

熱功當量

目的：

以電熱法測出熱功當量。

實驗方法：

由於在實際環境下用電功加熱系統使溫度升高的過程中，系統會向外散熱（原因在於系統溫度高於環境溫度）。因此系統實際上所達到的末溫必低於沒有散熱情況時的末溫，故以牛頓冷卻定律將散熱導致的溫差求出，以求得較精確的結果。

原理：

早在 1798 年，德國倫福特以研究摩擦作功所產生的熱量，得知此熱量與供給的功成正比。由能量守恆定理，當外界對一系統作功 W （單位"焦耳"），若這些功完全由系統轉換成內能（即熱量 ΔH ，單位"卡"），我們能夠找出它們的換算關係

$$W = J \times \Delta H \quad (1)$$

其中的 J 即為熱功當量，單位為"焦耳/卡"。本實驗是要測量 J 值。

若一系統是由不同比熱 c_i 和質量 m_i 的成分所構成，欲使此系統溫度升高 ΔT ，需要的熱量 ΔH ，可寫為

$$\Delta H = \sum m_i c_i \Delta T = C \times \Delta T \quad (2)$$

其中 C 代表整個系統的熱容，可寫成各成分的比熱與質量乘積之和。若外界對系統作功 W ，使系統溫度由 T_0 升到某一特定溫度 T_H ，由(2)式代回(1)式中可得其關係如下：

$$W = J \times C \times (T_H - T_0) \quad (3)$$

實驗儀器：



直流電源供應器



電子秤



卡計



量筒



熱電耦溫度計



碼表

方法說明：本實驗的設計主要分成兩部分：一是測量系統熱容 C ；二是對散熱所造成的誤差做修正，再與供給的電功比較，求出得較準確之熱功當量值 J 。

一、測量系統熱容 C

設水的比熱為 $S(1 \text{ 卡}/^\circ\text{C})$ ，卡計系統（包括溫度計、鎳鉻線圈及銅杯等）熱容為 C ，此時在卡計內的銅杯中，注入溫度 T_0 、質量 M 克的水（約至半滿），並加熱到接近 50°C 時的溫度 T_H ，再量取約 m 克（約與 M 克差不多重），而溫度為 T_0 的水注入，攪勻後測得混合後的溫度 T_{ave} ，求出系統熱容 C 。

$$(C+S \times M)(T_H - T_{ave}) = S \times m(T_{ave} - T_0)$$

所以

$$C = \frac{S \cdot m(T_{ave} - T_0)}{(T_H - T_{ave})} - S \cdot M \quad (4)$$

二、電熱法與散熱修正

對於卡計系統，我們在鎳鉻線圈（電阻為 R 歐姆）的兩端加電壓 V （伏特），則輸入此系統的電功率為

$$P = \frac{V^2}{R} \text{ (瓦特)} \quad (5)$$

實際上，在用電功加熱系統使溫度升高的過程中，系統會向外散熱（原因在於系統溫度高於環境溫度）。因此系統實際上所達到的末溫 T_f ，必低於沒有散熱情況時的末溫 T_H ，要設法將散熱導致的溫差 ΔT 求出，使

$$T_H = T_f + \Delta T \quad (6)$$

修正的方法即求出 ΔT 的方法如下：

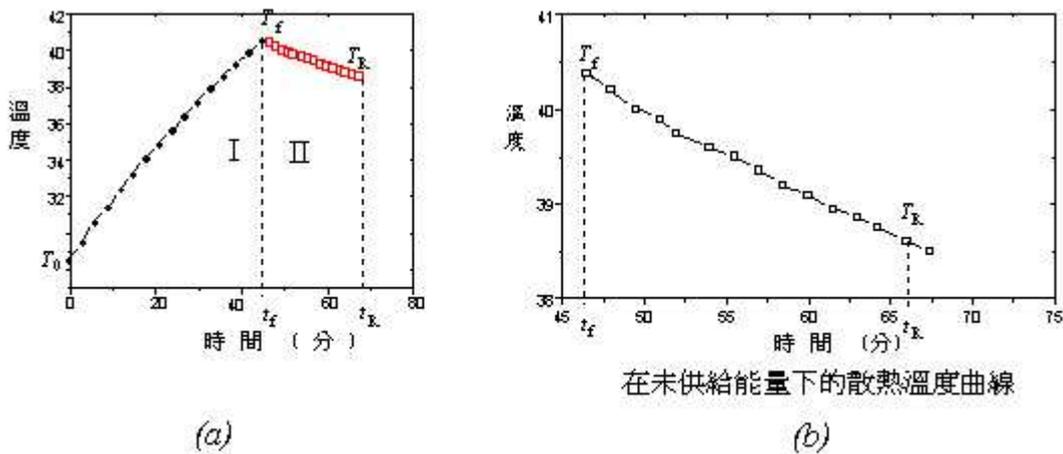


圖 3

如圖 3(a) 所示，圖中區域(I)部份為加熱溫度曲線，而圖中區域(II)部份為降溫曲線。圖 3(b) 中，我們將降溫部分放大，停止加熱後至時間 t_R ，溫度降為 T_R ，根據牛頓冷卻定律，在系統與環境間的溫差不大，而系統處於自然冷卻的情況下，系統的冷卻速率

$$u = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \kappa(T - \theta)$$

其中 T 是系統表面的溫度， θ 是環境溫度(室溫)； κ 為與系統的表面狀況及熱容有關的常數。 κ 之值可由下式計算求得：

$$\kappa = \frac{1}{t_R - t_f} \ln \left[\frac{T_R - \theta}{T_f - \theta} \right] \quad (7)$$

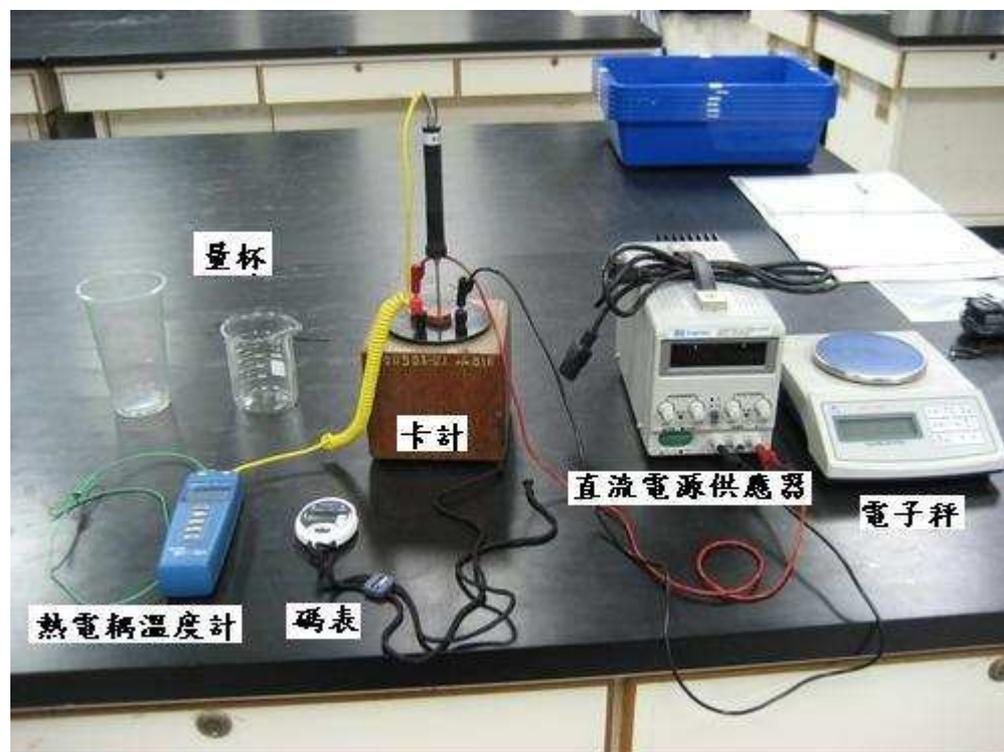
散熱導致的溫差 ΔT 為

$$\Delta T = \left| \kappa \cdot \left[\frac{T_f + T_0}{2} - \theta \right] \cdot t_f \right| \quad (8)$$

得到了修正的末溫 T_H 之後，代入式(3)

$W=J \times [C_{\text{系統}} \times (T_H - T_0) + S_{\text{水}} \times m_{\text{水}} \times (T_H - T_0)]$ 式，即可求出熱功當量 J 。

儀器架設：



儀器架設圖

注意事項：

- 加熱溫度不超過溫度計最大使用範圍；應以旋轉翻試，小心地將溫度計插入(或拔出)軟木塞，避免造成斷裂。損毀者，照價賠償。
- 銅杯內的水必須能蓋過鎳鉻絲，否則容易燒毀。燒毀者，照價賠償。
- 在實驗過程中，應常用攪拌器均勻卡計系統溫度的分布。

實驗步驟：

一、量測系統熱容

於銅杯內注入約一半的熱水(需先測量質量 M)，放入卡計內蓋上蓋子，等待約一分鐘後測量卡計內的溫度 T_H 。再加入大約等量的冷水(需先測量質量 m)，攪拌均勻後記錄系統溫度 T_{ave} ，利用式(4)求出系統熱容 C 。

二、電熱法測出熱功當量 J 值

- 在銅杯內注入約 250 克的水，並且記錄水的質量 m ，初溫 T_0 與室溫 θ 。
- 通電後(電壓調整至 15 伏特，電壓調整不可超過 18 伏特，固定後不可再調整)，以 2 分鐘的間隔記錄加熱過程中系統的溫度，數據不可少於 15 個。

- 3.斷電源後開始自然降溫，則每 1.5 分鐘記錄溫度一次，數據不可少於 10 個。
- 4.將溫度與加熱時間，繪製成圖表。
- 5.依說明中的方式修正末溫 T_f ，並求出 J 值。

請參閱 http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex_f.htm 驗影片

結果與紀錄：

一、系統熱容測定

a. 溫度較高水重 $M = \underline{\hspace{2cm}}$ g，溫度 $T_H = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。

b. 溫度較低水重 $m = \underline{\hspace{2cm}}$ g，溫度 $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。

c. 混合後系統溫度 $T_{ave} = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。

系統熱容 $C = \underline{\hspace{2cm}}$ cal/°C。(公式(4))

二、測量熱功當量

A. 鎳鉻絲電阻 $= \underline{\hspace{2cm}}$ Ω；銅杯內水重 $= \underline{\hspace{2cm}}$ g，

初溫 $T_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ °C，室溫 $\theta = \underline{\hspace{2cm}}$ °C。

加熱電壓 $= \underline{\hspace{2cm}}$ V。

B. 升溫記錄：

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
----	---	---	---	---	---	---	---	---

溫度(°C)

時刻(min)

次數	9	10	11	12	13	14	15	16
----	---	----	----	----	----	----	----	----

溫度(°C)

時刻(min)

C. 降溫記錄

次數	1	2	3	4	5	6	7	8
----	---	---	---	---	---	---	---	---

溫度(°C)

時刻(min)

次數	9	10	11	12	13	14	15	16
----	---	----	----	----	----	----	----	----

溫度(°C)

時刻(min)

D. 利用電腦軟體畫出時間與溫度關係圖。

E. 外界供給電能_____焦耳；($W = \frac{V^2}{R} \times t_f$)

F. 系統之 κ 值_____(min^{-1}) (公式(7))

G. 系統修正後的末溫 $T_H =$ _____ °C；(公式(8))

H. 熱功當量 $J =$ _____ 焦耳/卡。(公式(3))