

1. 理想気体の分子運動論について、以下の問いに答えよ。

(1) 温度  $T$  [K] で保たれた理想気体における単原子  $\alpha$  または 2 原子分子  $\beta_2$  について考える。

- ①  $\alpha$  および  $\beta_2$  が持つ自由度をそれぞれ述べよ。ただし  $\beta_2$  の分子振動については無視できるものとする。
- ② ボルツマン定数  $k_b$  [J/K] を用いて  $\alpha$  および  $\beta_2$  の平均運動エネルギー  $E_\alpha$  [J] および  $E_{\beta_2}$  [J] を示せ。

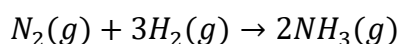
(2) 常温  $T = 300$  [K] で保たれた理想気体中の窒素分子 ( $N_2$ ) について考える。なお、 $N_2$  の質量を  $m = 4.65 \times 10^{-26}$  [kg]、ボルツマン定数を  $k_b = 1.38 \times 10^{-23}$  [J/K] とする。

- ① この分子の平均運動エネルギー  $E_{N_2}$  [J] を求めよ。
- ② この分子が並進運動する際の平均速さ  $v$  [m/s] を求めよ。なお、解答には平方根を含めても良い。

2. (選択問題) 理想気体のサイクルについて、2A. または 2B. のいずれか 1 つを選んで答えよ。選んだ問題番号について、答案用紙の問題番号欄に○で囲むこと。

2A.

以下の反応式をもとにアンモニア ( $NH_3$ ) の合成反応を標準状態 ( $300\text{ K}, 1\text{ atm}$ ) で行ったところ、 $17.0\text{ g}$  の  $NH_3$  の気体 ( $g$ ) が生成し、 $-46.1\text{ kJ}$  の熱が放出された。このとき、 $NH_3$  の分子量は  $17.0\text{ g/mol}$  とし、化合物の標準モルエントロピーはそれぞれ  $S^\circ(NH_3) = 193\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 、 $S^\circ(N_2) = 192\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  および  $S^\circ(H_2) = 131\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  とする。



- (1) 反応式のとおり  $2\text{ mol}$  の  $NH_3(g)$  が生成した際の標準反応エンタルピー変化  $\Delta H^\circ$  [ $\text{kJ}$ ] を求めよ。
- (2) 以下の空欄 (a)~(g) に適当な語句や記号、数値を入れ、反応式における標準反応エンタルピー変化  $\Delta S^\circ$  [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ] の値を求めよ。

反応式の  $\Delta S^\circ$  は以下のように表される。

$$\Delta S^\circ = [ (a) ] - [ (b) + (c) ]$$

ここで、各値を代入し計算すると

$$\begin{aligned}\Delta S^\circ &= (d) - ( (e) + (f) ) \\ &= (g)\end{aligned}$$

- (3) この反応式における標準ギブズ自由エネルギー変化  $\Delta G^\circ$  を求めよ。

2B.

図1のPV線図に示す熱サイクルを考える。状態1から2は断熱変化、状態2から3は定圧変化、状態3から4は断熱変化、状態4から1は定圧変化である。また、状態2から3においては、熱量 $Q_1$ が外部から加えられ、状態4から1においては、熱量 $Q_2$ が外部に放出される。この定圧変化の熱サイクルについて、以下の問いに答えよ。ただし、状態1から4までの温度をそれぞれ $T_1 \sim T_4$ 、作動流体の質量を $m$ 、定容比熱を $c_v$ 、 $\kappa$ は比熱比、 $\phi (= P_2/P_1)$ は圧力比とする。

- (1) 定圧比熱を $c_p$ などで表せ。
- (2) 外部から加えられる熱量 $Q_1$ を、 $T_2$ 、 $T_3$ などで表せ。
- (3) 外部に放出される熱量 $Q_2$ を、 $T_1$ 、 $T_4$ などで表せ。
- (4) (2)と(3)の間での仕事 $W$ を、 $Q_1$ や $Q_2$ で表せ。
- (5) このサイクルの理論熱効率 $\eta$ を、 $Q_1$ や $Q_2$ で表せ。
- (6) この $\eta$ を、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ で表せ
- (7) (6)の $\eta$ を、 $\phi$ 、 $\kappa$ などで表せ。
- (8) この熱効率 $\eta$ を高めるためには、どうしたらよいか？ 簡単に説明せよ。

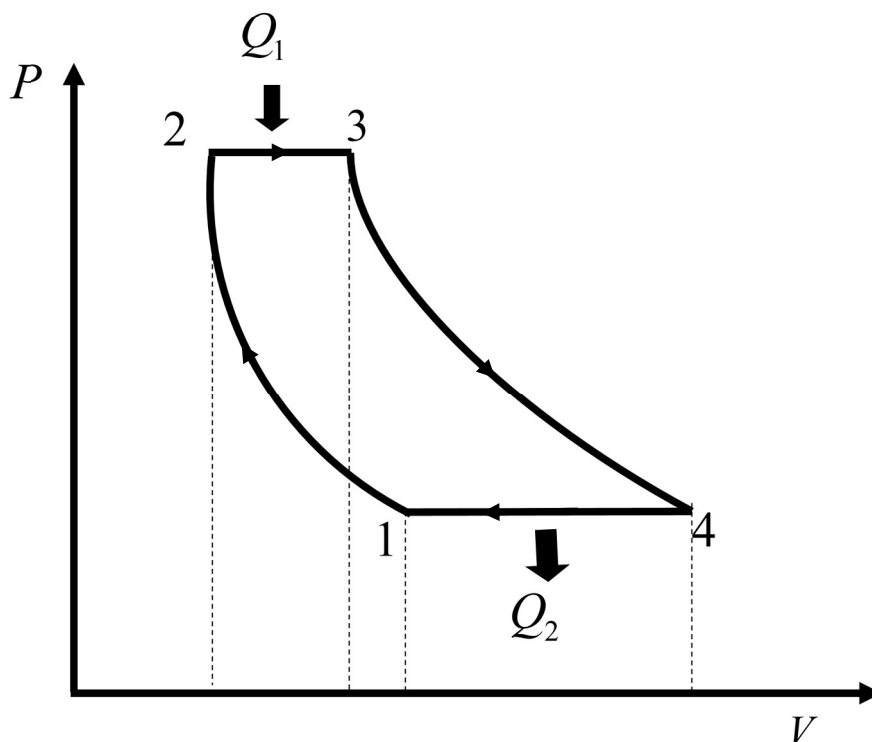


図1