9-1.氧气瓶的容积为$3.2\times10^{-2}m^3$,其中氧气的压强为$1.30\times10^{7}Pa$,氧气厂规定压强降到$1.0\times10^{6}Pa$时，就应重新充气，以免要经常洗瓶。某小型吹玻璃车间平均每天用去$0.40m^3$在$1.01\times10^{5}Pa$压强下的氧气，问一瓶氧气能用多少天？（设使用过程中温度不变）

解：已知：$p_1 = 1.30\times10^{7}\,\text{Pa}$, $p_2 = 1.0\times10^{6}\,\text{Pa}$, $p_3 = 1.01\times10^{5}\,\text{Pa}$,
$V = 3.2\times10^{-2}\,\text{m}^3$ $V' = 0.40\text{m}^3$

设氧气的摩尔质量为M。在用气前，根据理想气体状态方程，瓶内氧气质量

$$m_1 = \frac{Mp_1V}{RT}$$

当瓶内氧气压强降为p_2时,氧气质量为 $m_2 = \frac{Mp_2V}{RT}$

氧气瓶重新充气时，用去的氧气质量为 $m_1 - m_2 = \frac{MV}{RT}(p_1 - p_2)$

每天用去的氧气质量为 $m_3 = \frac{Mp_3V'}{RT}$

一瓶氧气能用的天数即为 $N = \frac{m_1 - m_2}{m_3} = \frac{V(p_1 - p_2)}{V'p_3} = 9.5\,\text{d}$

9-2.实验室中能够获得的最佳真空度约1.01325×10^{-10}Pa，（1）求在室温（设为25 °C ）下这样的真空中每立方米内有多少个分子；（2）先求出标准状态下每立方米内气体的分子数，再把它与上面一问的结果进行比较。

解:（1）根据理想气体状态方程：$p = nkT$ 得：

$$n=\frac{p}{kT}=\frac{1.01325\times10^{-10}}{1.38\times10^{-23}\times(273+25)}=2.46\times10^{10}\,\mathrm{m}^{-3}$$

（2）标准状态下：

$$n_0=\frac{p_0}{kT_0}=\frac{1.013\times10^{5}}{1.38\times10^{-23}\times273}=2.69\times10^{25}\,\mathrm{m}^{-3}$$

$\frac{n}{n_0}\sim10^{-15}$ 可见（1）态气体足够稀薄，真空度极高。

9-3.试说明下列各式的物理意义：

（1）$f(v)=\dfrac{\mathrm{d}N}{N\mathrm{d}v}$ 分子速率在v 附近单位速率范围内的分子数占总分子数的比率

（2）$f(v)\mathrm{d}v$ 分子速率在 $v\sim v+\mathrm{d}v$ 范围内的分子数占总分子数的比率

（3）$Nf(v)\mathrm{d}v$ 分子速率在 $v\sim v+\mathrm{d}v$ 范围内的分子数

（4）$\int_{v_1}^{v_2}f(v)\mathrm{d}v$ 分子速率在$v_1\sim v_2$范围内的分子数占总分子数的比率

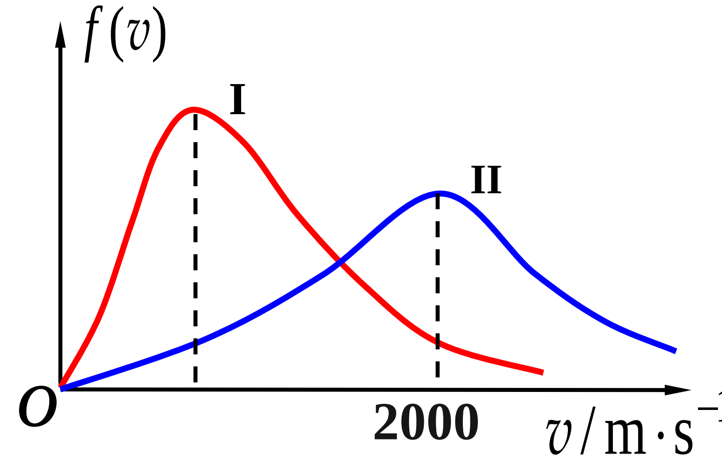
（5）$\int_{v_1}^{v_2}Nf(v)\mathrm{d}v$ 分子速率在$v_1\sim v_2$范围内的分子数

（6）$\dfrac{\int_{v_1}^{v_2}vf(v)\mathrm{d}v}{\int_{v_1}^{v_2}f(v)\mathrm{d}v}$ 速率在$v_1\sim v_2$范围内的分子的平均速率

（7）$N\int_{v_1}^{v_2}\dfrac{1}{2}m_{\mathrm{f}}v^2f(v)\mathrm{d}v$ 速率在$v_1\sim v_2$范围内分子的平动动能的和

（8）$\dfrac{\int_{v_1}^{v_2}\frac{1}{2}m_{\mathrm{f}}v^2f(v)\mathrm{d}v}{\int_{v_1}^{v_2}f(v)\mathrm{d}v}$ 速率在范围$v_1\sim v_2$内分子的平均平动动能

9-4.图中I，II两条曲线是不同气体（氢气和氧气）在同一温度下的麦克斯韦分子速率分布曲线。试由图中数据求：（1）氢气分子和氧气分子的最概然速率；（2）两种气体的温度。



解:（1）气体分子的最概然速率

$$v_p=\sqrt{\frac{2RT}{M}}\propto\sqrt{\frac{T}{M}}$$

$$\because M_{H_2}<M_{O_2}\qquad\therefore v_p(H_2)>v_p(O_2)$$

可判断曲线I是氧气分子速率分布曲线，II是氢气分子速率分布曲线。

氢分子的最概然速率：$v_p(H_2)=2000\ \mathrm{m/s}$

$$\frac{v_p(H_2)}{v_p(O_2)}=\sqrt{\frac{m(O_2)}{m(H_2)}}=\sqrt{\frac{32}{2}}=4\qquad\therefore v_p(O_2)=500\ \mathrm{m/s}$$

（2）$\because T=\dfrac{Mv_p^2}{2R}\qquad\therefore T=T_{O_2}=\dfrac{32\times10^{-3}\times500^2}{2\times8.31}=481.3\ \mathrm{K}$

9-5.某种气体分子的方均根速率为 $\sqrt{\overline{v^2}} = 450\mathrm{m/s}$，压强为 $p = 7\times10^4\ \mathrm{Pa}$ ，则气体的质量密度$\rho = ?$

解： 由压强公式

$$p = \frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\mathrm{t}} = \frac{1}{3}m_{\mathrm{f}}n\overline{v^2} = \frac{1}{3}\rho\overline{v^2}$$

得：

$$\rho = \frac{3p}{(\sqrt{\overline{v^2}})^2} = \frac{3\times7\times10^4}{450^2} = 1.04\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$$

9-6.一容器内储有氧气，其压强为1.01×10^{5}Pa，温度为27.0°C，求：（1）气体分子的数密度；（2）氧气的质量密度；（3）分子的平均平动动能；

解:（1） $n=\dfrac{p}{kT}=2.44\times10^{25}\,\mathrm{m}^{-3}$

$$pV=\nu RT$$

$$=\frac{m}{M}RT$$

（2） $\rho=\dfrac{m}{V}=\dfrac{pM}{RT}=1.30\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$

（3） $\bar{\varepsilon}_{\mathrm{t}}=\dfrac{3}{2}kT=6.21\times10^{-21}\,\mathrm{J}$

9-7.体积为$1.0\times10^{-3}\mathrm{m}^3$的容器中含有$1.01\times10^{23}$个氢气分子，如果其中压强为$1.01\times10^5\mathrm{Pa}$。求该氢气的温度和分子的方均根速率。

解： 分子数密度为

$$n=\frac{N}{V}=\frac{1.01\times10^{23}}{1.0\times10^{-3}}\mathrm{m}^{-3}=1.01\times10^{26}\mathrm{m}^{-3}$$

温度为

$$pV=NkT$$

$$T=\frac{p}{nk}=\frac{1.01\times10^{5}}{1.01\times10^{26}\times1.38\times10^{-23}}=72.5\ \mathrm{K}$$

方均根速率为

$$\sqrt{\overline{v^2}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}=\sqrt{\frac{3\times8.31\times72.5}{2\times10^{-3}}}=950.64\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

9-8.在容积为2.0×10^{-3}m^{3}的容器中有内能为6.75×10^{2}J的刚性双原子分子理想气体。（1）求气体的压强；（2）若容器中分子总数为5.4×10^{22}个，求分子的平均平动动能和气体的温度。

解:（1）设气体的摩尔数为ν，分子总数为N，

由理想气体内能公式： $E=\frac{i}{2}\nu RT=\frac{i}{2}NkT$

根据理想气体状态方程： $pV=\nu RT$ 得：$E=\frac{i}{2}pV$

又刚性双原子分子 $i=5$

$\therefore p=\frac{2E}{5V}=1.35\times10^{5}\,\text{Pa}$

或用 $\boxed{p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}_{\text{t}}}$ 求解

（2）由内能公式得： $T=\frac{2E}{5Nk}=362\text{K}$

$\bar{\varepsilon}_{\text{t}}=\frac{3}{2}kT=7.50\times10^{-21}\,\text{J}$

9-9. 1mol氢气，在温度为27°C时，它的分子的平动动能和转动动能各为多少？（即内能中分别与分子的平动动能相关和与分子的转动动能相关的那部分能量）

解： $T = 273 + 27 = 300\text{K}$

理想气体的内能只是分子各种运动能量的总和。

对1mol的氢气其内能 $E_{\text{mol}} = \dfrac{i}{2}RT,$

平动自由度 $t = 3$

$$E_{\text{mol,t}} = \frac{3}{2}RT = \frac{3}{2} \times 8.31 \times 300 = 3.74 \times 10^{3}\,\text{J}$$

转动自由度 $r = 2$

$$E_{\text{mol,r}} = \frac{2}{2}RT = 8.31 \times 300 = 2.49 \times 10^{3}\,\text{J}$$

9-10. 水蒸气分解为同温度的氢气和氧气，即 $H_2O \to H_2 + \frac{1}{2}O_2$，也就是1mol的水蒸气可分解成同温度的1mol氢气和1/2mol氧气，当不计及振动自由度时，求此过程中内能的增量。

解： 对1mol水蒸气，分解前的内能为：

$$E_1 = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{6}{2}RT = 3RT$$

分解后氢气和氧气的内能分别为：

$$E_{H_2} = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{5}{2}RT \qquad E_{O_2} = \frac{i}{2}\nu RT = \frac{5}{2}\times\frac{1}{2}RT = \frac{5}{4}RT$$

分解成氢气和氧气的总内能为：

$$E_2 = E_{H_2} + E_{O_2} = \frac{5}{2}RT + \frac{5}{4}RT = \frac{15}{4}RT$$

内能增加：$\frac{\Delta E}{E_1} = 25\%$

此过程中内能的增量为：

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{15}{4}RT - 3RT = \frac{3}{4}RT = \frac{3}{4}\times 8.31\times 373 = 2.33\times 10^3\,\text{J}$$