气体动理论习题整理

一、教材：选择填空题 1，2，4　计算题：14，16，20，21

二、附加题

（一）、选择题

1、某种理想气体,体积为 V,压强为 p，绝对温度为 T，每个分子的质量为 m，R 为普通气体常数，N_0 为阿伏伽德罗常数，则该气体的分子数密度 n 为　**A**

(A) $pN_0/(RT)$.　(B) $pN_0/(RTV)$.　(C) $pmN_0/(RT)$.　(D) $mN_0/(RTV)$.

2、若理想气体的体积为 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：　**B**

(A) pV/m.　(B) $pV/(kT)$.　(C) $pV/(RT)$.　(D) $pV/(mT)$.

3、两瓶质量密度相等的氮气和氧气(氮气和氧气视为理想气体)，若它们的方均根速率也相等，则有：**C**

(A) 它们的压强 p 和温度 T 都相等.
(B) 它们的压强 p 和温度 T 都都不等.
(C) 压强 p 相等,氧气的温度比氮气的高.
(D) 温度 T 相等，氧气的压强比氮气的高.

（二）、计算题

1、　将 1 mol 温度为 T 的水蒸气分解为同温度的氢气和氧气，

求氢气和氧气的内能之和比水蒸气的内能增加了多少？（所有气体分子均视为刚性分子）

解：　1mol　H_2O 的内能　$E=\frac{i}{2}RT=3\ R$

分解成 1mol　H_2　$E=\frac{i}{2}RT=\frac{5}{2}RT$

0.5mol　O_2　$E=0.5\frac{i}{2}RT=\frac{5}{4}RT$

$$\Delta E=\frac{5}{2}RT+\frac{5}{4}RT-3RT=\frac{3}{4}RT$$

2、一瓶氢气和一瓶氧气温度相同.若氢气分子的平均平动动能为6.21×10^{-21}J，求:

(1) 氧气分子的平均平动动能和方均根速率;

(2) 氧气的温度

解：（1）$\bar{\varepsilon}_k(o_2)=\bar{\varepsilon}_k(H_2)=\frac{3}{2}kT=6.21\times10^{-21}J$

因为　$v_{rms}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$　和　$\bar{\varepsilon}_k(o_2)=\frac{3}{2}kT$

所以 $v_{rms}=\sqrt{\frac{2\bar{\varepsilon}_k N_A}{M}}=483m/s$

（2）$\bar{\varepsilon}_k(o_2)=\frac{3}{2}kT$ $\qquad T=300K$

3、设一理想气体系统由 N 个同种气体分子组成，其速率分布函数为：

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

式中 v_0 为已知速率值，a 为待求常数

求：（1）用已知值表示常数 a；（2）分子的最概然速率；（3）N 个分子的平均速率；

（4）速率在0到 $\frac{v_0}{2}$ 之间的分子数；（5）速率在 $\frac{v_0}{2}$ 到 v_0 之间分子的平均速率。

解：（1）有归一化条件 $\int_0^{\infty} f(v)\,dv=1$

$$\int_0^{v_0}\frac{a}{v_0}vdv+\int_{v_0}^{2v_0}\left(2a-\frac{a}{v_0}v\right)dv=1$$

$$a=\frac{1}{v_0}$$

（2）当 $v=v_0$ 时，$f(v)=a$ 为最大值

所以 $v_p=v_0$

（3）$\bar{v}=\int_0^{\infty}vf(v)dv=\int_0^{v_0}\frac{a}{v_0}v^2dv+\int_{v_0}^{2v_0}\left(2a-\frac{a}{v_0}v\right)vdv=v_0$

（4）$\Delta N_1=\int_0^{v_0/2}Nf(v)dv=\frac{N}{8}$

（5）$\Delta N_2=\int_{v_0/2}^{v_0}Nf(v)dv=\frac{3N}{8}$

$$\bar{v}_1=\frac{\int_{v_0/2}^{v_0}vf(v)Ndv}{\Delta N_2}=\frac{7v_0N/24}{3N/8}=\frac{7}{9}v_0$$

4、在相同温度下,2摩尔氢气和1摩尔氦气分别放在两个容积相同的容器中。试求两气体(1)分子平均平动动能之比;(2)分子平均总动能之比;(3)内能之比;(4)方均根速率之比;(5)压强之比;(6)密度之比.

解 因为氢气的自由度 i=5;氦气的自由度 i=3

(1) $\bar{\varepsilon}_{kt}=\frac{3}{2}kT$ $\bar{\varepsilon}_{kt氢}$: $\bar{\varepsilon}_{kt氦}=1:1$ (2) $\bar{E}_k=\frac{i}{2}kT$ $\bar{E}_{k氢}$: $\bar{E}_{k氦}=5:3$

(3) $E=\frac{m}{M}\cdot\frac{i}{2}RT$, $E_{氢}$: $E_{氦}$=10:3 (4) $\sqrt{\overline{V^2}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}$, $\sqrt{\overline{V_{氢}^2}}:\sqrt{\overline{V_{氦}^2}}=2:\sqrt{2}$

(5) $P=nkT=\frac{N}{V}kT$, $P_{氢}:P_{氦}=2:1$ (6) $\rho=\frac{PM}{RT}$, $\rho_{氢}$: $\rho_{氦}$=1:1

5、已知 $f(v)$ 是气体速率分布函数。N为总分子数，n为单位体积内的分子数，v_p 为最概然速率。试说明以下各式的物理意义。

(1)$Nf(v)dv$ (2)$f(v)dv$ (3)$\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$ (4)$\int_{v_0}^{\infty} Nf(v)\mathrm{d}v$ (5)$\int_0^{v_p} f(v)\mathrm{d}v$

(6)$\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$ (7)$\int_{v_p}^{\infty} f(v)\mathrm{d}v$ (8)$\int_0^{\infty}\frac{1}{2}mv^2 f(v)\mathrm{d}v$ (9)$\int_{v_0}^{\infty} vf(v)\mathrm{d}v/\int_{v_0}^{\infty} f(v)\mathrm{d}v$

解

（1） $Nf(v)dv$ 表示分布在 $v\sim v+dv$ 范围内的分子数

（2） $f(v)dv$ 表示 $v\sim v+dv$ 范围内的分子数占总分之数的百分比

（3） $\int_{v_1}^{v_2} Nf(v)dv$ 表示速率在 $v_1\sim v_2$ 之间的分子数

（4） $\int_{v_0}^{\infty} Nf(v)\mathrm{d}v$ 表示速率大于 v_0 的分子数

（5） $\int_0^{v_p} f(v)\mathrm{d}v$ 表示速率区间 $0\sim v_p$ 的分子数占总分子数的百分率

（6） $\int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$ 表示速率在 $v_1\sim v_2$ 区间内的分子数占总分之数的百分比.

（7） $\int_{v_p}^{\infty} f(v)\mathrm{d}v$ 表示分布在 $v_p\sim\infty$ 速率区间的分子数在总分子数中占的百分率

（8） $\int_0^{\infty}\frac{1}{2}mv^2 f(v)\mathrm{d}v$ 表示分子平动动能的平均值.

（9） $\int_{v_0}^{\infty} vf(v)\mathrm{d}v/\int_{v_0}^{\infty} f(v)\mathrm{d}v$ 表示速率大于 v_0 的那些分子的平均速率

第13章 热力学基础 作 业

一、教材：选择填空题 1~6；计算题： 14，15， 23，

二、附加题

（一）、选择题

1、摩尔数相同的两种理想气体，一种是氦气，一种是氢气，都从相同的初态开始经等压膨
胀为原来体积的 2 倍，则两种气体 **A**

(A) 对外做功相同，吸收的热量不同.

(B) 对外做功不同，吸收的热量相同.

(C) 对外做功和吸收的热量都不同.

(D) 对外做功和吸收的热量都相同.

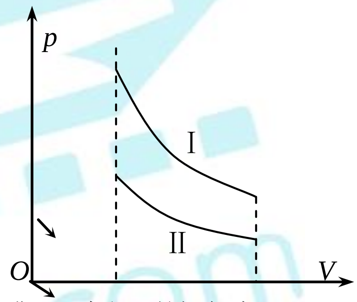
2、如图所示的是两个不同温度的等温过程，则 **A**

(A) Ⅰ过程的温度高， Ⅰ过程的吸热多.

(B) Ⅰ过程的温度高， Ⅱ过程的吸热多.

(C) Ⅱ过程的温度高， Ⅰ过程的吸热多.

(D) Ⅱ过程的温度高， Ⅱ过程的吸热多.



3、1mol 理想气体从 $p-V$ 图上初态 a 分别经历如图所示的(1)或(2)过程到达末态 b，已知 $T_a<T_b$，
则这两过程中气体吸收的热量 Q_1 和 Q_2 的关系是： **A**

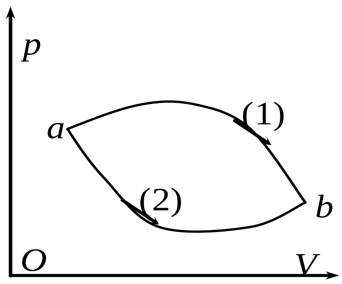
(A) $Q_1 > Q_2 > 0$.

(B) $Q_2 > Q_1 > 0$.

(C) $Q_2 < Q_1 < 0$.

(D) $Q_1 < Q_2 < 0$.

(E) $Q_1 = Q_2 > 0$.



4、某理想气体，初态温度为 T，体积为 V，先绝热变化使体积变为 $2V$，再等容变化使温度
恢复到 T，最后等温变化使气体回到初态，则整个循环过程中，气体： **A**

(A) 向外界放热.

(B) 从外界吸热.

(C) 对外界做正功.

(D) 内能减少

（二）、计算题

1、一定量的理想气体，其体积和压强依照 $V=a/\sqrt{p}$ 的规律变化，其中 a 为已知

常数,

求：(1) 气体从体积 V_1 膨胀到 V_2 所作的功；

(2) 体积为 V_1 时的温度 T_1 与体积为 V_2 时的温度 T_2 之比.

解：（1）因为 $V=a/\sqrt{p}$， 所以 $p=\dfrac{a^2}{V^2}$

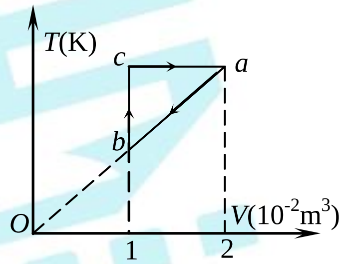
$$W=\int_{V_1}^{V_2} p\,dV=\int_{V_1}^{V_2}\frac{a^2}{V^2}dV=a^2\left(\frac{1}{V_1}-\frac{1}{V_2}\right)=a^2\frac{V_2-V_1}{V_1V_2}$$

（2）$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{P_1V_1/nR}{P_2V_2/nR}=\frac{V_1\dfrac{a^2}{V_1^2}}{V_2\dfrac{a^2}{V_2^2}}=\frac{V_2}{V_1}$$

2、1 mol 单原子分子理想气体的循环过程如图的 T—V 图所示，其中 c 点的温度为 T_c=600K，试求：

(1) ab、bc、ca 各个过程系统与外界交换的热量;

(2) 循环的效率.



解：（1）a-b 等压过程

$$Q_{ab}=nC_{p,m}(T_b-T_a)$$

因为等压 $\dfrac{nRT_a}{V_a}=\dfrac{nRT_b}{V_b}$

所以 $T_b=300K$

$$Q_{ab}=\frac{5}{2}R(T_b-T_a)=-6232.5J$$

b-c 等体过程

$$Q_{bc}=nC_{V,m}(T_c-T_b)=\frac{3}{2}R(T_c-T_b)=3739.5J$$

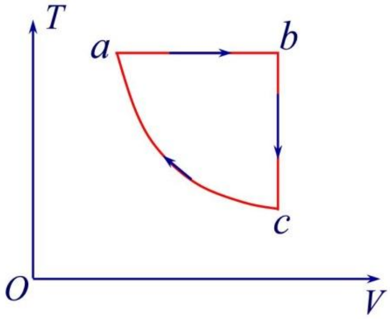
c-a 等温过程

$$Q_{ca}=nRT_c\ln\frac{V_a}{V_b}=RT_c\ln 2=3456J$$

（2）$\eta=1-\dfrac{|Q_{放}|}{Q_{吸}}$=13.38%

3、如图为一循环过程的 T-V 图线。该循环的工作物质为 ν mol 的理想气体， C_V 和 γ 均已知且为常数。已知 a 点的温度为 T_1，体积为 V_1，b 点的体积为 V_2，ca 为绝热过程，

求：(1) c 点的温度； (2) 循环的效率.



解：（1）ca 为绝热过程

$$V_1^{\gamma-1}T_1=V_2^{\gamma-1}T_c$$

$$T_c = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

（2）a-b 等温过程

$$Q_{ab} = nRT_1\ln\frac{V_2}{V_1}$$

b-c 等体过程

$$Q_{bc} = nC_{V,m}(T_c - T_1) = nC_{V,m}T_1\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} - 1\right]$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{放}|}{Q_{吸}} = 1 - \frac{nC_{V,m}T_1\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]}{nRT_1\ln\frac{V_2}{V_1}} = 1 - \frac{C_{V,m}\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right]}{R\ln\frac{V_2}{V_1}} = \frac{R\ln\frac{V_2}{V_1} + C_{V,m}\left[\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} - 1\right]}{R\ln\frac{V_2}{V_1}}$$

4、在等压过程中，0.28千克氮气从温度为293K膨胀到373K，问对外作功和吸热多少?内能改变多少?

解　等压过程：$W = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1)$

$$= \frac{280}{28}\times 8.31\times(373-293) = 6.65\times 10^3 J$$

$$Q = \frac{m}{M}C_p(T_2 - T_1) = \frac{280}{28}\times\frac{7}{2}\times 8.31\times(373-293) = 2.33\times 10^4 J$$

据 $Q = \Delta E + W, \Delta E = 1.66\times 10^4 J$

5、1摩尔的单原子理想气体，温度从300K加热到350K。其过程分别为(1)容积保持不变；(2)压强保持不变。在这两种过程中求：(1)各吸取了多少热量；(2)气体内能增加了多少；(3)对外界作了多少功.

解　已知气体为 1 摩尔单原子理想气体 $\frac{m}{M} = 1,\quad C_V = \frac{3}{2}R$

(1) 容积不变。$Q = \frac{m}{M}C_V(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}\times 8.31\times(350-300) = 623.25J$

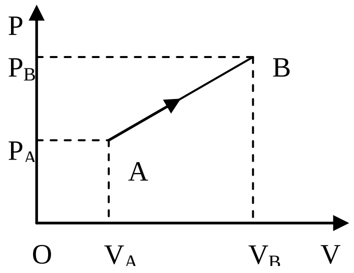
根据 $Q = \Delta E + W, W = 0, Q = \Delta E$。气体内能增量 $\Delta E = 623.25J$。对外界做功 $W = 0$.

(2) 压强不变。$Q = \frac{m}{M}C_p(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}\times 8.31\times(350-300) = 1038.75J,$

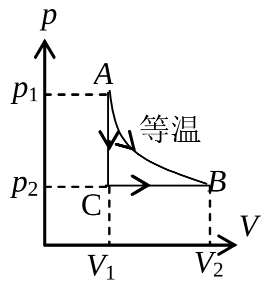
$\Delta E = 623.25J$，$W = 1038.75J - 623.25J = 415.5J$

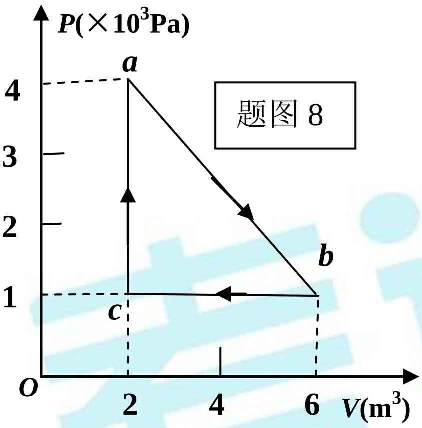
6、如图所示。某种单原子理想气体压强随体积按线性变化，若已知在A,B两状

态的压强和体积,求: (1)从状态A到状态B的过程中,气体做功多少?(2)内能增加多少?(3)传递的热量是多少?



题图 6





解 (1) 气体作功的大小为斜线 AB 下的面积

$$W=(V_B-V_A)\times P_A+\frac{1}{2}(V_B-V_A)(P_B-P_A)=\frac{1}{2}(P_A+P_B)(V_B-V_A)$$

(2) 气体内能的增量为: $\Delta E=\frac{m}{M}C_V(T_B-T_A)$ ①

据 $PV=\frac{m}{M}RT$

$$T_A=\frac{P_AV_AM_A}{mR} \quad ②$$

$$T_B=\frac{P_BV_BM_B}{mR} \quad ③$$

②③代入① $\Delta E=\frac{3}{2}(P_BV_B-P_AV_A)$

(3)气体传递的热量

$$Q=\Delta E+W=\frac{1}{2}(P_A+P_B)(V_B-V_A)+\frac{3}{2}(P_BV_B-P_AV_A)$$

7、一定量的刚性理想气体在标准状态下体积为 $1.0\times10^2m^3$，求下列各过程中气

体吸收的热量：(1)等温膨胀到体积为 $2.0\times10^2 m^3$； (2) 先等体冷却，再等压膨胀到(1)中所到达的终态.

解：(1) 如图，在 $A\to B$ 的等温过程中，$\Delta E_T=0$，

$$\therefore\ Q_T=W_T=\int_{V_1}^{V_2} P\,\mathrm{d}V=\int_{V_1}^{V_2}\frac{p_1V_1}{V}\mathrm{d}V=p_1V_1\ln(V_2/V_1)$$

将 $P_1=1.013\times10^5\,pa$，$V_1=1.0\times10^2 m^3$

和 $V_2=2.0\times10^2 m^3$

代入上式，得 $Q_T=7.02\times10^2 J$

(2) $A\to C$ 等体和 $C\to B$ 等压过程中

$\because A$、B 两态温度相同，$\therefore \Delta E_{ACB}=0$

$$\therefore\ Q_{ACB}=\Delta E_{ACB}+W_{ACB}=W_{ACB}=W_{CB}=P_2(V_2-V_1)$$

又 $P_2=(V_1/V_2)P_1=0.5atm$

$$\therefore\ Q_{ACB}=0.5\times1.013\times10^5\times(2-1)\times10^2=5.07\times10^2 J$$

8、氦气（视为理想气体）进行如图所示的循环，状态 $a\to b\to c\to a, a,b,c$ 的压强，体积的数值已在图上注明，状态a的温度为1000K，求：(1) 状态b和c的温度；(2)各分过程气体所吸收的热量，所作的功和内能的增量；(3)循环效率。

解 (1) $T_c=\dfrac{P_cT_a}{P_a}=\dfrac{1000\times1000}{4000}=250K;$

$T_b=\dfrac{V_bT_c}{V_c}=\dfrac{6\times250}{2}=750K$

(2)利用 $PV=\dfrac{m}{M}RT,\quad \dfrac{m}{M}R=\dfrac{p_aV_a}{T_a}=8$

$$Q_{ca}=\frac{m}{M}C_V(T_a-T_c)=\frac{5}{2}\times8\times(1000-250)=1.5\times10^4 J(\text{等容过程})$$

$$Q_{bc}=\frac{m}{M}C_p(T_c-T_b)=\frac{7}{2}\times8\times(250-750)=-1.4\times10^4 J(\text{等压过程})$$

$$Q_{ab}=\frac{m}{M}C_V(T_b-T_a)+\int_{V_a}^{V_b}pdV$$

$$=\frac{5}{2}\times8\times(750-1000)+1000(6-2)+\frac{1}{2}(4-1)\times10^3\times(6-2)=5\times10^3 J$$

$W_{ca}=0;$

$W_{bc}=P_c(V_c-V_b)=-4.0\times10^3 J$

$$W_{ab}=\int_{V_a}^{V_b}PdV=1000\times(6-2)+\frac{1}{2}(4-1)\times10^3\times(6-2)=1\times10^4 J$$

$$\Delta E_{ca}=\frac{m}{M}C_V(T_a-T_c)=\frac{5}{2}\times 8\times(1000-250)=1.5\times 10^4 J$$

$$\Delta E_{bc}=\frac{m}{M}C_V(T_c-T_b)=\frac{5}{2}\times 8\times(250-750)=-1.0\times 10^4 J$$

$$\Delta E_{ab}=\frac{m}{M}C_V(T_b-T_a)=\frac{5}{2}\times 8\times(750-1000)=-5\times 10^3 J$$

(3)

a 到 b 过程

$p=-750V+5500$ $\qquad$ $\nu RT=-750V^2+5500V$

温度最大出现在 $V=11/3m^3$ $\quad$ $p=2750pa$，在此之前吸热，在此之后放热

$$Q_{ab放}=\frac{5}{2}\nu R(T_b-T_{\mathrm{m}})+\int_{V_m}^{V_b}pdV$$

$$=\frac{5}{2}\times(p_bV_b-p_mV_m)+\frac{1}{2}(V_b-V_m)(p_m+p_b)$$

$$=-10208+4375$$

$$=-5833J$$

$$Q_{ab吸}=10833J$$

$$(3)\eta=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{1.4\times 10^4+5833}{1.5\times 10^4+10833}=23.2\%$$