

第十二章 气体动理论

第3节 《理想气体的 压强公式》

理解理想气体的压强公式和温度公式，能从宏观和微观两方面理解压强和温度的统计意义。



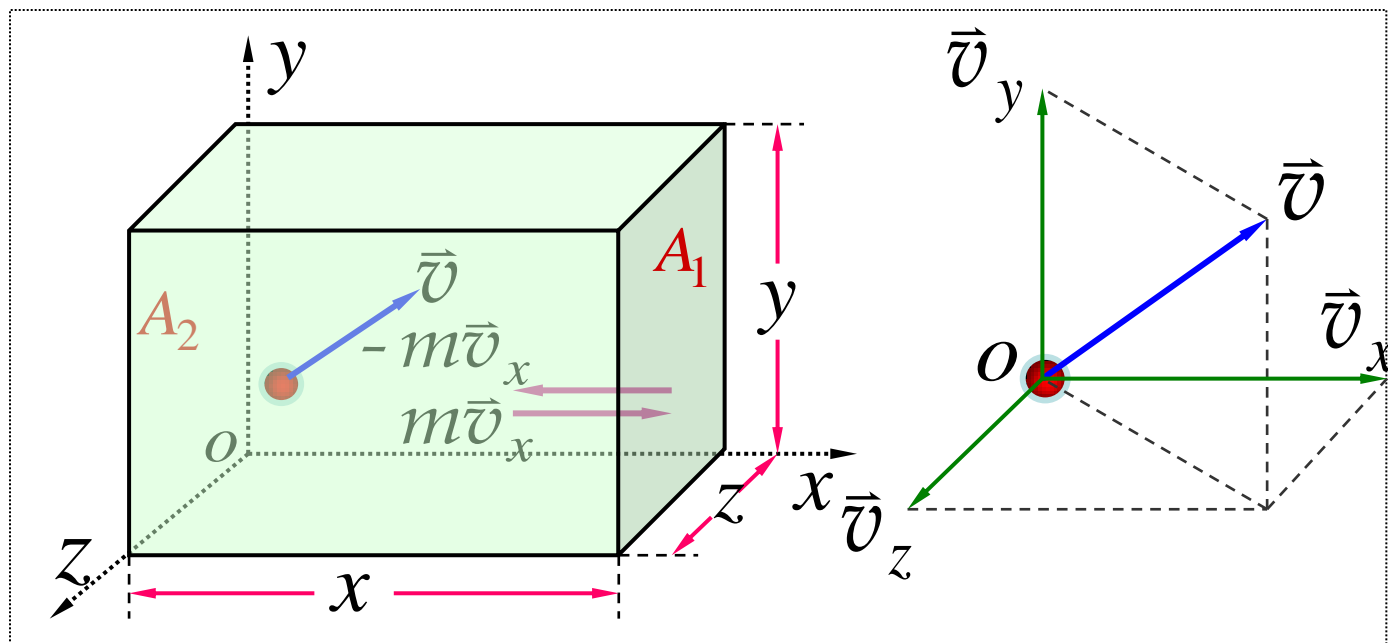
一 理想气体的微观模型

- (1) 分子可视为质点；线度 $d \approx 10^{-10} \text{m}$
间距 $r \approx 10^{-9} \text{m}$, $d \ll r$ ；
- (2) 除碰撞瞬间，分子间无相互作用力；
- (3) 弹性质点（碰撞均为完全弹性碰撞）；
- (4) 分子的运动遵从经典力学的规律。



二 理想气体压强公式

设边长分别为 x 、 y 及 z 的长方体中有 N 个全同的质量为 m 的气体分子，计算 A_1 壁面所受压强。



单个分子碰撞特性：偶然性、不连续性.

大量分子碰撞的总效果：恒定的、持续的力的作用.

热动平衡的统计规律（平衡态）

(1) 分子按位置的分布是均匀的.

$$n = \frac{dN}{dV} = \frac{N}{V}$$



(2) 分子各方向运动概率均等.

分子运动速度 $\vec{v}_i = v_{ix}\vec{i} + v_{iy}\vec{j} + v_{iz}\vec{k}$

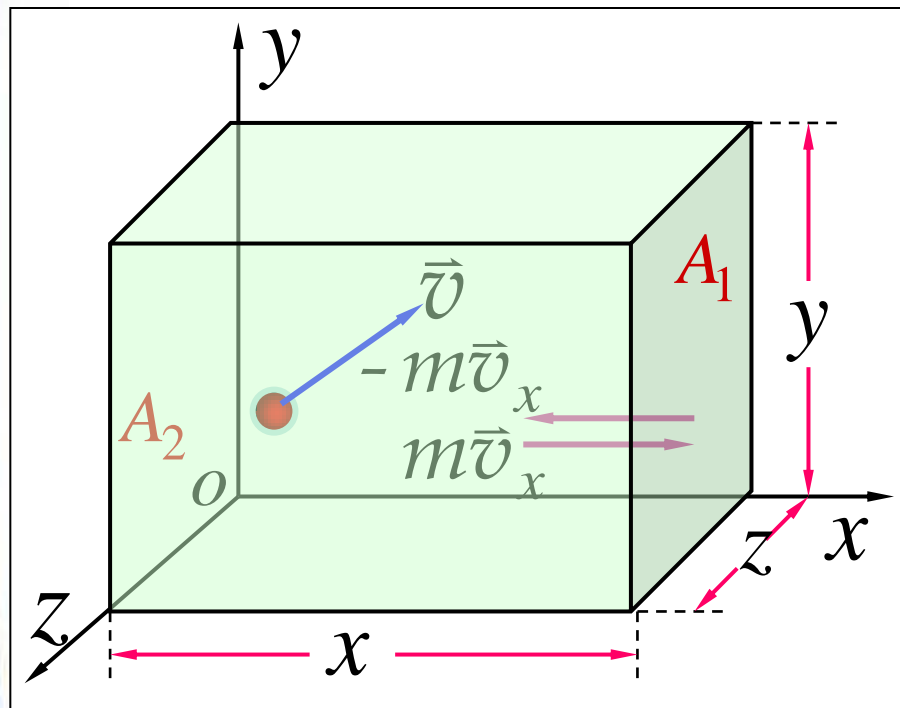
各方向运动概率均等 $\overline{v_x} = \overline{v_y} = \overline{v_z} = 0$

x 方向速度平方的平均值 $\overline{v_x^2} = \frac{1}{N} \sum_i v_{ix}^2$

各方向运动概率均等 $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$



◆ 单个分子遵循力学规律.



x 方向动量变化:

$$\Delta p_{ix} = -2mv_{ix}$$

分子施于器壁的冲量:

$$2mv_{ix}$$

两次碰撞间隔时间:

$$2x/v_{ix}$$

单个分子单位时间
施于器壁的冲量:

$$mv_{ix}^2/x$$

单位时间碰撞次数:

$$v_{ix}/2x$$



◆ 大量分子总效应

单位时间 N 个粒子对器壁总冲量:

$$\sum_i \frac{mv_{ix}^2}{x} = \frac{m}{x} \sum_i v_{ix}^2 = \frac{Nm}{x} \sum_i \frac{v_{ix}^2}{N} = \frac{Nm}{x} \overline{v_x^2}$$

器壁 A_1 所受平均冲力: $\overline{F} = \overline{v_x^2} Nm/x$



气体压强

$$p = \frac{\bar{F}}{yz} = \frac{Nm}{xyz} \overline{v_x^2}$$

统计规律

$$n = \frac{N}{xyz} \quad \overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$$

分子平均平动动能

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

气体压强公式

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_k$$



压强的物理意义

统计关系式



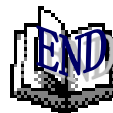
$$p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_k$$

宏观可测量量

微观量的统计平均值

思考：

为何在推导气体压强公式时不考虑分子间的相互碰撞？

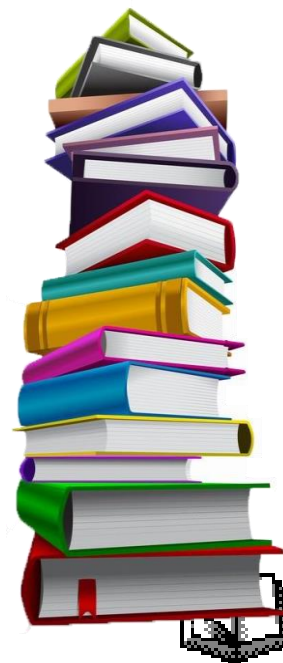


12-4 理想气体分子平均平动动能与温度的关系

第十二章 气体动理论

第4节 《理想气体分子
平均平动动能与温度
的关系》

了解自由度概念
理解能量均分定理，
会计算理想气体的内
能.



12-4 理想气体分子平均平动动能与温度的关系

理想气体压强公式 $p = \frac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_k$

理想气体物态方程 $p = nkT$

分子平均平动动能：

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

微观量的统计平均

宏观可测量量





温度 T 的物理意义

$$\bar{\varepsilon}_k = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

(1) 温度是分子平均平动动能的量度.

$$\bar{\varepsilon}_k \propto T$$

(2) 温度是大量分子的集体表现.

(3) 在同一温度下各种气体分子平均平动动能均相等.



注意

热运动与宏观运动的区别：温度所反映的是分子的无规则运动，它和物体的整体运动无关，物体的整体运动是其中所有分子的一种有规则运动的表现。



讨 论

1 一瓶氢气和一瓶氮气密度相同，分子平均平动动能相同，而且都处于平衡状态，则：

(A) 温度相同、压强相同.

(B) 温度、压强都不同.

 (C) 温度相同，氢气压强大于氮气压强.

(D) 温度相同，氢气压强小于氮气压强.

解

$$p = nkT = \frac{N}{V} kT = \rho \frac{k}{m} T$$



12-4 理想气体分子平均平动动能与温度的关系

2 理想气体体积为 V ，压强为 p ，温度为 T 。一个分子的质量为 m ， k 为玻耳兹曼常量， R 为摩尔气体常量，则该理想气体的分子数为：

(A) pV/m  (B) $pV/(kT)$

(C) $pV/(RT)$ (D) $pV/(mT)$

解 $p = nkT$ $N = nV = \frac{pV}{kT}$

