1

⇓

(1) A内の気体とB内の気体はピストンを介して押しあっているので、後の状態においても、A内とB内の気体の圧力は等しい。

よって、$\underline{p_A = 1.2\times10^5\ [Pa]}$

(2) A内の気体の初と後でボイルの法則より、

$$1.0\times10^5\times0.60 = 1.2\times10^5\times V_A$$

$$V_A = \underline{0.50\ [m^3]}$$

また、A内の気体の体積が減少しているので、B内の気体の体積は増加しているので、

（Aの減少分…$0.60-0.50 = 0.10\ [m^3]$）

$$V_B = 0.60 + 0.10 = \underline{0.70\ [m^3]}$$

(3) B内の気体の初と後でボイル・シャルルの法則より、

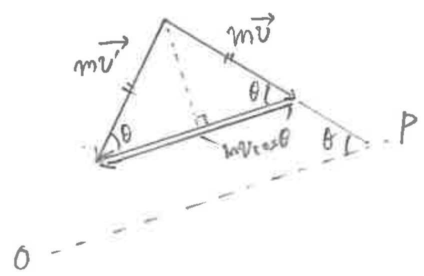
$$\frac{1.0\times10^5\times0.60}{3.0\times10^2} = \frac{1.2\times10^5\times0.70}{T_B}$$

$$T_B = \underline{4.2\times10^2\ [K]}$$

2

(1)

(a) 気体分子の運動量について、衝突前を$m\vec{v}$、衝突後を$m\vec{v'}$とする。気体分子は器壁と弾性衝突することから、$m\vec{v}$と$m\vec{v'}$の大きさは等しい。図に表すと、



気体分子の運動量の変化($m\vec{v'}-m\vec{v}$)は図の⇐の矢印で表される。

その大きさは、

$$2\times mv\cos\theta = 2mv\cos\theta\ [kg\cdot m/s]$$

また、向きは、P→Oの向きである。

$\underline{向き：P\to O\ ，大きさ：2mv\cos\theta\ [kg\cdot m/s]}$

(b) 気体分子が器壁に衝突してから、次に器壁に衝突するまでの時間間隔を求める。

Pで跳ね返ったあと、次に器壁に衝突する点をQとする。

直径は$2r$のため、

$\overline{PQ} = 2r\cos\theta$となる。

この移動にかかる時間tは、

$$t = \frac{2r\cos\theta}{v}$$ である。

よって、単位時間(1s間)に壁に衝突する回数nは、

$$n = \frac{1}{t} = \frac{1}{\frac{2r\cos\theta}{v}} = \underline{\frac{v}{2r\cos\theta}}$$

(2) まず、1つの気体分子が壁に与える力を求める。

(1)の(a)より、気体分子が壁から受ける力積も等しく、その大きさは$2mv\cos\theta$である。逆に、壁が気体分子から受ける力積は作用・反作用の法則より、大きさは、$2mv\cos\theta$である。

ここで、1秒間に1つの気体分子が壁に与える力積の大きさを求める。(1)の(b)より、

$$2mv\cos\theta\times\frac{v}{2r\cos\theta} = \frac{mv^2}{r}$$

1秒間に与える力積の大きさは、与える力の大きさに等しいので、1つの気体分子が器壁に与える力の大きさfは、

$$f = \frac{mv^2}{r}$$ となる。

全気体分子はN個あるので、

$$F = N\times\frac{mv^2}{r} = \underline{\frac{Nmv^2}{r}\ [N]}$$

(3) 球の表面積… $4\pi r^2$

球の体積… $\frac{4}{3}\pi r^3$

$p = \frac{F}{S}$ より、

$$p = \frac{\frac{Nmv^2}{r}}{4\pi r^2} = \frac{Nmv^2}{4\pi r^3}$$

ここで、$V = \frac{4}{3}\pi r^3$ より、

$$p = \frac{Nmv^2}{3\times\frac{4}{3}\pi r^3} = \underline{\frac{Nmv^2}{3V}\ [Pa]}$$

㊙p.127, 128 演習問題

$\boxed{3}$

(1) 気体 n_0[mol] の体積がA, B合わせて、$2V_0$[m³] であることに注意し、「$pV=nRT$」より、

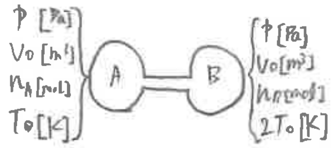
$$p_0 \cdot 2V_0 = n_0 R T_0$$

$$p_0 = \frac{n_0 R T_0}{2V_0} \text{ [Pa]}$$

また、単原子分子理想気体の内部エネルギーは、「$U=\frac{3}{2}nRT$」より、

$$U_0 = \frac{3}{2} n_0 R T_0 \text{ [J]}$$

(2)
(a)



それぞれの状態方程式は、

A: $pV_0 = n_A R T_0$ …①

B: $pV_0 = n_B R \cdot 2T_0$ …②

②÷①より、

$$1 = \frac{n_B}{n_A} \times 2$$

$$n_B = \frac{1}{2} n_A \quad \cdots ③$$

ここで、気体分子は容器A, B内で移動しているだけなので、

$$n_A + n_B = n_0$$

③より、

$$n_A + \frac{1}{2} n_A = n_0$$

$$n_A = \frac{2}{3} n_0 \text{ [mol]}$$

③より、

$$n_B = \frac{1}{3} n_0 \text{ [mol]}$$

(2) (b) (2)(a)の解を(2)(a)の①に代入し、

$$pV_0 = \frac{2}{3} n_0 R T_0$$

$$p = \frac{2 n_0 R T_0}{3V_0} \text{ [Pa]}$$

(2) (c)

加熱後のA内の内部エネルギー $U_A = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{3} n_0 \cdot R T_0 = n_0 R T_0$ [J]

〃 B内の 〃 $U_B = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{3} n_0 \cdot R \cdot 2T_0 = n_0 R T_0$ [J]

よって、内部エネルギーの増加 ΔU [J] は、

$$\Delta U = (U_A + U_B) - U_0$$

$$= 2n_0 R T_0 - \frac{3}{2} n_0 R T_0 = \frac{1}{2} n_0 R T_0 \text{ [J]}$$

$\boxed{4}$

一気に押しこむとき → 空気入れと外部との熱のやりとりを無視できる。(熱が外部に逃げる隙がない)
気体がされた仕事は 内部エネルギーの変化となる。

$\boxed{ア}$ ①　$\boxed{イ}$ ⑦　$\boxed{ウ}$ ⑧

十分にゆっくり押しこむとき → 空気入れと外部との熱のやりとりが自由である。
空気入れ(内部の気体含む)と外部とで温度差がなくなるように、熱が移動するので、気体がされた仕事は熱として外部に逃げていき、内部エネルギーと温度は変わらない。

$\boxed{エ}$ ②　$\boxed{オ}$ ⑥　$\boxed{カ}$ ⑨　$\boxed{キ}$ ⑩

$\boxed{5}$

(1)

$$Ⓐ \xrightarrow{\text{定積}} Ⓑ \xrightarrow{\text{等温}} Ⓒ \xrightarrow{\text{定圧}} Ⓐ$$

Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
・1.0×10^5 Pa	・2.2×10^5 Pa	・1.0×10^5 Pa
・2.0×10^{-3} m³	・2.0×10^{-3} m³	・V_C
・3.0×10^2 K	・T_B	・T_B

ボイル・シャルルの法則より、

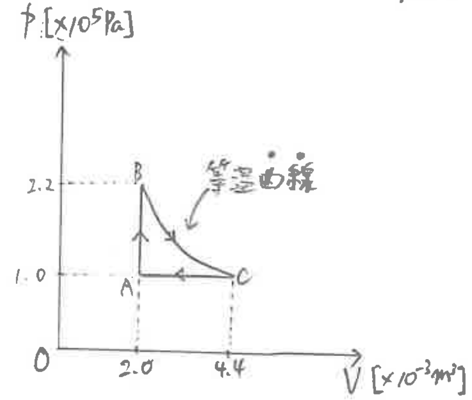
$$\frac{1.0 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}}{3.0 \times 10^2} = \frac{2.2 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}}{T_B}$$

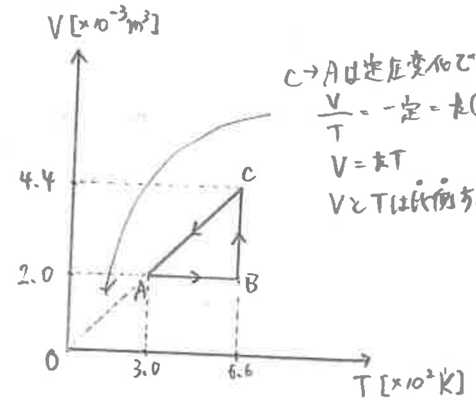
$$T_B = 6.6 \times 10^2 \text{ [K]}$$

同様に、

$$\frac{1.0 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}}{3.0 \times 10^2} = \frac{1.0 \times 10^5 \times V_C}{6.6 \times 10^2}$$

$$V_C = 4.4 \times 10^{-3} \text{ [m³]}$$





C→Aは定圧変化である。
$\frac{V}{T}$ = 一定 = k(定数)とおくと、
$V = kT$
VとTは比例する。

※

$$pV = nRT \cdots ①$$

定積: $(p+\Delta p)V = nR(T+\Delta T) \cdots ②$

②−①より、

$$\Delta p V = nR\Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} \Delta p V$$

定圧: $p(V+\Delta V) = nR(T+\Delta T') \cdots ②$

②−①より、

$$p\Delta V = nR\Delta T'$$

$$\Delta U' = \frac{3}{2} nR\Delta T' = \frac{3}{2} p\Delta V$$

(2)

$$\Delta U_{\mathrm{I}} \overset{(※)}{=} \frac{3}{2} \Delta p V = \frac{3}{2}(2.2 - 1.0) \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3}$$

$$= 3.6 \times 10^2 \text{ [J]}$$

$\Delta U_{\mathrm{II}} = 0$ [J] (等温変化のため)

$$\Delta U_{\mathrm{III}} \overset{(※)}{=} \frac{3}{2} p\Delta V = \frac{3}{2} \times 1.0 \times 10^5 \times (2.0 - 4.4) \times 10^{-3}$$

$$= -3.6 \times 10^2 \text{ [J]}$$

(3) $W_{\mathrm{I}} = 0$ [J] (定積変化のため)

W_{II}について、$\Delta U_{\mathrm{II}} = 0$[J], $Q_{\mathrm{II}} = 3.5 \times 10^2$[J]なので、
熱力学第一法則「$\Delta U = Q + W_{\text{された}}$」より、

$$0 = 3.5 \times 10^2 + W_{\mathrm{II}}$$

$$W_{\mathrm{II}} = -3.5 \times 10^2 \text{ [J]}$$

$$W_{\mathrm{III}} = -W'_{\mathrm{III}} = -p\Delta V = -1.0 \times 10^5 \times (2.0 - 4.4) \times 10^{-3}$$

$$= 2.4 \times 10^2 \text{ [J]}$$

(4) Q_{I}について、$\Delta U_{\mathrm{I}} = 3.6 \times 10^2$[J], $W_{\mathrm{I}} = 0$[J]なので、

$$3.6 \times 10^2 = Q_{\mathrm{I}} + 0$$

$$Q_{\mathrm{I}} = 3.6 \times 10^2 \text{ [J]}$$

Q_{III}について、$\Delta U_{\mathrm{III}} = -3.6 \times 10^2$[J], $W_{\mathrm{III}} = 2.4 \times 10^2$[J]なので、

$$-3.6 \times 10^2 = Q_{\mathrm{III}} + 2.4 \times 10^2$$

$$Q_{\mathrm{III}} = -6.0 \times 10^2 \text{ [J]}$$

(5) $e = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$ より、

$$e = \frac{3.6 \times 10^2 + 3.5 \times 10^2 - 6.0 \times 10^2}{3.6 \times 10^2 + 3.5 \times 10^2}$$

$$= \frac{11}{71}$$