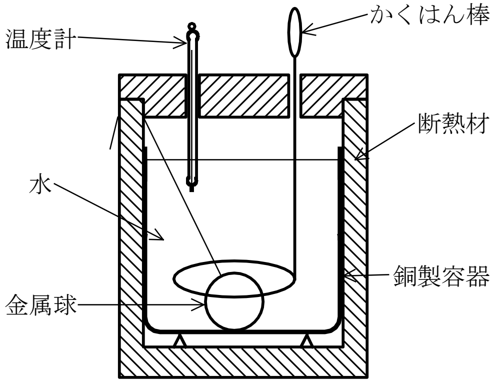
1．

次の文を読んで以下の問いに答えよ。

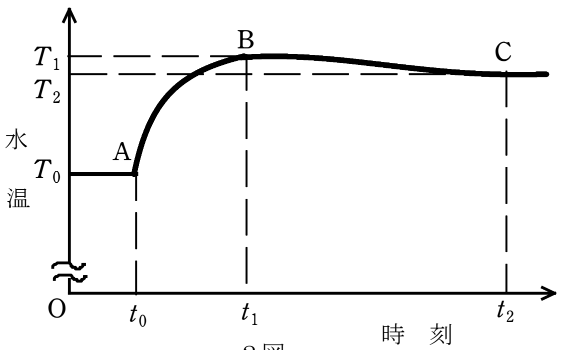
高温の物体と低温の物体を接触させたとき，外部との熱の出入りがなければ，高温の物体が失った熱量は低温の物体が得た熱量に等しい。これを，$\boxed{\text{ア}}$ の法則という。このことを用いて，1図のような装置で金属の比熱を測定しようとした。



1図

まず，断熱材でおおわれた銅製容器に質量 W の水を入れ，銅製のかくはん棒でかくはんして，水温を測定したところ T_0 だった。容器とかくはん棒の質量の合計は m であった。

次に，沸騰した水に浸して，温度 T_B にしてあった質量 M の金属球を，すばやく水の入った容器に入れてふたをした。かくはん棒でよくかくはんしながら，水温の時間依存性を測定したところ，2図のような結果を得た。時刻 t_1 から t_2 の間に，水温が T_1 から T_2 に変化したのは，断熱が不完全なため，熱が外部へ逃げたことを示している。水の比熱を c_0，銅の比熱を c_m，金属球の比熱を x とする。また，実験をしたときの室温を T_R とし，温度計の影響は無視できるとする。



2図

(1)　文中の(ア)に適切な言葉を書け。

(2)　逃げた熱の影響を無視するとき，温度 T_0，T_1 を用いて，金属球の比熱 x' を表す式を求めよ。

(3)　(2)で求めた比熱 x' は，実際の金属球の比熱 x に比べて大きさはどうか。下記から選んで，その記号を書け。

(a)　大きい　　(b)　小さい　　(c)　同じ

(4)　2図のBC間が直線のとき，この装置から外部に毎秒逃げる熱量を表す式を求めよ。

(5)　いま，時刻 t_0 から時刻 t_1 の間にも，同じ割合で熱が逃げていたとする。このとき，金属球の比熱 x'' を求める方程式は，「時刻 t_0 から時刻 t_1 の間に金属球の失った熱量の式」＝$\boxed{\text{イ}}$ と書くことができる。右辺の(イ)の式を書け。

(6)　(5)の方程式を解いて求めた比熱 x'' が，実際の金属球の比熱 x に比べて大きくなった。その理由を説明せよ。

(7)　2図の測定をしたときのはじめの水温 T_0 は，ほぼ T_R に等しかった。この装置を用いて，外部との熱の出入りの影響をできるだけ小さくして，再度実験をしたい。A点，B点に対応する温度の測定結果を用いて金属の比熱を求めるとき，はじめの水温をどのように設定するのがよいか。その目安として，下記の中で最も適当と思われるものを選んで，その記号を書け。

(a)　T_1　(b) $T_R-\dfrac{1}{2}(T_1-T_0)$　(c) T_2　(d) $T_R+\dfrac{1}{2}(T_1-T_0)$

解答　(1)　熱量保存　　(2)　$x'=\dfrac{(mc_m+Wc_0)}{M(T_B-T_1)}(T_1-T_0)$　　(3)　(b)

(4)　$\dfrac{Mx'+mc_m+Wc_0}{t_2-t_1}(T_1-T_2)$

(5)　$(mc_m+Wc_0)(T_1-T_0)+\dfrac{(Mx''+mc_m+Wc_0)(T_1-T_2)}{t_2-t_1}(t_1-t_0)$

(6)　(イ)の右辺第2項の外部に逃げた熱については，時刻 t_0～t_1 の間に金属球・水・熱量計から外部に熱が逃げていると仮定しているが，実際は t_0 から水温が室温に達するまでは熱は外部へ逃げていない。すなわち実際に逃げた熱よりも多く失われたと仮定しているために $x''>x$ という結果になる。

(7)　(b)

解説

(1)　(ア)　熱量保存の法則

(2)　金属球の失った熱量は水と熱量計の得た熱量に等しいから

$$Mx'(T_B-T_1)=(mc_m+Wc_0)(T_1-T_0)$$

ゆえに　$x'=\dfrac{(mc_m+Wc_0)}{M(T_B-T_1)}\cdot(T_1-T_0)$

(3)　外部へ逃げた熱を $\varDelta Q$ とすると

$$Mx(T_B-T_1)=(mc_m+Wc_0)(T_1-T_0)+\varDelta Q$$

ゆえに　$x=\dfrac{(mc_m+Wc_0)(T_1-T_0)}{M(T_B-T_1)}+\dfrac{\varDelta Q}{M(T_B-T_1)}$

右辺の第1項は x' だから　　$x'<x$

(4)　毎秒下がる温度は $\dfrac{T_1-T_2}{t_2-t_1}$ だから，全体の熱容量　$Mx'+mc_m+Wc_0$

（ただし金属については近似値）との積を求める。

$$\frac{Mx'+mc_m+Wc_0}{t_2-t_1}(T_1-T_2)$$

(5)　(イ)　$Mx''(T_B-T_1)=(mc_m+Wc_0)(T_1-T_0)$

$$+\frac{(Mx''+mc_m+Wc_0)(T_1-T_2)}{t_2-t_1}\cdot(t_1-t_0)$$

（参考）　この式から x'' を求めると

$$x''=\frac{(mc_m+Wc_0)\left[\left\{T_1+\dfrac{t_1-t_0}{t_2-t_1}(T_1-T_2)\right\}-T_0\right]}{M\left[T_B-\left\{T_1+\dfrac{t_1-t_0}{t_2-t_1}(T_1-T_2)\right\}\right]}$$

平衡温度：$T_1+\dfrac{t_1-t_0}{t_2-t_1}(T_1-T_2)>T_1$

これは時刻 t_0 の瞬間にグラフ BC の延長上の温度で熱平衡になることを意味している。

(6)　(5)(イ)の右辺第2項の外部に逃げた熱（$=\varDelta Q''$）については，時刻 $t_0\sim t_1$ の間に金属球・水・熱量計から外部に熱が逃げていると仮定しているが，実際は t_0 から水温が室温（$\fallingdotseq T_2$）に達するまでは熱は外部へ逃げていない。すなわち実際に逃げた熱（=(3)の $\varDelta Q$）よりも多く失われたと仮定しているために（$\varDelta Q''>\varDelta Q$ となり (3) と (5) の比較から）$x''>x$ という結果になる。

(7)　水と熱量計が周囲から受け取る熱量と，周囲に流出する熱量が相殺されれば影響がなくなる。(4)の結果から，単位時間に物体から出入りする熱量はその物体の温度と周囲の温度（室温）との差に比例する。（厳密には経過時間もかかわるがおおよそ）水温と平衡温度との中間に室温が来るように設定すればよい。温度の上昇幅はほぼ T_1-T_0 とみてよいから水温は $T_R-\dfrac{1}{2}(T_1-T_0)$ に設定すればよい。

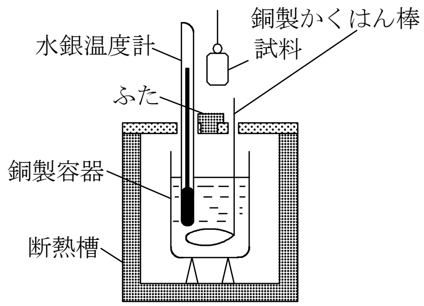
2.

下記の問いに答えよ。数値については有効数字3桁とする。

断熱容器の中の質量 m_1〔g〕，温度 T_1〔K〕の水に，質量 m_2〔g〕，温度 T_2〔K〕の水を加えてかくはんし放置したところ，温度が T〔K〕となった。このとき水の比熱を 4.19 J/(g・K) とすると，$\boxed{\text{ア}}$ が不変ということから，$\boxed{\text{a}}$ という関係が成立する。この関係は水について成立するが，水以外の物質との間では成立しない。そこで，水以外の物質については，以下の式で定義される量（換算水量と呼ぼう）を考える。

$$\text{換算水量〔g〕}=\frac{\text{物質の比熱〔J/(g・K)〕}}{\text{水の比熱〔J/(g・K)〕}}\times\text{物質の質量〔g〕}$$

たとえば，比熱 0.390 J/(g・K) の銅 41.9 g の換算水量は 3.90 g である。この換算水量の考えを用いると，換算水量 M_1〔g〕，温度 T_1〔K〕の物質と，換算水量 M_2〔g〕，温度 T_2〔K〕の物質を接触させて放置し，平衡温度 T_0〔K〕に達したとすると，$\boxed{\text{ア}}$ が保存されていれば，$\boxed{\text{b}}$ という関係が成立する。



熱量計

換算水量の考えを用いて固体の比熱を測定する方法がある。図はその装置（熱量計）を示す。外部との熱の出入りを断ち切る断熱槽の内部に，水を入れた銅製容器が置かれている。容器中の水の温度を測るため，水銀温度計が図のように取り付けられている。まず，比熱 c〔J/(g・K)〕の試料（質量 m_3〔g〕）を，温度 T_3〔K〕に一様に加熱して，断熱槽中の温度 T_4 の水（質量 m_4〔g〕）を入れた銅製容器の中に投入する。その後ふたを閉じ，水をかくはんして放置した結果，平衡温度 t_0〔K〕になったとする。このとき，試料の失った熱量は $\boxed{\text{c}}$〔J〕である。この失った熱量は，銅製容器中の水，銅製容器，銅製かくはん棒および水銀温度計の水没部分の得た熱量に等しい。ここで，銅製容器，銅製かくはん棒，水銀温度計の水没部分を合わせた換算水量を w〔g〕と表すと，得た熱量の総計は $\boxed{\text{d}}$〔J〕である。そこで，失った熱量と得た熱量との関係から，比熱 c〔J/(g・K)〕は，$c=\boxed{\text{e}}$〔J/(g・K)〕として求まる。

熱量計の換算水量 w〔g〕は，関与する物質の比熱と質量とから求められるが，次のように実験的に求めることもできる。熱量計の銅製容器に質量 m_5〔g〕，温度 T_5〔K〕の水を入れておく。この中に温度 T_6〔K〕（$>T_5$〔K〕），質量 m_6〔g〕の水を加えてかくはんし，全体が温度 t_1〔K〕となったとする。このとき，加えられた水によって熱量計に与えられた熱量は $\boxed{\text{f}}$〔J〕であり，銅製容器中にはじめにある水と熱量計とが受けた熱量は，換

算水量 w〔g〕を使うと $\boxed{\text{g}}$〔J〕で表せる。両者は等しいので，$w=\boxed{\text{h}}$〔g〕として求まる。

具体的に鉄の試料の比熱を求めてみる。76.4 g の銅製容器の換算水量は $\boxed{\text{イ}}$ g であり，11.6 g の銅製かくはん棒の換算水量は $\boxed{\text{ウ}}$ g である。一方，温度計の水没部分を水銀に置き換えて考える。水銀の密度を 13.6 g/cm^3，比熱を 0.138 J/(g・K)，水没部分の体積を 1.80 cm^3 とすると，水没部分の換算水量は $\boxed{\text{エ}}$ g である。したがって，熱量計の換算水量は，$\boxed{\text{オ}}$ g となる。そこで，164 g の水を入れた熱量計 (水温 15.7 ℃) に 98.4 ℃ に加熱した試料 (質量 41.7 g) を投入し，ふたを閉じてかくはんしたところ水の温度は 17.8 ℃ に上昇した。

(1) 上記文中の (ア) ～ (オ) には適当なことばまたは数値を，(a) ～ (h) には適当な式をあてはめよ。

(2) 鉄の比熱 c を求めよ。

(3) この実験で比熱をできるだけ精度よく求めるためには，実験操作の上で特に注意すべき点は何か。40 字以内で述べよ。

解答 (1) (a) $4.19m_1(T_1-T)=4.19m_2(T-T_2)$

(b) $4.19M_1(T_1-T_0)=4.19M_2(T_0-T_2)$

(c) $m_3c(T_3-t_0)$〔J〕 (d) $4.19(m_4+w)(t_0-T_4)$

(e) $\dfrac{4.19(m_4+w)(t_0-T_4)}{m_3(T_3-t_0)}$ (f) $4.19m_6(T_6-t_1)$

(g) $4.19(m_5+w)(t_1-T_5)$ (h) $\dfrac{T_6-t_1}{t_1-T_5}\cdot m_6-m_5$

(ア) 熱量 (イ) 7.11 (ウ) 1.08 (エ) 0.806 (オ) 9.00

(2) 0.453 (J/(g・K))

(3) 試料は沸騰した湯につけておき，水は熱量計に入れてしばらくおく。測定を手早く行う。

解説

水以外の物質を，換算水量分の水があると考えて熱量保存を用いればよい。精度よく求めるには，容器と試料以外での熱の出入りを防ぐことである。

(1) (a) 高温物体の失った熱量＝低温物体の得た熱量 より，$T_1>T_2$ として，

$Q=mc\Delta T$ の式を用いると

$$4.19\,m_1(T_1-T)=4.19\,m_2(T-T_2)^{※A\leftarrow}$$

(b) $$4.19\,M_1(T_1-T_0)=4.19\,M_2(T_0-T_2)^{※A\leftarrow}$$

(c) $m_3c(T_3-t_0)$〔J〕

(d) $4.19(m_4+w)(t_0-T_4)$〔J〕

(e) (c) と (d) を等しいとおいて解くと

$$c=\frac{4.19(m_4+w)(t_0-T_4)}{m_3(T_3-t_0)}\text{〔J/(g・K)〕}$$

(f) $4.19m_6(T_6-t_1)$〔J〕

(g) $4.19(m_5+w)(t_1-T_5)$〔J〕

(h) (f) と (g) を等しいとおいて解くと

$$w=\frac{T_6-t_1}{t_1-T_5}\cdot m_6-m_5\text{〔g〕}$$

(ア) 熱量

(イ) 問題文の与式から $\dfrac{0.390}{4.19}\times 76.4=7.11$ (g)

(ウ) (イ) と同様に $\dfrac{0.390}{4.19}\times 11.6=1.08$ (g)

(エ) 質量＝密度×体積 であるから

$$\frac{0.138}{4.19}\times 13.6\times 1.80=0.806\ \text{(g)}$$

(オ) $7.11+1.08+0.806=9.00$ (g)

(2) (e) の式から

$$c=\frac{4.19(164+9.00)(17.8-15.7)}{41.7(98.4-17.8)}$$
$$=0.453\ \text{(J/(g・K))}$$

(3) 試料は沸騰した湯につけておき，水は熱量計に入れてしばらくおく。測定を手早く行う。

←※A $T_1<T_2$ として考えても同じ答えとなる。