

高中物理教学参考讀物

分子物理学 和热学

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会編

上海教育出版社

高中物理教学参考读物

分子物理学和热学

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会編

上海教育出版社

一九六四年·上海

高中物理教学参考讀物
分子物理学和热学
上海市物理学会
中学物理教学研究委员会編

*

上海教育出版社出版
(上海永福路123号)
上海市书刊出版业营业许可证出090号

上海新华印刷厂印刷
新华书店上海发行所发行 各地新华书店

*

开本：787×1092 1/32 印张：4 13/16 字数：110,000
1953年5月新知誠出版社第1版第1次印刷(1-130,000本)
1959年5月新1版 1964年5月第9次印刷
印数：118,531—160,530本

統一书号：7150·509
定 价：(九)0.42元

前 言

本書是“高中物理教学参考讀物”的第七本，內容相当于高二物理教材的第四章至第九章。为了帮助教师掌握教材的系統性和科学內容，我們把它分为：分子运动論、热学基本知識、气体的性質、液体的性質和固体的性質等五章加以处理。在第一章分子运动論里，着重闡明了物質分子运动的基本概念和分子間的相互作用，并指出分子热运动的特征；在第二章热学基本知識里，着重指出由于物体内能的变化而形成冷和热的現象以明确热的本質；在第三章气体的性質里，主要是通过实验和应用分子运动論来闡明气体压强的形成以及压强、温度和体积之間的辯証关系；在第四章液体的性質里，主要說明了表面張力的形成和分子压强的概念；在第五章固体的性質里，着重闡明了应变和应力的概念和它們的关系，介紹了比較复杂的扭轉形变和弯曲形变并加以初步分析，以明确各种类型形变的特征。

本書依据編委会拟就的提綱，由朱章同志写成初稿，經賈冰如、楊逢挺两位同志提供了删改和补充的意見，最后由朱章同志作了全面的整理。虽然如此，因限于編者的业务水平和教学經驗，一定有不少缺点和錯誤，請讀者批評指正，以便在再版时修正和改进。

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会

1958年2月

目 录

第一章 分子运动論	1
1. 物质分子結構学說的发展簡史	1
2. 分子的运动	3
3. 分子間的空隙	7
4. 分子間的作用力	8
5. 分子的大小和数目、分子的质量	9
6. 分子的热运动	11
第二章 热学基本知識	13
1. 物体的內能	13
2. 內能的变化	14
3. 热量的量度和单位	15
4. 物体的热容和物質的比热	17
5. 比热的測定	20
6. 热功当量	22
7. 能的轉变和能量守恒定律	25
8. 固体的热膨胀	26
9. 液体的热膨胀	39
第三章 气体的性質	44
1. 气体分子的运动	44
2. 玻意耳-馬略特定律	53
3. 查理定律	62
4. 盖·呂薩克定律	68
5. 绝对温标、查理定律和盖·呂薩克定律的表示法	75
6. 理想气体定律用于真实气体时的偏差	77

7. 理想气体的气态方程	81
8. 气体在膨胀和被压缩时温度的变化	87
9. 气体在等压下所做的功	89
第四章 液体的性质	90
1. 液体分子间的作用	90
2. 液体的内压强(分子压强)	92
3. 液体的表面张力	95
4. 表面张力系数	97
5. 浸润和不浸润	100
6. 弯曲液面的内外压强差	103
7. 毛细现象	105
第五章 固体的性质	111
1. 晶体和非晶体	111
2. 晶体的空间点阵	114
3. 弹性和范性	117
4. 弹性形变	118
5. 弹力	120
6. 胡克定律	123
7. 扭转形变	127
8. 弯曲形变	130
9. 极限胁强、实用胁强和安全系数	132
10. 物体形变时的功能转变	135
11. 硬度	135
附录一 复习参考题	137
附录二 计算题和论证推导题	140

第一章 分子运动論

1. 物質分子結構學說的发展簡史 据記載和傳說，远在2500年前，古希腊时代就有物質是由某些元素所組成的假說，其中以物質的原子論最为深刻。約在紀元前四百年，古希腊的著名思想家列希浦和德莫吉利图等提出了物質原子結構的概念，認為一切物質都是由极小的微粒——“原子”构成的；各种不同物質具有各种不同的原子，这些原子在不断地运动着；环绕我們世界的所有物質都是由于原子的各种运动和各種結合而形成的。德莫吉利图并用实例來說明了他的學說。譬如他这样地解釋了花的香味：从花中飞出来的原子冲进人們的鼻孔里，于是引起了有香味的感覺。

此后經過許多年，由于在封建統治下一切科学长期停滯，物質构造的學說也就长期沒有得到发展，德莫吉利图的學說也就被人遺忘了。在中世紀时期，基督教获得大权后，教会就禁止傳播“世界一切是由原子构成的”这种唯物思想。

尽管这样，由于实验和自然科学的发展，物質原子論的學說，又重新被提出来。在十七、十八世紀虽出現了一些比原子論进一步的學說，但还是定性的分子运动論的假說。1658年，伽森第二以分子运动的观点，解釋了物質的气、液、固三态的区别；1678年胡克又以气体分子不断碰击器壁的結果，解釋了产生气体压强的由来；1738年物理学家伯努利从胡克的基本假說，算出了气体压强和体积成反比的玻意耳定律，并且根据推导結果指出，这个定律在必須考虑分子本身所佔体积的情形下是需要

加以修正的,这些結果預示了分子运动假說的优越性。此后,經過偉大的俄国科学家罗蒙諾索夫(1711—1765)的深入研究,用实验事实做基础,才把从前有关物質的結構假說变成科学的理論——分子运动論。

罗蒙諾索夫認為一切物体是由极小的微粒所組成,这些微粒都非常之小,不是视觉所能觉察的,这种微粒称为分子,这些分子就是在极少量的物质里它們的数目还是很多的;并認為“微粒”的运动和相互作用决定了物質的性質。他运用分子运动和它們之間的相互作用来解释物質状态的变化。

分子运动論經過了罗蒙諾索夫、拉瓦錫、道尔頓、阿伏加德罗等的先后創設和补充,最后奠定了物質分子原子結構的基本理論:(1)物质是由极小的微粒所組成,这些微粒叫做分子,分子是单独存在的最小的物质微粒;(2)分子还可利用化学方法分成更簡單的微粒,叫做原子。

罗蒙諾索夫还提出了原子和分子做永不停止的热运动的假說,他認為物体的热現象是由我們肉眼看不到的質点的运动所产生的。

十九世紀的六十年代,麦克斯韦、克勞修斯、玻耳茲曼等在前人的基础上,对物質分子作进一步的研究,对物質的某些現象或性質,例如压强、温度、热容量等同时还可以作定量的处理,其結果在很大程度上都得到实验的验证,这样就使分子运动論得到更进一步的发展。

随后,科学家用实验观测(如 α 质点对金属原子的散射实验)証实了分子和原子的真实性;由于爱因斯坦(在1905年)、斯莫路綽夫斯基(在1906年)和貝兰(在1908年)对布朗粒子运动在理論上和实验上进行研究的結果,也直接証实了分子热运动的真实性,因此分子运动論就成为无可置疑的正确理論。

2. 分子的运动 我們不能直接看見分子和分子的运动,但是可以通过实例和实验来証实其存在。显示出分子永远在不停的运动着的事例很多,如将装有氨气的瓶口打开,不久滿室都嗅到臭味;将藍墨水一滴滴入一杯清水中,不久全杯都呈現藍色;将金块和鉛块的平滑面紧压在一起,经过較長時間后,可发现金块表面有一层鉛分子,鉛块表面有一层金分子。这些分子的运动状态怎样?运动的速度与哪些条件有关呢?我們可以通过下例的几种实验来加以說明。

(1) 布朗运动。1827年英国科学家布朗用显微镜观察浮悬在液体中非常小的固体微粒,发现这些微粒在作永久不停的无規則无定向的运动;微粒愈小,运动愈激烈,这种运动叫做**布朗运动**。这种永不停止的运动,不依赖于任何外界的原因,而是物质內在运动的表现。

怎样会产生布朗运动呢?可以从分子运动論的观点得到解釋:不停的向各方向运动着的液体分子与悬浮在液体中的固体微粒相碰撞,它們就給这固体微粒一些动量。如果液体中的微粒体积較大(相对于分子的大小而言),則在任何瞬間与它碰撞的分子数目就較多,而且碰撞的分子来自不同的各方面,因此微粒所受到各方向的动量实际上是互相抵消,因而这物体在实际上能保持不动;如果微粒的体积十分微小,則在任一瞬間与它碰撞的分子数就比較少,可能某一方向的分子碰撞微粒的次数多于其他方向的分子,在这种情况下,动量不能互相抵消,因此顆粒就順着較大的动量方向运动,而产生布朗运动,也就是在显微镜下所看到的微粒的不規則运动。这种微粒运动的产生,是由于顆粒受到所在液体中的分子不規則的碰撞作用下所发生的运动,故布朗运动只能反映分子运动的结果。显微镜下所观察到的顆粒,并非分子,分子的直接运动是看不見的。布朗运动的图示

仅表示小颗粒运动的大概情况，并不是小颗粒运动的实际轨迹（图 1），因为颗粒的位置是每隔 30 秒记录一次，在这段时间里，小颗粒不断受到液体分子的碰击，实际途径一定有更多的曲折，所以图示不是代表分子运动的轨迹。

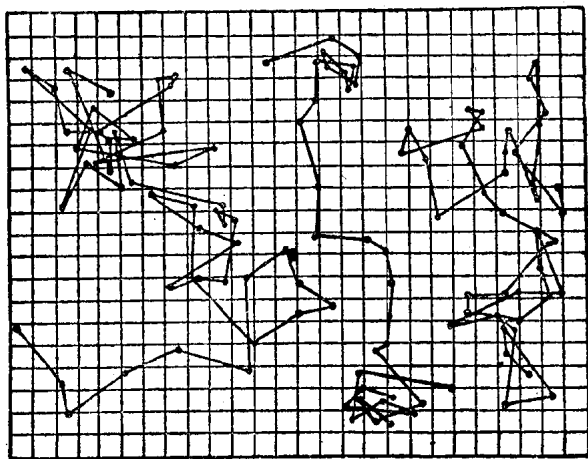


图 1

在不同的温度下，观察浮悬在液体中的颗粒运动状态是不同的，温度愈高，布朗运动愈激烈。这充分说明了分子运动的速度与温度有关。

浮悬于气体中的微粒，也同样可作布朗运动。如在空气中的微粒，象悬浮在空中的烟尘或雾滴也作不规则的运动。

（2）扩散现象。如果有一个装满褐色溴气的玻璃圆筒 A，上面口对口的放着一个充满空气的圆筒 B，并用一张厚纸把空气和溴气隔开，如图 2。如果把隔着的厚纸抽去，我们可以看到溴气渐渐渗入上面的容器 B 中，而与空气混合。由于溴气是褐色，所以容易看到这过程的进行，并看到在短短的时间内两个容器

里的气体都成了溴气和空气的均匀混合气体。这个实验指出，溴气的比重虽比空气大，在圆筒A内的溴气能渐渐跑到上面与圆筒B内的空气相混合，同时圆筒B内的空气也能下降与圆筒A内溴气相混合，所以这两种气体的混合并不能认为是由于重力等的外来的作用，而是分子本身运动的结果。这种不同物质在接触时，没有受到任何外力影响，而能彼此进入对方里去的现象叫做扩散。

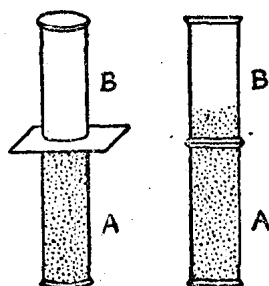


图 2

液体也有扩散现象，可以用下面的实验来观察。在玻璃圆筒里先装上一半的蓝色硫酸铜溶液，再小心地把清水倒在硫酸铜溶液的上面，然后把玻璃筒放在一个不受振动的地方，使它处在完全静止状态，因为硫酸铜溶液比水重，所以在开始时，两层液体间有着鲜明的界限，但经过一段较长时间后，靠近界面的水慢慢变蓝，靠近界面的溶液的颜色变浅了些，再经过较长的时间，全筒变成了同样颜色的混合液体。这实验显示出比较重的液体的分子会向上移动进入较轻的液体；比较轻的液体的分子会向下移动，进入较重的液体，这也有力地证实了分子运动的正确性。

不但气体和液体的分子有扩散现象，固体的分子也有扩散现象，不过固体的分子扩散现象的实验须要经过较长的时间才能显示出来。如果把研磨得很平滑的两块不同性质的金属板，在普通室温下，相互紧压在一起，几个月或几年后，假使在两块金属板的接触面上各刮下一层，加以化验，都可以发现有两种金属成分，也就是在接触处已形成合金。在普通室温下，金属是不能熔解的，这种合金是由于两种金属的分子本身运动的结果而形成。

成的，也就是說由于两种金属分子扩散的結果。所以固体分子的扩散，只是在快慢程度上不同于气体或液体而已。

自然界里有关扩散現象的实例是很多的，例如从土壤孔隙里、工厂烟囱里和火山的噴口里放出的二氧化碳，不仅出现在放出它的地方，而且会扩散到大气中。扩散現象在自然界起了很大的作用，它使整个地球表面附近的大气保持相同的成分；由于土壤里不断进行各种盐溶液的扩散，因此帮助了植物获得正常的营养。

从实验还知道，在其他条件不变的情况下，物体的温度愈高，扩散进行得愈快。这说明在温度升高时，分子无規則运动的速度增大，因此扩散就进行得愈快。

通过以上布朗运动和扩散現象的实验和研究，我們可以肯定，任何物質的分子不論在什么状态下，都在做永不停止的无規則运动；实验和理論都証明，这种分子运动的速度与物質的温度有关，都随温度的升高而增大，因此可以导出关于物質結構的一个結論：一切物体都是由永不停止的作无規則运动的分子所組成。

物体中的分子都在作无規則的运动，因此分子的速度就不可能有一定的規律。那么怎样来考虑分子运动的速度呢？無論对气体、液体或固体，分子运动的一般性質都是一样的，运动都是无秩序的，因此分子的速度在各方向就很不一致，而是很杂乱的。由于分子互相碰撞，它們的速度無論方向和大小都在不断变化，故在任一时刻，物体具有速度大的分子，也具有速度小的分子。因为分子互相碰撞的关系，所以速度很大的和速度很小的分子的个数和其他分子个数相比是很少的，因此大多数的分子的速度和某一平均速度相差很小，所以講分子运动的速度时均指它們的平均速度而言。

· 分子的平均速度是很大的，而且和物体的温度以及分子的种类有关，质量比較小的，运动速度就比較大，例如在一般室温时氫分子的平均速度約为 2000 米/秒，而汞的分子平均速度約为 200 米/秒。

· 分子的平均速度既是这样的大，但是我們感覺到的气体和液体的扩散总是相当慢的，这是什么原因呢？这是因为运动着的分子是經常和别的分子碰撞而改变它們的速度的大小和方向，虽然分子是以高速运动着，但是他們通过沒有相互碰撞的路程是很短的，因此它們在一定方向所前进的速度就相当慢了，所以分子的相互碰撞是扩散現象变慢的主要原因。

3. 分子間的空隙 由布朗运动和扩散現象，还可以知道分子之間是存在空隙的。事实上如果物体的分子是相互紧貼在一起，它們就不会有作任何直綫运动的自由，就是說它們只能旋轉而不能从一个地方移动到另一地方，因此就不可能有布朗运动，也不可能有扩散現象。我們还可以用許多实验和实例來說明这个問題。例如溴的气体可以扩散到整个屋子里，这現象說明气体的分子可以跟相邻的分子离得很远，同时这种气体是在空气中扩散的，这說明了空气的分子跟分子間也有空隙存在。

一切物体当它們所受到的压强增大时，体积就要縮小，压强减小时，体积增大；气体的体积变化最大，液体和固体的体积的变化是很小的。一般物体都有热脹冷縮的性質，冷却时物体的体积縮小，加热时体积膨脹，这些現象都是由于分子間空隙的扩大和縮小而形成的。

如果我們使两种液体混合（如酒精和水），由实验得知，混合液体的体积比两种液体混合前的总体积为小，这是由于混合的結果分子的位置有了变动，一部分自由空間被分子佔据，混合液体的分子之間的空隙减小了，所以总的体积也就縮小了。

通过上面的实例，可以证实組成物质的微粒“分子”并不是紧密地挤在一起，而它們彼此之間有一定的距离。

4. 分子間的作用力 从上节中我們已經知道分子之間是有空隙存在的，但是为什么把固体分开要用很大的力呢？分开后为什么又不容易把它們接合在一起呢？这說明了分子間有相互作用力的存在。

分子之間的作用力与分子之間的距离有很大的关系，它們究竟有什么关系呢？我們可以从下面的实验來說明它。假使我們要把固体截成两段，常要用很大的外力，如果想使截断的地方再接合，往往在常压下不能办到。这是因为固体内的分子靠得很近，距离短，吸引力大，要折断它們时必须要用很大的力来克服这种引力；折断后虽然再使断面相接触，但断面上的分子能接触的很少，分子之間的相对距离大，吸引力作用很弱，不能使两个断面重行接合。但是如果把一块純淨的鉛切成两块，假使是新切的，而且切得很平滑，用力压紧以后，它們就能够連在一起不离开。实际上分子間的距离如果超过 10^{-7} 厘米，分子間几乎沒有相互作用力。对于大量分子中的每个分子而論，以这个分子为中心， 10^{-7} 厘米为半徑作一球面，只有在球面内的分子对于它才有作用力，这个球形范围叫做分子力的作用球，球的半徑称为分子力的作用半徑。

因为固体或液体的分子与分子間很靠近，而气体的分子間相距得远，所以固体或液体分子間的作用力就比气体間的作用力大得多。从日常生活中我們可以观察到固体或液体的分子間是互相吸引的，但事实上固体或液体是难压縮的。如果有一个瓶，当水装满到瓶口的边缘时，就不能再把瓶塞塞紧。当压縮液体或固体时，必須用极大的压力，这說明分子之間的作用力，既存在着相互的吸引力还存在着相互推斥的力。而这些分子的

作用力，在本質上和萬有引力以及庫倫定律所指出的電荷間相互作用力是不同的。它的本質部分是屬電性的，但並不遵循和距離的平方成反比的規律，它和距離變化的關係，大致如圖 3 所示。當分子間的距離小於 10^{-8} 厘米時，分子力（也

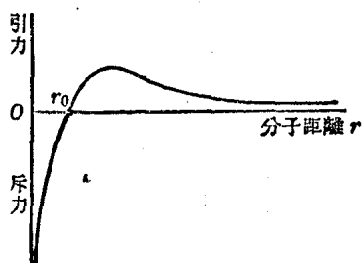


圖 3

就是吸引力和推斥力的合力)表現為推斥力；當距離介於 10^{-8} 厘米—— 10^{-7} 厘米之間時，則分子力表現為吸引力，距離超過 10^{-7} 厘米時，則不能顯著地表現出分子的作用；當分子間的距離比較大時，分子間相互作用的是很小的吸引力；距離減小時，此種吸引力首先逐漸增大，再逐漸減小；當距離等於 $r_0 = 10^{-8}$ 厘米時，此力已減少到零，距離再縮小，則分子間的作用力為相當大的推斥力。

不僅同類分子間有相互吸引的作用，就是異種分子靠得很近，距離小於分子力的作用球半徑時，也能產生相互的吸引力。例如，將玻璃棒插入水中而抽出，則棒上就附有水層，這種吸引力稱為附着力。我們把同類分子間的相互吸引力叫做內聚力。

5. 分子的大小和數目、分子的質量 我們已經知道一切物體都是由許多永遠不停的作無規則運動的微粒“分子”所組成，但是這些微粒又不是我們的目力所能看到，即使我們用顯微鏡來觀察，也不能看到單個的分子，就是極其小的顆粒中，也含有數目很大的分子。經過科學家們長期的辛勤勞動，通過實驗和理論的證明，現在我們能夠算出 1 克分子中所含的分子數，並且可以算出分子的大小和它的質量。

我們從化學中已經知道了克分子的定義：物質的一定的量，

用克做单位来表示,在数目上跟它的分子量相同,这一定的量叫做克分子。科学家对1克分子的物质中究竟含有多少个分子,曾经做了不少实验。有的从布朗运动,有的从电解和其他实验而获得的结果是一致的:一克分子的任何物质都含有同数的分子数,也就是 6.023×10^{23} 个分子,这个数目叫做阿伏加德罗常数。

阿伏加德罗常数是巨大的,为了体会它的巨大,我们可以从下面的例子中来加以研究。

我们可以从计算中求得 1 [厘米]^3 的任何气体在标准状态下所含有的分子数。

在标准状态下一克分子气体所占的体积是 22.4 升,即 22400 [厘米]³。

$$\therefore N = \frac{6.023 \times 10^{23}}{22400} = 2.7 \times 10^{19} \text{ 个。}$$

因此可以了解 1 [厘米]^3 的任何气体在标准状态下就含有 2.7×10^{19} 个分子。也可以举这样一个例子来加以说明。如取 1 克食盐放入容量是 100 亿立方米的水库中,等食盐分子完全均匀地分布在水库中以后,我们从中取出 1 [厘米]^3 的盐水来计算水中含有多少个食盐分子。

食盐的克分子量 = $23 + 35.46 = 58.46$ (克),

1 克质量的食盐中所含的分子数 = $\frac{6.023 \times 10^{23}}{58.46}$ 个,

100 亿立方米 = 10^{10} 立方米 = 10^{16} 立方厘米,

$\therefore$ 1 立方厘米的盐水中所含有的食盐的分子数

$$= \frac{6.023 \times 10^{23}}{58.46 \times 10^{16}} = 1.03 \times 10^6 \text{ 个。}$$

由此可知,在 1 立方厘米的盐水中所含有的食盐分子还在百万以上。

一个克分子物质里含有这么多的分子，这表示分子本身的体积极其微小，因此我們可以用好多方法来测定分子的体积和直径的約数。根据理論可以計算出氫分子的直径約为 2.3×10^{-8} 厘米，氧約为 2.9×10^{-8} 厘米，氮約为 3.1×10^{-8} 厘米，水的分子直径为 2.6×10^{-8} 厘米等，由此可知每个分子的体积是极小的。

知道了物质的克分子量，就可求該物质分子的质量。例如，求一个氧分子的质量。

$$m_{O_2} = \frac{32}{6.023 \times 10^{23}} = 5.31 \times 10^{-23} (\text{克})。$$

根据上面研究的結果，充分說明分子是一种极其微小的微粒。就是用放大率最强的显微鏡来观察，我們也只能看到百万以上的分子集团，单个的分子是看不到的。

現在苏联发明了电子显微鏡，用它可以摄取比較大的分子的照片。例如直径为 4.3×10^{-7} 厘米的蛋白質分子的照片，已經能够拍摄。

6. 分子的热运动 我們从实验已經知道，随着温度的升高，布朗运动也随着加剧，扩散現象也因温度上升而加快，这表示分子的无規則运动跟温度有关，也就是跟物体冷热程度有关系，温度愈高，分子的平均速度就愈大；温度降低，分子的平均速度就减小。但是必須明确，只有分子无規則运动的平均速度才跟温度有关系。假如取一充滿空气的瓶子，用塞子把瓶口塞住，再放进一个溫度計，然后很快搖动这瓶，这样就給瓶內每个分子得到一个附加速度，但是从观察溫度計的結果知道，温度並沒有升高。这說明瓶中分子无規則运动的速度並沒有改变，同瓶子一起运动的气体分子对于温度是沒有影响的。因此我們把气体、液体和固体里分子无規則运动称为分子的热运动。

由于分子間空隙不等和分子的引力不同，所以在气体、液体