

## 选择1、2——

设某种气体的分子速率分布函数为  $f(v)$ ，则速率在  $v_1 \sim v_2$  区间内的分子的平均速率为 [      ]

(A)  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv$

(B)  $\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$

**D**

(C)  $\int_{v_1}^{v_2} f(v) dv / \int_0^{\infty} f(v) dv$

(D)  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v) dv / \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$

两种处于平衡状态的理想气体，且它们的温度相等，则它们

(A) 内能一定相等

(B) 分子的平均平动动能一定相等

(C) 分子的平均速率一定相等

(D) 分子的方均根速率一定相等

**B**

### 选择3、4——

温度、压强相同的氢气和氧气，它们分子的平均动能  $\bar{\varepsilon}$  和平均平动动能  $\bar{w}$  有如下关系： [      ]

C

(A)  $\bar{\varepsilon}$  和  $\bar{w}$  都相等; (B)  $\bar{\varepsilon}$  相等，而  $\bar{w}$  不相等; (C)  $\bar{w}$  相等，而  $\bar{\varepsilon}$  不相等; (D)  $\bar{\varepsilon}$  和  $\bar{w}$  都不相等

两瓶不同种类的理想气体(一瓶氢气，一瓶氧气)，它们的温度和压强都相同，但体积不同，则单位体积内的气体分子数  $n$ ，单位体积内的气体分子的总平动动能( $E_K/V$ )，单位体积内的气体质量  $\rho$ ，分别有如下关系： [      ]

C

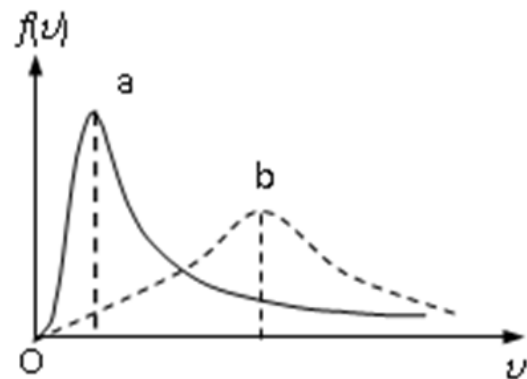
(A)  $n$  不同，( $E_K/V$ )不同， $\rho$  不同;      (B)  $n$  不同，( $E_K/V$ )不同， $\rho$  相同。

(C)  $n$  相同，( $E_K/V$ )相同， $\rho$  不同;      (D)  $n$  相同，( $E_K/V$ )相同， $\rho$  相同。

## 选择5——

设图示的两条曲线分别表示在相同温度下氧气和氢气分子的速率分布曲线; 令  $(v_p)_{O_2}$  和  $(v_p)_{H_2}$  分别表示氧气和氢气的最概然速率, 则: [      ]

- (A) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$
- (B) 图中 a 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$
- (C) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 1/4$
- (D) 图中 b 表示氧气分子的速率分布曲线;  $(v_p)_{O_2} / (v_p)_{H_2} = 4$



**B**

## 选择6、7——

三个容器  $A$ 、 $B$ 、 $C$  中装有同种理想气体，其分子数密度  $n$  相同，而方均根速率之比为

$$\sqrt{\overline{v_A^2}} : \sqrt{\overline{v_B^2}} : \sqrt{\overline{v_C^2}} = 1:2:4, \text{ 则其压强之比 } P_A:P_B:P_C \text{ 为 [ C ]}$$

**C**

A) 1:2:4;    B) 1:4:8;    C) 1:4:16;    D) 4:2:1。

一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为  $T$ ，气体分子的质量为  $m$ 。根据理想气体分子模型和

统计假设，分子速度在  $x$  方向的分量的平均值 [                      ]。

**D**

$$(A) \quad \overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (B) \quad \overline{v_x} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (C) \quad \overline{v_x} = \sqrt{\frac{8kT}{3\pi m}} \quad (D) \quad \overline{v_x} = 0$$

## 选择8、9——

关于处在热平衡态的理想气体，下列说法错误的是（）。

- (A) 理想气体在相同温度、任何压强下，其压强与体积的乘积都保持不变；
- (B) 理想气体分子之间、分子与容器壁之间均无相互作用；
- (C) 理想气体的平均平动动能只与温度有关，与体积和压强无关；
- (D) 理想气体分子作无规则热运动时，仍然遵从牛顿定律。

**B**

关于热力学第零定律、热力学第一定律、热力学第二定律，以下说法正确的是（）。

- (A) 热力学第零定律主要讲能量守恒，第一定律主要讲温度，第二定律主要讲实际自然过程的方向性；
- (B) 热力学第零定律主要讲实际自然过程的方向性，第一定律主要讲能量守恒，第二定律主要讲温度；
- (C) 热力学第零定律主要讲温度，第一定律主要讲能量守恒，第二定律主要讲实际自然过程的方向性；
- (D) 热力学第零定律主要讲实际自然过程的方向性，第一定律主要讲温度，第二定律主要讲能量守恒。

**C**

## 选择10——

热力学系统的平衡状态应理解为（ ）。

- (A) 系统的宏观性质 ( $P, V, T$ ) 不随时间变化的状态；
- (B) 系统各处压强和温度相同；
- (C) 外界与系统无物质和能量交换（做功或传热）而达到的稳定状态；
- (D) 系统中每个分子都处于平衡的状态。

C

## 选择11——

在标准状态(0°C, 1 标准大气压)下, 氢气(视为刚性双原子分子的理想气体)与氦气的体积比  $V_1:V_2=1:2$ , 则其内能之比  $E_1:E_2$  为 ( )。

- (A) 3/10      (B) 1/2      (C) 5/6      (D) 5/3

C

对于分子运动的平均速率、方均根速率、最概然速率, 以下说法正确的是 ( )。

(A) 平均速率用于计算分子的碰撞次数, 方均根速率用于计算分子的平均平动动能, 最概然速率用于计算分子的速率分布;

(B) 平均速率用于计算分子的碰撞次数, 方均根速率用于计算分子的速率分布, 最概然速率用于计算分子的平均平动动能;

(C) 平均速率用于计算分子的平均平动动能, 方均根速率用于计算分子的碰撞次数, 最概然速率用于计算分子的速率分布;

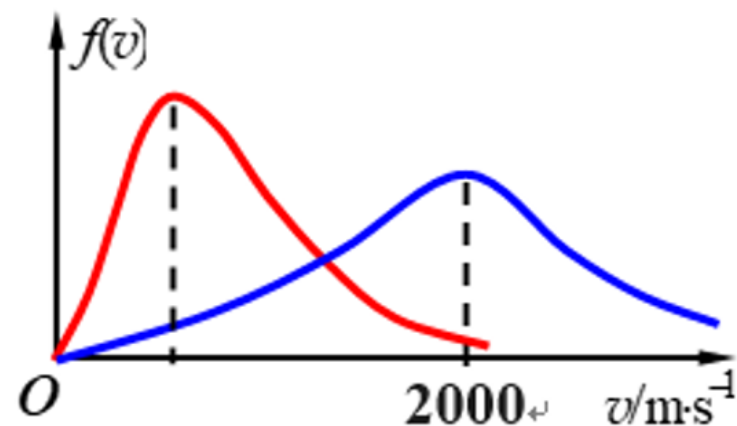
A

(D) 平均速率用于计算分子的平均平动动能, 方均根速率用于计算分子的速率分布, 最概然速率用于计算分子的碰撞次数。

## 填空1——

答案：2000， 500

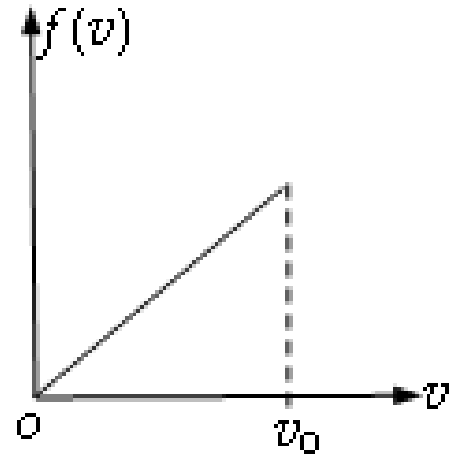
如图示两条 $f(v) \sim v$ 曲线，分别表示氢气和氧气在同一温度下的麦克斯韦速率分布曲线，从图上数据求出氢气的最概然速率为\_\_\_\_\_  $m \cdot s^{-1}$ 、氧气的最概然速率为\_\_\_\_\_  $m \cdot s^{-1}$ 。





**计算1**——设想由N个分子组成的气体，其分子速率分布如图示的三角形分布，全部分子的速率都限于 $0 \sim v_0$ 之间。试求：

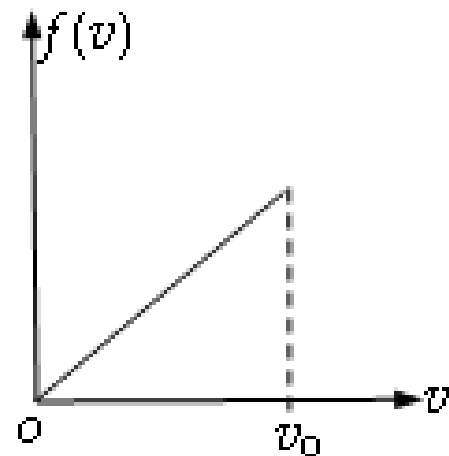
- (1) 速率分布函数 $f(v)$ ；
- (2) 平均速率和方均根速率；
- (3) 速率介于  $0 \sim v_0/2$  之间的气体分子数；
- (4) 速率在  $0 \sim v_0/2$  区间内的气体分子平均速率。



解： (1)  $\int_0^{v_0} kv dv = \frac{1}{2} kv_0^2 = 1$

$$k = \frac{2}{v_0^2}$$
$$f(v) = \begin{cases} \frac{2}{v_0^2} v & (0 < v < v_0) \\ 0 & (v > v_0) \end{cases}$$

- (2) 平均速率和方均根速率；
- (3) 速率介于  $0 \sim v_0/2$  之间的气体分子数；
- (4) 速率在  $0 \sim v_0/2$  区间内的气体分子平均速率。



解：(2)  $\bar{v} = \int_0^{v_0} v f(v) dv = \int_0^{v_0} v \frac{2}{v_0^2} v dv = \frac{2v_0}{3}$

$$\overline{v^2} = \int_0^{v_0} v^2 f(v) dv = \int_0^{v_0} v^2 \frac{2}{v_0^2} v dv = \frac{v_0^2}{2} \quad \sqrt{\overline{v^2}} = \frac{\sqrt{2}v_0}{2}$$

(3)  $\Delta N_{0 \sim \frac{v_0}{2}} = \int_0^{\frac{v_0}{2}} N f(v) dv = \int_0^{\frac{v_0}{2}} N \frac{2}{v_0^2} v dv = \frac{N}{4}$

(4)  $\bar{v}_{0 \sim \frac{v_0}{2}} = \frac{\int_0^{\frac{v_0}{2}} v N f(v) dv}{\int_0^{\frac{v_0}{2}} N f(v) dv} = \frac{\int_0^{\frac{v_0}{2}} v \frac{2}{v_0^2} v dv}{\int_0^{\frac{v_0}{2}} \frac{2}{v_0^2} v dv} = \frac{v_0}{3}$

## 计算2——

设在一密封的容器内有质量  $m = 58 \text{ kg}$  的空气，共有  $N = 1.2 \times 10^{27}$  个空气分子，温度为  $20^\circ\text{C}$ ，试求：

- (1) 空气分子热运动的平均平动动能是多少？
- (2) 容器内空气分子热运动的平均平动动能的总和为多少？
- (3) 如果气体的温度升高  $1\text{K}$ ，而体积不变，则气体的内能改变多少？
- (4) 如果气体的温度升高  $1\text{K}$ ，气体分子的方均根速率增加多少？

(假设空气可视为刚性双原子分子理想气体，摩尔质量为  $M = 29 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；玻尔兹曼常数  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$$(1) \quad \overline{\varepsilon_k} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 293.15 = 6.07 \times 10^{-21} \text{ J}$$

$$(2) \quad \overline{E_k} = N \overline{\varepsilon_k} = 1.2 \times 10^{27} \times 6.07 \times 10^{-21} = 7.284 \times 10^6 \text{ J}$$

$$(3) \quad \Delta E = N \frac{5}{2} k \Delta T \\ = 1.2 \times 10^{27} \times \frac{5}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 1 = 4.14 \times 10^4 \text{ J}$$

(4)

$$\text{因为: } \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\text{所以: } \Delta \left( \sqrt{v^2} \right) = \sqrt{\frac{3R}{M}} \frac{1}{2} T^{-\frac{1}{2}} \Delta T = 0.856 \text{ m/s}$$

### 计算3——

当氧气和氦气的压强、体积和温度都相等时，求它们的质量比  $\frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{He})}$  和内能比  $\frac{E(\text{O}_2)}{E(\text{He})}$ 。（将氧气视为刚性双原子分子气体）

由  $pV = \frac{m}{M}RT$  可得

$$\frac{m(\text{O}_2)}{m(\text{He})} = \frac{M(\text{O}_2)_{\text{mol}}}{M(\text{He})_{\text{mol}}} = \frac{32}{4} = \frac{8}{1}$$

由于  $E(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)_{\text{mol}}} \frac{5}{2}RT = \frac{5}{2}pV$  和  $E(\text{He}) = \frac{m(\text{He})}{M(\text{He})_{\text{mol}}} \frac{3}{2}RT = \frac{3}{2}pV$

得  $\frac{E(\text{O}_2)}{E(\text{He})} = \frac{5}{3}$

## 计算4——

若某种理想气体分子的方均根速率  $v_{\text{rms}} = 450 \text{ m/s}$ ，气体压强为  $P = 7 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。求：（1）该气体的密度  $\rho$ ；（2）该气体分子的最可几速率  $v_p$  和平均速率  $\bar{v}$ 。

（1）因为：  $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{mol}}}}$ ，所以：  $\sqrt{\frac{RT}{M_{\text{mol}}}} = \frac{\sqrt{v^2}}{\sqrt{3}}$

因为：  $P = \frac{\rho RT}{M_{\text{mol}}}$ ，所以：  $\rho = \frac{P}{\frac{RT}{M_{\text{mol}}}} = \frac{3P}{v_{\text{rms}}^2} = \frac{3 \times 7 \times 10^4}{450^2} = 1.04 \text{ kg/m}^3$

（2）  $v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M_{\text{mol}}}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times 450 = 367.4 \text{ m/s}$

（3）  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M_{\text{mol}}}} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{8}{3\pi}} \times 450 = 414.7 \text{ m/s}$

**计算5**——假设有一种气体，构成它的粒子服从以下速率分布率为：

$$f(v) = \begin{cases} \frac{1}{3}Av(v_0 - v) & (0 < v < v_0) \\ 0 & (v \geq v_0) \end{cases}$$

式中A为常量。(1)试用 $v_0$ 定出A的表达式；(2)求算术平均速率  $\bar{v}$

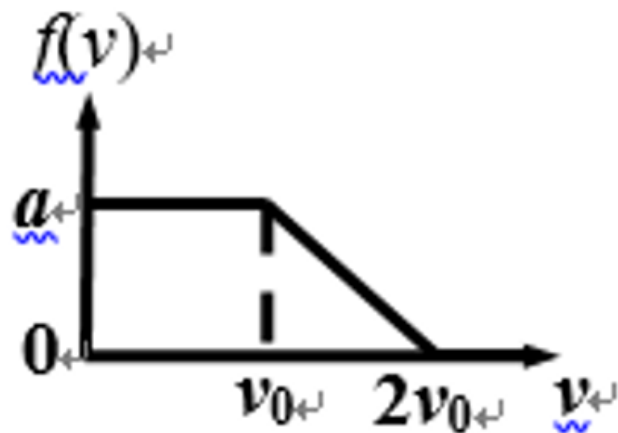
解： 1)  $\int_0^\infty f(v)dv = 1$                        $A = 2/v_0^3$

2)  $\bar{v} = \int_0^\infty vf(v)dv = \frac{A}{36}v_0^4 = \frac{1}{18}v_0$

## 计算6——

系统由  $N$  个理想气体分子组成，其速率分布如图所示。当  $v > 2v_0$  时，粒子的数目为零。

- (1) 求分布函数的表达式；(3 分)
- (2) 求常数  $a$  与  $v_0$  之间的关系；(3 分)
- (3) 求速率在  $v_0 \sim 2v_0$  之间分子的平均速率；(3 分)
- (4) 求所有分子的平均速率。(3 分)



解：（1）由图可知，气体分子的速率分布函数为

$$f(v) = \begin{cases} a & (0 \leq v \leq v_0) \\ 2a - \frac{av}{v_0} & (v_0 \leq v \leq 2v_0) \\ 0 & (v > 2v_0) \end{cases}$$

（2）由归一化条件

$$\int_0^{\infty} v(v)dv = \int_0^{v_0} a dv + \int_{v_0}^{2v_0} (2a - \frac{av}{v_0}) dv = av_0 + \frac{av_0}{2} = \frac{3av_0}{2} = 1$$
$$\Rightarrow a = \frac{2}{3v_0}$$

（3）根据平均速率的定义，速率在  $v_0 \sim 2v_0$  之间分子的平均速率

$$\bar{v} = \frac{\int_{v_0}^{2v_0} v dN}{\Delta N} = \frac{\int_{v_0}^{2v_0} N f(v) v dv}{\int_{v_0}^{2v_0} N f(v) dv} = \frac{\int_{v_0}^{2v_0} v f(v) dv}{\int_{v_0}^{2v_0} f(v) dv} = \frac{\int_{v_0}^{2v_0} v (\frac{4}{3v_0} - \frac{2}{3v_0^2} v) dv}{\int_{v_0}^{2v_0} (\frac{4}{3v_0} - \frac{2}{3v_0^2} v) dv} = \frac{4}{3} v_0$$

（4）根据平均速率的定义

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv = \int_0^{v_0} v \frac{2}{3v_0} dv + \int_{v_0}^{2v_0} v \left( \frac{4}{3v_0} - \frac{2}{3v_0^2} v \right) dv = \frac{1}{3} v_0 + \frac{4}{9} v_0 = \frac{7}{9} v_0$$



## 计算7——

在容积为  $2.07 \times 10^{-3} \text{m}^3$  的容器中，有内能为  $6.21 \times 10^2 \text{J}$  的刚性多原子分子的理想气体。

(1) 求气体的压强；(2) 若容器中分子总数为  $3 \times 10^{22}$  个，求分子的平均平动动能及气体的温度。(玻耳兹曼常数为  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ )

解：(1) 由能量均分定理，对多原子分子，有：
$$E = \frac{6}{2} \nu RT = 3\nu RT$$

又由理想气体状态方程  $pV = \nu RT$ ，得  $p = \frac{E}{3V}$

所以：
$$p = \frac{6.21 \times 10^2}{3 \times 2.07 \times 10^{-3}} = 1 \times 10^{-5} \text{Pa}$$

(2) 由于：
$$E = N\bar{\epsilon}_k = N\frac{i}{2}kT = 3NkT$$

所以：
$$\bar{\epsilon}_k = \frac{E}{N} = \frac{6.21 \times 10^2}{3 \times 10^{22}} = 2.07 \times 10^{-20} \text{J}$$

$$\bar{\epsilon}_{k,t} = \frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}\bar{\epsilon}_k = 1.035 \times 10^{-20} \text{J}$$

$$T = \frac{\bar{\epsilon}_k}{3k} = \frac{2.07 \times 10^{-20}}{3 \times 1.38 \times 10^{-23}} = 500 \text{K}$$