

第12章 气体动理论

12-1 平衡态、理想气体物态方程、
热力学第零定律

12-2 物质的微观模型、统计规律性 (了解)

12-3 理想气体的压强公式

12-4 理想气体分子的平均平动动能与温度的关系

12-5 能量均分定理、理想气体的内能

12-6 麦克斯韦气体分子速率分布律

*12-7 玻耳兹曼能量分布律、等温气压公式 (了解, 自学)

*12-8 气体分子平均碰撞次数和平均自由程 (了解, 自学)

重点

以下内容不要求

~~12-9~~ 气体的迁移现象

~~12-10~~ 实际气体的范德瓦尔斯方程

一、理想气体物态方程

理想气体的物态方程：

一定量（化学纯）理想气体，总质量为： m'

N 个同种理想气体分子，每个气体分子质量为： m

$$m' = Nm, \quad M = N_A m, \quad \textcolor{red}{M}: \text{摩尔质量}$$

$$PV = \nu RT = \frac{m'}{M} RT$$

$$P = nkT$$

玻耳兹曼常量：

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

气体分子数密度：

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

气体系统质量密度： $\rho = nm$

二、理想气体压强公式

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

分子平均平动动能: $\bar{\varepsilon}_k = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$

分子数密度: $n = \frac{N}{V}$

三、温度的微观意义

(理想气体分子的平均平动动能与温度的关系)

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

1、温度是分子平均平动动能的量度。

温度标志着物体内部分子热运动的剧烈程度，它是大量分子热运动的平均平动动能的量度。

2、温度是大量分子的集体表现。

3、在同一温度下，各种理想气体分子平均平动动能均相等。

四、能量按自由度均分定理、理想气体内能

1、理想气体分子（刚性分子）的自由度

1) 单原子分子 $i = 3$ (3个平动+0个转动)

2) 双原子分子 $i = 5$ (3个平动+2个转动)

3) 多原子分子 $i = 6$ (3个平动+3个转动)

2、能量(按自由度)均分定理

气体处于平衡态时，分子任何一个自由度的平均能量都相等，均为 $\frac{1}{2}kT$ ——能量(按自由度)均分定理

(一个) 分子平均总动能

$$\overline{\varepsilon}_{\text{总}} = \frac{i}{2}kT$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{单原子} \quad \overline{\varepsilon}_{\text{总}} = \frac{3}{2}kT = \overset{\text{平动动能}}{\frac{3}{2}kT} + \overset{\text{转动动能}}{0} \\ \text{双原子} \quad \overline{\varepsilon}_{\text{总}} = \frac{5}{2}kT = \frac{3}{2}kT + \frac{2}{2}kT \\ \text{多原子} \quad \overline{\varepsilon}_{\text{总}} = \frac{6}{2}kT = \frac{3}{2}kT + \frac{3}{2}kT \end{array} \right.$$

3、 ν mol 理想气体的内能: $E = \nu \frac{i}{2}RT$

◆ 理想气体内能变化: $dE = \nu \frac{i}{2}RdT$

五、麦克斯韦气体分子速率分布律

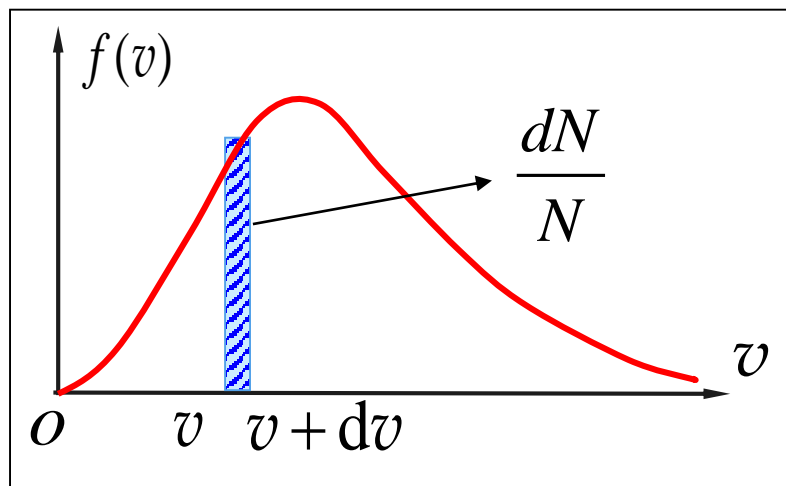
(一)、分子速率分布函数

N : 气体分子总数,

dN : $v \rightarrow v + dv$ 间的分子数,

$f(v)$: 分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dv}$$



物理意义——表示在温度为 T 的平衡状态下, 速率在 v 附近, 单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{dN}{Nd v}$$

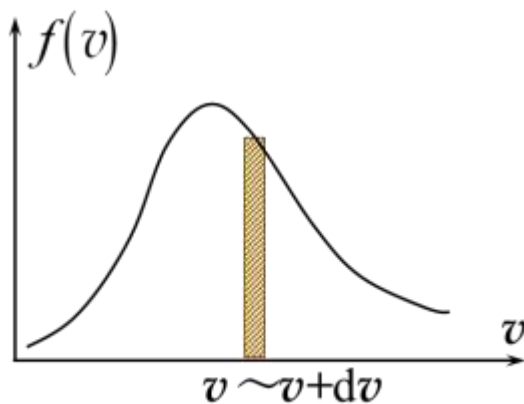
物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

1) 速率在 $v \sim v+dv$ 区间的分子数 dN

$$dN = N f(v) dv$$

速率在 $v \sim v+dv$ 区间的分子数 dN ，占总分子数的百分比

$$\frac{dN}{N} = f(v) dv$$



五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{dN}{Nd v}$$

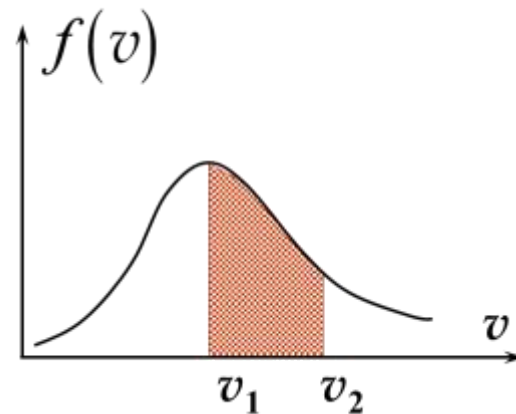
物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

2) 速率在 $v_1 \sim v_2$ 区间的分子数

$$\Delta N = \int_{v_1}^{v_2} N f(v) dv$$

速率在 $v_1 \sim v_2$ 区间的分子数，占总分子数的百分比

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$$



五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

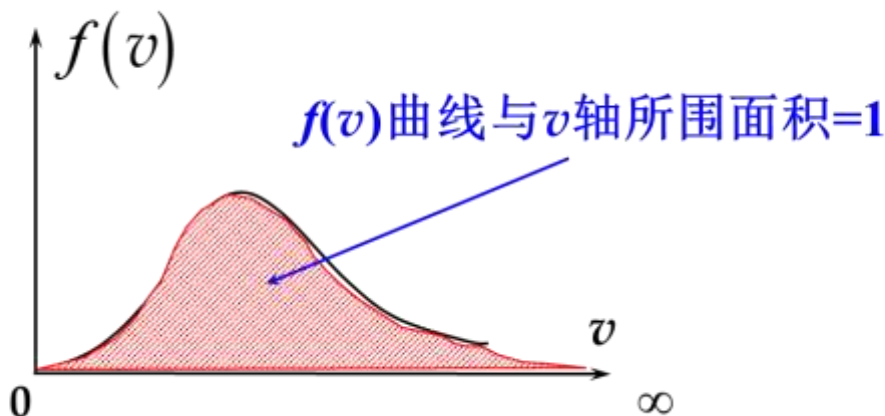
$$f(v) = \frac{dN}{Nd v}$$

物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

3) 全部分子占总分子数的百分比

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$

归一化条件



五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{dN}{Nd v}$$

物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

4) 速率在 $v_1 \sim v_2$ 区间的分子的平均速率

$$\overline{v}_{12} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} v dN}{\int_{v_1}^{v_2} dN} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} v N f(v) dv}{\int_{v_1}^{v_2} N f(v) dv}$$

$$\overline{v}_{12} = \frac{\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv}{\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv}$$

五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{dN}{Nd v}$$

物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

5) 全部分子的平均速率

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv$$

6) 全部分子的速率平方的平均值

$$\overline{v^2} = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv$$

五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(一)、分子速率分布函数

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv}$$

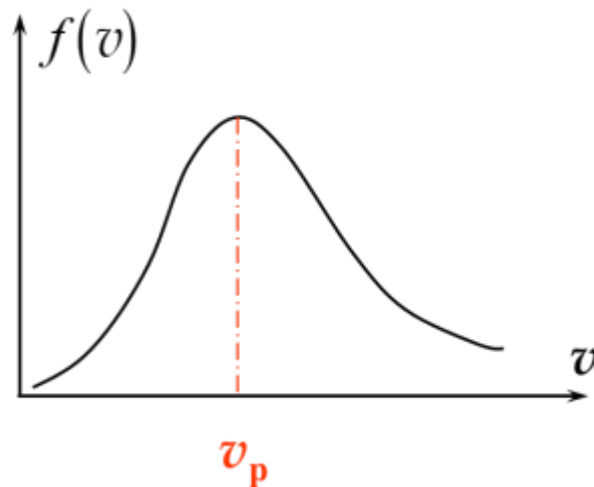
物理意义：在温度为 T 的平衡状态下，速率在 v 附近，单位速率区间的分子数占总分子数的百分比。

7) 最概然速率 v_p

—— v_p 附近单位速率区间的分子数最多。

可用求极值的方法求得。

令 $\left. \frac{df(v)}{dv} \right|_{v_p} = 0$, 解出 v_p
↑
对应极大



五、麦克斯韦气体分子速率分布律

(二)、三种速率（对应麦克斯韦速率分布）

1、最概然速率 v_p

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

2、平均速率 \bar{v}

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

3、方均根速率 $\sqrt{v^2}$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$