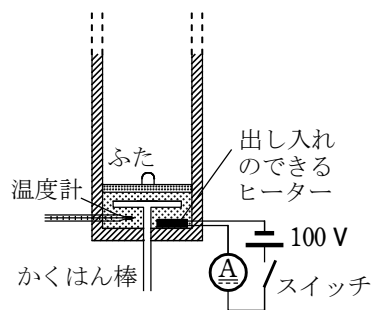


1.

次の文を読んで、 に適した式を記せ。また、(1)~(4)に答えよ。答えの数値は有効数字3桁で示し、単位も記せ。

大気圧下に図のような十分に長い円筒状の断熱容器がある。内側にはなめらかに上下でき、質量の無視できる取手の付いたふたをかぶせてあり、容器の内部と外部に熱および液体・気体の出入りはない。また100Vの直流電源に接続された熱容量 C [J/K]のヒーターを容器に出し入れすることが可能である。ヒーターに入った電気エネルギーはすべて熱に変換されるものとし、容器内部の温度計とかくはん棒の熱容量は無視できるものとする。また、水を混ぜるときに発生する熱は無視でき、容器内の温度はつねに一様になっているものとする。ただし、水の比熱を c_w [J/(g·K)]、氷の融解熱を L_w [J/g]とする。



ヒーターを外部へ出した状態の断熱容器に、 T_0 [°C] ($T_0 > 0$), m_0 [g]の水が入っている。ここに 0 °C, m_1 [g]の水を入れてよく混ぜてから、ふたをした。その後水温は T_1 [°C]で一定になった。このとき、 m_0 [g]の水が失った熱量はア [J], m_1 [g]の水が得た熱量はイ [J]であるから、両者を等しいとおいて $T_1 =$ ウ [°C]と表される。

次に、同じようにヒーターを外部へ出した状態の断熱容器に入っている T_0 [°C], m_0 [g]の水に、水の代わりに 0 °Cの氷を同じ質量 m_1 [g]入れてふたをし、氷が完全にとけるまでよく混ぜたところ、水温は T_2 [°C]になった。この場合、 m_1 [g]の氷の融解に用いられたエ [J]の熱量も考慮しなければならないので、 $T_2 =$ オ [°C]となる。ヒーターの熱容量 C を知るために、断熱容器の外でヒーターのスイッチを入れてヒーターの温度が T_3 [°C] ($T_3 > T_0$)になるまで暖めたあとスイッチを切った。このヒーターと T_0 [°C], m_0 [g]の水をすばやく容器に入れてふたをし、よく混ぜたところ、水温は T_4 [°C]で一定になった。この場合は、 m_0 [g]の水が得た熱量と、ヒーターが失った熱量を等しいとおけばヒーターの熱容量が得られ、 C はカ [J/K]と表すことができる。

- (1) ヒーターの熱容量 C を知るための測定において、 $T_0 = 30.0$ °C, $m_0 = 180$ g, $T_3 = 60.0$ °C, $T_4 = 40.0$ °Cであった。ヒーターの熱容量 C を求めよ。水の比熱 c_w を 4.20 J/(g·K)とする。

- (2) (1)の最後の状態、すなわち断熱容器内で、 40.0 °Cになった 180 gの水の中にヒーターがある状態で、ふたたびヒーターのスイッチを入れたところ電流計の値は 2.40 Aを示した。容器内の水が 100 °Cに達するまでの時間を求めよ。水の比熱 c_w を 4.20 J/(g·K)とする。
- (3) (2)の最後の状態で、断熱容器内の水が 100 °Cに達してさらにヒーターで熱し続けると水は沸騰し始めた。電流計の値は 2.40 Aのままであった。すべての水が 100 °Cの水蒸気になるまでに必要な時間を求めよ。水の蒸発熱を 2.26×10^3 J/gとする。
- (4) さらに(3)の最後の状態、すなわち断熱容器内がすべて 100 °Cの水蒸気で満たされたところでヒーターのスイッチを切った。断熱容器内の水蒸気の体積を求めよ。ただし、水蒸気は理想気体と考えよ。また、水 1.00 molの質量を 18.0 g, 気体定数を 8.31 J/(mol·K), 大気圧を 1.00×10^5 Paとする。

- 【解答】 (ア) $m_0 c_w (T_0 - T_1)$ (イ) $m_1 c_w T_1$ (ウ) $\frac{m_0}{m_1 + m_0} T_0$
 (エ) $L_w m_1$ (オ) $\frac{m_0 c_w T_0 - L_w m_1}{(m_1 + m_0) c_w}$ (カ) $\frac{T_4 - T_0}{T_3 - T_4} m_0 c_w$
 (1) 378 J/K (2) 284 s (3) 1.70×10^3 s (4) 3.10×10^{-1} m³

2.

液体を加熱すると沸騰して気体に変化する。このときのエネルギー収支を考えるために、図1に示すような装置を用いて実験を行うことにする。容器にはなめらかに動くピストンが付いており、容器とピストンで囲まれた領域(密閉領域)に物質を密閉する。容器にはヒーターが備えつけられており、発生したジュール熱はすべて密閉領域内の物質に与えられる。容器およびピストンは断熱材でできており、密閉領域内の物質の温度は均一であるとする。また、密閉領域内の圧力はつねに標準大気圧 $P_0[\text{Pa}] (= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa})$ に保たれている。

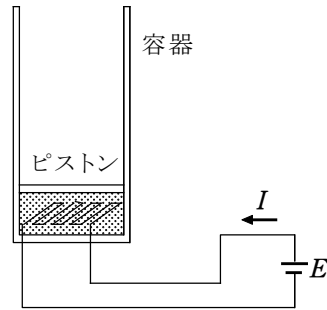


図1

温度 $T_0[\text{K}]$ において液体である物質 $m[\text{g}]$ を、密閉領域にすき間なく入れ、時刻 $t_0[\text{s}]$ からヒーターに一定電圧 $E[\text{V}]$ を加えて一定電流 $I[\text{A}]$ を流し、物質の温度 $T[\text{K}]$ の時間変化を測定したところ、図2のような結果が得られた。横軸は時刻 $t[\text{s}]$ であり、縦軸は物質の温度 T である。温度は、 $t_0 < t < t_1$ において一定の割合で上昇し、 $t_1 < t < t_2$ において $T_1[\text{K}]$ で一定となった。 $t > t_2$ において温度はふたたび一定の割合で上昇した。この測定結果をもとにして、次の問いに答えよ。

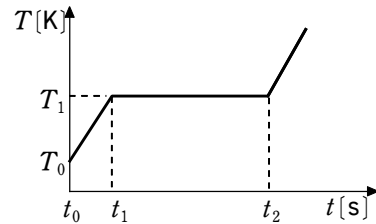


図2

(1) (a) $t_0 < t < t_1$, (b) $t_1 < t < t_2$, (c) $t > t_2$ の各場合において、密閉領域内の物質はどのような状態になっているか。選択肢から1つ選べ。

① 液体のみが存在する。 ② 気体のみが存在する。 ③ 液体と気体が共存する。

(2) 時刻 t_0 から t_1 の間に物質に加えられた熱量 $Q_1[\text{J}]$, および、時刻 t_1 から t_2 までの間に物質に加えられた熱量 $Q_2[\text{J}]$ を式で表せ。

(3) この物質の液体状態における比熱 $c[\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$ を式で表せ。

(4) この物質の蒸発熱(沸点において液体 1 g 当たりを気体に変化させるのに必要な熱量) $B[\text{J}/\text{g}]$ を式で表せ。

(5) 時刻 t_1 から t_2 の間にこの物質が外に対してした仕事 $W[\text{J}]$ を式で表せ。ただし、気体は理想気体として扱えると仮定する。また、同量の物質について考えるとき、液体状態における体積は、気体状態における体積と比べてきわめて小さく、無視してもよい。容器は十分に長く、物質が膨張してもピストンが容器から外れることはない。気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$, 物質の 1 mol 当たりの質量を $M[\text{g}/\text{mol}]$ とせよ。

(6) 時刻 t_1 から t_2 の間に加えられた電気エネルギーのうち何% が仕事 W に変換されたかを式で表せ。さらに、 $m = 12 \text{ g}$, $E = 12 \text{ V}$, $I = 1.0 \text{ A}$, $t_1 = 300 \text{ s}$, $t_2 = 2300 \text{ s}$, $T_1 = 373 \text{ K}$, $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, $M = 18 \text{ g}/\text{mol}$ として、求めた式の値を計算せよ(これは、水についての結果である)。

(7) 時刻 t_1 から t_2 の間に加えられた電気エネルギーのうち、仕事 W に変換されなかったエネルギー(= $Q_2 - W$) は何に使われたのか、簡潔に説明せよ。

【解答】 (1) (a) ① (b) ③ (c) ②

(2) $Q_1 = IE(t_1 - t_0) [\text{J}]$, $Q_2 = IE(t_2 - t_1) [\text{J}]$ (3) $\frac{IE(t_1 - t_0)}{m(T_1 - T_0)} [\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})]$

(4) $\frac{IE(t_2 - t_1)}{m} [\text{J}/\text{g}]$ (5) $\frac{mRT_1}{M} [\text{J}]$ (6) $\frac{100mRT_1}{MIE(t_2 - t_1)} [\%]$, 8.6%

(7) 液体から気体に状態変化させるために使われる。