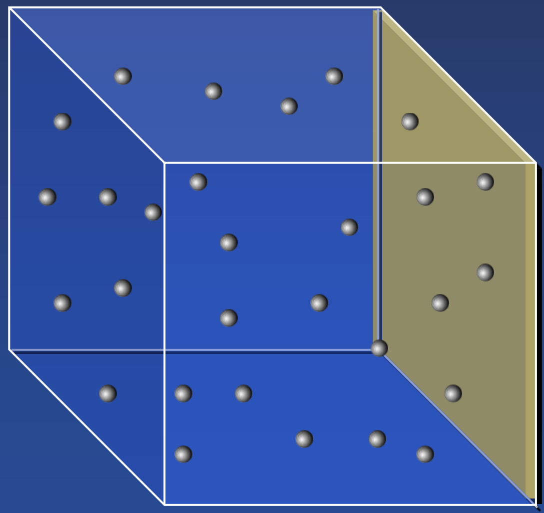
# §12.2 理想气体的压强及温度的微观意义

# 一、理想气体的压强公式

**压强：** 大量分子作用的平均效果。

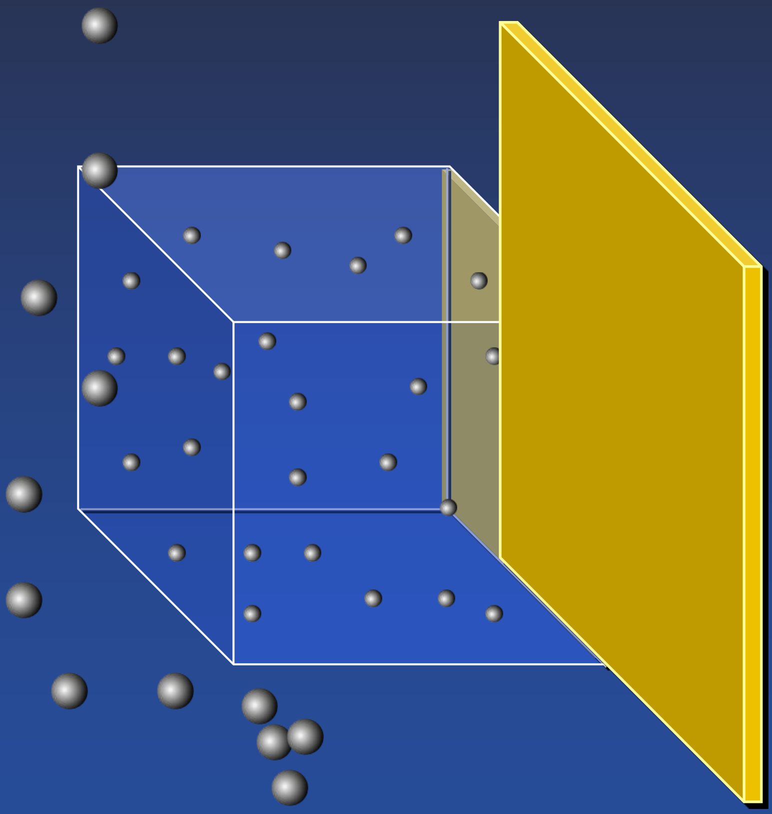
$$p = \frac{F}{S}, \qquad F = ?\ \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



# 一、理想气体的压强公式

压强：大量分子作用的平均效果。

$$p=\frac{F}{S},\qquad F=?\ \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



设单位体积内速度为：

$$\vec{v}_i\sim\vec{v}_i+d\vec{v}_i$$

的分子数共有$n_i$个；

总分子数密度： $n=\sum_i n_i$

$dt$内速度为 $\vec{v}_i$ 与面元$dS$碰撞的分子个数为：

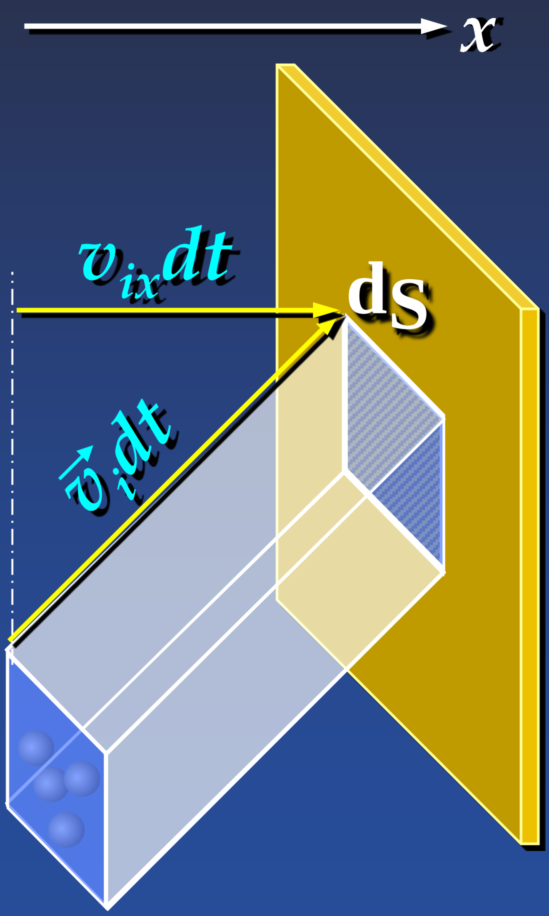
$$\Delta N_i = n_i \cdot v_{ix} dt \cdot dS$$

一个分子在一次碰撞过程中给容器壁的冲量为：

$$-[m(-v_{ix}) - mv_{ix}] = 2mv_{ix}$$

$dt$内速度为 $\vec{v}_i$ 分子给器壁的冲量：

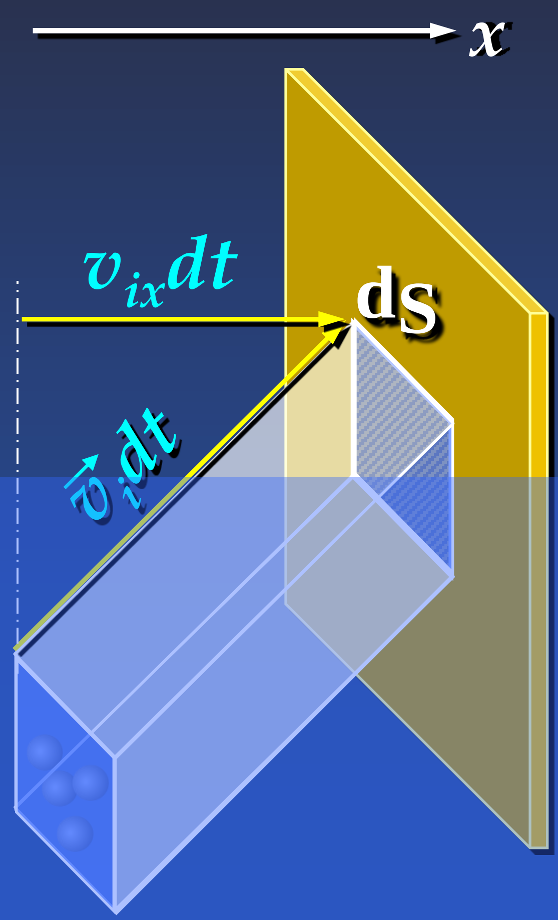
$$\Delta N_i \cdot 2mv_{ix} = 2m \cdot n_i v_{ix}^2 \cdot dt \cdot dS$$



## $dt$内所有分子给器壁的冲量:

$$dI = \sum_{(v_{ix}>0)} (2m \cdot n_i v_{ix}^2 \cdot dt \cdot dS)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_i (2m \cdot n_i v_{ix}^2 \cdot dt \cdot dS)$$




## $dt$内速度为 $\vec{v}_i$ 分子给器壁的冲量:

$$\Delta N_i \cdot 2mv_{ix} = 2m \cdot n_i v_{ix}^2 \cdot dt \cdot dS$$

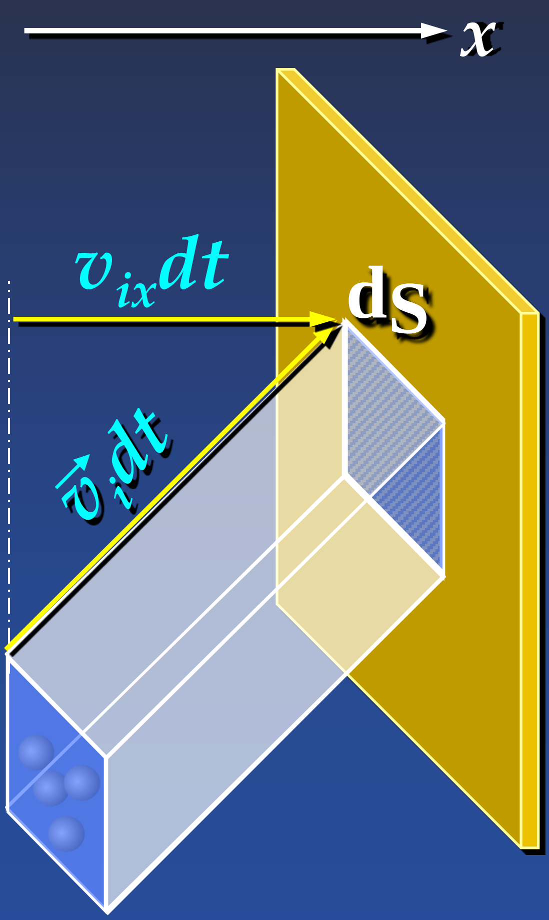
# $dt$内所有分子给器壁的冲量：

$$dI=\sum_{(v_{ix}>0)}(2m\cdot n_i v_{ix}^2\cdot dt\cdot dS)$$

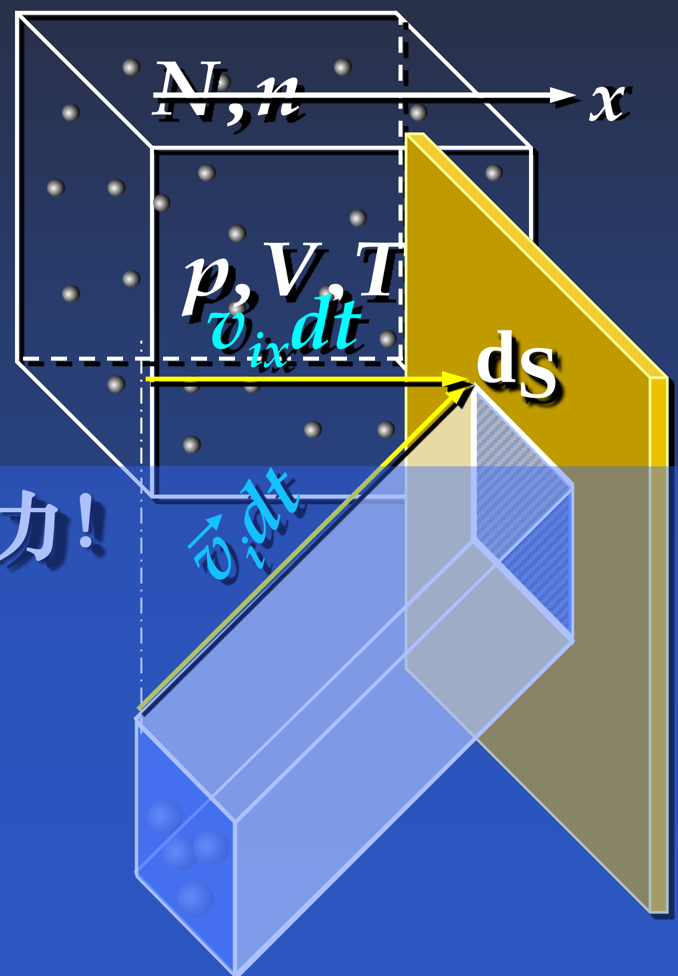
$$=\frac{1}{2}\sum_i(2m\cdot n_i v_{ix}^2\cdot dt\cdot dS)$$

**大量分子频繁碰撞，器壁受持续压力！**

$$p=\frac{dF}{dS}=\frac{dI/dt}{dS}=m\sum_i n_i v_{ix}^2$$



$$\overline{v_x^2} = \frac{\sum_i N_i v_{ix}^2}{N} = \frac{\sum_i n_i v_{ix}^2}{n} = \frac{1}{3}\overline{v^2} \longrightarrow p = \frac{1}{3} nm\overline{v^2}$$



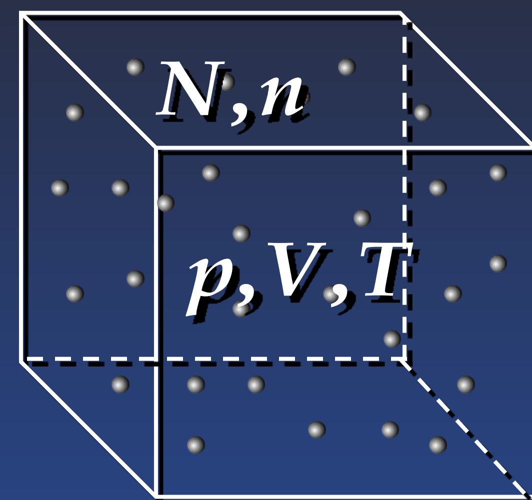

[定义] 分子平均平动动能：

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

大量分子频繁碰撞，器壁受持续压力！

$$p = \frac{dF}{dS} = \frac{dI/dt}{dS} = m\sum_i n_i v_{ix}^2$$

$$\overline{v_x^2}=\frac{\sum_i N_i v_{ix}^2}{N}=\frac{\sum_i n_i v_{ix}^2}{n}=\frac{1}{3}\overline{v^2}\longrightarrow p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}$$




[定义] 分子平均平动动能：

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

则：

$$\boxed{p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\,\bar{\varepsilon}_{kt}}$$ （压强公式）

有时：$p=\frac{1}{3}\rho\overline{v^2}$　$(\rho=nm)$（气体质量密度）

**说明**

- 压强 $p$是大量气体分子碰撞器壁产生的，是对大量分子统计平均的结果。单个分子压强无意义。
- 压强公式建立起宏观量压强 $p$ 与微观气体分子运动之间的关系。

则： $$\boxed{p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt}}$$ （压强公式）

有时： $p=\frac{1}{3}\rho\overline{v^2}$ （$\rho=nm$）（气体质量密度）

## 说明

- 压强 $p$是大量气体分子碰撞器壁产生的，是对大量分子统计平均的结果。单个分子压强无意义。
- 压强公式建立起宏观量压强 $p$ 与微观气体分子运动之间的关系。
- 由 $p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt}\propto n$ 可知：分子数密度越大，压强越大；

  $p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt}\propto\bar{\varepsilon}_{kt}$ ：分子运动得越激烈，压强越大。

## 二、温度公式

将状态方程 $p = nkT$ 代入压强公式:

$$p = \frac{1}{3} nm\overline{v^2} = \frac{2}{3} n\bar{\varepsilon}_{kt} = nkT \longrightarrow$$

$$\boxed{\bar{\varepsilon}_{kt} = \frac{3}{2}kT}$$ （温度公式）

- 由 $p = \frac{2}{3} n\bar{\varepsilon}_{kt} \propto n$ 可知：分子数密度越大，压强越大；

  $p = \frac{2}{3} n\bar{\varepsilon}_{kt} \propto \bar{\varepsilon}_{kt}$ ：分子运动得越激烈，压强越大。

# 二、温度公式

将状态方程 $p = nkT$ 代入压强公式:

$$p = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} = \frac{2}{3}n\,\bar{\varepsilon}_{kt} = nkT \longrightarrow$$

$$\boxed{\bar{\varepsilon}_{kt} = \frac{3}{2}kT}$$ (温度公式)

☻气体分子的方均根速率: $\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

☻温度的微观意义: 温度是气体分子平均平动动能的量度，反映物体内分子无规则热运动的剧烈程度。

- 温度是对大量分子热运动的统计平均结果，对个别分子温度无意义。
- 不同气体温度相同，平均平动动能 $\bar{\varepsilon}_{kt}$ 相同。

$$\boxed{\bar{\varepsilon}_{kt} = \frac{3}{2}kT}$$

（温度公式）

- 气体分子的方均根速率：$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}}$
- 温度的微观意义：温度是气体分子平均平动动能的量度，反映物体内分子无规则热运动的剧烈程度。

- 温度是对大量分子热运动的统计平均结果，对个别分子温度无意义。
- 不同气体温度相同，平均平动动能 $\bar{\varepsilon}_{kt}$ 相同。

**例** 求 27 °C时空气的方均根速率 ( 空气的摩尔质量为 29 g /mol ) 。

**解:**

$$\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}=\sqrt{\frac{3\times 8.31\times 300}{29\times 10^{-3}}}=507.8\text{m/s}$$

(The end)

## 归纳

1. **压强公式:** $p = \dfrac{1}{3} nm\overline{v^2} = \dfrac{2}{3} n \bar{\varepsilon}_{kt}$

2. **温度公式:** $\bar{\varepsilon}_{kt} = \dfrac{3}{2} kT$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 300}{29 \times 10^{-3}}} = 507.8\text{m/s}$$

(The end)

## 归纳

1. 压强公式: $p=\frac{1}{3}nm\overline{v^2}=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{kt}$

2. 温度公式: $\bar{\varepsilon}_{kt}=\frac{3}{2}kT$

方均根速率: $\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3kT}{m}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$

( The end )