

广州市中学

物 理

教学参考资料

(高中一年级下册)

第八章 气体的性质 分子运动论

一、教学目的要求

1. 掌握玻意耳—马略特定律、查理定律、盖·吕萨克定律，明确各个定律的适用范围，能够应用来解题。

2. 了解绝对温标的意义，掌握绝对温标和摄氏温标的关系。

3. 掌握气体状态方程，明确其适用条件，能熟练地运用来计算有关的问题。

4. 掌握分子运动论的基本知识。了解气体分子运动论的初步知识，并能够运用来解释三个气体定律。

5. 通过有关气体定律的实验，培养学生实验技能和观察、分析、归纳问题的能力。学会使用气压计测定大气压。

二、教材说明

1. 本章可分为两个单元：

第一单元 气体定律和气体状态方程。

第二单元 分子运动论的基本知识。

玻意耳—马略特定律、查理定律、盖·吕萨克定律以及气体状态方程，是反映气体性质的规律，都是本章的重点。绝对温标是常用的温标之一，在气体状态方程中要应用到，也是本章的重点。分子运动论的基本知识，是研究分子运动的一些基本规律，使学生初步接触一些微观运动的知识，从而认识气体宏观运动规律的本质。

在查理定律的教学中，学生对公式 $P_t - P_0 = \gamma P_0 t$ 的引

出，理解会比较困难，故查理定律是教学的难点。气体状态方程 $PV = \frac{M}{\mu}RT$ 的推导和应用，学生比较难掌握，也是本章的难点。

2. 本章讨论的内容，主要是只适用于气体的定律，并以一定质量的气体为研究对象。教材首先通过例子，指出对一定质量的气体来说，压强、体积和温度是描述气体状态的三个物理量。气体状态有没有改变，决定于这三个量有没有改变，接着按不同的条件，研究一定质量的气体这几个量的关系。

3. 教材从实验出发，首先研究一定质量的气体，当压强、体积和温度三个量中，有一个量不变时，其它两个量发生变化的规律，根据实验的结果，分别总结出玻意耳—马略特定律、查理定律和盖·吕萨克定律。

4. 在讲完气体定律之后，教材接着指出：这些定律都只是近似地反映了气体的真实情况。在通常的温度和压强下，许多实际气体，例如氢、氧等，他们的性质很接近于理想气体，气体定律可以适用；但在高温高压下，定律与实际情况有很大的偏差。从而明确三个气体定律的适用范围及其近似性，不要把定律绝对化起来。

5. 教材引入绝对温标，简化了查理定律和盖·吕萨克定律的表示式，在气体状态方程中，也要应用到。教学中要让学生明确为什么要引入绝对温标，掌握绝对温标和摄氏温标的关系。

6. 实际上决定气体状态的三个物理量——压强、体积、温度，往往是同时发生变化的。教材在玻意耳—马略特定律和查理定律的基础上，推导出气体状态方程：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ 或 } PV = \frac{M}{\mu} RT.$$

要求：①了解推导的方法和过程。②明确两种表达式的物理意义，能熟练应用它们计算有关的问题。③掌握普适气体恒量的意义和数值。④明确由于气体定律适用于理想气体，因此，在气体定律的基础上推导出的气体状态方程，严格地说也只适用于理想气体，故也叫做理想气体状态方程。

7. 教材介绍了分子运动论的基本知识和气体分子运动论的初步知识，讲述了气体的压强、温度和平均动能的意义，介绍这些知识一方面用来说明气体定律，以加深对三个气体定律的理解，同时又可以使学生初步接触一些微观运动的知识，了解宏观现象与微观运动的联系。另方面也为下一章讲述内能的概念作准备。

8. 为了帮助学生掌握玻意耳—马略特定律和气体状态方程，教材安排了验证上述定律的学生实验，教学中要严格要求，以培养学生的实验技能和观察、分析、归纳问题的能力。

三、教学建议

1. 课时安排：共15课时。

- | | |
|------------------|-------|
| 一、气体的等温变化 | 2 课时， |
| 二、实验：验证玻意耳—马略特定律 | 1 课时， |
| 三、气体的等容变化 | 2 课时， |
| 四、气体的等压变化 | 1 课时， |
| 五、理想气体 绝对温标 | 1 课时， |
| 六、气体状态方程 | 3 课时， |
| 七、实验：验证气态方程 | 1 课时， |
| 八、分子运动论的基本知识 | 2 课时， |

九、气体分子运动论的初步知识

1 课时，

复习课

1 课时。

2. 为了帮助学生了解研究气体性质的方法，在讲述本章时，首先要说明，压强、体积和温度是描述气体状态的三个物理量，并且都是以一定质量的气体为研究的对象。为便于研究，我们采用先控制压强、体积、温度三个量中的一个量不变，来研究其余两个量发生变化所遵循的规律。然后再研究三个量同时变化时所遵循的规律。

3. 玻意耳—马略特定律、查理定律和盖·吕萨克定律都是由实验得出的，因此教学中必须做好各个演示实验。

玻意耳—马略特定律的演示 做课本图 8—1 的演示前，应当先把管口 a 拔出，涂上凡士林以后再插入 A 管上端的管道中，以免实验时管口漏气。A 管、B 管跟橡皮管的连接处都要用细绳绑紧，以免实验的时候橡皮管脱落导致水银漏出。闭管内的空气最好经过干燥，以使实验效果更好。在演示过程中，向上或向下移动 B 管都应该很慢，以便封闭在 A 管中的空气有足够的时间跟周围的空气进行热交换，从而保持变化过程中是等温的。

分析这个演示需要利用初中学过的压强计的原理，为此，复习有关压强计的知识是必要的。

查理定律的演示 课本图 8—5 所示的演示装置，烧瓶的瓶颈和玻璃管露在空气中，这部分的气体温度就会受到室温的影响，而使误差增大。参照图 8.1 所示的装置，把盛有气体的烧瓶，全部浸没在截去底部的大型玻璃瓶的水中，可以避免这个缺点。

在演示过程中，步骤要清晰，才能帮助学生根据实验的结果去导出查理定律。首先是改变烧瓶里气体的温度（通过

改变大玻璃瓶中水的温度来实现)，观察在体积不变的情况下，压强变化和温度变化的关系。引导学生总结出：压强的增加与温度的升高成正比。

然后，改变烧瓶中气体在 0°C 时的压强。（这时需要把烧瓶重新放入盛着冰水混合物的大玻璃瓶里，上下移动压强计的开管，使左边的水银面到达所需的位置，记下压强 P_0 。）仍照前面温度的变化进行实验，通过实验的记录明确地向学生

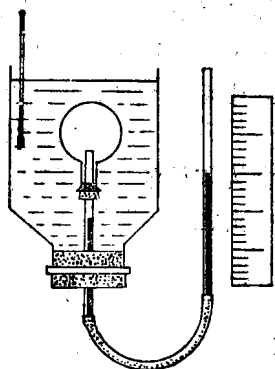


图8.1

指出：虽然温度的改变相同，但所增加的压强，却跟前面的不同了。 0°C 时的压强越大，所增加的压强也越大。这样根据每次实验中 0°C 时的压强和升高同样温度后压强的增加，引导学生总结出：压强的增加跟 0°C 时的压强成正比。从而归纳出查理定律。

盖·吕萨克定律的演示 装置仪器时，应先把空瓶放入冰水混合物中，再把水平玻璃管插入瓶塞孔内。演示过程也应象查理定律的演示一样，步骤清晰。改变气体温度时要缓慢进行，以避免玻璃管内短水银柱落入瓶内或从管口流出。

为了防止短水银柱从管口流出，还可根据烧瓶的容积 V ，演示中气体温度变化的范围 t ，玻璃管的半径 r 应用公式 $\beta V t = \pi r^2 l$ ，确定玻璃管的长度 l 。式中 β 是气体的体胀系数。

改变不同容积的烧瓶再做实验时，也应按上述的方法和步骤进行。

4. 在查理定律中, 公式 $P_t - P_0 = \gamma P_0 t$ 的引出, 以及压强系数 γ 的意义, 学生都较难理解。教学中应从实验的结果, 说明从 $P_t - P_0 \propto t$ 和 $P_t - P_0 \propto P_0$, 可以得到 $P_t - P_0 \propto P_0 t$, 引入比例常数 γ , 就可以写成式子

$$P_t - P_0 = \gamma P_0 t. \quad (1)$$

γ 称为气体的压强系数。

由(1)式得

$$\gamma = \frac{P_t - P_0}{P_0 t}. \quad (2)$$

它表示了一定质量的气体, 在体积不变的情况下, 由于温度升高 1°C 所引起的压强的增大, 跟它在 0°C 时压强的比, 是一个恒量, 这个恒量由法国科学家查理通过实验测定, 数值等于 $\frac{1}{273}$ 。并且对所有的气体, 当体积不变时, 其压强系数 γ 都近似地相等。由此, (1)式可写为

$$P_t - P_0 = \frac{1}{273} P_0 t.$$

它直接表达了查理定律的内容。

讲清了公式 $P_t - P_0 = \gamma P_0 t$ 的导出和压强系数 γ 的意义, 也为下一节讲述盖·吕萨克定律打下基础。采用类似的方法, 导出公式 $V_t - V_0 = \beta V_0 t$, 分析体胀系数 β 的意义, 学生会比较容易理解。

5. 应用公式 $P_t = P_0(1 + \gamma t)$, 计算气体在任一温度 $t^\circ\text{C}$ 时的压强, 应向学生强调指出, 式中 P_0 是 0°C 时一定质量气体的压强。不能用任意初温 $t_1^\circ\text{C}$ 时的压强 P_1 来代替, 本节的例题, 就是要使学生通过具体的例子, 掌握从已知 P_1 计算 P_2 的步骤。

应用公式 $V_t = V_0(1 + \beta t)$ 时，也应向学生说明，式中 V_0 与查理定律中的 P_0 相类似，必须选用 0°C 时气体的体积。

6. 讲述绝对温标和摄氏温标的关系时，应该明确：
 ①绝对温标的每一度，保持摄氏温标每一度的大小不变。即在绝对温标上相差1度时，摄氏温标也相差1度。
 ②绝对温标的零点移至水的冰点下 273°C ，也就是绝对温标的零度(绝对零度)是摄氏 -273°C 。教学中可采用图 8.2 来表示。从而建立两种温标的关系

$$T = t + 273, \quad \text{或}$$

$$t = T - 273。$$

应用绝对温标，不仅把查理定律和盖·吕萨克定律的公式简化了，在计算有关问题时，也减少了先求 0°C 的压强 P_0 和体积 V_0 的步骤，教学中应结合这两点，使学生领会采用绝对温标的科学性。

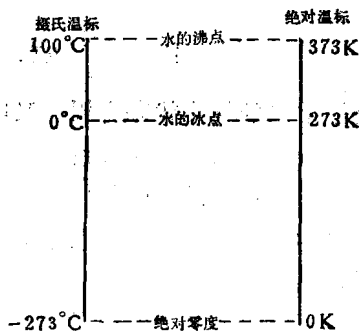


图 8.2

7. 推导气体状态方程是分两个步骤进行的。

第一步 导出 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}。$ (1)

在这里设想一定质量的气体由始态 (p_1, v_1, T_1) 到终态 (p_2, v_2, T_2) 是分两个阶段进行的。为使推导过程清晰，教学中按照课本列表分析是有好处的。教材从玻意耳—马略特定律和查理定律进行推导。其实采用三个气体定律中任意两个都可以导出。这一点教学中应该说明，并可作为练习，

要求学生自己用其它两个气体定律去推导。

第二步 由(1)式推出 $PV = \frac{M}{\mu}RT$

$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ 是气态方程的一种形式。它表明一定质量的气体的压强和体积的乘积被它的绝对温度来除，所得的商，在状态变化中恒定不变。

当研究 M 克的某种气体时（设该气体每摩尔的质量为 μ 克），采用课本的方法推导，可得气体状态方程的另一表示式

$$PV = \frac{M}{\mu}RT. \quad (2)$$

这是最常用的气体状态方程，又叫做克拉珀龙方程。

在导出方程后，应该说明它的意义：

(1) 方程(2)表明任何状态的气体的压强、体积、温度和质量的_{关系}，如果知道其中的任何三个量，可以求出第四个量。

(2) 它说明某一定质量的气体，在状态变化过程中，每一阶段的压强、体积和温度的关系都符合 $\frac{PV}{T} = \frac{M}{\mu}R$ 。气体的质量一定，则 $\frac{M}{\mu}R$ 的值不因状态的变化而变化，因此任何两个状态都符合关系式 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ ，说明(1)式和(2)式的一致性。

8. 因为普适气体恒量 R 的数值随所选用的单位而不同，因此，运用 $PV = \frac{M}{\mu}RT$ 进行计算时，要注意各个量的单位应该统一。

9. 在讲授了气态方程后，对前面所学过的内容要做一

次小结，明确如下几个问题：

(1) 气体定律和气态方程对理想气体才是准确的。实际气体只有当压强不太大（跟大气压相比），和温度不太低（跟室温相比）时，才能近似地适用。在这个基础上，使学生明确对待任何物理定律，都应该注意它的适用范围。

(2) 我们研究气体定律和气态方程时，都是以一定质量的气体为研究对象，所以上述这些定律都是对一定质量而言的。

(3) 气态方程与三个气体定律的关系。气态方程 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ 是表示气体状态变化时， P 、 V 、 T 三个量之间的变化关系，如果其中有一个量不变，其余两个量之间的变化关系，也可由它导出：

①当温度不变时， $T_1 = T_2$ ，则 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ （玻意耳—马略特定律）；

②当体积不变时， $V_1 = V_2$ ，则 $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ （查理定律）；

③当压强不变时， $P_1 = P_2$ ，则 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ （盖·吕萨克定律）。

这样，可使学生知道三个气体定律是气态方程的特殊情况，既掌握知识的内在联系，又再次明确三个气体定律各自的适用条件。

10. 布朗运动是说明分子永远做无规则运动的重要实验依据，观察和分析这个实验，可以使学生深入掌握知识，学习分析问题的方法。因此，教学中要把布朗运动实验做好，让学生都能清晰地观察到。为做好演示，显微镜的放大倍数至少要在 600 倍以上，悬浊液不宜过浓。为了保持悬浊液不

致由于蒸发而变浓，可以用蜡把“盖玻璃”的四周密封。这样，还可以用来作比较长时间的观察，证明布朗运动是永远不停止的。如果有显微幻灯机，可以把作布朗运动的微粒的象投射到屏上，使全班学生都能同时观察到。

此外，还必须分析清楚观察到的现象，让学生明确怎样由实验结果说明分子永远做无规则的运动，防止把布朗微粒误认为就是分子。

11. 在介绍了气体分子运动论的初步知识之后，可用气体分子运动论的观点，说明理想气体定律用于实际气体时产生偏差的原因（见附录3）。

四、附录

1. 练习答案

一、气体的等温变化

- (1) 200升。 (2) 1000毫米高水银柱。
(3) $0.0066 \text{克}/(\text{厘米})^3$ 。 (4) $0.0093 \text{克}/(\text{厘米})^3$ ，
232克。 (5) 72厘米高水银柱。 (6) 6.74厘米。

三、气体的等容变化

- (1) 776.9毫米高水银柱。 (2) $85.17 \text{公斤}/(\text{厘米})^2$ 。

四、气体的等压变化

- (1) 10.52升。 (2) 温度降低了 75.75°C 。

五、理想气体 绝对温标

- (1) 0.79大气压。

六、气体状态方程

- (1) 5.1升。 (2) 1257个大气压。
(3) $0.027 \text{克}/(\text{厘米})^3$ 。 (4) 147.6个大气压。
(5) 15.6公斤。 (6) $0.000089 \text{克}/(\text{厘米})^3$ 。

2. 用大型注射器作气体性质的演示实验（参阅物理通报1965年第10期“关于‘气体性质’演示实验的改进和一些体会”一文）。

(1) 演示玻意耳—马略特定律

演示玻意耳—马略特定律的实验装置如图 8.3 所示，注射器固定在铁支架上，针筒口用一般较短的橡皮管跟金属压强计连接起来。金属压强计刻度读数从 0 到 4 个大气压，一般学校都有这样的金属压强计，它的刻度大而且清楚。如果没有这样的金属压强计，也可以用 U 形开口水银压强计，不过这时还必须另外用气压计测定大气压。

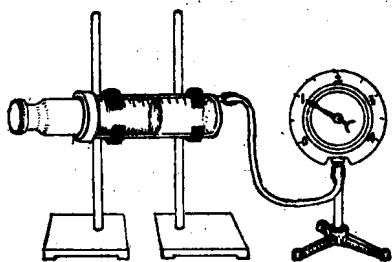


图 8.3

为了看清活塞下方的密闭气体体积，在注射器外表面画上较粗的刻度线，全筒可分为十个相等的等分，如果以一段气柱长的体积来作气体体积的单位，则气柱的段数就等于它的体积的数值。

2. 演示查理定律

查理定律说明等容过程中一定质量气体的压强跟温度的关系。因此，实验时需要保持气体的体积不变，改变密闭气体的温度，测量不同温度下气体的压强。

实验装置如图8.4所示。为了改变密闭气体的温度，把注射器浸入盛水的大烧杯里或其他大玻璃容器里，针筒口朝下，套橡皮管接到压强计上。改变水温的方法，可以加热烧杯里的水，或者调配冷水和热水。用水银温度计测出水的温度，就可看作密闭气体的温度。

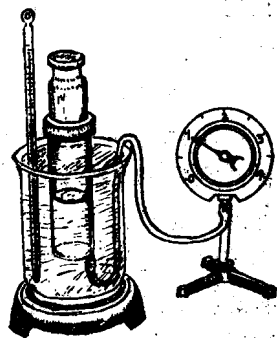


图8.4

实验从 0°C 开始，逐渐升高温度，测出每次相隔 10°C — 20°C 的“压强—温度”的相应关系，从实验数据可得出 $\Delta P \propto t$ 。

保持原先实验时的体积，但是改变 0°C 时的压强（气体质量与前不同了），仍升高相同的温度（譬如 10°C — 20°C ），所增加的压强与前不同了。 0°C 时的压强越大，所增加的压强也越大。比较测量结果，可以得出 $\Delta P \propto P_0$ 。

从上面的结果，可以得出 $\Delta P = \gamma P_0 t$ 。

(3) 演示盖·吕萨克定律

盖·吕萨克定律说明等压过程中一定质量气体的体积和温度的关系，为了比较灵敏地把气压控制在某一固定值上，针筒口用橡皮管连接U形开口压强计，如图8.5所示，改变

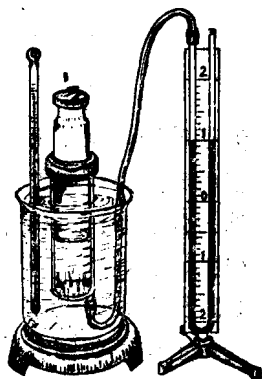


图8.5

温度和测量温度及体积的办法如前。

实验也从 0°C 开始，测出“体积—温度”的相应关系，从而得出 $\Delta V \propto t$ 。

然后类似查理定律实验那样，演示 $\Delta V \propto V_0$ ，最后总结的结果，得出 $\Delta V = \beta V_0 t$ 。

(4) 演示气态方程

实验装置跟查理定律的实验装置相同。

实验先经等温过程，再经等容过程，从而导出气态方程。实验时，在室温下测出压强 P_1 、体积 V_1 和温度 T_1 ，不改变温度而压下活塞，任意改变一下筒内气体的体积，测定这时的压强 P_2 和体积 V_2 ，并运用玻意耳—马略特定律算出这时的压强 $P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$ ，将算出的值跟实验结果比较，它们应该相等。

然后把注射器放入盛热水的玻璃容器里，升高温度，但维持体积 V_2 不变，测出压强 P_2 和温度 T_2 ，并运用查理定律算出这时压强 $P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$ ，将算得的值跟实验结果比较，它们应该相等。

合并以上两式，即可推出气态方程 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ 。

如果把相应的实验数据代入公式计算，即可验证公式的正确性。

综上所述，我们可以看到，利用注射器作气体性质的演示实验，不仅实验装置比较简单，可见度较大，而且能做到一物多用，既能够演示三个气体定律，还能演示气态方程，有利于更好地领会这些知识之间的内在联系。

3. 实际气体为什么只在通常情况下近似地遵循气体定律

理想气体是严格遵从气体定律的，实际气体只是在通常

情况下近似地遵从气体定律，在低温、高压下跟定律的偏差很大，这是因为：

(1) 分子间存在相互作用力 理想气体被设想为分子间没有作用力。实际气体在通常情况下，分子间的距离很大，引力很小，可以忽略，所以很近似于理想气体。但在压强很大，或温度很低的时候，气体的体积缩小了很多，分子间的距离变得很近，因而分子间的引力增大到不能忽略的程度。由于分子间存在着相当大的引力，这时实际气体的变化就不符合理想气体的变化情况，所以实际气体与气体定律就有很大的偏差。

(2) 分子本身有一定的体积 理想气体被设想为分子本身没有体积，所谓理想气体的体积，是指分子之间的空间，是可以缩小到零的。但是实际气体的每个分子都有一定的体积。气体的体积是指分子本身的体积和分子跟分子之间空间的总和。当压强增大或温度降低的时候，分子本身的体积并不能缩小，能够缩小的仅仅是分子之间的那一部分空间。在标准状况下，1摩尔的气体分子本身的体积只是气体所占体积的万分之一，可以忽略不计，所以在通常情况下，实际气体很近似于理想气体。但是在压强很大或温度很低的情况下，气体分子之间的空间缩小了很多，分子本身的体积在气体的体积中所占的比例已经相当大，不能忽略了，如果仍然认为气体的全部体积都能够压缩，得出的结果必然跟实际情况有很大的偏差。

4. 气体分子的速率分布

布朗运动说明分子的运动是无规则的，它的速度的大小和方向都不停地在变化。但理论和实验观察都证明大量气体分子无规则的运动都表现出一定的规律性来。这里我们研究

的是气体分子速率的分布问题。所谓分布的意义是这样的：我们把速率分成若干个间隔，例如100米/秒以下的为一个间隔；100米/秒到200米/秒为一个间隔；200米/秒到300米/秒又为一个间隔；……。研究分子的速率属于第一个间隔的所占的百分比是多少？属于第二、第三个间隔的百分比又是多少？气体分子速率的这种分布也叫做速率的统计分布。

1859年，麦克斯韦从理论上解决了气体分子速率的分布问题。下表是根据理论算出的在 0°C 时空气分子的速率分布情况。

在 0°C 时空气分子的速率分布情况如下表所示：

速率间隔(单位：米/秒)	占总分子数的百分比
100以下	1.4
100~200	8.1
200~300	16.7
300~400	21.5
400~500	20.5
500~600	15.1
600~700	9.2
700以上	7.7

从上表可以看出，气体分子按速率分布是两头小，中间大，即速率很小的和速率很大的分子所占的百分比都很小，具有中间值的速率的分子，所占的百分比却很大。在 0°C 的空气中，速率在300米/秒到400米/秒之间的分子数最多。它反映了气体分子运动的规律性。个别分子的运动是无规则

的，但就大量分子整体来看，他们的速率分布情况都遵从一定的统计规律。

理论计算和实验观察都指出，当温度升高时，气体分子的速率普遍增大，速率较大的分子所占的比例增多，但就总的速率分布情况来说，速率分布的比例还是两头小，中间大。

5. 理想气体的压强公式和温度公式

容器中大量气体分子对器壁不断碰撞的结果，对器壁产生了压强。下面从数量上来计算这个压强的大小。

设想一个边长为 Δl 的立方体容器(图8.6)，有 n 个分子在其中不规则地运动着，每个分子运动是没有一定规律的，但大量分子的运动统计起来，沿各个方向运动的机会是均等的，因此，可以认为沿各个方向运动的分子数目是相等的。从分子碰撞器壁来看，可以假定所有分子的 $1/3$ ，即 $n/3$ 个分子是在前后壁之间作直线运动， $n/3$ 是在左右壁之间运动， $n/3$ 是在上下壁之间运动。

现在来计算右侧壁A所受的压强。设某一分子以速度 v 垂直飞向A，分子的碰撞看成是完全弹性的，所以分子与器壁A碰撞后弹回的速度为 $-v$ ，这个分子的动量变化等于 $-mv - (mv) = -2mv$ (m 是分子的质量)。

根据动量原理，这个动量的变化等于器壁对分子作用力的冲量，用 $\Delta f'$ 表示碰撞时器壁对分子的作用力， δt 表示碰撞的时间，则

$$\Delta f' \delta t = -2mv$$

根据牛顿第三定律，在碰撞时，分子必有力 Δf 作用于

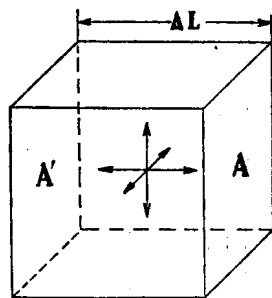


图 8.6