

實驗十一 牛頓冷卻定律實驗

一、目的：

瞭解牛頓冷卻定律，並測量卡計(calorimeter)的冷卻時間常數。

二、原理與方法：

牛頓冷卻定律是一個經驗定律，就是一物體的溫度變化率與此物體和環境的溫差成正比，但只適用於物體和環境的溫差很小時。

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{k}(T - T_R) \quad (1)$$

T 為物體之溫度， T_R 為環境之溫度， k 為與物體有關的常數。解式(1)，得到

$$(T - T_R) = Ce^{-\frac{t}{k}} \quad (2)$$

C 為積分常數。

假設時間 $t=0$ 時，物體溫度為 T_0 ，則 $C = T_0 - T_R$ 。所以

$$(T - T_R) = (T_0 - T_R)e^{-\frac{t}{k}} \quad (3)$$

當溫度差降為原來溫度差的 $1/e$ 所需的時間 k ，稱物體的時間常數。由式(3)可得

$$\log(T - T_R) = \log(T_0 - T_R) - \frac{t}{k} \log e \quad (4)$$

$$t = -\log(T - T_R) \frac{k}{\log e} + \log(T_0 - T_R) \frac{k}{\log e} \quad (5)$$

因為 T_0 、 T_R 、 k 、 $\log e$ 均為常數，所以將 t 對 $\log(T - T_R)$ 作圖，應為一直線，斜率是 $-k/\log e$ ，即可求得時間常數 k 。

實驗採用兩種同類型的卡計，但外表一為黑色，一為光亮。盛滿溫水，放入溫度相同的環境中，固定時間間隔紀錄卡計的溫度，並在半對數坐標紙上畫出其時間對溫度差之關係曲線，這曲線會顯示出牛頓冷卻定律所適用的溫度範圍，而且由此圖之斜率即可求出卡計的時間常數。

三、儀器設備：

輻射桶、輻射管、計時器、量筒、加熱鍋。

四、實驗步驟：

1. 先在鋼桶中注滿水，再將溫度計置於鋼桶中，測量水溫，即為環境溫度 T_R 。
2. 將兩輻射管分別注入 25 mL 的等量純水，置於加熱鍋中加熱至 45°C 後，取出擦乾，放入輻射桶內。
3. 分別記錄此時兩輻射管之溫度，即 $t=0$ 時，兩輻射管之溫度 T_0 ，之後每間隔 2 分鐘記錄溫度一次。
4. 在方格紙上分別畫出兩輻射管的溫度差隨時間變化的曲線。
5. 在半對數紙上，以線性尺度坐標表示時間，對數尺度坐標表示溫度差，分別

畫出兩輻管之時間對溫度差曲線，並量得此二曲線之斜率，再由此二斜率，分別求出兩輻射管之時間常數 k 。

6. 以時間開始的溫度 T_0 與環境的溫度 T_R ，及接近環境溫度時，輻射管之溫度 T ，和其相關時間代入式(4)，分別求出兩輻射管之時間常數 k ，並與由步驟 5 利用曲線斜率所得之時間常數 k 作比較。

五、問題與討論：

1. 解釋兩卡計的時間常數的不同，並試舉例說明時間常數 k 的物理意義。
2. 試說明本實驗的誤差，以及各種誤差的可能來源及大小。

物理實驗記錄表格
實驗十一、牛頓冷卻定律實驗

實驗時間： 年 月 日 姓名：_____

環境溫度 $T_R =$ _____ °C 起始溫度 $T_0 =$ _____ °C

時間 t (min)	亮管溫度 T_A	$T_A - T_R$	暗管溫度 T_B	$T_B - T_R$
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				
16				
18				
20				
22				
24				
26				
28				
30				
32				
34				
36				
38				
40				
42				
44				
46				
48				
50				