

## 實驗十二 熱功當量實驗

### 一、目的：

瞭解電能變為熱能的原理，並求出熱功當量。

### 二、原理與方法：

熱力學第一定律即為能量守恆定律。所以消耗的總電能  $W$  勢必等於所產生的熱能  $H$ 。但由於慣用單位不同，兩者之間有一轉換係數  $J$ ，稱為熱功當量，

$$W = JH \quad (1)$$

當電熱絲電阻值為  $R$ ，兩端的電位差為  $V$ ，通過的電流為  $I$ ，則經過時間  $t$  之後所得到的總電能為  $W$ 。

$$W = IVt = I^2 R t \quad (2)$$

若卡計質量為  $M_C$ ，電熱絲質量為  $M_R$ ，電熱絲比熱為  $S_R$ ，卡計內裝的水質量為  $M$ ，溫度計沒入水中的體積為  $V$ ，此系統溫度由  $T_0$ ，升高至  $T_A$ ，則此卡計所吸收的熱能  $H$  為

$$H = (M + 0.092M_C + 0.45V + M_R S_R)(T_A - T_0) \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)得

$$IVt = JH = J(M + 0.092M_C + 0.45V + M_R S_R)(T_A - T_0) \quad (4)$$

所以

$$J = \frac{IVt}{(M + 0.092M_C + 0.45V + M_R S_R)(T_A - T_0)} \quad (5)$$

在實驗過程中難免會因為輻射而損失一部份熱能，所以真正最後的溫度  $T_F$  可以用牛頓冷卻定律來修正。由牛頓冷卻定律得知

$$(T - T_0) = (T_A - T_0)e^{-\frac{t'}{k}} \quad (5)$$

其中  $t' = t - t_A$ ， $t_A$  為停止供應電流的時間。所以

$$(T - T_0) = (T_A - T_0)e^{-\frac{t-t_A}{k}} \quad (6)$$

由式(6)可以得任意時間點  $t$  之冷卻率，即  $t$  處之切線斜率。因為冷卻率與溫度差成正比，所以  $t_A$  處之冷卻率

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{t=t_A} = \left(\frac{dT}{dt}\right)_{t=t_B} \cdot \frac{T_A - T_0}{T_B - T_0}$$

假設從  $T_0$  至  $T_A$  的冷卻率為

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dT}{dt}\right)_{t=t_A}$$

則在沒有輻射的損失下，實際的末溫  $T_F$  應為

$$T_F - T_0 = (T_A - T_0) + \frac{1}{2} \left( \frac{dT}{dt} \right)_{t=t_A} \cdot (t_A - t_0)$$

所以實際的熱功當量為

$$J = \frac{IVt}{(M + 0.092M_C + 0.45V + M_R S_R)(T_F - T_0)} \quad (7)$$

將通電的電熱器置於卡計中，則由通電的電流，電熱絲的電阻，及通電時間可以知道電熱絲所消耗的總電能(單位：焦耳)，再從卡計溫度的上升，計算水所獲得的熱能(單位：卡)，兩者之比值為熱功當量。

### 三、儀器設備：

卡計、溫度計、計時器、量筒、加熱器。

### 四、實驗步驟：

1. 測量卡計的質量  $M_C$ 。
2. 卡計內盛  $M$  克的水。(能完全將電熱絲淹沒)
3. 用量筒測量溫度計沒入水中的體積為  $V$ 。
4. 電熱絲接上 1.5 A 的電源，開始加熱，每分鐘記錄一次水溫。
5. 當水溫到達 40 °C 時，關掉電源，繼續每分鐘記錄一次水溫，直到水溫降至 35 °C 時，停止紀錄。
6. 計算出修正溫度  $T_F$ ，代入式(7)即可得到熱功當量。

### 五、問題與討論：

1. 請比較實驗值與理論值之差異，並探討誤差之原因。
2. 在此實驗中，周圍環境是否需保持恆定？

## 物理實驗記錄表格

### 實驗十二、熱功當量實驗

實驗時間：        年        月        日        姓名：\_\_\_\_\_

卡計質量  $M_C =$  \_\_\_\_\_ g

電熱絲質量  $M_R = 9.1$  g

水的質量  $M =$  \_\_\_\_\_ g

電熱絲比熱  $S_R = 0.105$  cal/g·°C

溫度計沒入水中的體積  $V =$  \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>

升溫				降溫			
時間 $t$	溫度 $T$						
0 min		21 min		0 min	40 °C	21 min	
1 min		22 min		1 min		22 min	
2 min		23 min		2 min		23 min	
3 min		24 min		3 min		24 min	
4 min		25 min		4 min		25 min	
5 min		26 min		5 min		26 min	
6 min		27 min		6 min		27 min	
7 min		28 min		7 min		28 min	
8 min		29 min		8 min		29 min	
9 min		30 min		9 min		30 min	
10 min		31 min		10 min		31 min	
11 min		32 min		11 min		32 min	
12 min		33 min		12 min		33 min	
13 min		34 min		13 min		34 min	
14 min		35 min		14 min		35 min	
15 min		36 min		15 min		36 min	
16 min		37 min		16 min		37 min	
17 min		38 min		17 min		38 min	
18 min		39 min		18 min		39 min	
19 min		40 min		19 min		40 min	
20 min		41 min		20 min		41 min	