

1.

図1のように、断面積  $S[\text{m}^2]$  の細長い円筒形容器が鉛直に置かれている。この容器内に、質量が無視できなめらかに動くことのできるピストンで、質量  $m[\text{g}]$  の水がすき間なく閉じ込められている。容器内には温度調節器があり、容器内の物質を一様に加熱または冷却できるようになっている。ピストンや容器は熱容量の無視できる断熱材でできており、外部との熱のやりとりはない。次の問いに答えよ。

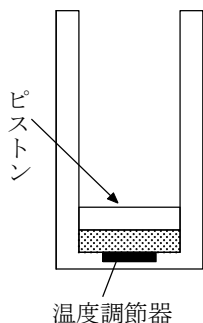


図1

(1) 容器内の水を冷却して凍らせ、 $-T_1[^\circ\text{C}]$  で一定にした後、温度調節器の電力を一定にして、1気圧の大気圧のもとで加熱を続けた。加熱し始めた時刻を  $0\text{s}$  として、容器内の温度の変化を観測したところ図2の

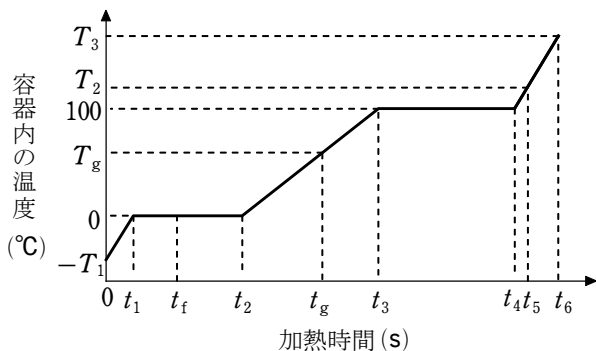


図2

- ようになつた。すなわち、 $t_1[\text{s}]$  後には  $0^\circ\text{C}$  となりしばらく温度は一定となつた。加熱開始  $t_2[\text{s}]$  後には氷は完全にとけて水になり、その後再び温度が上昇し始め、加熱開始  $t_g[\text{s}]$  後には  $T_g[^\circ\text{C}]$  に、また  $t_3[\text{s}]$  後には  $100^\circ\text{C}$  となり、加熱開始  $t_4[\text{s}]$  後までは  $100^\circ\text{C}$  の温度が保たれた。
- (a) 水の比熱を  $C_W[\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})]$  とし、氷が完全にとけた直後の  $m[\text{g}]$  の水が、 $0^\circ\text{C}$  から  $T_g[^\circ\text{C}]$  まで上昇する間に与えられた熱量を求めよ。
- (b) 加熱している間の一定電力  $P[\text{W}]$  を、 $m, C_W, T_g, t_g, t_2$  を用いて表せ。
- (c) 氷の融解熱  $[\text{J}/\text{g}]$  を、 $C_W, T_g, t_1, t_g, t_2$  を用いて表せ。
- (d) 氷の比熱は、水の比熱の何倍か。 $T_1, T_g, t_1, t_g, t_2$  を用いて表せ。
- (e) 加熱開始  $t_f[\text{s}]$  後に、この容器内に残っている氷の質量は、とけて水となっている部分の氷の質量の何倍か。 $t_1, t_f, t_2$  を用いて表せ。ただし、 $t_1 < t_f < t_2$  である。
- (f) 水の蒸発熱  $[\text{J}/\text{g}]$  と氷の融解熱の比を、 $t_1, t_2, t_3, t_4$  を用いて表せ。
- (2) 加熱開始  $t_4[\text{s}]$  後には、水は完全に水蒸気となり再び温度は上昇し始め、加熱開始  $t_5[\text{s}]$  後には  $T_2[^\circ\text{C}]$  に、また  $t_6[\text{s}]$  後には  $T_3[^\circ\text{C}]$  となり、ここで加温を停止した。ただし、水蒸気は「理想気体」とみなせるものとする。

- (a) 加熱開始  $t_5[\text{s}]$  後において、容器内の水蒸気の体積は  $V_0[\text{m}^3]$  であった。加熱開始  $t_6[\text{s}]$  後の容器内の水蒸気の体積  $V_1[\text{m}^3]$  を、 $V_0, T_2, T_3$  を用いて表せ。ただし、絶対零度を  $-273^\circ\text{C}$  とする。
- (b) 大気圧を  $p_0[\text{Pa}]$  とすると、この間に水蒸気が外部にした仕事  $W[\text{J}]$  を、 $p_0, V_0, T_2, T_3$  を用いて表せ。
- (c) この間の水蒸気の内部エネルギーの変化  $\Delta U_1[\text{J}]$  を、 $P, W, t_5, t_6$  を用いて表せ。

【解答】 (1) (a)  $mC_W T_g[\text{J}]$  (b)  $\frac{mC_W T_g}{t_g - t_2}[\text{W}]$  (c)  $\frac{C_W T_g(t_2 - t_1)}{t_g - t_2}[\text{J}/\text{g}]$

(d)  $\frac{T_g t_1}{T_1(t_g - t_2)}[\text{倍}]$  (e)  $\frac{t_2 - t_f}{t_f - t_1}[\text{倍}]$  (f)  $\frac{\text{水の蒸発熱}}{\text{氷の融解熱}} = \frac{t_4 - t_3}{t_2 - t_1}$

(2) (a)  $\frac{T_3 + 273}{T_2 + 273} V_0[\text{m}^3]$  (b)  $p_0 V_0 \frac{T_3 - T_2}{T_2 + 273}[\text{J}]$  (c)  $P(t_6 - t_5) - W[\text{J}]$

2.

図1に示すような熱量計がある。断熱材で囲まれた金属容器に、電熱線、温度計およびかくはん棒が入っている。電熱線の抵抗値は  $100\ \Omega$  で、電熱線は電圧  $80\ \text{V}$  (実効値) の交流電源に導線とスイッチを通してつながれている。電熱線、導線、温度計、かくはん棒の熱容量と、導線の電気抵抗およびかくはんによる温度上昇は無視できる。また、導線、温度計、かくはん棒を通しての外部との熱の出入りはないものとする。水の比熱を  $4.2\ \text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  であるとして、次の問(1)~(4)に答えよ。

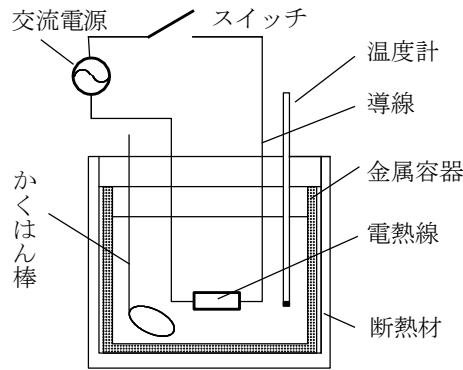


図1

(1) 初め、交流電源のスイッチを切った状態で金属容器に水  $100\ \text{g}$  を入れ、しばらく放置したら水温は  $15\ ^\circ\text{C}$  で一定となった。次に、この金属容器に  $60\ ^\circ\text{C}$  に熱した水  $100\ \text{g}$  を加え、かくはんした。しばらくすると水温は  $34.5\ ^\circ\text{C}$  で一定となった。金属容器の熱容量を求めよ。

容器の水を捨て、比熱が未知の液体  $200\ \text{g}$  を容器に入れ、しばらく放置したら液体の温度は  $15\ ^\circ\text{C}$  で一定となった。その後、かくはんしながら、スイッチを閉じて電熱線に電流を流したところ、流しはじめてから  $4$  分後に液体の温度は  $40\ ^\circ\text{C}$  となった。

(2) 電熱線で消費される電力はいくらか。

(3) この液体の比熱を求めよ。

次に、スイッチを切り、容器の液体を捨て、 $200\ \text{g}$  の氷水を入れて、金属容器と氷水の温度が等しくなるようにしばらく放置した。その後、かくはんしながら、スイッチを閉じて電熱線に電流を流した。

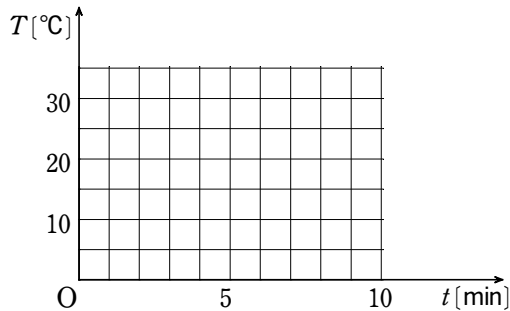


図2

(4) 電流を流しはじめたときの氷の質量が  $57\ \text{g}$  であったとして、電流を流しはじめてからの時間  $t$  と水の温度  $T$  の関係を表すグラフを図2にかけ。氷の融解熱は  $334\ \text{J}/\text{g}$  であるとし、グラフは  $t \leq 10\ \text{min}$  の範囲についてかけ。

- 【解答】 (1)  $1.3 \times 10^2\ \text{J}/\text{K}$  (2)  $64\ \text{W}$   
 (3)  $2.4\ \text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  (4) 右図

