

クラス：1 年理 I 04,05,22,28 担当教官：松井哲男

制限時間 90 分，参考書・ノート・電卓の持ち込み不可，問題用紙 2 枚，両面解答用紙 1 枚，計算用紙 1 枚

**問題 I.**  $pV$  図上で、3 つの異なる状態 (1、2、3) を等圧線 (A)、等積線 (B)、そして断熱線 (C) で結ぶサイクルを考える (図 1)。この熱機関の作業物質を、1 モルの理想気体としたとき、以下の間に答えなさい。[40 点]

必要であれば、次の関係式を計算に用い、計算の過程も明記せよ：

$$dU = TdS - pdV, \quad pV = RT, \quad U = C_V T + \text{const.}$$

ここで、 $U$ 、 $T$ 、 $S$ 、 $p$ 、 $V$  は、それぞれ気体の内部エネルギー、絶対温度、エントロピー、圧力、体積を表す。 $R$  は気体定数、 $C_V$  は等積モル比熱である。また、数値計算で必要であれば  $0.1^{1.4} = 0.040$  を用いなさい。有効数字桁数は 2 とする。

- 1) 3 つの状態に対応する絶対温度  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  と、エントロピー  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  のそれぞれの大小関係を、等式又は不等式を使って表しなさい。
- 2) 等圧過程 A で作業物質が外界にする仕事  $W_A$  と内部エネルギーの変化  $\Delta U$  を、始状態と終状態の絶対温度  $T_1$ 、 $T_2$  を使って表しなさい。また、そのとき作業物質が受け取る熱量  $Q_A$  を熱力学の第一法則を使って求めなさい。
- 3) 等積過程 B において、作業物質のエントロピーの変化  $\Delta S$  を、始状態の温度  $T_2$ 、終状態の温度  $T_3$ 、そして気体定数  $R$  を用いて表わしなさい。但し、作業物質の定積熱容量  $C_V = \frac{5}{2}R$  とする。
- 4) 断熱圧縮過程 C で、体積比  $V_2/V_1 = 10$  のとき、温度比  $T_3/T_1$  を計算しなさい。但し、作業物質の定圧モル比熱と定積モル比熱の比は  $\gamma = C_p/C_V = 1.4$  とする。

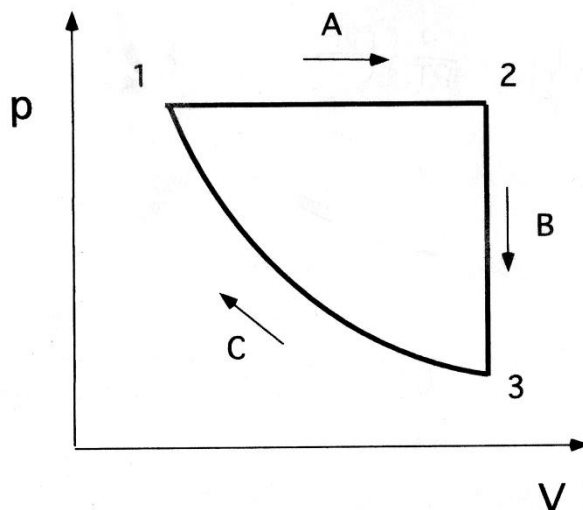


図 1：問題 I

**問題 II.** Joule-Thomson の細孔栓実験では、シリンダーのまん中を細孔栓のついた壁で仕切り、仕切りの左側の容器に入れた圧力  $p_1$  の気体を、二つのピストンをゆっくり右に動かして、細孔栓をとおして反対側に断熱的に移す (図 2)。細孔栓を通過して仕切りの右側に移動した気体は圧力が常に  $p_2$  で一定となるようにピストンに働く力を調節してある。気体の体積は、この過程の前後で、 $V_1$  から  $V_2$  に変化したとする。以下の間に答えなさい。[30 点]

- 1) 熱力学の第 1 法則を使って、この過程の前後で、気体のエンタルピー  $H = U + pV$  が保存されることを示しなさい。
- 2) 理想気体ではこの過程で温度変化がないことを示しなさい。
- 3) この過程が非可逆過程であることを示し、始状態と終状態での  $n$  モルの理想気体のエントロピーの変化  $\Delta S$  を  $p_1$  ,  $p_2$  を使って表わしなさい。

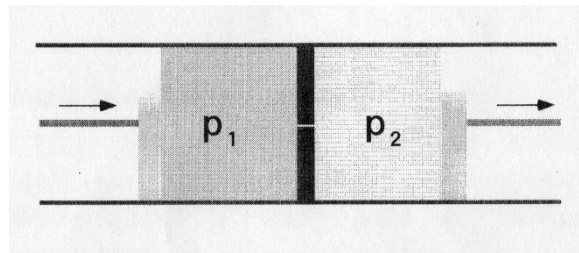


図 2 : 問題 II

**問題 III.** 1 気圧の下である量の  $27^\circ\text{C}$  の水に  $0^\circ\text{C}$  の氷を  $100\text{g}$  入れてしばらく放置したところ、氷が解け温度が  $5^\circ\text{C}$  の水になった。以下の間に答えなさい。但し、この水と氷の入った容器は断熱壁で囲まれ外界との熱の出入りはないものとする。氷の融解熱は 1 気圧の下で  $80\text{cal/g}$ 、水の 1 気圧での定圧熱容量を  $1\text{cal/g}\cdot\text{K}$  として計算しなさい。また必要であれば、 $\ln(300/278) = 0.076$  ,  $\ln(278/273) = 0.018$  を用い、有効数字は 2 桁で計算しなさい。[20 点]

- 1)  $100\text{g}$  の氷が解けて  $5^\circ\text{C}$  の水になるとき吸収する熱量を計算し、最初の  $27^\circ\text{C}$  水の量を求めなさい。但し、熱の仕事当量を  $1\text{cal} = 4.2\text{J}$  として計算しなさい。
- 2) 最初の水と氷の状態からの系全体のエントロピーの変化を計算し、最初の氷と水の状態に戻すには温度  $27^\circ\text{C}$  の外界に最低どれだけの熱量を排出する必要があるか求めなさい。

**問題 IV.** 次のマクスウェルの関係式の導出方法を 1 つ述べなさい。[10 点]

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

**V.** 講義で最も面白いと思ったこと、或いは、自分で勉強して熱力学について一番興味を持ったことについて自由に書きなさい。[最高で 20 点加算] その他、講義に関する意見があったら書いて下さい。ただし、これは試験の点数には影響しません。