

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)

温度一定の熱源と接している透熱容器の中で, 自由膨張した理想気体の状態を, 準静的過程によって元にもどすことを考える。このとき, どのような準静的な過程を用いても, 外界から正の仕事 L が加えられ, 仕事 L と同量の熱量が外界に放出されることを示せ。

問題 3-3 (気体の自由膨張の不可逆性 その 2: 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。(例題 2 [方法 2] 参照のこと) このサイクルにおいて, 外界にはどのような変化が生じているか, 述べよ。

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

問題 3-1 (熱の仕事当量)

(解答例)

$$Q = Jq = mgl, \quad \therefore l = \frac{Jq}{mg} = \frac{4.18 \cdot 1.0}{1.0 \times 10^{-3} \cdot 9.8} = 426\text{m}.$$

問題 3-2 (気体の自由膨張の不可逆性)

(解答例)

自由膨張した理想気体の状態を元にもどすような準静的収縮過程は、 Vp 平面上の曲線分によって表すことができる。このとき理想気体が外界にする仕事 W は、曲線分の下側の領域の面積に比例し、負の値をとる。すなわち、 $W < 0$ 。したがって、外界からは正の仕事 $L = -W > 0$ が加えられる。

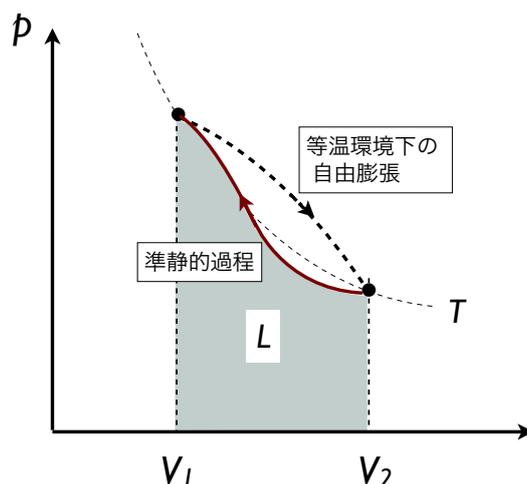


図 1: 理想気体の自由膨張と準静的収縮過程からなるサイクル

また、この準静的収縮過程では、温度変化はゼロであるから、例 (等温環境下での理想気体の膨張・収縮における $Q-W$) より、 $Q - W$ はゼロである。したがって、 $Q = W < 0$ 。すなわち、外界に $-Q = -W = L (> 0)$ だけの熱量が放出されることになる。

問題 3-3 (気体の自由膨張の不可逆性 その 2: Q, W の値)

(解答例)

例題 2 [方法 2] : (f) \rightarrow (a) \rightarrow (i) の過程を考える。 $V_1 = V, V_2 = V + V'$ とする。

(f) \rightarrow (a) は定圧過程であるから

$$p = \frac{RT}{V_2} = \frac{RT'}{V_1}, \quad \therefore T' = \frac{V_1}{V_2}T$$

(f) → (a) → (i) における W と Q はそれぞれ

$$\begin{aligned}W &= p(V_1 - V_2) + 0 = -RT \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \\Q &= (c_V + R) \left(\frac{V_1}{V_2}T - T\right) + c_V \left(T - \frac{V_1}{V_2}T\right) \\&= -RT \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right)\end{aligned}$$

したがって、外界は正の熱量 $+RT \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right)$ を吸収して、正の仕事 $+RT \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right)$ をしたことになる。また、気体の封入された容器の体積は $V + V'$ から V に変化していると考えべき。

例題 2 [方法 1] : (f) → (i) の準静的等温過程では、 W と Q はそれぞれ

$$\begin{aligned}W &= RT \ln(V_1/V_2) = -RT \ln(V_1/V_2) \quad (< 0) \\Q &= RT \ln(V_1/V_2) = -RT \ln(V_1/V_2) \quad (< 0)\end{aligned}$$

したがって、外界は正の熱量 $+RT \ln(V_1/V_2)$ を吸収して、正の仕事 $+RT \ln(V_1/V_2)$ をしたことになる。

例題 2 [方法 3] : (f) → (b) → (i) の準静的断熱過程+準静的定積過程では、 W と Q はそれぞれ

$$\begin{aligned}W &= -c_V(T'' - T) + 0 = -c_V T \left((V_2/V_1)^{R/c_V} - 1\right) \quad (< 0) \\Q &= 0 + c_V(T - T'') = -c_V T \left((V_2/V_1)^{R/c_V} - 1\right) \quad (< 0)\end{aligned}$$

したがって、外界は正の熱量 $+c_V T \left((V_2/V_1)^{R/c_V} - 1\right)$ を吸収して、正の仕事 $+c_V T \left((V_2/V_1)^{R/c_V} - 1\right)$ をしたことになる。