臺灣二 OO 四年國際科學展覽會

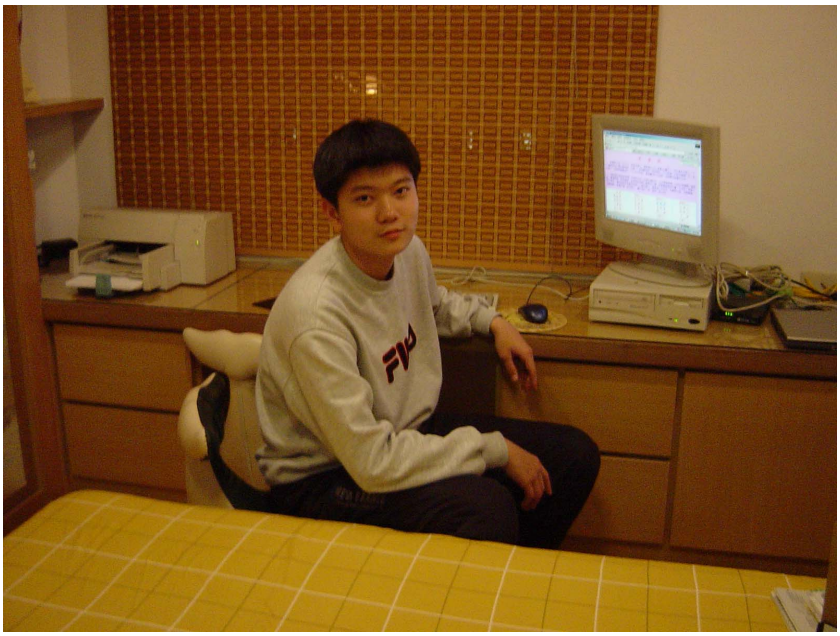
科　　別：物理科

作品名稱：是誰偷了水的熱？－傳導、對流、輻射

學　　校：高雄市立五福國民中學

作　　者：蘇培豪

作 者 簡 介



My name is Eddy Su. I'm now studying in Kaohsiung Municipal Wu-Fu junior High School in. I was a curious kid when I was little; I like to ask “why” whenever I can’t figure out the question. I've always had strong interest in science since I first study them in elementary school. Among all the subjects taken then, I like science the most, because it is interested and full of questions to ask. I even wanted to become Einstein of Taiwan. As school course getting harder, my passion toward science like raging fire, besides textbooks I also go through a lot science-related books, magazines, and special reports in newspaper. This passion has also derived me here to the science exhibition today.

我的名字是蘇培豪，我現在就讀於高雄市立五福國中。我從小就是一個好奇寶寶，對於我所無法解決的問題我喜歡問問題。從讀小學開始我一直對自然科有濃厚的興趣。在當時學的所有科目中，自然科最能引起我的興趣，而且可以不斷的問問題。我甚至想當台灣的愛因斯坦。隨著課業的繁重，我對自然科的熱情不減反增，除了教科書外，我更閱讀了自然相關書籍、雜誌，以及報紙上的專題報導。這份熱情也驅使我來參加本次科展。

目　　錄

壹、 摘要----------1
貳、 研究動機----------2
參、 研究目的----------2
肆、 研究器材與設備----------3
伍、 研究流程圖----------4
陸、 研究結果與討論----------5
研究一：探討水的降溫過程，並找出散熱效率與溫度之關係----------5
探討(一)：降溫過程中的現象觀察及討論----------5
探討(二)：探討水降溫的過程中，溫度和質量對時間的關係----------7
探討(三)：探討散熱速率與時間之關係----------8
探討(四)：探討散熱速率與溫度之關係----------10
探討(五)：根據熱傳遞的原理，探討散熱效率與溫度間的關係----------11
探討(六)：找出散熱速率對溫度的關係曲線中，對應的 K_1，K_2 及 K_0--14
研究二：研究水量與散熱速率及熱傳遞方式的關係----------15
探討(一)：探討水量不同時，降溫速率與散熱速率的變化----------15
探討(二)：探討水量與散熱速率的關係----------17
探討(三)：探討水量不同對散熱速率及熱傳遞方式的影響----------18
研究三：研究溶液顏色與散熱速率及熱傳遞方式的關係----------19
探討(一)：研究溶液顏色不同時，降溫速率與散熱速率的變化--------19
探討(二)：探討溶液顏色與散熱速率間的關係----------21
探討(三)：探討溶液顏色對散熱速率及熱傳遞方式的影響----------22
研究四：研究燒杯顏色與散熱速率及熱傳遞方式的關係----------23
探討(一)：研究燒杯顏色不同時，降溫速率與散熱速率的變化---------23
探討(二)：探討外壁顏色與散熱速率間的關係----------25
探討(三)：探討燒杯顏色對散熱速率及熱傳遞方式的影響----------26
研究五：研究塑膠墊的層數與散熱速率及熱傳遞方式的關----------27
探討(一)：研究塑膠墊的層數不同時，降溫速率與散熱速率的變化-27
探討(二)：探討軟墊層數與散熱速率間的關係----------29
探討(三)：探討軟墊層數與散熱速率及熱傳遞方式的關係----------30
研究六：探討驅動電壓與散熱速率及熱傳遞方式的關係----------31
探討(一)：研究驅動電壓不同時，降溫速率與散熱速率的變化--------31
探討(二)：探討驅動電壓與散熱速率間的關係----------34
探討(三)：探討驅動電壓對散熱速率及熱傳遞方式的影響----------36
研究七：測量酒精(乙醇)的比熱大小，以驗證公式的完整性----------37
陸、 結論與展望----------39
柒、 參考資料---------- **40**

Who steals the heat of water？

Conduction, Convection , Radiation

Abstract

In the research of cooling down in temperature of water, we realized that the speed of radiation relates to temperature. According to the concept in chapter 5 of Physics, the conveyance of thermal can be divided into three ways which are Conduction, Convection, and Radiation. Therefore, we can conclude the relationship between radiation speed and temperature as $\mathbf{R(T) = K_1T+K_2T^4-K_0}$ (see chapter 11). We can find K_1, K_2 and K_0 from the relation curve of radiation speed and temperature to probe into the changes of different thermal conveyances under different environmental condition.

From the result of experiment, we discover the less the water the faster the temperature drops. In fact, the less the water, the smaller the conduction and radiation area, the slower the speed of conduction and radiation, the rate of radiation becomes less. Besides, we can use temperature dropping, the rate of radiation and the changes of K_1、K_2 with temperature to probe into the changes in the rate of radiation with the thickness of container, the flow of air as well as the color of liquid and outer wall of container. We will also analyze the changes in thermal conveyance under different conditions. At last, we will verify the deductive formula by measuring the specific heat of alcohol.

是誰偷了水的熱？－傳導、對流、輻射

一、 摘要：

在研究水的降溫過程中，經由探討得知散熱速率與溫度有關，而根據理化課本第五章的觀念，熱量的傳遞共分爲傳導、對流及輻射三種方式，因此我們根據原理歸納出，散熱速率和溫度的關係式爲 $R(T) = K_1T+K_2T^4-K_0$（詳見 P.11）。接下來，我們從散熱速率對溫度的關係曲線，找出 K_1、K_2 及 K_0，以探討環境條件不同時，熱量傳遞方式所產生的變化。

從實驗結果我們發現，水量越少降溫速率越快，但實際上，水量少傳導和輻射的散熱面積也較小，傳導和輻射散熱的速率隨之降低，因此散熱速率反而較低。此外，我們根據降溫速率、散熱速率和溫度的關係圖及 K_1、K_2 的變化，探討容器厚度、空氣流速、溶液與燒杯外壁顏色不同時，散熱速率的變化，並分析在不同的條件狀態下，熱量傳遞方式的改變。最後，藉由乙醇比熱之測量，進一步驗證所推導的公式。

二、 研究動機：

當我們將一杯熱呼呼的水靜置於桌上時，大家都知道隨著時間的增加，水溫會逐漸下降，直到和室溫相同，然而水中的熱量爲何會散失？如何散失？受到哪些因素的影響？這些疑問讓我們產生極大的興趣，想要進一步瞭解存在於其中的奧妙之處。

爲了要解決這樣的疑惑，我們希望藉由研究水的降溫過程，揭開熱傳遞的廬山真面目，以瞭解熱量是藉由哪些方式傳遞？這些傳遞方式又會受到哪些因素的影響？相信這是一個值得探索的問題，也可以讓我們更加瞭解影響溫度變化的熱量傳遞過程。

三、 研究目的：

(一)、 藉由降溫過程中，所測得的溫度與質量對時間關係圖，找出散熱速率對時間及溫度關係曲線。

(二)、 根據傳導、對流、輻射的理論公式，找出散熱速率與溫度的關係式，用以分析散熱速率對溫度的關係曲線，求出 K_1、K_2及 K_0。

(三)、 藉由 K_1、K_2及 K_0的結果，探討不同的背景條件下，熱量傳遞方式的變化。

(四)、 藉由測量酒精(乙醇)的比熱值，驗證推論的應用公式。

四、 研究器材與設備：

燒杯、量筒、鐵架、陶瓷纖維網、酒精燈、電子溫度計、電子天秤、麥克筆、墨水、轉速計（RM-1000）、電腦及應用程式。



圖 1.實驗器材展示圖

0078 五、研究流程圖：

研究一：探討水的降溫過程，並找出散熱效率與溫度之關係

水降溫過程的現象觀察

⇩

水溫度和質量對時間的關係

⇩

作散熱速率與時間之關係圖

⇩

推導散熱速率與溫度之關係式

⇩

求出 K_1、K_2及 K_0，作爲分析依據

⇩

研究二~六：研究不同變因與散熱速率及熱傳遞方式的關係

（變因爲水量、溶液顏色、杯壁顏色、包覆軟墊層數及驅動風扇電壓）

降溫速率與散熱速率的變化

⇩

變因對散熱速率的影響

⇩

分析 K_1、K_2及 K_0，並探討
散熱速率及熱傳遞方式的變化

⇩

研究七：測量酒精的比熱大小，以驗證公式的完整性

六、 研究結果與討論：

研究一：探討水降溫的過程中，散熱效率與溫度之關係。

探討(一)：降溫過程中的現象觀察及討論。

想法：

1、由於高溫時，水中的對流現象及表面蒸散作用旺盛，影響溫度測量的準確性，因此我們觀察降溫的情形，以找尋適合進行實驗的溫度範圍，並將水量的散失納入考量，減少蒸散作用產生的誤差。

2、爲了降低室溫不同造成的背景誤差，我們將在冷氣房內進行實驗，並溫度將調節在 19.1± 0.3℃ 以內。

(一) 實驗步驟：

1、將燒杯置於電子秤上，倒入 100g 的沸水，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量至水溫降到 30^0℃，實驗裝置如下圖 2.所示。



圖 2.測量水的溫度與質量之實驗裝置圖

(二) 實驗結果：

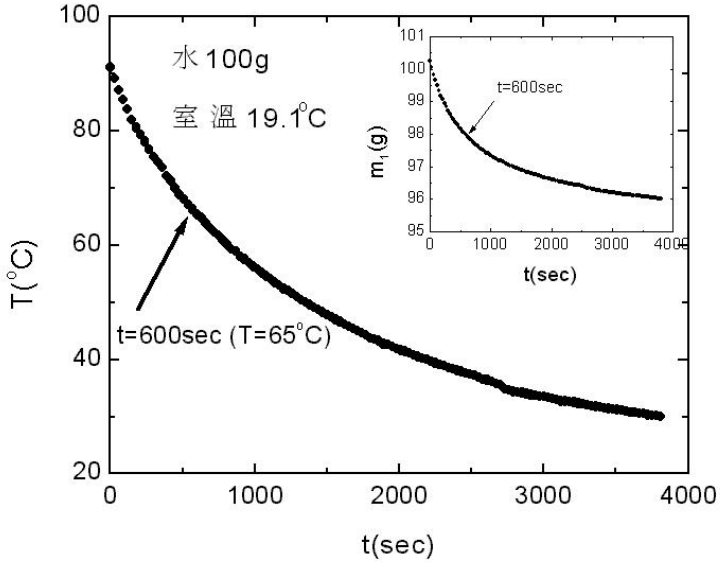


圖 3. 水由沸騰降至 30℃ 時，溫度對時間關係圖，
插圖爲質量對溫度的關係圖

註：m_1 爲水的質量；T 爲水溫；t 爲時間。

(三) 討論：

1、根據我們的觀察結果，水在沸騰時會有對流的現象及氣泡產生，而將沸水倒入燒杯後，氣泡會開始變少，對流的現象也逐漸減弱，約十分鐘後氣泡完全消失，系統處於較穩定的狀態適合進行水溫的量測，而從圖 3.中溫度對時間的關係曲線可以看出，此時的水溫約爲 65°C(**箭頭所指示之位置**)。

2、我們從圖 3.質量對溫度的關係圖中發現，約在 600 秒左右，質量對溫度的關係曲線變得較爲平緩，表示水量減少的速率降低，蒸散作用減弱，系統呈現較穩定的狀態，此時的水溫約爲 65℃。

3、**根據觀察結果我們發現：系統在 65℃ 左右出現較穩定的狀態，因此我們決定將測量的溫度範圍，設定在 65℃ 以下的溫區。**

探討(二)：探討水降溫的過程中，溫度和質量對時間的關係。

(一) 實驗步驟：

1、將水加熱至 75°左右，並倒入 100g 的熱水至燒杯中。

2、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30°C。

(二) 實驗結果：

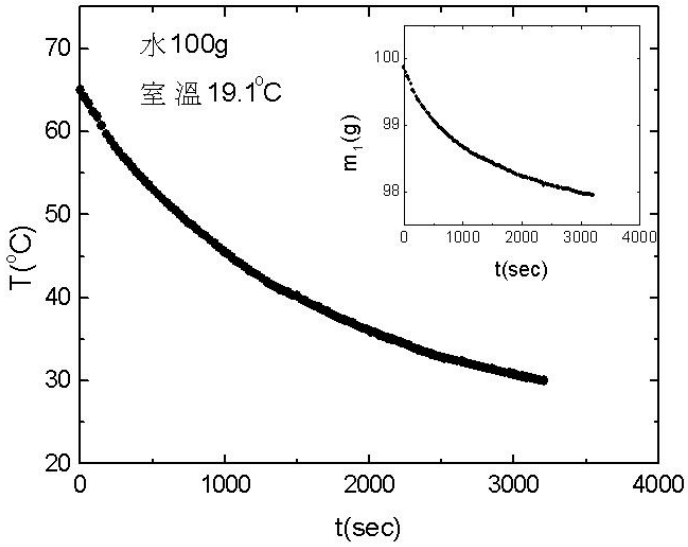


圖 4. 100g 水降溫過程中溫度對時間的關係圖，
插圖爲質量對時間的關係圖

(三) 討論：

1、從圖 4.我們發現溫度對時間的關係爲一條曲線，隨著時間增加曲線變得較爲平緩(**即斜率逐漸減小**)，因此我們得知實驗進行之初，水溫下降的速率較快，而時間過得越久，降溫速率就變得越小。

2、根據圖 4.的質量對時間的關係圖，我們也發現水量在一開始時減少的速率較快，而隨著時間的增加，減少的速率也逐漸降低。

3、接下來，我們希望由溫度和時間的關係曲線，得出散熱速率的大小，並探討降溫過程中所涵蓋的物理現象。

探討(三)：探討散熱速率與時間之關係。

想法：爲了要進一步瞭解水的降溫過程中，所涵蓋的物理現象及意義，我們將找出散熱速率與時間的關係圖，並根據其內容加以分析。

(一) 公式推導：

1、 散熱速率$R=\frac{\text{散失的熱量}\Delta H}{\text{時間間隔}\Delta t}$(單位爲$Watt=\frac{\text{焦耳}}{\text{秒}}=\frac{J}{\sec}$)。

其中ΔH=水與燒杯散失的熱量ΔH_1＋水蒸散所散失的熱量ΔH_2。

2、因爲水量會隨時間減少，所以我們以**平均水量**$\overline{m}_1$做爲實際的水量，此外 1cal=4.18J，故$\Delta H_1=4.18\times(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T$。

3、 $\Delta H_2=4.18\times(540\times\Delta m_1)$，其中爲**$\Delta m_1$ 減少的水量(即蒸散的質量)**，540cal/g 則爲水的汽化熱。

4、根據以上的結果

$$R=\frac{\left[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540\right]\times 4.18}{\Delta t}$$

因此如果要得到散熱速率對時間的關係圖，可藉由以下的步驟，從溫度與質量對時間的關係圖，找出散熱速率與時間的關係曲線。

$$R_n=\frac{\left[(\overline{m}_{1(n)}\times s_1+m_2\times s_2)\times(T_n-T_{n-1})+(m_{1(n)}-m_{1(n-1)})\times 540\right]\times 4.18}{(t_n-t_{n-1})}$$

$$\bar{t}_n=\frac{t_n+t_{n-1}}{2}$$

註：我們令水的比熱爲 s_1(1cal/g-°C)；燒杯的質量和比熱爲 m_2(43.1g)和 s_2(0.2cal/g-°C)；系統的溫度變化爲ΔT；$\overline{m}_{1(n)}=\frac{m_{1(n)}+m_{1(n-1)}}{2}$。

(二) 實驗結果：

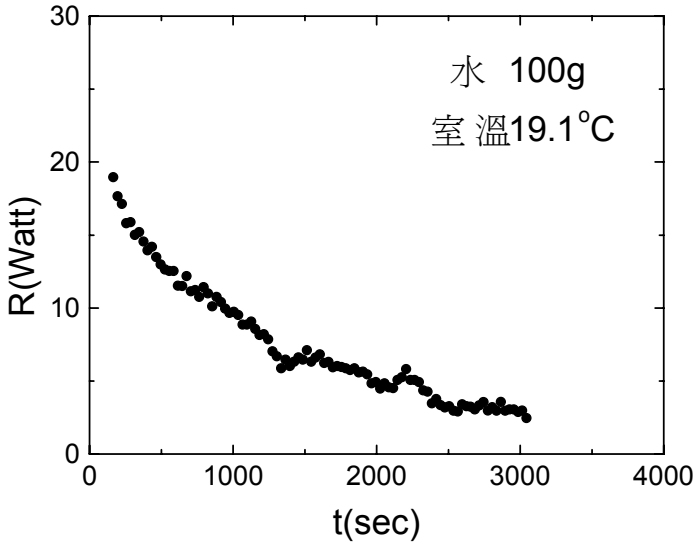


圖 5. 100g 水降溫過程中散熱速率對時間的關係圖

(三) 討論：

1、由圖 5.的結果可知，散熱速率隨時間增加而減小，表示時間越久，單位時間內散失的熱量越少，故降溫速率趨緩，導致溫度對時間的關係成爲一條斜率漸緩曲線。

2、爲何時間越長散熱速率就越小呢？如果仔細想想我們可以發現，散熱效率下降的同時，水溫也在降低，於是我們不禁要問，水溫與散熱速率之間究竟有沒有存在著任何的關聯？

探討(四)：探討散熱速率與溫度之關係。

想法：我們從探討(三)中發現，散熱速率隨時間增加而減小的同時，水溫也在下降，那麼散熱速率與溫度的高低有沒有任何關聯呢？這是我們想要進一步解開的疑問。

(一) 公式推導：

1、我們根據探討(三)中的方式求出 R_n ，而對應的溫度如以下所示：

溫度 $\overline{T}_n = \dfrac{T_n + T_{n-1}}{2}$

(二) 實驗結果：

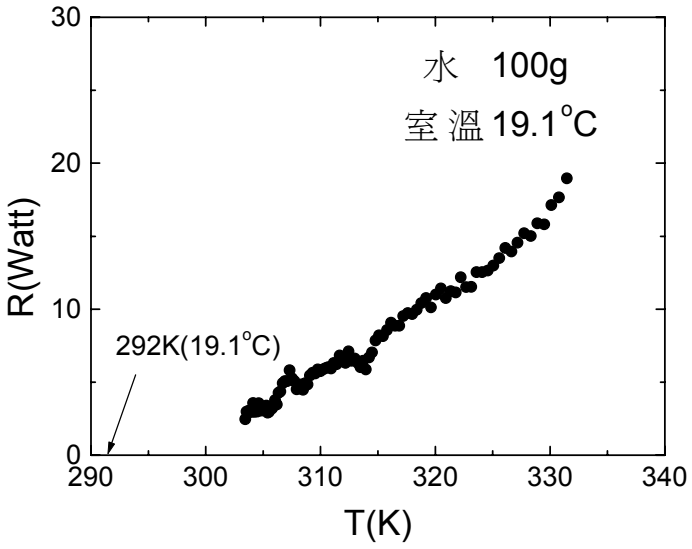


圖 6. 100g 水降溫過程中散熱速率對溫度的關係圖

(三) 討論：

1、從圖 6.的結果得知，溫度越低散熱速率越小，而且從趨勢估計，在箭頭所指的溫度**(即室溫)**附近，散熱速率變得非常小，幾乎爲零。

2、我們相信溫度是影響散熱速率大小的主要因素之一，但兩者間的關係究竟爲何呢？就我們所學過的物理觀念，是否可以解釋這些問題。

探討(五)：根據熱傳遞的原理，探討散熱效率與溫度間的關係。

想法：對於散熱效率與溫度的關係，我們由理化課本第五章提及的觀念得知，熱量在溫度不同的物體間傳播，直到各物體達到熱平衡(即溫度相同)，而傳播的方式爲傳導、對流和輻射，因此我們可以明白，水溫會降低是由於水溫和環境的溫度不同，熱量藉由這三種方式傳遞到環境中，造成水溫從高溫降到低溫的結果。

(一) 原理：熱量傳遞的方式分別爲傳導、對流及輻射，原理探討如下。

1、**傳導**：當一物體內部有溫差時，熱量會藉由傳導的方式，由高溫 T_H 傳向低溫 T_L，而**傳導的散熱速率 R_1** 和物體的**熱導係數 K**、**傳導的散熱面積 A_1** 以及**溫差 $\Delta T = (T_H - T_L)$** 的大小成正比，與兩溫區的距離，即**厚度 d** 成反比。所以我們可以得知：

$$R_1 = \frac{KA_1\Delta T}{d} = \frac{KA_1(T_H - T_L)}{d}$$

2、**對流**：除了傳導之外，熱量也可以藉由液體或氣體以對流的方式傳遞，**對流的散熱速率 R_2** 和**對流係數 h**、**對流的散熱面積 A_2** 及溫差 ΔT 有關，因此：

$$R_2 = hA_2\Delta T = hA_2(T_H - T_L)$$

註：h 的大小取決於對流的流體是氣體或液體，以及流體的密度、黏性、比熱、導熱率和**流速**等因素。

3、**輻射**：輻射與傳導及對流需經由介質傳遞有很大的不同，輻射乃是熱量以電磁波的方式傳遞，而**輻射的散熱速率 R_3**，根據 Stefan-Boltzman 定律可以得知：

$$R_3 = A_3 e\sigma(T_H{}^4 - T_L{}^4)$$

註：**A_3 爲表面積，e 爲吸收率**，σ 爲 Stefan-Boltzman 常數。

(二) 公式推導：

令水溫 T 等於 T_H，室溫 T_0 等於 T_L

則總散熱速率 R $= R_1 + R_2 + R_3$

$$= \frac{KA_1}{d}\Delta T + hA_2\Delta T + A_3 e\sigma(T^4 - T_0^4) \quad \text{..... (1)}$$

$$= \frac{KA_1(T - T_0)}{d} + hA_2(T - T_0) + A_3 e\sigma(T^4 - T_0^4)$$

$$= (\frac{KA_1}{d} + hA_2)T + A_3 e\sigma T^4 - (\frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4)$$

令 $K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2)$ ； $K_2 = A_3 e\sigma$ ； $K_0 = \frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4$

由此可知 $R = K_1T + K_2T^4 - K_0$ **..... (2)**

此外由於 $K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2)$ ； $K_2 = A_3 e\sigma$ 代入第**(1)**式後

可得 $R = K_1\Delta T + K_2(T^4 - T_0^4)$ **..... (3)**

其中 $R_1 + R_2 = K_1\Delta T$ ； $R_3 = K_2(T^4 - T_0^4)$ **..... (4)**

我們依照以下的步驟將 K_0 簡化

$$K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2) \text{ ； } K_2 = A_3 e\sigma$$

而 $K_0 = \frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4$

$$= K_1T_0 + K_2T_0^4 \quad \text{..... (5)}$$

(三) 討論：

1、根據熱力學的理論，熱量會經由傳導、對流及輻射這三種方式傳遞，所以總散熱速率等於傳導、對流和輻射的散熱速率相加，故散熱速率 $R = R_1 + R_2 + R_3$。

2、在本實驗中，水溫隨著時間降低，而室溫幾乎不變，可視爲常數，因此可歸納出：

$$R = (\frac{KA_1}{d} + hA_2)T + A_3 e\sigma T^4 - (\frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4)$$

爲了簡化這個方程式我們令

$$K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2) \text{ 、 } K_2 = A_3 e\sigma \text{ 、 } K_0 = \frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4$$

所以得到(2)式 $R = K_1T + K_2T^4 - K_0$，與溫度的一次和四次方有關。

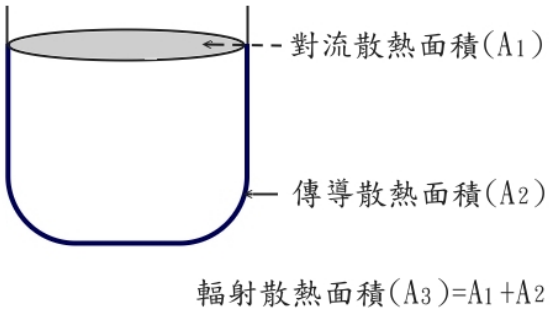
在測得散熱速率對溫度的關係曲線後，可依據 $R(T) = K_1T + K_2T^4 - K_0$ 的關係式，求出 K_1、K_2和 K_0。

3、$K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2)$，其大小決定於熱導係數、對流係數、厚度及傳導和對流的散熱面積。

4、$K_2 = A_3 e\sigma$，取決於輻射的散熱面積與物體輻射吸收率。

5、$K_0 = \frac{KA_1}{d}T_0 + hA_2T_0 + A_3 e\sigma T_0^4 = K_1T_0 + K_2T_0^4$，爲環境給予系統熱量的速率，可藉由 K_1、K_2判斷大小。

6、根據第(3)式的結果 $R = K_1\Delta T + K_2(T^4 - T_0^4)$，所以當水溫相同時，我們可藉由 K_1、K_2的結果，探究散熱速率及熱量傳遞方式的變化。



探討(六)：找出散熱速率對溫度的關係曲線中，對應的 K_1，K_2及 K_0。

想法：我們在探討(五)中，找出了散熱速率與溫度的關係式，接下來我們希望對散熱速率對溫度的關係曲線加以分析，求得對應的 K_1，K_2及 K_0。

(一) 實驗結果：

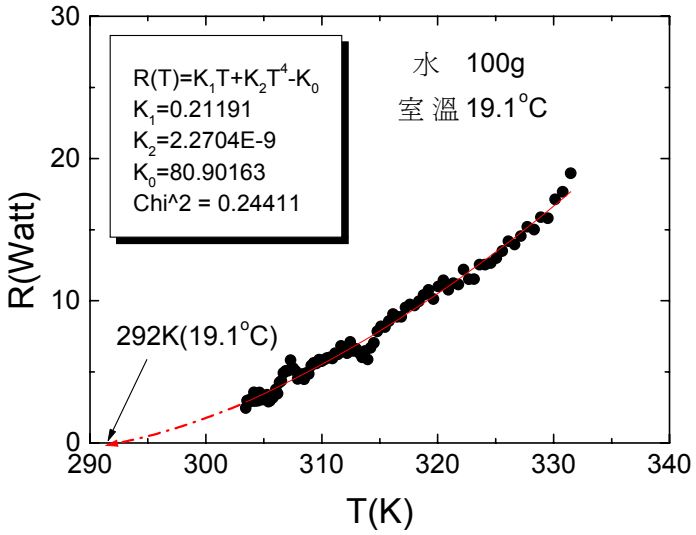


圖 7、100g 水降溫過程中，散熱速率對溫度的關係圖，
及對應的 K_1，K_2和 K_0

討論：

1、我們根據散熱速率與溫度的關係式，找出圖 7.散熱速率對溫度關係曲線的 K_1、K_2及 K_0，作爲我們探討熱量傳遞方式變化的依據。

2、當我們分析圖 7.中散熱速率對溫度的關係曲線後，估計其趨勢**(紅色虛線所示)**，發現水溫在室溫附近時，散熱速率幾乎爲零。從物理學的觀點來看，這是因爲系統與環境達成熱平衡，彼此間不會有熱量傳遞所導致的結果。

研究二：研究水量與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

探討(一)：探討水量不同時，降溫速率與散熱速率的變化。

(一) 實驗步驟：

1、將水加熱至 75°左右，並倒入 90g 的熱水至燒杯中。

2、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30℃。

3、將步驟 1.中所倒入的水量，依序改爲 80g、70g 及 60g 重複步驟 1-2。

(二) 實驗結果：

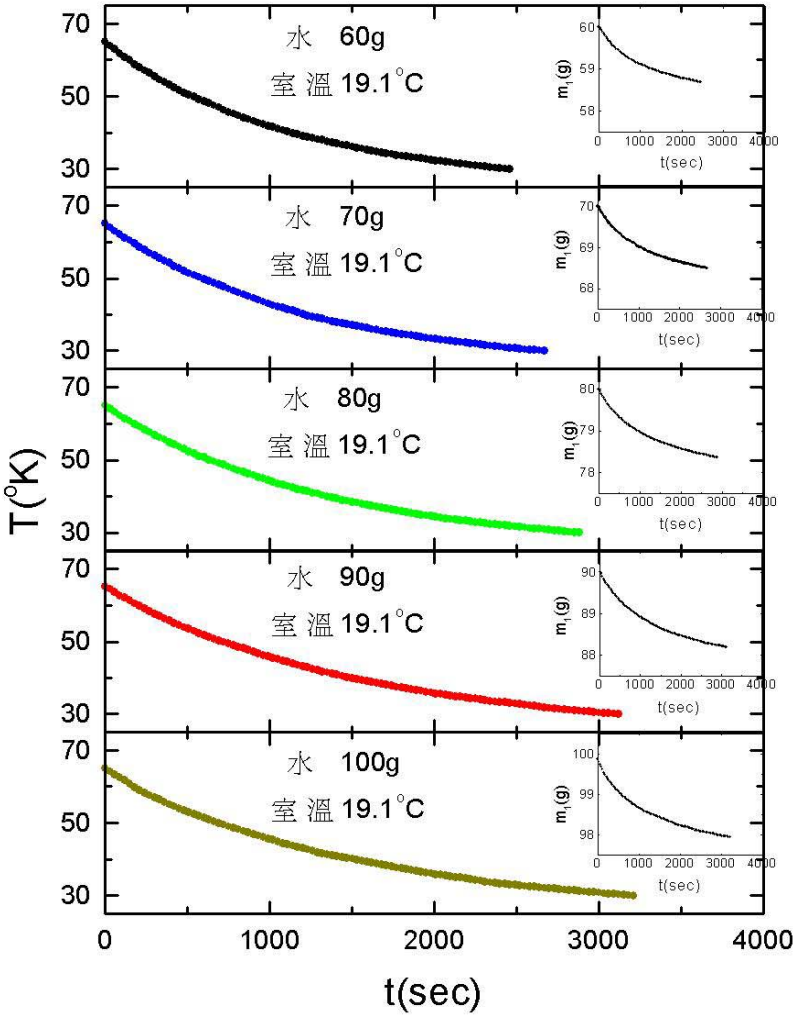


圖 8、爲 60-100g 水的降溫過程之溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(三) 討論：

1、根據圖 8.的結果，我們發現水量越少， 溫度由 65℃ 降至 30℃ 的時間越短，即降溫速率越快，但這是否意謂著水量少，散熱速率較大呢？

2、從實驗結果我們發現，水量越少時降溫速率越高，而散熱速率 $R=\frac{\Delta H_1+\Delta H_2}{\Delta t}=\frac{\left[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540\right]\times 4.18}{\Delta t}$，由於溫度變化相同時，水量較少散失的熱量也較低，因此單就降溫速率的大小，無法判斷出散熱速率的高低。

3、那麼是否有其他的方法，可以判別散熱速率的差異呢？由於散熱速率與溫度有關，因此如果從散熱速率對溫度的關係曲線，及 K_1、K_2 和 K_0的變化著手，也許可以幫助我們找出關鍵性的答案。

探討(二)：探討水量與散熱速率的關係。

想法：我們希望藉由散熱速率與溫度的關係圖，來探討水量和散熱速率間的關係，並求出 K_1、K_2和 K_0。

(一) 實驗結果：

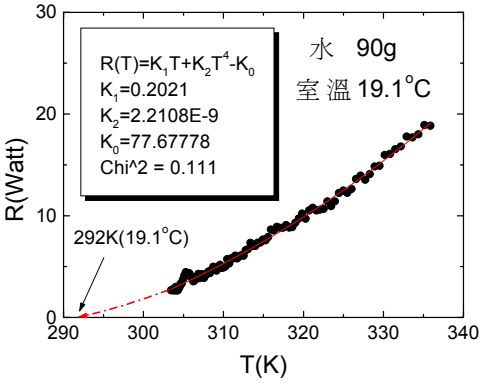


圖 9、90g 水的散熱速率和溫度關係圖

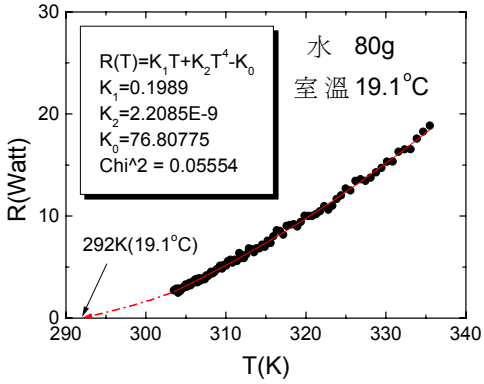


圖 10、80g 水的散熱速率和溫度關係圖

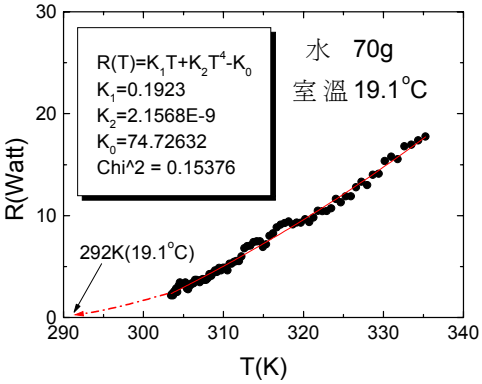


圖 11、70g 水的散熱速率和溫度關係圖

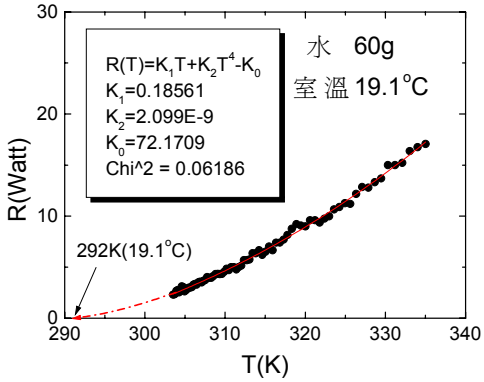


圖 12、60g 水的散熱速率和溫度關係圖

(二) 討論：

1、從圖 7.(P.13)及圖 9-12.的散熱速率對溫度關係圖，我們發現水量越少曲線的斜率就越小，表示溫度相同時，散熱速率隨水量的減少而降低。

2、我們由散熱速率對溫度關係圖，對水量與散熱速率的關係做了初步的判斷，接下來我們將進行更深入的探究。

探討(三)：探討水量不同對散熱速率及熱傳遞方式的影響。

(一) 實驗結果：

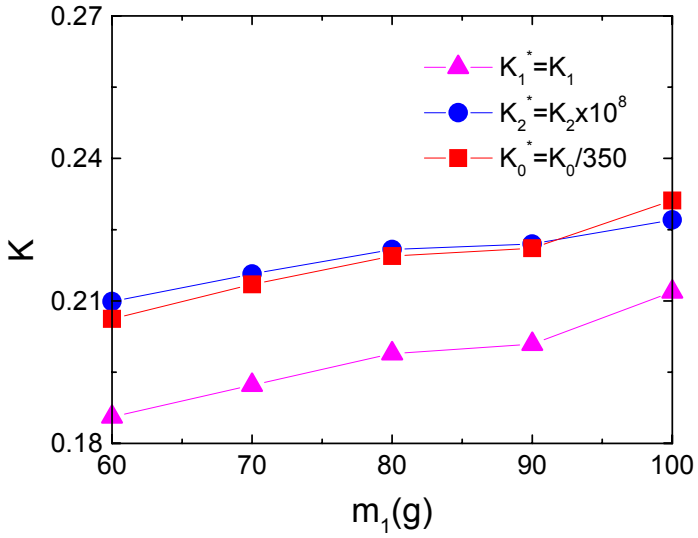


圖 13、水量與 K_1、K_2和 K_0之關係圖

註：我們令 $K_1^*=K_1$、$K_2^*=K_2*10^9$及 $K_0^*=K_0/350$，以便於分析。

(二) 討論：

1、從圖 13.可知 K_1、K_2隨水量增加變大，且散熱速率 $R = K_1\Delta T+K_2(T^4-T_0^4)$，因此得知水溫相同時，水量越多散熱速率就越大。

2、$K_1 = (\frac{KA_1}{d} + hA_2)$ 、$K_2 = A_3 e\sigma$，而水量增加時，體積增大，輻射和傳導的散熱面積(A_1和 A_3)變大，造成 K_1、K_2隨之增加。由於傳導和輻射的散熱速率 $R_1 = \frac{KA_1\Delta T}{d}$ 、$R_3 = A_3 e\sigma(T^4 - T_0^4)$，所以兩者也會隨之增大。

3、根據以上的討論我們發現：散熱速率隨水量增加而增大的原因，是由於輻射和傳導的散熱速率變大。而水量較多者，需釋放的熱量也較多，故降溫的時間較久，所以速率反而較慢。

研究三：研究溶液顏色與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

探討(一)：研究溶液顏色不同時，降溫速率與散熱速率的變化。

(一) 實驗步驟：

1、將水加熱至 75°左右，倒入 100g 的熱水至燒杯中，並滴入五滴紅色的墨水。

2、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30℃。

3、將步驟 1.中滴入的墨水顏色，依序改爲綠色、藍色及黑色重複步驟 1-2。

(二) 實驗結果

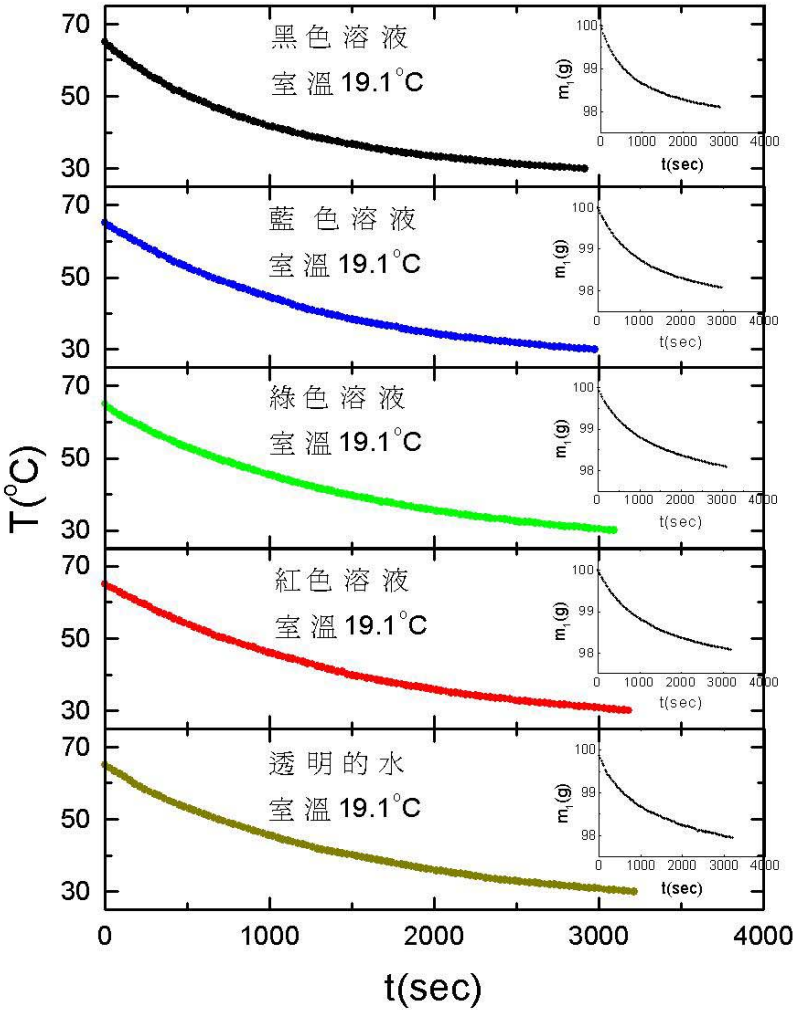


圖 14. 不同顏色的溶液的降溫過程之溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(三) 討論：

1、根據圖 14.的結果我們發現，黑色溶液降至 30℃ 的時間最短，最長的則是透明的水，所以降溫速率由大到小，依序是黑色、藍色、綠色、紅色及透明的水溶液。

2、由於散熱速率 $R=\frac{[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540]\times 4.18}{\Delta t}$ ，實驗的初始水量爲 100g，各溶液的水量變化量約爲 2g，所以就 65℃ 降至 30° 的過程來說，各溶液的平均水量、水量變化量和溫度變化的大小幾乎相同，因此降溫所需的時間越短者，整段過程的散熱速率就越大，故得知 $R_{黑(溶液)}>R_{藍(溶液)}>R_{綠(溶液)}>R_{紅(溶液)}>R_{透明(溶液)}$。

3、在上述的探討中，我們藉由降溫速率的快慢，找出了不同顏色水溶液的散熱速率大小。

探討(二)：探討溶液顏色與散熱速率間的關係。

(一) 實驗結果：

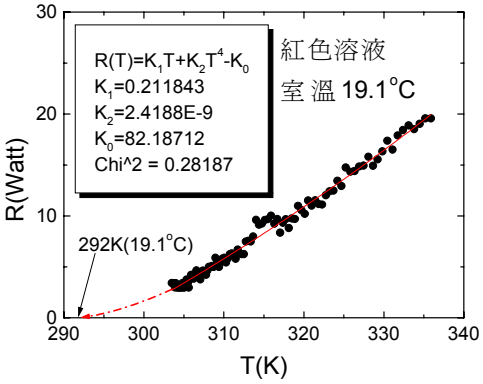


圖 15、紅色溶液的散熱速率和溫度關係圖

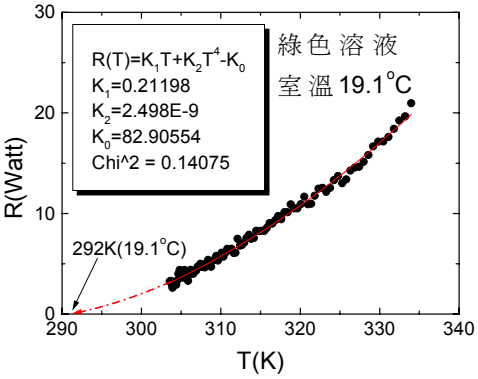


圖 16、綠色溶液的散熱速率和溫度關係圖

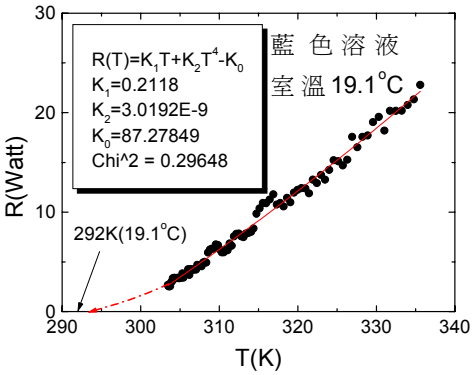


圖 17、藍色溶液的散熱速率和溫度關係圖

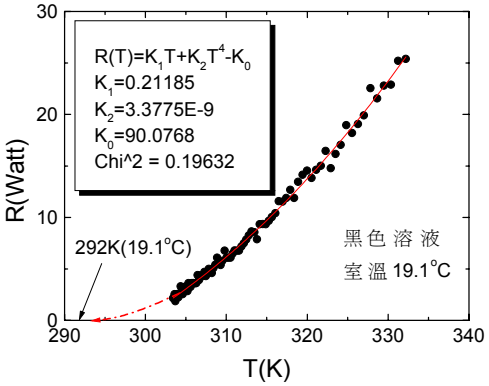


圖 18、黑色溶液的散熱速率和溫度關係圖

(二) 討論：

從圖 7.(P.13)及圖 15-18.的散熱速率對溫度關係圖，我們發現溶液顏色越深曲線的斜率就越大，顯示在相同水溫下，黑色溶液的散熱速率最大，透明的水則是最小，與探討(一)所得到的結果相同。

探討(三)：探討溶液顏色對散熱速率及熱傳遞方式的影響。

(一) 實驗結果：

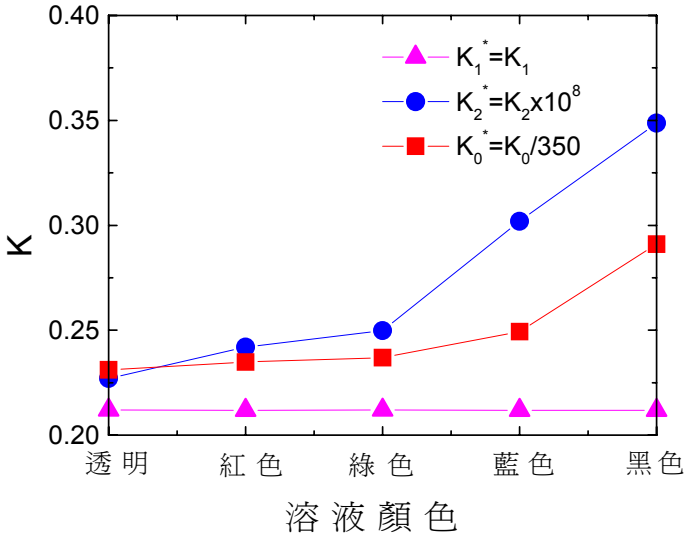


圖 19. 溶液顏色與 K_1、K_2 和 K_0 之關係圖

(二) 討論：

1、圖 19.的結果顯示，K_1 維持不變，K_2 隨顏色的加深而遞增，由於散熱速率 $R = K_1\Delta T+K_2(T^4-T_0^4)$，故水溫相同時，散熱速率的大小，依序是黑色、藍色、綠色、紅色及透明的水溶液。

2、由於水量和背景條件固定，所以 K_1 維持不變。因此傳導和對流的散熱速率也沒有產生任何的變化，維持同樣的大小。

3、我們發現溶液顏色越深 K_2 就越大，而 $K_2=A_3e\sigma$，且輻射的散熱面積不變，所以得知 $e_{黑(溶液)}>e_{藍(溶液)}>e_{綠(溶液)}>e_{紅(溶液)}>e_{透明(溶液)}$，與我們所知顏色越深的物質，輻射吸收率越大的觀念相符。而輻射的散熱速率 $R_3 = A_3e\sigma(T^4 - T_0^4)$，所以顏色越深的溶液，輻射的散熱速率就越大。

4、**圖 19.中紅色的 K_2 明顯小於藍、黑兩色，這是因爲熱輻射多爲紅外線，易被紅色給反射，故兩者的 K_2 遠小於藍、黑色。**

5、根據上述的討論我們發現：顏色越深的溶液輻射吸收率越大，輻射的散熱速率越高，所以造成散熱速率隨之增大。

研究四：研究燒杯顏色與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

探討(一)：研究燒杯顏色不同時，降溫速率與散熱速率的變化。

(一) 實驗步驟：

1、將水加熱至 75°左右，倒入 100g 的熱水至外壁塗成紅色的燒杯中。

2、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30℃。

3、將步驟 1.中的外壁顏色，依序改爲綠色、藍色及黑色重複步驟 1-2。

(二) 實驗結果：

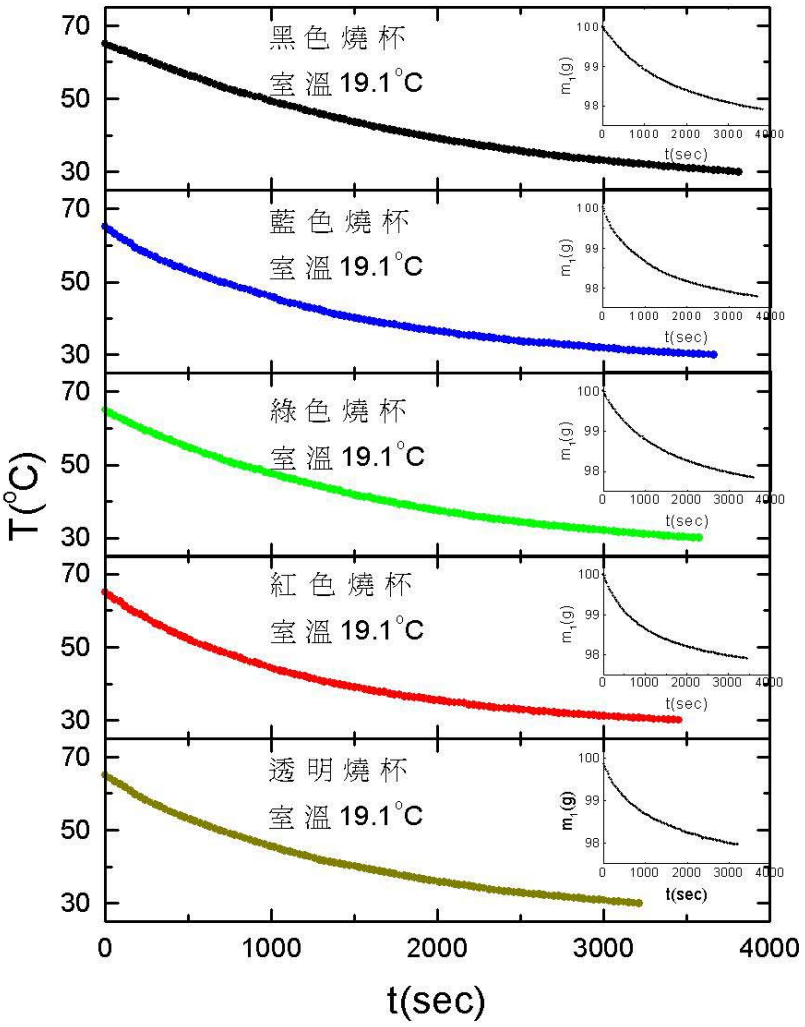


圖 20. 燒杯顏色不同的降溫過程之溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(三) 討論：

1、從圖 20.的結果我們發現，透明燒杯的降溫時間最短，當外壁塗上顏色後，降溫時間變長，其中以黑色燒杯最久，因此降溫速率由大到小，依序爲透明、紅色、綠色、藍色及黑色的燒杯。

2、由於散熱速率 $R=\frac{[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540]\times 4.18}{\Delta t}$，初始水量爲 100g，水量變化量都約爲 2g，因此降溫時間越短者，散熱速率就越大，由此可知 $R_{透明(外壁)}>R_{紅(外壁)}>R_{綠(外壁)}>R_{藍(外壁)}>R_{黑(外壁)}$。

3、本實驗中散熱速率和顏色的關係，與研究三的結果恰好相反，於是我們不禁要問這兩者，在熱量的傳遞上有何差異？使散熱速率出現不同的結果。

探討(二)：探討外壁顏色與散熱速率間的關係。

(一) 實驗結果：

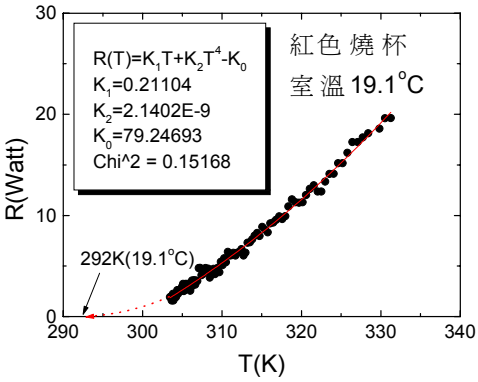


圖 21、紅色燒杯的散熱速率和溫度關係圖

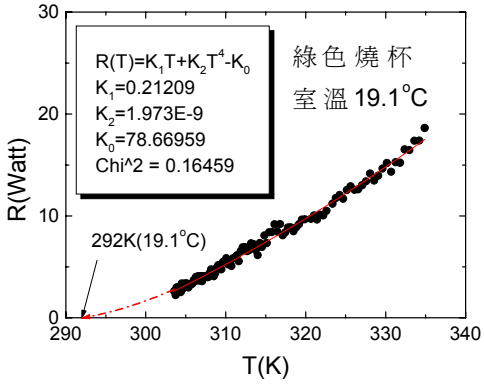


圖 22、綠色燒杯的散熱速率和溫度關係圖

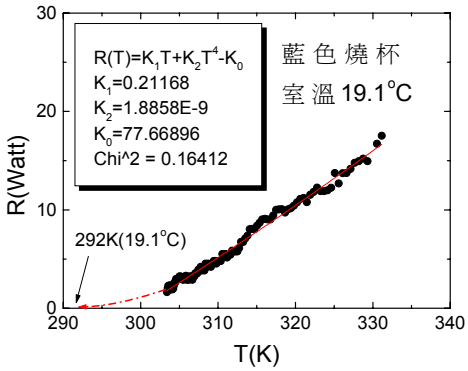


圖 23、藍色燒杯的散熱速率和溫度關係圖

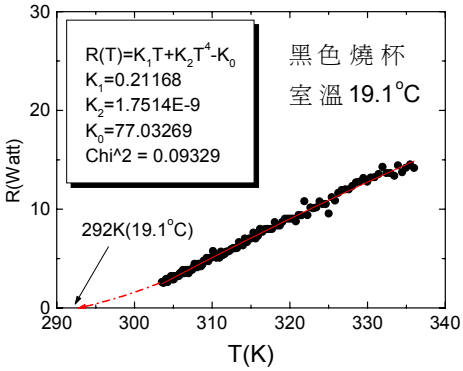


圖 24、黑色燒杯的散熱速率和溫度關係圖

(二) 討論：

1、從圖 7.(P.13)及圖 21-24.的散熱速率對溫度關係圖，我們發現外壁顏色越深曲線的斜率就越小，所以可知水溫相同時，散熱速率最小的是黑色燒杯，最大則爲透明燒杯。

2、我們由兩種不同的方式探討散熱速率與外壁顏色關係後，得到相同的結論，表示外壁顏色越深散熱速率的確越小。爲了找出本實驗和研究三的不同之處，我們將進行更深入的探究。

探討(三)：探討燒杯顏色對散熱速率及熱傳遞方式的影響。

(一) 實驗結果：

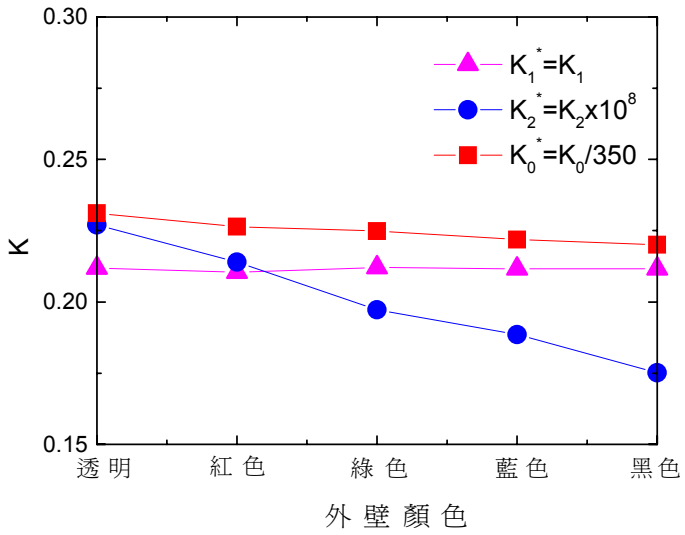


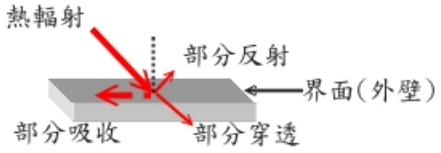
圖 25. 燒杯顏色與 K_1、K_2 和 K_0 之關係圖

(二) 討論：

1、從圖 25.我們發現，K_1 維持不變，K_2 隨外壁顏色的加深而減小，再次確定了在相同的水溫下，外壁顏色越深散熱速率越小。

2、由於水量和背景條件固定，K_1 維持不變，且 $R_1+R_2=K_1\Delta T$，所以傳導和對流的散熱速率亦不變。

3、由於 $K_2=A_3e\sigma$ 、輻射的散熱面積維持一定，而外壁顏色越深 K_2 越小，故系統的輻射吸收率 $e_{透明(外壁)}>e_{紅(外壁)}>e_{綠(外壁)}>e_{藍(外壁)}>e_{黑(外壁)}$。因爲外壁顏色越深，越容易吸收水輻射出的熱量，並將部分的熱量傳回系統之中，如下圖所示，造成系統的輻射散熱速率降低。



4、根據以上的討論我們發現：外壁有顏色時，較易吸收系統所輻射出的熱量，而顏色越深輻射吸收率越高，所以系統的輻射散熱速率降得越多，系統的散熱速率越小。

研究五：研究塑膠墊的層數與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

探討(一)：研究塑膠墊的層數不同時，降溫速率與散熱速率的變化。

(一) 實驗步驟：

1、將水加熱至 75°左右，並倒入 100g 的熱水至外壁包覆了一層透明軟墊(厚度 0.2cm)的燒杯中。

2、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30℃。

3、將步驟 1.中包覆的軟墊，依序增爲成二、三及四層重複步驟 1-2。

(二) 實驗結果：

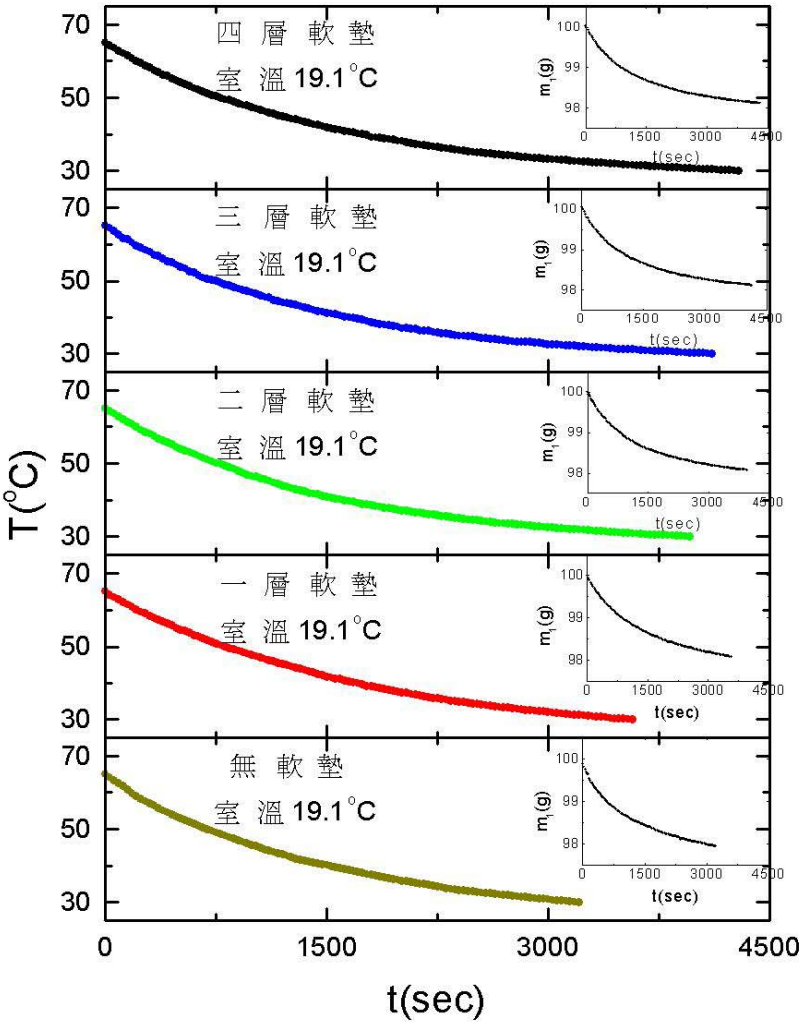


圖 26. 不同層數的軟墊降溫過程之溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(三) 討論：

1、根據圖 26.的結果我們發現，包覆透明軟墊後，降至 30℃ 的時間隨層數的增加而延長，其中以四層軟墊的降溫時間最久，所以沒有包軟墊的燒杯降溫速率最快，包了四層軟墊的燒杯最慢。

2、從實驗結果中我們發現，軟墊層數越多降溫的時間就越長，而散熱速率 $R=\frac{\left[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2+m_3\times s_3)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540\right]\times 4.18}{\Delta t}$，軟墊質量增加的同時，降溫時間也會增長，因此單從就降溫速率快慢，無法直接判斷散熱速率的大小。

註：m_3、s_3分別爲軟墊的質量與比熱。

3、爲了瞭解包覆軟墊對散熱速率的影響，我們將根據溫度對時間的關係，求出散熱速率與溫度的關係曲線，做進一步的研究。

探討(二)：探討軟墊層數與散熱速率間的關係。

(一) 實驗結果：

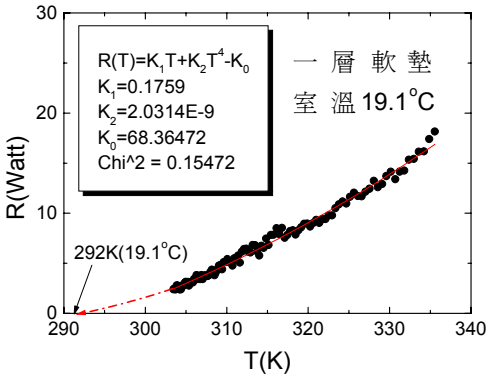


圖 27. 一層軟墊的散熱速率和溫度關係圖

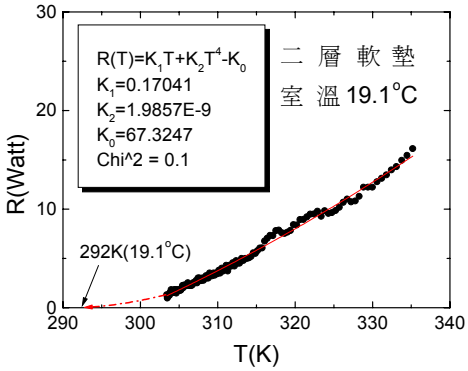


圖 28. 二層軟墊的散熱速率和溫度關係圖

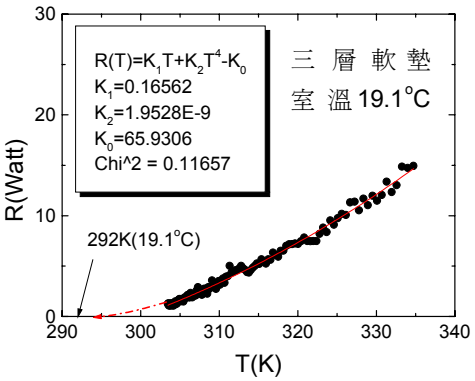


圖 29. 三層軟墊的散熱速率和溫度關係圖

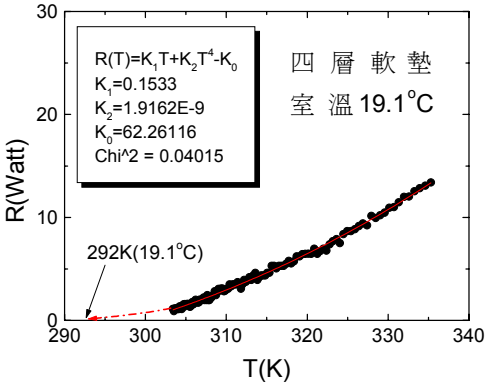


圖 30. 四層軟墊的散熱速率和溫度關係圖

(二) 討論：

1、從圖 7.(P.13)及圖 27-30.散熱速率對溫度關係圖，我們發現軟墊層數越多曲線的斜率就越小，表示水溫相同時，層數越多散熱速率就越小。

2、當我們改變容器的材質及厚度後，散熱速率發生了一些變化，這其中熱量的傳遞方式是否有產生什麼改變？材質及厚度的不同又有哪些影響呢？

探討(三)：探討軟墊層數與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

(一) 實驗結果：

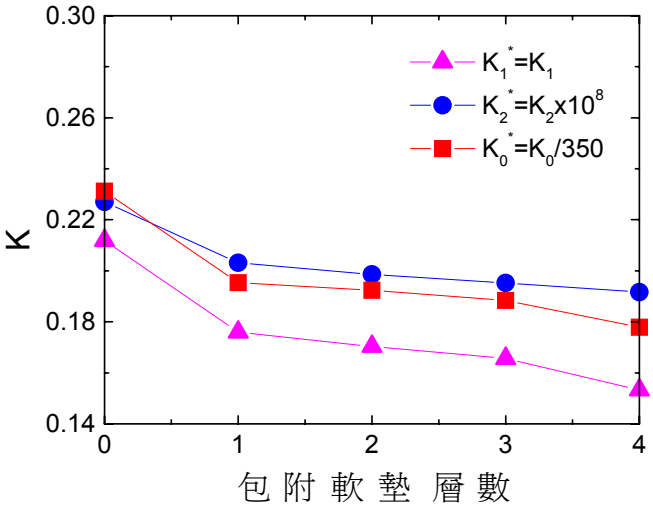


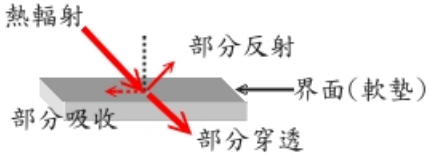
圖 31. 軟墊層數與 K_1、K_2 和 K_0 之關係圖

(二) 討論：

1、從圖 31.的結果我們發現，包覆層數越多 K_1、K_2 就越小，表示水溫一樣時，散熱速率 $R_{0層} > R_{1層} > R_{2層} > R_{3層} > R_{4層}$。

2、因爲塑膠的導熱效果較差，且層數越多，軟墊的厚度越大，所以 K_1 隨層數增加而減少，而傳導的散熱速率亦隨之下降。**包覆第一層軟墊時，由於塑膠的熱導係數(約 0.2W/m-℃)和玻璃的熱導係數(約 0.8W/m-℃)差距甚大，所以 K_1 下降的幅度明顯高於第一層以後的幅度。**

3、當軟墊的層數越多 K_2 越小，表示系統的輻射吸收率下降，故系統的輻射散熱速率也隨之減小。由於熱輻射在通過界面時，會有部分被軟墊反射及吸收，如以下所示，而軟墊的層數越多，界面數也會越多，因此輻射出的熱量就越少，故系統的輻射吸收率和散熱速率隨之減小。



4、根據上述的討論我們發現：軟墊的層數越多，厚度和界面數跟著增加，造成傳導和輻射散熱速率降低，所以散熱速率也隨之減小。

研究六：研究風扇驅動電壓與散熱速率及熱傳遞方式的關係。

探討(一)：研究風扇驅動電壓不同時，降溫速率與散熱速率的變化。

(一) 實驗步驟：

1、水加熱至 75°左右，倒入 100g 的熱水至燒杯中。

2、將風扇架於燒杯上方，以電源供應器提供 3 伏特(Volt)的驅動電壓，使風扇轉動，再利用轉速計測量其轉速，並紀錄之，其裝置如下圖 32. 所示。



圖 32.對流實驗的裝置圖

3、待水溫降至 65℃ 時，每隔 30 秒紀錄水的溫度和質量，直到 30℃。

4、將步驟 2 中所提供的電壓，依序增爲 6V、9V 及 12V 重複步驟 1-3。

(二) 實驗結果：

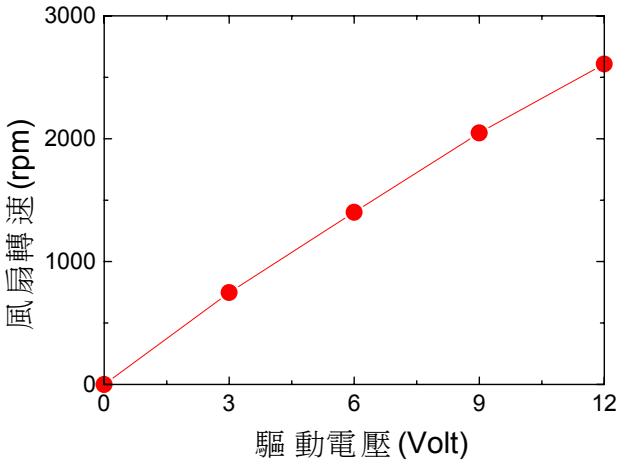


圖 33.風扇驅動電壓與轉速之關係圖

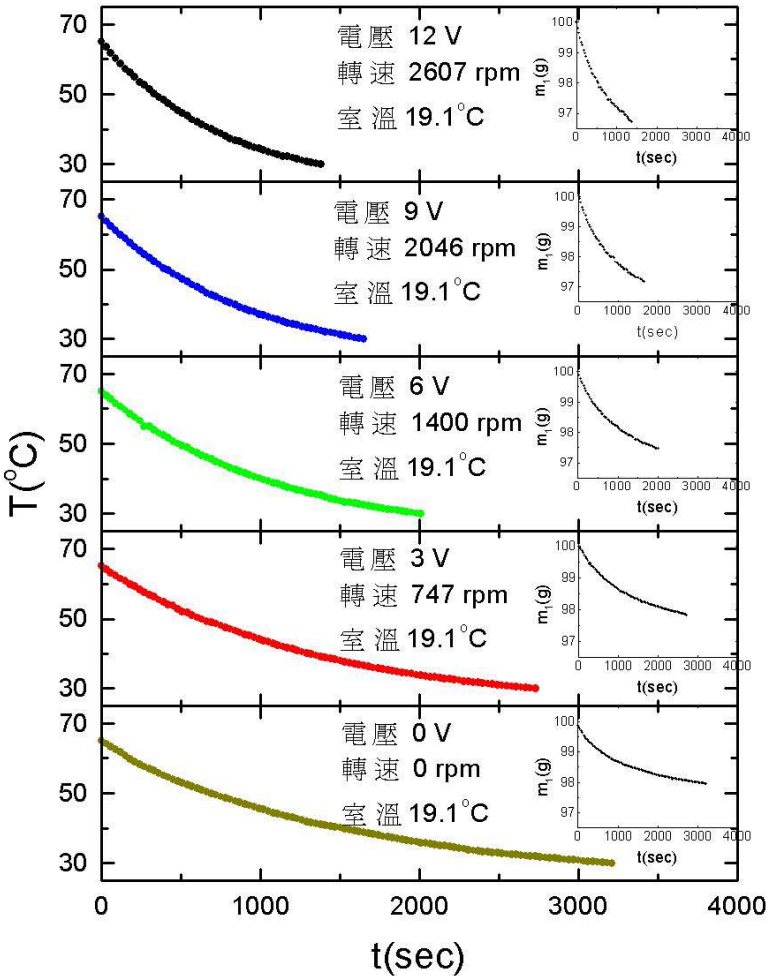


圖 34. 0-12V 驅動電壓的降溫過程之溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(三) 討論：

1、圖 33.爲風扇驅動電壓與轉速之關係圖，我們發現電源供應器提供的電壓越大，風扇的轉速就越高，對流越旺盛。

2、根據圖 34.的結果我們發現，風扇驅動電壓爲零時，燒杯中的水由 65℃降至 30℃所需的時間最長，而電壓增加時，降溫的時間便急遽縮短，其中以 12V 所需的時間最短，約爲 1400 秒，故降溫速率以 12V 的電壓最快，接下來依序爲 9V、6V、3V 和 0V。

3、由於散熱速率 $R=\frac{[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540]\times 4.18}{\Delta t}$，初始的水量爲 100g，驅動電壓由 0 增至 12V 時，水量變化量由 2g 增至 3.18g，就降溫過程而言，平均水量和溫度變化幾乎相同，而驅動電壓越大，降溫時間較短，水量變化量較大，表示散熱速率較大，由此可知 $R_{12V}>R_{9V}>R_{6V}>R_{3V}>R_{0V}$。

4、當風扇驅動電壓增加時，轉速升高，散熱速率也隨之增大，但造成散熱速率增加的原因爲何？在熱量的傳遞上，有什麼變化呢？

探討(二)：探討驅動電壓與散熱速率間的關係。

(一) 實驗結果：

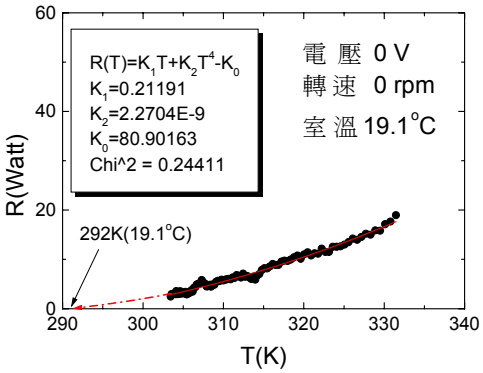


圖 35. 0V 的散熱速率和溫度關係圖

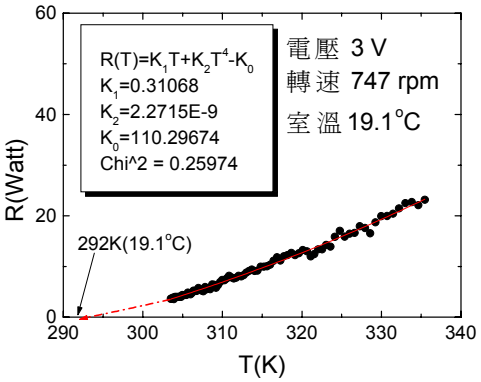


圖 36. 3V 的散熱速率和溫度關係圖

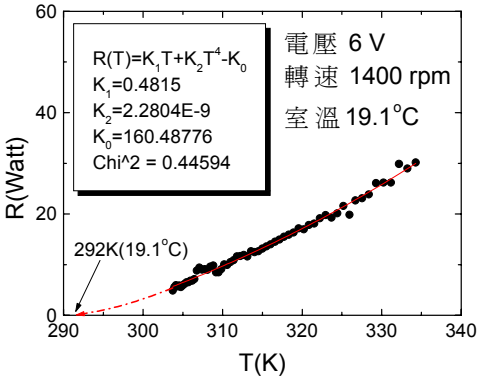


圖 37. 6V 的散熱速率和溫度關係圖

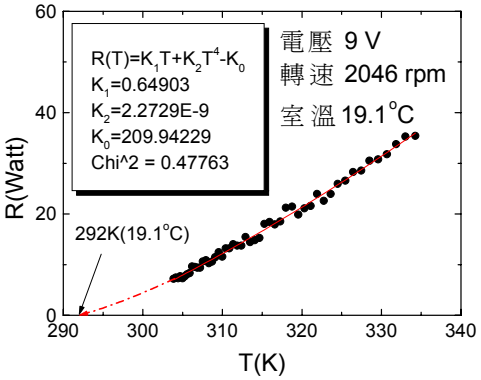


圖 38. 9V 的散熱速率和溫度關係圖

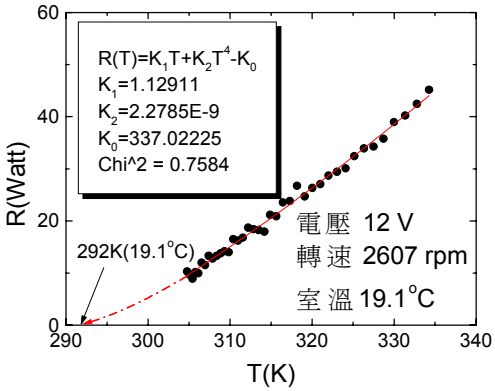


圖 39. 12V 的散熱速率和溫度關係圖

(二) 討論：

1、從圖 35-39.的降溫速率對溫度關係圖中，我們發現風扇的驅動電壓越大，曲線的斜率就越大，因此得知水溫相同時，散熱速率在電壓爲 0V 時最小、12V 時最大。

2、當我們提高風扇的驅動電壓後，轉速隨之增大，散熱速率則快速的增加。所以如果要探究這些現時，關鍵應該在於風扇的轉動對氣流所造成的影響。

探討(三)：探討驅動電壓對散熱速率及熱傳遞方式的影響。

(一) 實驗結果：

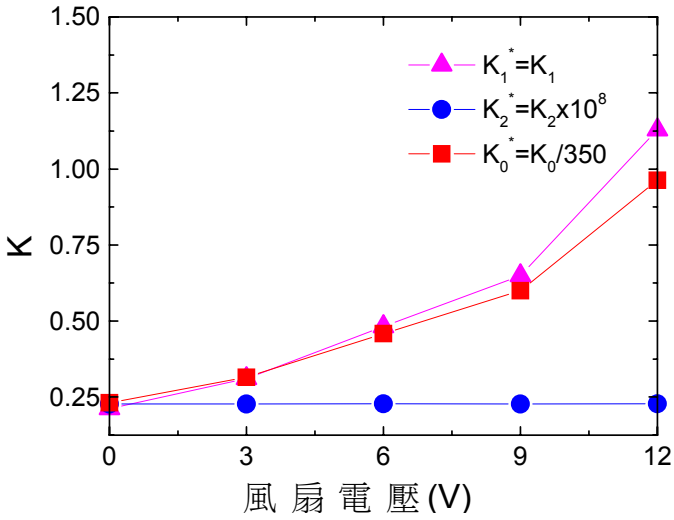


圖 40. 風扇電壓與 K_1、K_2 和 K_0 之關係圖

(二) 討論：

1、根據圖 40.的結果，K_2 維持不變，K_1 隨驅動電壓增加而急遽增大，所以在相同的水溫下，散熱速率 $R_{12V} > R_{9V} > R_{6V} > R_{3V} > R_{0V}$。

2、由於 K_2 維持不變，故得知輻射的散熱速率保持不變。

3、當我們提高風扇的驅動電壓後，轉速增加，空氣的流速隨之增快，使對流係數增大，因此雖然水量固定，使用的燒杯相同，傳導的散熱速率維持一定情況下，我們依舊發現 K_1 隨電壓的增加而急遽增大，表示對流散熱速率快速的提升。

4、**根據以上的討論得知，空氣的流速越快，對流的散熱速率越大，散熱速率隨之增加，而且從增加的幅度來看，對流對散熱速率的影響明顯大於傳導和輻射。**

研究七：測量酒精(乙醇)的比熱大小，以驗證公式的完整性。

想法：根據熱學的原理，我們找到傳導、對流和輻射散熱速率的關係式，並歸納出總散熱速率 $R=K_1T+K_2T^4-K_0$，而爲證明推導過程的完整性，及比較理論預測的結果和實際值差距，我們將進行以下的驗證。

(一) 公式推導：

根據原理

$R_1=\frac{KA_1\Delta T}{d}$ ； $R_2=hA_2\Delta T$ ； $R_3=A_3e\sigma(T^4-T_0{}^4)$　　其中 $\Delta T=T-T_0$

當水溫 T 和室溫 T_0 差距不大時， $T\cong T_0$

因此　$R_3=A_3e\sigma(T^4-T_0{}^4)$

$=A_3e\sigma(T^2+T_0^2)(T+T_0)(T-T_0)$

$\cong 4A_3e\sigma T_0^3(T-T_0)=4A_3e\sigma T_0^3\Delta T$

所以　$R=R_1+R_2+R_3$

$=(\frac{KA_1}{d}+hA_2+A_3e\sigma T_0^3)\Delta T$　　**…… (6)**

此外　$R=\frac{\left[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540\right]\times 4.18}{\Delta t}$　　**…… (7)**

因此體積爲 100ml 的水和酒精，使用相同的燒杯，在同一環境條件及初溫下， $(\frac{KA_1}{d}+hA_2+A_3e\sigma T_0^3)\Delta T$ 爲定值。

故得知 $R_{水}=R_{酒精}$ ，所以由(2)式中可得

$$\frac{\left[(\overline{m}_1\times s_1+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_1\times 540\right]\times 4.18}{\Delta t_1}$$

$$=\frac{\left[(m_{酒精}\times s_{酒精}+m_2\times s_2)\times\Delta T+\Delta m_{酒精}\times 231.6\right]\times 4.18}{\Delta t_{酒精}}$$　　.....(8)

註：酒精的汽化熱約爲 231.6cal/g

(二) 實驗步驟：

1、將酒精隔水加熱至 60℃ 左右，倒入 100ml 的酒精至燒杯中。

2、待水溫降至 45℃ 時，每隔 30 秒紀錄酒精的溫度和質量，直到 30℃。

(三) 實驗結果：

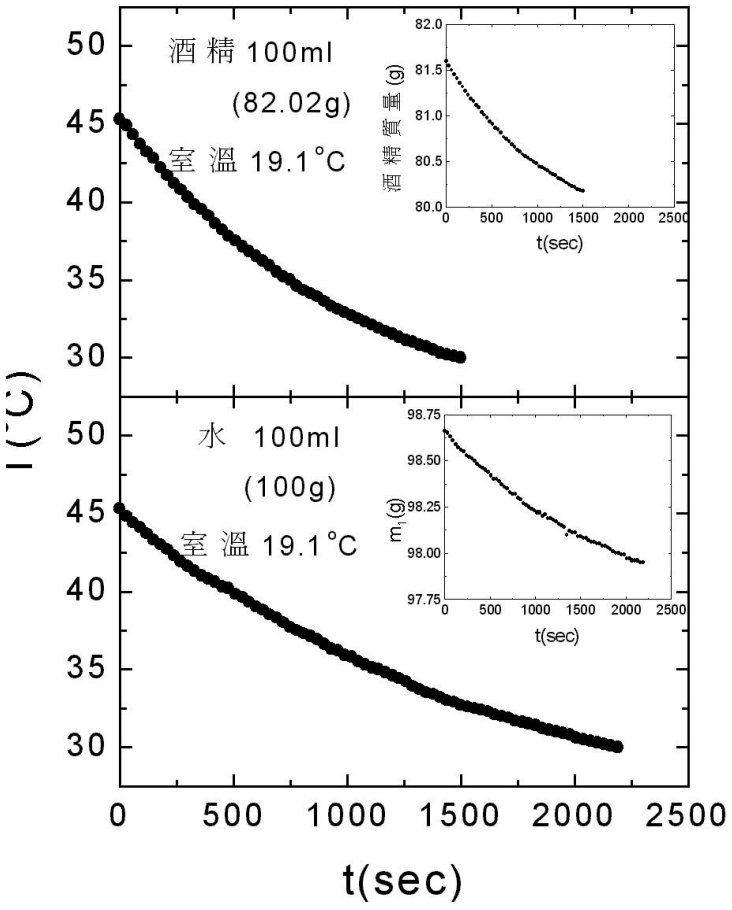


圖 41. 100ml 的水和酒精降溫過程的溫度對時間關係圖
插圖爲質量對時間關係圖

(四) 討論：

根據我們的實驗結果，水降溫的時間約爲 2190 秒、平均質量約爲 98.03 克、水量變化量約爲 0.7 克；而酒精的降溫時間約爲 1500 秒、平均質約爲 80.87 克、質量變化量約爲 1.38 克。將以上的數據代入第(8)式，我們求得酒精的比熱爲 0.56cal/g-℃ 和實際值 0.58cal/g-℃ 相當接近，也證明我們的推導具有足夠的完整性。

七、 結論與展望：

(一) 結論：

1、我們在探討水降溫的過程中發現，散熱速率和溫度有直接的關係，而熱量傳遞的方式分爲傳導、對流和輻射，因此根據原理，我們歸納出散熱速率和溫度的關係式爲 $R(T)= K_1T+K_2T^4-K_0$。接下來，我們藉由關係式來分析散熱速率與溫度的關係曲線，找出對應的 K_1、K_2及 K_0

2、在本報告中，我們藉由**降溫速率、散熱速率對溫度的關係圖與 K_1、K_2的變化**，分析出散熱速率在不同環境條件下所產生的差異，並探討了熱量傳遞方式的變化。

3、以下爲我們的研究結果：

(1) 水量越少，降溫的速率越快，但也由於傳導與輻射的散熱面積變小，傳導和輻射的散熱速率隨之降低，造成散熱速率的下降。

(2) 顏色越深的溶液輻射吸收率較大，容易吸收、也容易放出輻射熱，所以輻射的散熱速率較淺色溶液高，故散熱速率較大。

(3) 燒杯外壁塗上顏色後，我們發現顏色越深越容易吸收輻射熱，並將部分的熱量傳回系統內，降低了系統的輻射散熱速率，因此系統的輻射吸收率下降，散熱速率也比較小。

(4) 包覆軟墊後，由導熱的材質不同熱導係數較差，層數增加厚度也增加，所以傳導的散熱速下降，而且層數越多，空氣和軟墊的界面也越多，使輻射的散熱速率下降，所以散熱速率變小。

(5) 當風扇的驅動電壓越大，轉速也就越高，使得空氣的流速變快，導致對流的散熱速率增加，造成系統的散熱速率急遽的上升，此外我們發現，在一般的環境下，對流對散熱速率的影響遠高於傳導和輻射。

4、爲了要驗證所推論的散熱速率和溫度的關係式，我們藉由酒精比熱的測量，確定了此關係式的完整性。

(二) 展望：

在本研究中，我們從降溫速率初步分析散熱的速率，也藉由溫度與質量對時間的關係曲線，找出散熱速率對溫度的曲線，並由其趨勢判斷散熱速率的大小，最後再根據 K_1、K_2和 K_0的結果，找出在不同環境條件時，散熱速率的變化，並分析熱量傳遞方式所發生的改變，這樣的探討模式，讓我們可以把現實生活中所觀察的現象，結合實驗做進一步的探究。

八、 參考資料：

1、熱與熱力學　翁武忠 曹培熙譯　徐氏基金會出版　民 81

2、水的科學　郁仁貽　復文書局　民 83

3、物理馬戲團 Ⅱ　沃克著　天下文化　民 90

4、普通物理學　第二冊　歐亞書局

5、圖解生活物理世界　小暮陽三著　世茂出版社

6、台灣師大物理教學/示範實驗網站　黃福坤 製作

http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/index.htm