

1 目的

試料の加熱の操作およびそのときの温度変化の観察によって液体の比熱を求める。比熱とはどのような量なのか微視的, 巨視的に説明することができるようになる。

2 原理

2.1 熱容量と比熱

ある物質の温度を ΔT 上げるのに必要な熱量を ΔQ とすると, ΔQ は ΔT に比例する。

$$\Delta Q = L\Delta T \quad (1)$$

この比例定数 L を熱容量といい, 単位は JK^{-1} である。熱容量は物質の質量 M に比例する。熱容量 L を次式で表すとき, 比例定数 C を比熱という。

$$L = CM \quad (2)$$

すなわち比熱とは単位質量あたりの熱容量のことである。比熱の単位は $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ である。この実験では水の比熱を加熱の方法で測定する。

2.2 加熱による比熱の測定

熱量計の中に試料液体に浸された抵抗線に電流を流し温度変化を観測する。抵抗 R の抵抗線に電流 i が流れるとき, 時間 t の間に発生するジュール熱は Ri^2t である。

この熱量により液体と熱量計の温度が T_0 から T まで上昇したとする。液体を含む熱量計の全熱容量を L とすると, 熱量計には熱量 $L(T - T_0)$ が加えられたことになるので, 熱量計からの放熱が無視できるとすれば次式が成り立つ。

$$L(T - T_0) = Ri^2t \Leftrightarrow T(t) = T_0 + \frac{Ri^2}{L}t \quad (3)$$

実際には熱量計の温度が上がってくると放熱の効果が無視できなくなるので, 温度 T を時間 t の関数としてグラフに表すと, T と t の関係は次第に直線から下にずれ曲線のようになる。しかし温度が上昇し始める付近において接線を引けば, それは式 (1) に一致する。グラフから接線の傾き $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ を読み取れば, 次式から液体の比熱 C が求めることができる。

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{Ri^2}{L} = \frac{Ri^2}{MC + mc} \quad (4)$$

ここで m, c は熱量計の容器の質量および比熱で M は液体の質量である。これを C について解けば次式になる。

$$C = \frac{1}{M} \left(\frac{Ri^2}{\Delta T / \Delta t} - mc \right) \quad (5)$$

式 (5) より右辺の量を測定すれば液体の比熱を求めることができる。

3 実験方法

試料液体に蒸留水を用いて、以下のような手順で実験を行った。

3.1 準備

まず、攪拌棒も含めて熱量計の容器の質量 m を計量した。次に、蒸留水を熱量計に入れ、全体の質量から熱量計と攪拌棒の質量を引いて水の質量 M_W を求めた。今回用いた恒温槽では、水道からの水を内部で循環させ、常に水を入れ替え続けることで内部のスペースを一定の温度に保っているのので、恒温槽内を温度に保つために水道の蛇口を開いた。また、恒温槽内の温度がどうなっているのかを測るために、出口付近の流水の温度 T_A を計った。以後測定中にときどき T_A を測り記録した。

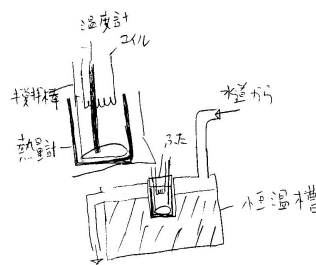


図1 実験装置概略図

3.2 測定

攪拌棒を、水をこぼさないように気を付けながらゆっくり上下させて、攪拌しつつ数分間温度を観測・記録した。攪拌しながらスイッチを入れてコイルに電流を流し、加熱を始めた。ここから 0.3°C 刻みに温度 T を測り、時間 t を読み取った。液温が 10°C 上昇したらそこで測定を打ち切った。その後、恒温槽から熱量計を取り出し、資料がこぼれていないことを確かめるために、試料液体の質量をもう一度計量した..

4 実験結果

抵抗線の電気抵抗は $R = 6.363 \, \Omega$ 、電圧は $V = 10.2 \, \text{V}$ 電流値は $I = 1.50 \, \text{A}$ であった。

熱量計の容器の質量は $m = 63.91 \, \text{g}$ で恒温槽の出口付近の流水の温度 $T_A = 10.4^{\circ}\text{C}$ であった。

4.1 水の測定

熱量計と水の質量の和は以下のように変化した. 質量の和は 0.23 g 減少していた.

$$(\text{実験前})233.21 \text{ g} \longrightarrow (\text{実験後})232.98 \text{ g}$$

測定を始めたときの水温は $T_m = 18.1^\circ\text{C}$ であった.

水を加熱した時の温度変化と時刻を次の表 1 にまとめた.

表 1 水の加熱による温度変化

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	経過時間 $\Delta t/\text{s}$
18.1	0
18.4	20.48
18.7	41.45
19.0	63.54
19.3	77.14
19.6	94.53
19.9	115.48
20.2	131.45
20.5	148.92
20.8	165.66
21.1	188.46
21.4	202.90
21.7	217.33
22.0	236.43
22.3	254.85
22.6	269.75
22.9	286.21
23.2	304.38
23.5	323.45
23.8	337.80
24.1	354.38
24.4	368.39
24.7	384.42
25.0	401.56
25.3	417.41
25.6	433.20
25.9	448.78
26.2	464.48
26.5	480.72
26.8	495.47
27.1	511.54
27.4	528.38
27.7	540.39
28.0	556.82
28.3	571.42

4.2 加熱法による水の比熱の計算値

加熱法による水の温度変化の測定結果について縦軸に液温を横軸に時間をとりそれぞれ GNU-Plot でグラフを作成した. 以下がそのグラフである.

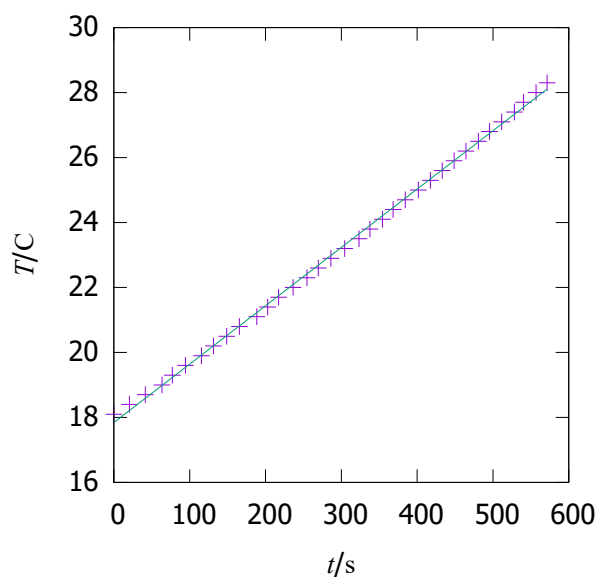


図2 水の加熱による温度変化と時間のグラフ

また,GNUPlot によって計算された傾き a と切片 b , およびその不確かさはそれぞれ $a = 0.0179611 \pm 0.0001041 \text{ Ks}^{-1}$, $b = 17.8437 \pm 0.03567 \text{ Ks}^{-1}$ であった.

水の比熱を C_W とすると

表2 諸量

質量 (水) M	抵抗 R/Ω	電流 i/V	質量 (熱量計) m	比熱 (熱量計) c/g
169.30	6.363	1.50	63.91	0.383 [1]

$$C_W = \frac{1}{M} \left(\frac{Ri^2}{\Delta T / \Delta t} - mc \right) = 4.564 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

以上のことから水の比熱は,

求めた値 $C_W/\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$	文献値 [2] $C/\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$
4.56	4.20

と求められた.

5 考察

今回の実験で求めた水の比熱は, 文献値より $0.36 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ の誤差があった. この理由を考える. 今回の実験で得た値の中にどれか一つの値が間違っていたと仮定し, 文献値と一致するような数値を計算した. その結果は以下のようになった.

表 3 文献値から求めた値

質量 (水) M	抵抗 R/Ω	電流 i/V	グラフの傾き a/Ks^{-1}	質量 (熱量計) m
183.96	5.872	1.440	0.01946	224.6

水の質量 M の値と誤差は 169.30 ± 0.005 , 抵抗 R の値と誤差は 6.363 ± 0.0005 , 電流 i の値と誤差は 1.50 ± 0.005 , グラフの傾き a の値と誤差は 0.0179611 ± 0.0001041 , 熱量計の質量の値と誤差は 63.91 ± 0.005 , であるので, いずれも誤差の範囲内に文献値と一致する数値はなかった.

水や熱量計の質量や, 抵抗の値はデジタルな数値として取得したもので, それ自体が大きく間違っているとは考えにくい. また, 電流の値もそれほど大きく読み間違えたとは考えられにくいので, おそらくはタイマーを押す間隔が一定でなかったことや温度の変化に気づくのが遅れたなどの理由により $\Delta T/\Delta t$ の値が理論値から大きく外れてしまったためと考えられる.

参考文献

- [1] 基礎科学実験 A(物理学実験) 2019 年度版,p.55
- [2] 理科年表 2019, 国立天文台 編, 平成 30 年発行