

問題 3-1 (熱の仕事当量)

1 g の水の温度を 1°K 上昇させるために要する熱量 (1 cal) は, 1 g の水を重力 (地表付近) に抗して何 m 持ち上げるエネルギーに対応するか。

問題 3-2 (気体の自由膨張の不可逆性: Q, W の値)

等温環境下で自由膨張した理想気体の状態を, 準静的定圧過程により元の体積まで収縮させ, さらに, 準静的定積過程によって始めの温度まで加熱して, 元の状態に戻す。(問題 2-1 解答例の [方法 2] 参照のこと) 各過程で理想気体が吸収した熱量 Q と外界にした仕事 W を求め, このサイクルにおいて, 外界にどのような変化が生じているか, 述べよ。

問題 2-1 解答例 [方法 1], [方法 3] の場合について, 同様の考察をせよ。

問題 3-3 (気体の圧縮による発火)

断面積 1 cm^2 の細いガラス管に封入された温度 27°C , 圧力 1 atm, 高さ 30 cm の空気柱を急激に圧縮して高さ 3cm にしたとする。気体を理想気体とみなし, この過程が準静的断熱過程であるとして, ガラス管中の空気の温度変化を求めよ。また, この操作に必要な仕事を求めよ。

問題 3-5 (内部エネルギー: 混合理想気体)

混合理想気体について “ジュールの実験 2” の結果が厳密に成り立つとする。2 種類の理想気体の定積モル比熱をそれぞれ $c_V^{(1)}, c_V^{(2)}$ とするとき, これらの混合系の内部エネルギー $U(T, V, N_1, N_2)$ を求めよ。

問題 3-6 (内部エネルギーと熱量: 定積熱容量と定圧熱容量の関係)

1. 定積熱容量 C_V と定圧熱容量 C_p の間の関係式

$$C_p - C_V = \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{T,N} + p \right\} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{p,N} \quad (1)$$

を導出せよ。

2. 理想気体の状態方程式と内部エネルギー (例題 4 の結果) が与えられているとして, 前問の結果より, マイヤーの関係式を導け。

問題 3-7 (体積弾性率の比と比熱比)

与えられた過程における体積弾性率 $k_{[\text{過程}]}$ を次式で定義する:

$$k_{[\text{過程}]} = -V \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_{[\text{過程}]}$$

このとき, 次の関係式が成り立つことを示せ。

$$k_{\text{断熱}} = \frac{C_p}{C_V} k_{\text{等温}} = \gamma k_{\text{等温}} \quad (2)$$

問題 3-8 (内部エネルギーと熱量：ファン・デル・ワールス気体)

ある気体は次の二つの熱力学的特性をもつと仮定する：

- ファン・デル・ワールスの状態方程式

$$p = \frac{NRT}{V - Nb} - a \left(\frac{N}{V} \right)^2 \quad (3)$$

- 内部エネルギー

$$U = NcT - aN \left(\frac{N}{V} \right) + Nu_0 \quad (4)$$

ただし、 c 、 u_0 は温度 T 、体積 V によらない定数とする。

このとき、次の問に答えよ。

1. この気体の定積熱容量 C_V を求めよ。
2. この気体が準静的等温過程で吸収する熱量 Q を求めよ。
3. この気体の準静的断熱過程における温度 T と体積 V の関係 (断熱曲線) を求めよ。
4. この気体を用いて例題 3 の “ジュールの実験 2” を行った場合、気体の温度変化 ΔT はどうか。 ΔT を容器 A, B の体積 V , V' および熱量計内の水の熱容量 $C_{\text{水}}$ を用いて与えよ。
5. 断熱自由膨張によって、この気体の体積が V から $V + V'$ になるとき、温度変化 ΔT を求めよ。
6. 気体は 2 原子分子であると仮定し、気体と水の比熱の違いに注目して、前問 2 題の結果を比較せよ。

問題 3-9 (大気圧、大気温の高度変化)

空気は平均分子量 m の 2 原子分子の理想気体であると仮定して、以下の問に答えよ。

(久保, 1 章 A[8] 参照)

1. 大気圧の高度変化が次の式で与えられることを示せ。ただし、 z は地表からの高度を表すものとする。

$$\frac{dp(z)}{dz} = -m g p(z) / (RT(z)). \quad (5)$$

2. 大気温の高度変化が次の式で与えられることを示せ。ただし、空気が上昇するとき、準静的に断熱膨張すると仮定してよい。

$$\frac{dT(z)}{dz} = -(\gamma - 1) m g / (\gamma R), \quad (\gamma = c_p / c_v). \quad (6)$$

3. 高度 1 km での大気温の低下はいくらになるか、評価せよ。