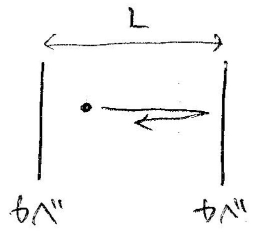
2007 後期第1回

1 (a)



完全弾性衝突.

* 時間tの間に衝突する回数： $v_x t / 2L$.

* 一回の衝突での力積 ： $m(v_x - (-v_x)) = 2mv_x$

(b) $P_x L^2 = N \times 2m\langle v_x\rangle \times \frac{\langle v_x\rangle t}{2L}$

$$\left(\sum_i 2m v_{x_i} \cdot \frac{v_{x_i} t}{2L} = N \cdot \frac{m\langle v_x^2\rangle t}{L} \right)$$

$$\therefore P_x = Nm\langle v_x^2\rangle / L^3$$

(c) $\langle v_x^2\rangle = \langle v_y^2\rangle = \langle v_z^2\rangle = \langle v^2\rangle$.

$$\epsilon = \frac{1}{2}m\langle v_x^2\rangle + 〃_y + 〃_z = \frac{3}{2}m\langle v^2\rangle$$

$$U = \epsilon N = \frac{3}{2}\underbrace{Nm\langle v_x^2\rangle}_{=PV} = \frac{3}{2}PV.$$

(d) ideal gas: $PV = NkT$.

$$PV = \frac{2}{3}\epsilon N = NkT.$$

$$\epsilon = 3/2\, kT.$$

エネルギーは各方向に等分配されるので一自由度当たりは $kT/2$

2 (a) $W = F \cdot \Delta d$

$= p \cdot S \cdot \Delta d$

$= -p \Delta V$.   (符号に気を付けること).

(b) (1) $(T_1, V_1) \xrightarrow{①} (T_2, V_1) \xrightarrow{②} (T_2, V_2)$.

① で $V_1 = \text{const}$. より $\Delta W = 0$.

② で $\Delta W = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV$

$= \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_2}{V} dV = nRT_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$,

$\therefore \Delta W = nRT_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

(2) $(T_1, V_1) \xrightarrow{①} (T_1, V_2) \xrightarrow{②} (T_2, V_2)$

① で $\Delta W = nRT_1 \ln(V_2/V_1)$

② で $\Delta W = 0$.

$\therefore \Delta W = nRT_1 \ln(V_2/V_1)$.

3 (1) まず：物体の内部エネルギーが仕事の分だけ減少.

$\Updownarrow$

物体の温度がその仕事に相当する熱の分上昇.

この変化が可逆であるとすると、

物体の温度を戻して外に仕事する他は何も変化が残らない
ような過程が実現可能。

つまり、

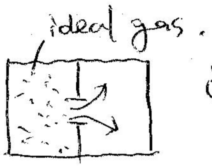
$\Delta Q\uparrow \Rightarrow \Delta T\uparrow$ $(T_1\to T_2)$ とした後.

$\Delta T\downarrow$ $(T_2\to T_1)$ で外に仕事 ΔW するだけで他に変化を残さない過程が実現可能。

しかし、ΔQを全てΔWに変えて他に変化を残さないことは
Tomsonの原理から否定される。 ∴摩擦による変化は不可逆。

(2) 戻せない。理想気体を等温膨張させる過程には、熱と仕事の他に
気体体積の~~変化~~膨張という変化が残る。

(3)

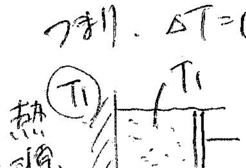


断熱 $\Delta Q=0$. $\Delta W=0$. $\rightarrow$ $\Delta U=0$, $\Delta T=0$.

$(V_1\to V_2)$ $\Delta V\uparrow$ で $\Delta P\downarrow$ が起こる。

この変化が可逆なら、$\Delta V\downarrow$ $(V_2\to V_1)$ で他に変化が残らない過程が実現可能
ということになる。

つまり、$\Delta T=0$ に保ったまま.



$P_1\to P_2$ に減らして $\Delta V\uparrow$ 膨張.

このとき気体はピストンに仕事 ΔW.

$\Delta T=0$ なので $\Delta U=0$，つまり ΔW に相当する ΔQ が熱源から

この後 $\Delta V\downarrow$ $(V_2\to V_1)$ で他に変化が残らない過程が存在すれば元に戻る。

しかし、ΔQをΔWに全て変えて他に~~変化が~~何も残らない過程はトムソンの原理に
反する。

∴理想気体の自由膨張は不可逆。