

解答用紙：両面3枚（1冊），計算用紙：1枚，解答時間：90分，持ち込み不可

計算問題は，計算の仕方や考え方も簡単に記すこと。

1. 「状態量」とは何かを説明し，熱力学に登場する物理量で，状態量であるものと，状態量でないものの例を，それぞれひとつずつあげよ。
2. ある気体は，エントロピーの自然な変数が  $U, V, N$  であり，基本関係式は

$$S = Ns_0 + RN \ln \left[ \left( \frac{U + aN^2/V}{Nu_0} \right)^{3/2} \left( \frac{V - bN}{Nv_0} \right) \right] \quad (1)$$

だという。ただし， $R$ は気体定数， $a, b$ は小さな正定数， $\ln$ は自然対数， $s_0, u_0, v_0$ は適当な定数である。内容積  $V_2$  の容器の中に仕切板を横から差し込んで，内容積が  $V_1 (< V_2)$  と  $V_2 - V_1$  の2つの部分に仕切る。容器も仕切板も，気体も熱も通さない堅い材料でできている。 $V_1$  の部分にこの気体を  $N$  モル入れ， $V_2 - V_1$  の部分は真空にしておいたら，やがて温度  $T_1$  の平衡状態になった。それからいきなり，仕切板を平行にずらすように引き抜いた。以下の量を， $V_1, V_2, N, T_1$  と，上記の基本関係式に現れた定数の関数として求めよ。（注意： $U$ を答えに含んではいけない）

- (a) 再び平衡状態になったときの気体の温度と，仕切板を引き抜く前の温度  $T_1$  の差。
  - (b) 再び平衡状態になったときの気体のエントロピーと，仕切板を引き抜く前のエントロピーの差。
3. 系がいくつかの外部系と力学的仕事をやりとりしながら，外部系  $e_1, e_2, \dots$  と次々に熱接触する過程が，系が熱を交換する相手の外部系  $e_1, e_2, \dots$  にとって準静的過程であれば，系のエントロピー変化は， $e_i$  の温度を  $T_i$  として次の不等式を満たす：

$$\Delta S \geq \sum_i \int_{e_i \text{ と接触する始状態}}^{e_i \text{ と接触する終状態}} \frac{dQ}{T_i} \quad (2)$$

これを用いて，以下の問に答えよ。

- (a)  $e_1, e_2, \dots$  が全て熱浴であるようなサイクル過程において， $e_i$  から系に流れ込んだ熱  $Q_i$  と  $T_i$  の間には，クラウジウスの不等式と呼ばれる関係式が成り立つ。それを上式から導け。
  - (b) 温度  $T_L$  の熱浴から温度  $T_H$  の熱浴 ( $T_H > T_L$ ) へと熱を移動させるサイクル過程（冷蔵庫やクーラーなどの冷却器）の効率の上限値を， $T_H, T_L$  の関数として求めよ。
  - (c) 上記の機器を暖房機として使ったときの効率の上限値を， $T_H, T_L$  の関数として求め，それを電熱器の暖房効率と比較せよ。
4. 熱容量と比熱について，以下の問に答えよ。

- (a) 物質 A と物質 B が、それぞれ堅い断物容器に入っている。これらを熱接触させると、熱をやりとりしてそれぞれの温度  $T_A, T_B$  が変化する。  $T_B$  の変化量が  $T_A$  の変化量よりもずっと小さくなるための条件を、物質 A と物質 B の定積モル比熱  $c_{VA}, c_{VB}$  と物質量  $N_A, N_B$  で表せ。
- (b) 光子気体の定積熱容量は、  $\sigma, c$  を正定数として、  $C_V = (16\sigma/c)T^3V$  で与えられる。体積が  $V$  で温度が  $T$  の状態と、同じ体積で温度が  $T_0$  の状態との、エントロピーの差  $\Delta S$  を求めよ。

5. マクスウェルの関係式について、次の問に答えよ。

- (a) そのひとつである、次式を導け：

$$\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_{V,N} = -\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_{S,N} \quad (3)$$

- (b) マクスウェルの関係式の意義を説明せよ。

6. 講義や試験について、良い点・悪い点を述べよ。3行以上あれば内容の如何にかかわらず、一律に多少の点を与えるので、自由に思った通りに書くこと。