

問題 I. 温度 T_H の高温熱浴から熱量 Q_H を奪って、外界に仕事 W をし、温度 T_L の低温熱浴に熱量 Q_L を与えるサイクル運動をする熱機関を考える。以下の問に答えなさい。

- 1) 熱力学の第 1 法則によって与えられる関係式を書き、その式の意味を説明しなさい。
- 2) 熱力学の第 2 法則が与える W の上限値を他の量を使って表わし、それがどのような条件で実現されるか説明しなさい。

問題 II. pV 図上で、3つの異なる状態 (1, 2, 3) を等圧線 (A)、断熱線 (B)、そして等温線 (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、以下の問に答えなさい。但し、3つの状態の体積比を $V_2/V_1 = V_3/V_2 = 2$ とする。

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 $0.5^{1.4} \simeq 0.38$ 、 $\ln 2 \simeq 0.69$ を用いなさい。有効数字桁数は 2 とする。

- 1) 3つの状態の内部エネルギー U_1 、 U_2 、 U_3 の大小関係を表しなさい。
- 2) 3つの状態のエントロピー S_1 、 S_2 、 S_3 の大小関係を表しなさい。
- 3) 等圧膨張過程 A で、始状態と終状態の絶対温度 T_1 、 T_2 の比 T_2/T_1 を求めなさい。また、この過程で、系が外界にする仕事 W_A と外界から吸収する熱量 Q_A を T_1 、 T_2 、 R 、 C_V を使って表しなさい。
- 4) 断熱膨張過程 B で、温度比 T_3/T_2 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。
- 5) このサイクルを使って絶対温度 T_1 と T_2 の 2つの熱浴の間で働く熱機関の効率を計算しなさい。

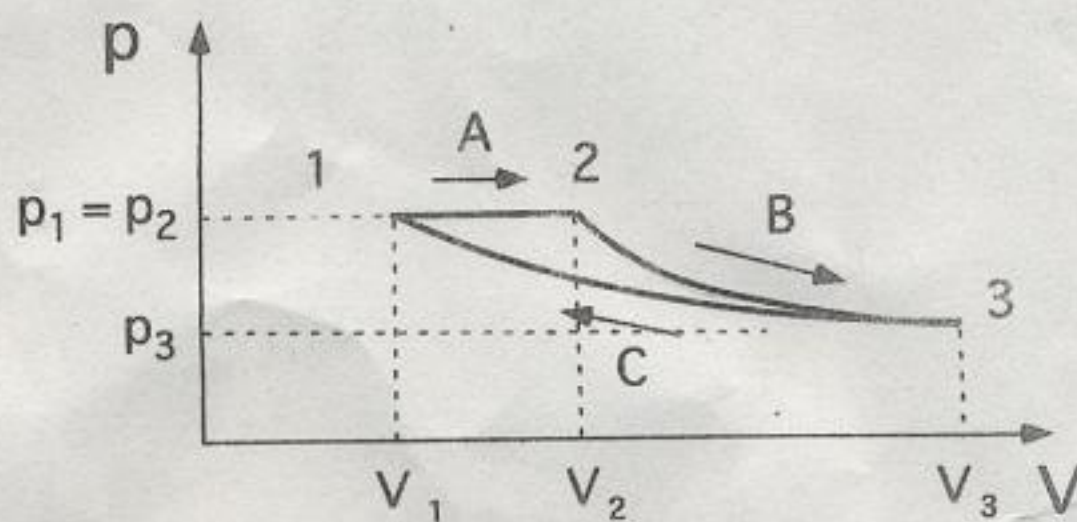


図 1: 問題 II のサイクル

問題 III. 1 気圧の下である量の 15°C の水に 0°C の氷を 50g 入れてしばらく放置したところ、氷が解け温度が 10°C の水になった。以下の問に答えなさい。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 80cal/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、 x が 1 に比べて十分小さいときの近似式 $\ln(1+x) \simeq x$ を用いてよい。

- 1) 最初の 15°C の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) 0°C の 50g の氷が解けて 10°C の水になるときのエントロピーの変化を計算しなさい。
- 3) 最後の 10°C の水の状態から元の 0°C の氷 100g と 15°C の水の状態に戻すには、最低どれだけの仕事が必要か？その計算の根拠も説明しなさい。但し、余分な熱量は温度 15°C の外界に放出されるものとしなさい。

問題 IV. 熱力学状態量の偏微分についてのマクスウェルの関係式を 1 つ書き、その導出方法を述べなさい。

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。