在一起时，这两块铅块可以承受很大的拉力而不会分离，如图2-37所示。理论研究指出，分子力跟分子间的距离有关，当分子间的距离增大时，分子间的引力和斥力都随着距离的增大而减小；当分子间的距离*r*＝*r*0时，引力和斥力平衡，合力为零，这是平衡位置，*r*0约为10-10米；当*r*＜*r*0时，斥力的增大大于引力的增大，分子间相互作用力表现为斥力，并且随着*r*的减小，斥力迅速增大；当*r*＞*r*0时，斥力的减小大于引力的减小，相互作用力表现为引力；当*r*＞10*r*0时，可以认为分子间的相互作用力为零。



**图2-37**

从以上介绍的分子运动论的基本要点可以知道，分子不停地做无规则运动，分子之间又存在相互作用力。分子力的作用使分子聚集在一起，分子的无规则运动使它们分散开来。由大量分子组成的物体在不同条件下可以固、液、气三种不同状态存在，正是由这两种相反因素决定的。对于固体来说，分子间的作用力比较强，绝大多数分子被束缚在平衡位置附近做微小的振动，所以固体有一定的形状。随着温度升高，分子的无规则运动加剧，到一定时候，分子力不能把分子束缚在固定的平衡位置附近，于是出现了流动性，表现为液体状态，但分子还不能分散远离，所以液体也具有一定的体积。当温度再升高，分子的无规则运动更加剧，到一定程度，分子分散远离，分子力的作用很微弱，分子可以到处自由运动，物体就处于气体状态，所以气体没有一定的体积。

## 内能

组成物体的大量分子总是在不停地作无规则运动，运动着的分子具有动能。由于分子运动是无规则的，物体内各个分子的动能并不相同，难以一一测出。因此在研究分子热现象时，人们关心的是物体内所有分子的动能的平均值，这个平均值叫做分子热运动的平均动能，简称分子的动能。

理论研究指出：任何物体在同一温度下，分子的平均动能都相同。温度升高，物体内分子的热运动加剧，分子的动能也增大；温度降低，分子的动能减小。因此从分子运动论的观点看，**温度是物体分子热运动的平均动能的标志**。分子热运动的平均动能跟物体的温度有关。

分子间由于存在相互作用而具有由分子间的相对位置决定的势能，叫做分子势能。

分子势能是随着分子之间的距离的变化而变化的。当分子力表现为引力时，分子势能随着分子间距离的增大而增大，或随着分子间距离的减小而减小；当分子力表现为斥力时，分子势能随着分子间距离的增大而减小，或随着分子间距离的减小而增大。

物体的体积发生变化时，分子间的距离要发生变化，因此分子势能也随着发生变化。可见分子势能跟物体的体积都有关。

**物体内所有分子的动能和分子势能的总和，叫做物体的内能**。物体都是由不停地做无规则运动并且相互作用着的分子组成的，因此任何物体都具有内能。

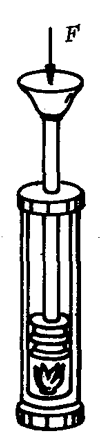
由于分子热运动的平均动能跟温度有关，分子势能跟体积有关，所以物体的内能跟它的温度和体积都有关。

要指出的是，实际需要了解的是物体经过某一变化过程后，它的内能是增加还是减小，改变了多少。

## 物体内能的改变

对铁块加热，铁块吸热后温度升高，体积增大，内能增大；用锯条锯铁块时，外力克服摩擦力做功，锯条和铁块的温度也会升高，内能增大。一块冰可以通过加热，用热传递的方式使其内能增加而熔化；也可以通过摩擦做功的方式，增加它的内能，使它熔化。

在一个厚壁玻璃筒里放一小块硝化棉（或一小块浸过乙醚的棉花），迅速压下活塞，筒内的硝化棉就会燃烧（图2-38），这个实验表明，外力对筒里的空气做功，机械能[[1]](#footnote-1)转化为内能；空气的内能增大，温度升高，当温度升高达到硝化棉的着火点时，硝化棉就燃烧起来。



**图2-38**

大量事例表明，物体内能的改变可以通过做功和热传递这两种不同的方式来实现。

做功使物体内能发生改变时，内能的变化可用做功的数值来量度。外界对物体做多少功，物体的内能就增加多少；物体对外界做多少功，物体的内能就减少多少。

热传递使物体内能发生变化时，内能的变化是用热量来量度的。外界对物体传递了多少热量，或者说物体吸收了多少热量，物体的内能就增加多少；物体传递给外界多少热量，或者说物体放出了多少热量，物体的内能就减少多少。所以，热量是热传递过程中物体内能改变的量度。

正因为做功和热传递在改变物体的内能上是等效的，所以功、热量和能量用同一单位量度是自然和合理的。在我国法定单位制中，热量的单位是焦耳。

要指出的是：虽然做功和热传递在改变物体内能上是等效的，但它们之间有着本质的区别。做功使物体的内能改变，是其他形式的能转化为内能，例如克服摩擦做机械功时，是机械能转化为内能；热传递使物体内能改变，是物体间内能的转移，例如把炽热的铁块投入水中，就是铁块的一部分内能转移到水里，使水的温度升高，内能增大，而能量形式没有发生变化。

## 思考

1．图2-38的实验中，将活塞迅速压下，硝化棉燃烧，活塞猛烈向上弹起，怎样从气体内能的改变来解释这一现象？

2．一个物体吸收热量，物体的内能是否一定增加？为什么？

3．一个物体对外界做了一定的功，物体的内能是否一定减少？为什么？

## 练习八

1．关于布朗运动，下列说法中正确的是（ ）

（A）布朗运动就是分子运动；

（B）布朗运动也叫做热运动；

（C）布朗运动是液体分子无规则运动的反映；

（D）布朗运动是组成小颗粒的分子无规则运动的反映。

2．当物体被拉伸时，关于分子间的作用力的说法中正确的是（ ）

（A）引力和斥力都增大，表现为引力；

（B）引为和斥力都减小，表现为引力；

（C）引力增大，斥力减小，表现为引力；

（D）引力减小，斥力增大，表现为引力。

3．用油膜法测分子直径的实验中，将1厘米3的油酸（C17H33COOH）溶于酒精，制成200厘米3的油酸酒精溶液，已知1厘米3溶液有20滴。现取1滴溶液滴到水面上，随着酒精溶于水，油酸在水面上形成一单分子薄层。测出这一薄层的面积为0.5米2，试估测油酸分子的直径为多大？

4．指出下面例子中各是通过什么方式来改变物体内能的？

（1）物体在阳光照射下温度升高。

（2）反复弯折一根铁丝，弯折的部位温度升高。

（3）用打气筒打气，筒壁变热。

## 阅读材料 等离子体

地球上的物质在不同的温度、压强条件下，能以固态、液态和气态三种聚集态存在。对于同一种物质来说，只要升高温度，最终都会变成气态，但气态是最终状态吗？如果对气态物质继续加热将会怎样呢？这时物质还会出现第四种聚集态（状态），叫做等离子态。物质呈等离子态时称等离子体（plasma）。等离子体是由大量的自由电子和离子组成的，并且在整体上表现为近似电中性的电离气体。

怎样使物质处于等离子态呢？我们知道在一定条件下，物质的各态之间可以互相转化，不同的聚集态，对应的粒子（原子、分子和离子）排列的有序程度也不同，因此实现物质各态之间的转化，实际上是改变物质有序程度的过程。固体的有序程度最高，加热固态，供给它足够多的能量时，固体将转化成有序程度较低的液体或直接转化成气体。同样，只要向液体提供能量，液体就能不断转化为气体。如果继续对气体加热，只要使每个粒子中电子的动能增大到足以挣脱原子核的束缚时，电子便成为自由电子，原子则因失去电子而变成带正电的离子，这个过程叫做电离。当气体中有足够多的原子被电离后，这种气体已经不是原来的气体了，而转化成为新的物态——等离子态。等离子体的有序程度最差，电子可以脱离原子而完全自由运动，就像气体中分子的运动一样。

一般说来，组成等离子体的基本成份是电子、离子和申性原子。在一次电离的情况下，电子数和离子数是相等的，而在多次电离的情况下，电子数可以大于离子数，但就整体来说，等离子体在宏观上仍保持电中性。通常情况下，气体是不导电的；如果有0.1%的气体被电离，这种气体已具有了等离子体性质，它能导电；若有1%的气体被电离，这时等离子体便成了理想的导电体。等离子体在宏观上呈电中性，又是气体，所以气体实验定律对它也是适用的。等离子体在性质上与普通气体的重要区别在于等离子体的粒子除热运动外，还将受到电场、磁场的影响和支配。

在地球上，人们熟悉的是物质的固态、液态和气态，而对物质的等离子态比较陌生。这是因为地球表面温度较低，不具备产生等离子体的条件。但在某些特定条件下，甚至在我们的周围，就存在着等离子体。例如夜晚商店里、大厦顶上各种霓虹灯广告发出的鲜艳光彩，就是来自氖（Ne）或氩（Ar）的等离子体，这里的等离子体不是由高温产生的，这种等离子体并没有使原子的全部电子都变成自由电子，这种等离子体是不完全的。日光灯、高压汞灯中的等离子体也属于这一类。雷电、球形闪电和氢弹爆炸时都存在着等离子体。

现在已经知道，在宇宙中约有99.9%以上的物质处于等离子态。在恒星内部，电离由高温产生，例如太阳就是一个炽热的等离子体大火球，太阳内部温度高达2×107K，在这样的高温下，组成太阳的物质几乎全处于等离子态，所有原子都失去了它的全部电子。地球大气上层被太阳辐射形成的电离层，也是由等离子体组成的。太阳色球层大爆发时，会发射出强大的等离子体云，这是由质子和电子组成的等离子体流，当它到达地球时会干扰地球电离层，中断无线电短波通信。在遥远的星云和星际物质中，电离是由恒星发出的紫外辐射引起的。可见，等离子体是宇宙中物质存在的普遍形式。

等离子体的研究对于人们了解自然、利用自然为人类造福有着广阔的前景。

## 本章学习要求

1．知道气体的状态和状态参量。

2．理解气体压强的测量和计算。

\*3．学会研究一定质量的气体在体积不变时，压强跟温度关系的实验中的有关技能。学会根据实验数据描绘出*p*-*t*图象。

4．理解热力学温标。知道绝对零度。

5．理解查理定律。知道*p*-*T*图象。

6．理解盖·吕萨克定律。知道*V*-*T*图象。

7．理解玻意耳定律。知道*p*-*V*图象。

8．学会测出在等温条件下，一定质量气体的压强和相应的体积值，描绘出*p*-图象，验证玻意耳定律。

\*9．知道分子运动论的基本要点。

\*10．理解布朗运动。

\*11．知道分子的动能和分子势能。

\*12．知道物体的内能。

\*13．理解改变物体内能的两种方式。

## 复习题

1．选择题（以下各题都只有一个正确答案）

（1）一定质量气体的状态参量是指（ ）

（A）气体的质量、温度、体积和压强；

（B）气体的种类、温度、体积和压强；

（C）气体的温度、体积和压强；

（D）气体的温度和压强。

（2）图2-39中水平放置的玻璃管和几个竖直放置的U形管内都有一段水银，封闭着一定质量的气体，已知图（a）中的水银柱长度和图（b）、（c）、（d）中U形管两臂内水银柱高度差均为*h*，这几个管中气体压强最小的是（ ）

**图2-39**

（a）

（b）

（c）

（d）

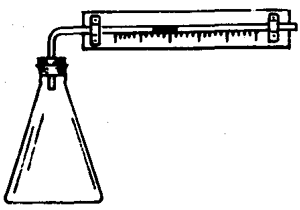
*h*

*h*

*h*

*h*

（A）图（a）； （B）图（b）； （C）图（c）； （D）图（d）。

（3）如图2-40所示，锥形瓶的瓶口紧塞着一个橡皮塞，中间插一直角玻璃管，玻璃管的水平部分有一段液体将瓶内的空气与外界隔开。当瓶内的空气温度有微小变化时，水平玻璃管内的液体位置也将发生变化。如果把标尺上的刻度经过校正转换为温度读数，就可以制成一个能测量微小温度变化的温度计。在温度变化时，瓶内一定质量的空气经历的过程是（ ）

（A）等体积过程； （B）等温过程；

（C）等压过程； （D）体积、温度、压强都发生变化的过程。

（4）你见过土法爆炒米花所用的设备吗？这是一个装有手把的铁制容器，生米倒入后将盖旋紧，然后一边加热一边转动容器，同时观察容器上压强计的示数变化。压强到达一定数值时，便可打开容器。就在打开容器的瞬间，米花爆成了。在加热过程中，容器中的空气（ ）

（A）密度和压强都增大 （B）密度不变，压强增大；

（C）密度减小，压强增大； （D）密度不变，压强减小。

（5）如图2-41所示，在做托里拆利实验测定大气压强时，由于操作不慎，在管内水银柱的上方漏入少量空气，这时管内水银柱高度为*h*。在保持温度不变的条件下，如果把玻璃管稍微向上提起一些（管口不离开槽内水银面），则管内水银柱的高度变为*h*ʹ，*h*ʹ与*h*的关系是（ ）

*h*

**图2-41**

（A）*h*ʹ＞*h*； （B）*h*ʹ＝*h*；

（C）*h*ʹ＜*h*； （D）以上答案均有可能，要视漏入空气的多少而定。

（6）如图2-42所示，A、B两点分别表示一定质量的气体的两个状态，在状态A和状态B时，气体体积*V*A和*V*B的大小关系是（ ）

*T*

*p*

0

A

B

**·**

**·**

**图2-42**

（A）*V*A＞*V*B； （B）*V*A＜*V*B； （C）*V*A＝*V*B； （D）无法比较。

（7）一定质量的气体，经历一个膨胀过程，这过程可以用*p*-*V*图象上的直线ABC来表示（图2-43）。在A、B、C三个状态时气体的温度分别为*T*A、*T*B和*T*C，它们之间的关系是（ ）

*V*（cm3）

*p*（×103Pa）

0

A

B

**·**

5

10

15

20

1

2

3

4

**·**

**·**

C

**图2-43**

（A）*T*A＞*T*B＞*T*C； （B）*T*A＝*T*B＝*T*C；

（C）*T*A＝*T*C＞*T*B； （D）*T*A＝*T*C＜*T*B。

（8）以下的无规则运动中属于布朗运动的是（ ）

（A）下雪天，雪花纷飞；

（B）一束阳光射入屋内，看到尘埃飞舞；

（C）汽车驰过，路上扬起尘土；

（D）用显微镜观察到悬浮在液体或气体中的固体微粒的运动。

\*（9）在下述实验事实中，表明分子之间存在相互作用力的是（ ）

（A）扩散现象； （B）液体很难被压缩；

（C）酒精与水混合后总体积减小； （D）布朗运动。

\*（10）将水倒入玻璃杯内，如果水租玻璃杯间没有发生热传递，这是因为它们具有（ ）

（A）相同的温度； （B）相同的内能；

（C）相同的热量； （D）相同的质量。

（11）0℃时1千克的冰和1千克的水气，它们的（ ）

（A）分子数相同，分子平均动能相同； （B）分子数相同，内能相同；

（C）分子数不同，分子平均动能相同； （D）分子数不同，内能相同。

2．如图2-44所示，一端封闭的玻璃管内盛有水银。当管口竖直向下放置时，管内水银柱断裂成长度分别为*h*1、*h*2的两段而保持平衡。设大气压强为*p*0，水银密度为*ρ*，试写出：

*h*1

*h*2

**图2-44**

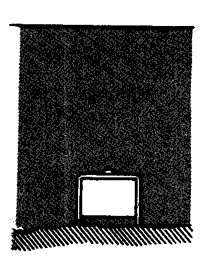
（1）管中两段水银柱间的气体压强*p*2的表达式；

（2）管中长度为*h*1的水银柱上方气体压强*p*1的表达式。

3．一个坚实的金属密封容器里有一定质量的空气，当温度为20℃时，用压强计测出容器内空气压强为1.0×105帕。现将这个容器放入某一待测炉温的炉灶中，从压强计读得容器内空气压强为3.6×105帕，求炉灶的温度。

4．潜水钟（一种沉放到水下，研究水底情况的装置，也可作为检修大桥桥墩及其他建筑设施的水下部分的潜水设备）高2米，开口端竖直向下沉到10米深的水底（图2-45），水进入钟内多深？（设温度保持不变，大气压强为1.0×105帕。）

**图2-45**



\*5．如图2-46所示，内径均匀、一端封闭的U形管内，有一定质量的空气，现将这个U形管竖直地浸没在温度为27℃的水中，达到平衡时，管内空气柱长度为40厘米，两管内水银面高度差*h*为16厘米。如果把烧杯中的水换成热水，平衡时，U形管封闭端内的水银面比原来下降2厘米，试求热水的温度。（设大气压强为1.0×105帕）

*h*

**图2-46**

\*6．如图2-47所示，水平放置的气缸内封有一定质量的气体，温度为27℃，右端与大气相连通，活塞与气缸壁间的摩擦不计。将活塞向左推动，使气缸内气体体积减小一半，温度变为177℃时，气缸内气体压强为多大？（设大气压强为1.0×105帕）

**图2-47**

7．两个大小相同的容器内盛有同种气体，用一水平细管相连，管中有一段水银把两个容器中的气体隔开（图2-48）。当左侧容器内气体温度保持在0℃，右侧容器内气体温度保持在20℃时，这段水银恰好停在水平细管的中央。当两容器内的气体温度同时升高10℃时，管中的水银将向哪边移动？为什么？

**图2-48**

20℃

0℃

1. ① 机械功和机械能将在第6章中学习。 [↑](#footnote-ref-1)