

熱傳導係數測量實驗

一、實驗目的

測量金屬導體熱傳導係數。

二、實驗原理

當一材料的兩個部份維持在不同的溫度時，能量能藉由聲子和電子的碰撞從較高溫轉移到較低溫。如圖 2-1 所示，考慮一長度為 L ，截面積為 A 的物體。物體的一面維持溫度 T_1 而另一面溫度為 T_2 。在一段時間內所流過物體的熱量為 Q 。本實驗以金屬棒做為待測物體，我們可以觀察出幾點的特性：

1. 單位時間內所轉移的熱量與金屬棒兩面的溫差($\Delta T = T_1 - T_2$) 成正比。
2. 單位時間內所轉移的熱量與金屬棒的截面積成正比。
3. 單位時間內所轉移的熱量與金屬棒兩面間的距離成反比。

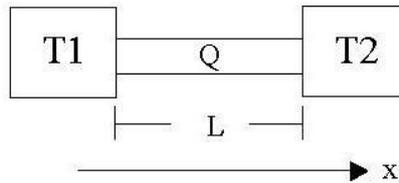


圖 2-1

實驗結果我們以(1)式表示

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \left(\frac{dT}{dx} \right) \dots\dots\dots (1)$$

於單位時間 dt 中流過的熱量 dQ ，正比於金屬棒的截面積 A ，並與截面垂直的溫度梯度 $\frac{dT}{dx}$ 成正比，其中 $\lambda =$ 熱傳導係數(導熱率)， $\frac{dT}{dx}$ 表示熱傳導發生在一個一維的溫度梯度，負號表示溫度梯度的方向和熱傳導的方向相反。

在金屬棒上溫度的分佈與位置和間距有關，且遵守傳導方程式：

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{\lambda}{\rho \cdot c} \right) \left(\frac{d^2T}{dx^2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

其中 ρ 為密度， c 為比熱，若金屬棒長 L ，兩端各維持定溫 T_1 、 T_2 ，則：

$$\frac{dT}{dt} = 0 \dots\dots\dots(3)$$

由(2)(3)兩式可得：

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{L} \cdot x + T_1 \dots\dots\dots(4)$$

本實驗所使用的熱傳導率單位為 $\text{cal} / \text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ 鋁棒理論值為 $0.37 \text{ cal} / \text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$

三、實驗儀器

編號	名稱	數量	編號	名稱	數量
1.	微電腦溫度控制器	1	2.	熱電偶加熱器	1
3.	鋁軌支架	1	4.	鋁軌底座(含腳底)	1
5.	待測金屬棒放置器(含孔塞)	1	6.	待測金屬棒(鋁合金)	1
7.	量熱計放置架(含杯蓋塞)	1	8.	量熱計	1
9.	溫度計固定器	2	10.	數位電子溫度計	3

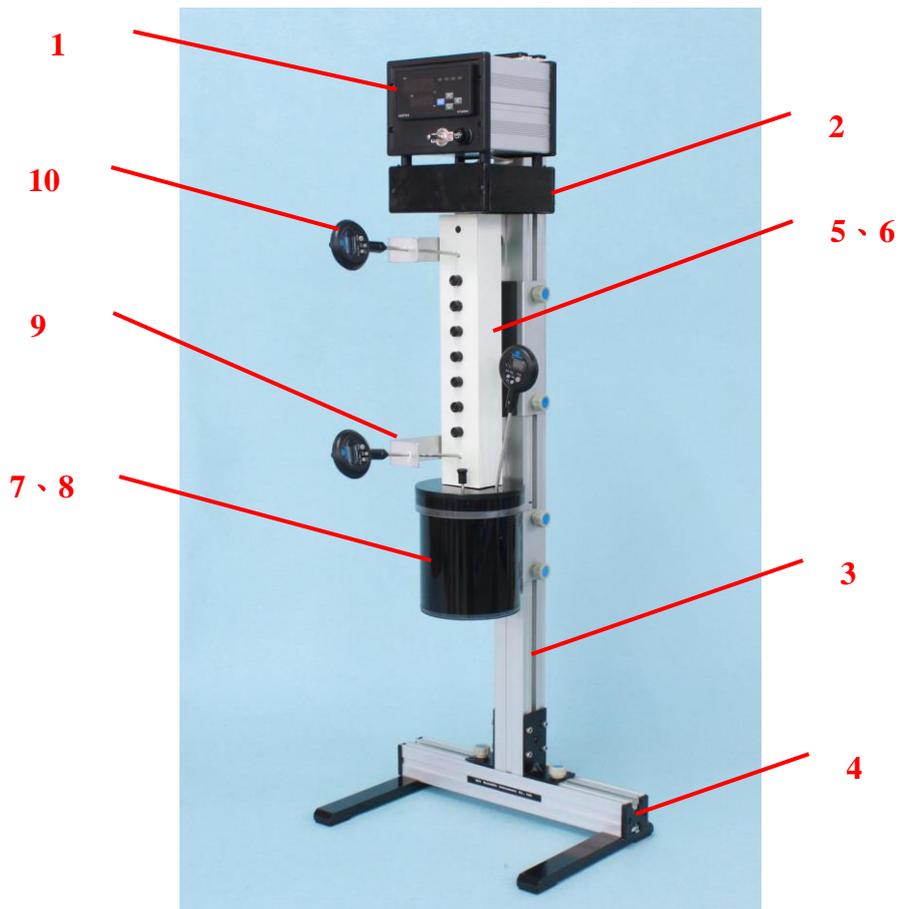


圖 3-1

四、 實驗步驟

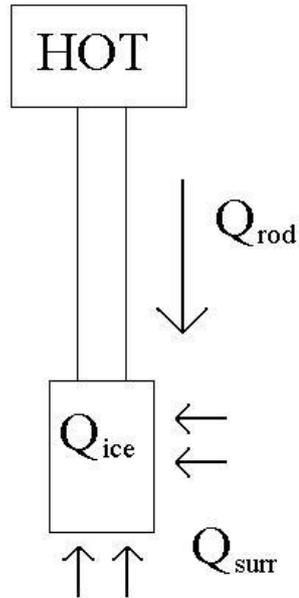


圖 4-1 實驗系統示意圖

從實驗系統示意圖(圖 4-1)可知，卡計內冰所得熱量 Q_{ice} ，由來自於環境給予卡計的熱量 Q_{surr} 及穩定熱源透過鋁棒給予卡計的熱量 Q_{rod} 之總和。

所以實驗先求卡計熱容 C_c ，待系統溫度穩定之後，再取走卡計內冰塊後，測量卡計內冰水溫度上升的情形，來求得 Q_{ice} ，再以相同的水量測出 Q_{surr} ，依：

$$Q_{rod} = Q_{ice} - Q_{surr}$$

和金屬棒截面積 A 、金屬棒上兩孔的距離 x 和溫差 T 來計算出金屬棒的热傳導率 λ 。

(一) 測量卡計熱容

1. 取熱水(建議在 60~80°C 之間)，先記錄熱水的溫度 T_W 和質量 M_W ，倒入空的卡計中，直至溫度達平穩時，記錄平衡溫度 T_M 和室溫 T_R ，再利用(5)式求出卡計熱容。

$$C_C = c_W \cdot M_W \cdot \frac{T_W - T_M}{T_M - T_R} \dots\dots\dots (5)$$

C_C ：卡計熱容 (heat capacity of carolimeter)

C_W ：水的比熱 (specific heat capacity of water)

M_W ：熱水質量 (mass of water)

T_W ：熱水初始溫度 (temperature of hot water)

T_M ：熱水平衡後溫度 (mixing temperature)

T_R ：實驗場所溫度 (room temperature)

求出卡計熱容量單位為 cal / °C

(卡計非單一材質，只能求出卡計整體熱容；由於操作方法每個人會有所差異，卡計的熱容會有 ±25% 的劇烈變異)

(二) 金屬棒單位時間兩端傳導熱量與 Q_{ice} 測定

1. 實驗裝置如圖 3-1。(金屬棒上端和加熱器接觸面可塗抹導熱膏幫助導熱)
2. 在量熱計放置架中，卡計杯放入隔熱杯中，並加入冰水至適當高度(在蓋上隔熱杯蓋時，水面可接觸到金屬棒身約 1mm 以上)，再放入冰塊，冰塊量要能確保金屬棒兩端溫度穩定前還保有餘冰塊，避免實驗失真。蓋上隔熱杯蓋並插入溫度計。

(確保等待金屬棒兩端溫度穩定不漂浮時，冰塊取出後的水位高度能使金屬棒浸入卡計水中)

4. 開啟微電腦溫度控制器，設定欲加熱溫度後將卡計移動使金屬棒浸入到含冰塊的冰水中，建議加熱器溫度可設定 70~80°C 之間較為適當，請勿設定超過 110°C)。
5. 在加熱的同時金屬棒上下兩孔的溫度會開始產生變化；測量期間若發現卡計內溫度升高，可攪拌卡計杯約 5 秒鐘，使卡計內溫度保持固定，進而使整個系統達到溫度平衡。
6. 當加熱器加熱到設定溫度並穩定後，(金屬棒兩孔溫度維持 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的跳動約 2~3 分鐘即算達到平衡) 且冰水保持在原始低溫，記錄金屬棒上下兩孔的溫度計值 T_1 、 T_2 。
7. 穩定後快速將冰塊取出，再把卡計移回，使金屬棒浸入卡計內的冰水中。

(步驟 2 相當重要，只要步驟 2 冰水水量能使金屬棒浸到水中，冰塊撈出後金屬棒就一定可以浸到冰水中)

從卡計溫度計下降至最低溫度後開始算起測量 15 分鐘，測量中可攪拌卡計內的冰水(攪拌方式和步驟 5 相同)，使裡面的水溫一致。(攪拌時水所吸收的熱量很小，可忽略不計)

8. 記錄金屬棒插入冰水時，冰水的初溫 T_3 和 15 分鐘後的末溫 T_4 。

(建議測量時間可以拉長，假設測量 20 分鐘，就以 20 分時的溫度為末溫，往前推 15 分鐘時的溫度為初溫)。

9. 測量卡計內冰水質量 M_i 並記錄，利用(6)式計算環境和加熱器透過金屬棒在 15 分鐘當中傳輸給卡計的總熱量。

$$Q_{ice} = (c_w \cdot M_i + C_c) \cdot \Delta T \dots\dots\dots(6)$$

$$\Delta T = (T_3 - T_4) / t$$

Q_{ice} ：每分鐘卡計所獲得的總熱量 (金屬棒+環境)

T_3 ：金屬棒插入卡計時卡計內冰水初溫

T_4 ：金屬棒插入卡計時卡計內冰水末溫

C_c ：卡計熱容

C_w ：水的比熱

A02-221P-Y51

M_i ：卡計內冰水質量

t ：冰塊取出後的測量時間

10.接下來以相同這杯水來做環境給卡計的熱量實驗。(兩個實驗的水量一樣為最佳)

(三) 求環境提供給卡計的熱量

1. 將卡計(含冰水)放回隔熱杯架中，並蓋上杯蓋及杯蓋塞，插入溫度計，記錄冰水的溫度在 t 時間內每分鐘的溫度變化 Δt ，利用(7)式求出每分鐘環境提供給卡計內水的熱量。

$$Q_{\text{surr}} = (c_w \cdot M_i + C_c) \cdot \Delta t \cdots \cdots (7)$$

Q_{surr} ：環境提供給卡計的熱量

C_w ：水的比熱

C_c ：卡計熱容

M_i ：卡計內冰水質量

Δt ：卡計內冰水每分鐘上升溫度

A02-221P-Y51

(四) 熱傳導係數計算

利用(8)式計算出金屬棒的熱傳導係數 λ

$$Q_{rod} = -\lambda A \left(\frac{dT}{dx} \right) = Q_{ice} - Q_{surr} \dots \dots \dots (8)$$

Q_{rod} : 金屬棒所傳遞淨熱量

Q_{ice} : 金屬棒浸入卡計內冰水所吸收熱量

Q_{surr} : 環境提供給卡計的熱量

A : 金屬棒截面積

dT : $T_1 - T_2$

dx : 金屬棒溫度計兩孔的距離

λ : 金屬熱傳導係數

五、實驗結果與數據分析

(一) 卡計熱容

$$C_C = c_W \cdot M_W \cdot \frac{T_W - T_M}{T_M - T_R}$$

C_C ：卡計熱容 (heat capacity of carolimeter)

c_W ：水的比熱 (specific heat capacity of water)

M_W ：熱水質量 (mass of water)

T_W ：熱水初始溫度 (temperature of hot water)

T_M ：熱水平衡後溫度 (mixing temperature)

T_R ：實驗場所溫度 (room temperature)

	1	2	3
水的熱容量 (cal / °C)			
熱水質量 (g)			
熱水初始溫度 (°C)			
熱水平衡後溫度 (°C)			
實驗場所溫度 (°C)			
卡計熱容量 (cal / °C)			

卡計熱容量平均值： cal / °C

(二) 金屬棒單位時間兩端傳導熱量 Q_{ice} 測定

$$Q_{ice} = (c_w \cdot M_i + C_c) \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = (T_3 - T_4) / t \quad t: \text{冰塊取出後的測量時間}$$

Q_{ice} : 每分鐘卡計所獲得的總熱量 (金屬棒+環境)

T_3 : 金屬棒插入卡計時卡計內冰水初溫

T_4 : 金屬棒插入卡計時卡計內冰水末溫

C_c : 卡計熱容

C_w : 水的比熱

M_i : 卡計內冰水質量

t : 冰塊取出後的測量時間

卡計內冰水質量 (g)	
卡計內冷水初溫 (°C)	
卡計內冷水末溫 (°C)	
測量時間 (s)	
每分鐘上升溫度 (°C)	
金屬棒+環境 所提供熱量 (cal)	
系統平衡時金屬棒上方孔溫度(°C)	
系統平衡時金屬棒下方孔溫度(°C)	

(三) 求環境提供給卡計的熱量 Q_{surr}

$$Q_{\text{surr}} = (c_w \cdot M_i + C_c) \cdot \Delta t$$

Q_{surr} ：環境提供給卡計的熱量

C_w ：水的比熱

C_c ：卡計熱容

M_i ：卡計內冰水質量

Δt ：卡計內冰水每分鐘上升溫度

時間(min)	溫度(°C)

每分鐘上升溫度 (Δt) °C

冰水質量： g

環境提供給卡計的熱量： cal

(四) 熱傳導係數 λ 的計算

$$Q_{rod} = -\lambda A \left(\frac{dT}{dx} \right) = Q_{ice} - Q_{surr}$$

Q_{rod} : 金屬棒所傳遞淨熱量

Q_{ice} : 金屬棒浸入卡計內冰水所吸收熱量

Q_{surr} : 環境提供給卡計的熱量

A : 金屬棒截面積

dT : $T_1 - T_2$

dx : 金屬棒溫度計兩孔的距離

λ : 金屬熱傳導係數

Q_{ice}	cal
Q_{surr}	cal
Q_{rod}	cal
A	cm^2
dT	$^{\circ}\text{C}$
dx	cm
λ	$\text{cal} / \text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$

六、問題與討論

1. 請問在求熱傳導係數實驗中卡計內的水勿加太多，能碰觸到金屬棒即可，原因為何？
2. 實驗時金屬棒之周圍為何要用隔熱物質將金屬棒與外界隔開？
3. 若卡計為非單一材質，可否使用混溫法測熱容？為什麼？

A02-221P-Y51

