

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040103

水砵碼

學校名稱：桃園縣私立新興高級中學

作者： 高二 林鈺峰 高二 許瑞軒 高二 李宗諭	指導老師： 劉亞浚 陳衍榮
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：表面張力、摩擦力、密度

摘要

高中課程中密度及水的表面張力之測量，可以使用砝碼來進行測量，本實驗之目的是爲了探討以水重取代砝碼的可行性。實驗過程中我們利用自製的阿特午機作爲本實驗系統之主體，從主題一實驗中發現到定滑輪轉軸接觸面的最大靜摩擦力與兩邊掛物的重量呈線性關係。

接續主題一實驗所得知之關係，可知最大靜摩擦力在實驗中爲一穩定值，並利用此特性設計實驗裝置以嘗試密度及表面張力之測量，所測得之密度值非常接近理論值，證明此實驗裝置用以測量液體密度之可行性；利用此一系統測量表面張力方面，多次測得之測量值其結果大約和理論值有5%至10%的誤差。

本系統的改進方式在討論及結論中均有提及，以**恰好靜動**作爲數據之判讀點及以滴入純水取代砝碼之效果爲本實驗設計之核心。

壹、研究動機

物理課中老師介紹阿特午機的特性與原理時，並提及真實實驗中定滑輪轉軸間的摩擦力是不可忽略的，也因如此我們想要知道，若兩邊的物重越大時是否表示在恰好靜動的情形下，最大靜摩擦力也會越大呢？因此我們決定去尋找此問題的答案。

在實驗之過程中，我們發現若用滴定管量化最大靜摩擦力的方法會比用加入砝碼之方法較為準確，故老師建議我們是否以此為主題，找尋高中物理實驗中可能需要用到砝碼的實驗，且設計一實驗系統來驗證定滑輪轉軸間之摩擦力，並利用此實驗裝置來測量液體的密度與水之表面張力。

貳、研究目的

- 一、主題（一）：測量阿特午機定滑輪轉軸間最大靜摩擦力
- 二、主題（二）：利用阿特午機測量不同液體密度
- 三、主題（三）：利用阿特午機測量液體的表面張力

參、研究設備及器材

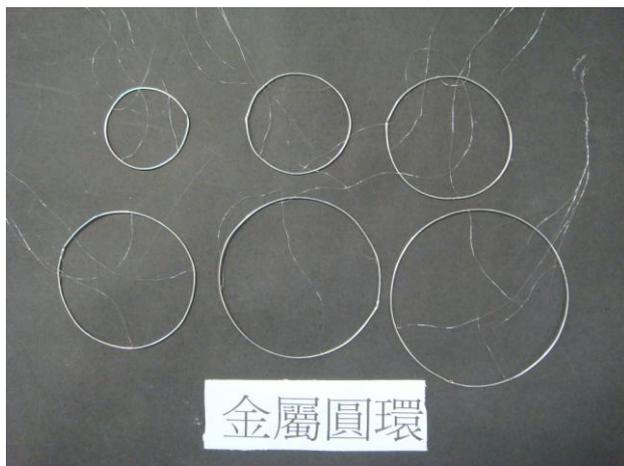
一、研究設備器材：

名稱	數量	名稱	數量
塑膠定滑輪	2個	天秤	1台
塑膠燒杯500ml	4個	扳手	1支
掛碼10g	10個	木材	2支
掛碼20g	10個	鋸子	2支
掛碼50g	10個	自製表面張力環	7個
掛碼100g	10個	潤滑油	1罐
滴定管25ml	4支	放大鏡	1支
滴定管架	2個	鐵絲	1捆
尼龍繩(魚線)	1捆	剪刀	1支
食鹽	1包	水平器	2個
塑膠鉤	2個	角鋼	數塊
透明水槽	1個	線體	數種
電子天秤	1台	水溶液	數種

表 3-1 研究設備器材表



▲掛碼圖



▲自製表面張力環



▲實驗器材圖

圖 3-1 實驗設備及器材圖

二、獨立設計架構阿特午機為主體之實驗系統

(一) 目的：測量滑輪轉軸處之摩擦力與正向力的關係及利用此一關係設計測量液體的密度及表面張力。

(二) 使用材料：

L型角鋼.....	14支
定滑輪.....	2個
塑膠燒杯.....	2個
滴定管.....	1支
尼龍繩.....	1捆
金屬環.....	7個

(三) 使用方法：

以滴定管將純水滴入，觀察恰好靜動時滴入純水之體積，並以利用輪軸間摩擦力穩定的特性，延伸設計測量液體密度及水的表面張力的實驗。

滴定管



圖 3-2 獨立設計架構阿特午機為主體之實驗系統

肆、研究過程或方法

一、研究原理：

本實驗儀器裝置如右下圖所示，圖中右邊砝碼與燒杯的重量總和為 W_1 ，且圖中左邊的砝碼與燒杯的重量總和為 W_2 ，並假設 $\Delta W = W_2 - W_1$ ，若用滴定管加入水重 W_3 於左邊的燒杯中恰好發生移動之現象，並利用最大靜摩擦力與正向力成正比之關係來推得下式：

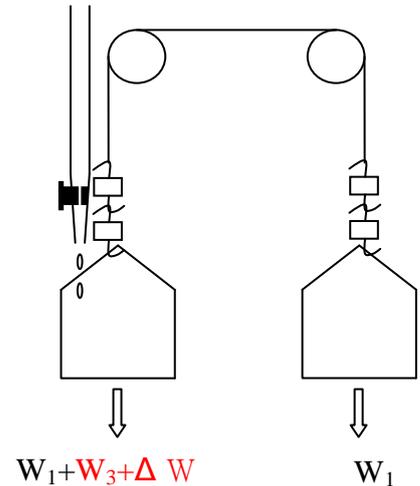
$$W_3 + \Delta W = \mu_s \times (W_3 + \Delta W + 2W_1 + \varepsilon) \dots (1)$$

令 $W_3 + \Delta W = Y$ $W_1 = X$ 則(1)式可改寫為下式

$$Y = \mu_s \times (Y + 2X + \varepsilon) \Rightarrow Y = \frac{2\mu_s}{1-\mu_s} X + \frac{\mu_s}{1-\mu_s} \varepsilon \dots (2)$$

(μ_s 為定滑輪與轉軸接觸面的靜摩擦係數， ε 為繩重)

Y值意義為最大靜摩擦力，X值意義為靜摩擦力為零時之正向力



主題一：測量阿特午機定滑輪轉軸間最大靜摩擦力

此實驗中X值為操縱變因，並測量恰好開始移動時，藉由加入不同之水重量 ΔW 即可得不同的Y值，即為應變變因。若X與Y兩者作圖，可發現呈線性之關係，而(2)式的直線方程式的斜率值為 $\frac{2\mu_s}{1-\mu_s}$ ，截距值為 $\frac{\mu_s}{1-\mu_s} \varepsilon$ 。由此實驗中可得知最大靜摩擦力是一穩定值，並與正向力成正比。

主題二：利用阿特午機測量不同液體密度

藉由主題一實驗中可得知最大靜摩擦力是一穩定值，並與正向力成正比，並利用此特性設計實驗來測量某液體之密度。首先固定右端重量 W_1 ，分別加入純水重 W 與某液體重 W' 於左端燒杯且使燒杯恰好開始移動，根據(2)式可以推知

$$W + \Delta W = mW_1 + k = W' + \Delta W \Rightarrow W = W' \Rightarrow DV = D'V' \Rightarrow D' = \frac{V}{V'} D$$

定純水比重為1，故某液體的比重 $D' = \frac{V}{V'}$ ，在本實驗室中純水溫度為 22°C ，經由查表後得到此溫度時純水的密度為 0.9977g/cm^3 【11】，將求得某液體的比重乘上當時水的密度，即可得知某液體密度。

主題三：利用阿特午機測量液體的表面張力

本主題為測量水的表面張力之實驗，於右端燒杯下方設計一掛鉤(見主題三實驗步驟)，將浮於水槽中之鐵線圓環掛於掛鉤上，且左端滴入水重 W_3 ，使燒杯恰好開始移動，並由主題一摩擦力實驗可得知 W_1 為靜摩擦力為零時之正向力。若右端總重為 W_1 ，且此時鐵線圓環受水之表面張力為 $F = 2T\ell$ ， ℓ 為鐵線之長度，由(2)式中可推得

$$W_3 + \Delta W = fsm + F = m(W_1 + F) + k + F = m(W_1 + 2T\ell) + k + 2T\ell$$
$$\Rightarrow W_3 + \Delta W = 2T\ell(m+1) + mW_1 + k \dots \dots \dots (3)$$

令 $Y' = W_3 + \Delta W$ 及 $X' = 2\ell$

故(3)可改寫成 $Y' = T(m+1)X' + mW_1 + k$

本實驗共有七組自製金屬圓環用以改變 ℓ ，則 X' 是為操縱變因，測量所對應的 ΔW ，則 Y' 為應變變因，若 X' 與 Y' 作圖，可得知線性圖形中斜率 $m' = (m+1)T$ ，而截距 $k' = mW_1 + k$ ，

並由此斜率數據中，可得出表面張力 $T = \frac{m'}{m+1}$ 。

本實驗參考精密實驗值為俄國科學家 N. B. Vargaftik 等三人所做的表面張力與溫度關係之經驗公式【10】：

$$T(t) = B \left[\frac{T_c - t}{T_c} \right]^\mu \left[1 + b \frac{T_c - t}{T_c} \right]$$

其中 $B = 235.8 \times 10^{-3} \frac{N}{m}$ ，

$$b = -0.625,$$

$$\mu = 1.256,$$

$$T_c = 647.15 K$$

t 為當時的溫度, $T(t)$ 為表面張力值

二、研究過程與方法

主題（一）：測量阿特午機定滑輪轉軸間之最大靜摩擦力。

目的：改變不同之正向力，觀察定滑輪轉軸間之最大靜摩擦力是否為穩定值，且與正向力成正比之關係。

實驗步驟：

1. 將滴定管洗淨，裝入滴定至 25ml 如圖 4-1
2. 定滑輪轉至記號位置，以確定摩擦面相同。如圖 4-2
3. 測量兩邊掛碼、燒杯及掛勾之重量，並在定滑輪兩端掛相同數目的掛碼。
4. 固定滴定管於塑膠杯上方同一高度處。
5. 穩定滴定一段時間後，燒杯恰好開始移動時即停止滴定，並量取滴入純水之體積。
6. 重複步驟 1~5，讀取 10 次滴入純水的體積。
7. 改變掛碼重量，重複步驟 1~6。

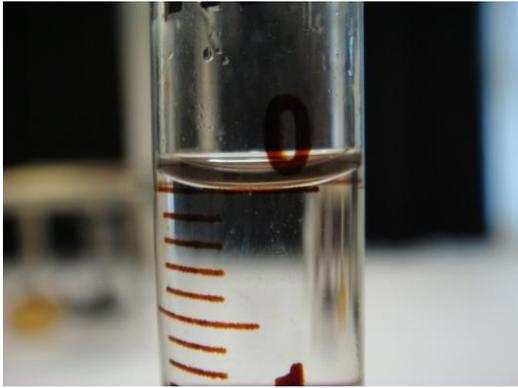


圖 4-1 滴定管水面歸零



圖 4-2 固定滑輪摩擦面

主題（二）：利用阿特午機測量不同液體之密度。

目的：利用主題一測得最大靜摩擦力為一穩定值之性質，測量不同液體的密度，並與較精密之電子天秤所測得密度與其比較。

實驗步驟：

1. 取未知密度之液體於滴定管中，並滴入電子天秤上的燒杯中，讀取滴入五次不同之體積並紀錄每次體積電子天秤上的讀數。如圖 4-3
2. 固定定滑輪右邊重量（此時左右兩邊均無掛碼），於左邊滴入純水使之恰好開始移動時即停止滴定，並讀取滴入純水的體積。
3. 改以步驟 1 之液體於滴定管內，重複步驟 2。
4. 重複步驟 3~4，讀取 10 次讀數。
5. 改變不同的液體，重複步驟 1~5。



圖 4-3 利用滴定管及電子秤測量液體密度

主題（三）：利用阿特午機測量液體的表面張力

目的：利用主題一測得最大靜摩擦力為一穩定值的特性，測得不同長度的金屬圈在水中所受之表面張力，且利用線性迴歸之方式求得水的表面張力。

實驗步驟：

1. 使用有掛鉤的燒杯，將圓環勾在燒杯上，並輕放於水面。如圖 4-4
2. 將滴定管固定好位置並使水位歸零，開始測量。
3. 於左邊滴入純水使之恰好開始移動時即停止滴定，並讀取滴入純水的體積。
4. 重複步驟 1~3，讀取 10 次讀數。
5. 改變不同長度的金屬線圈，重複步驟 1~4。

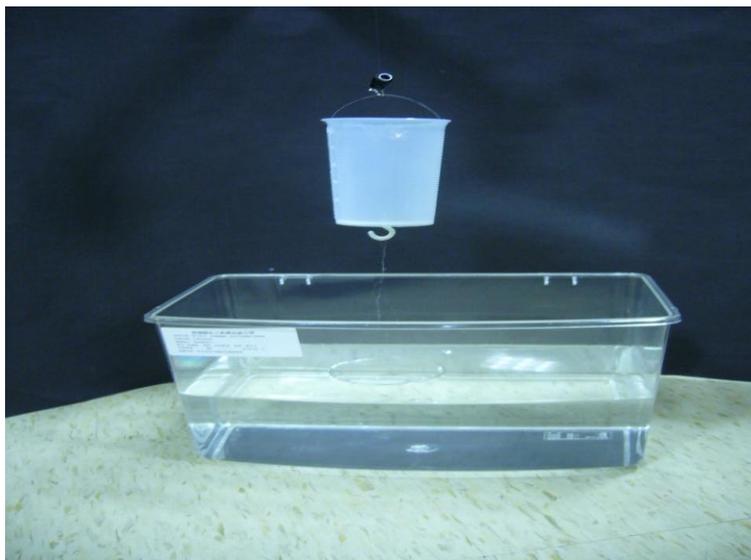


圖4-4 將待測金屬圓環勾在燒杯上，輕放於水面之實際操作圖

伍、研究結果

一、主題（一）研究結果：

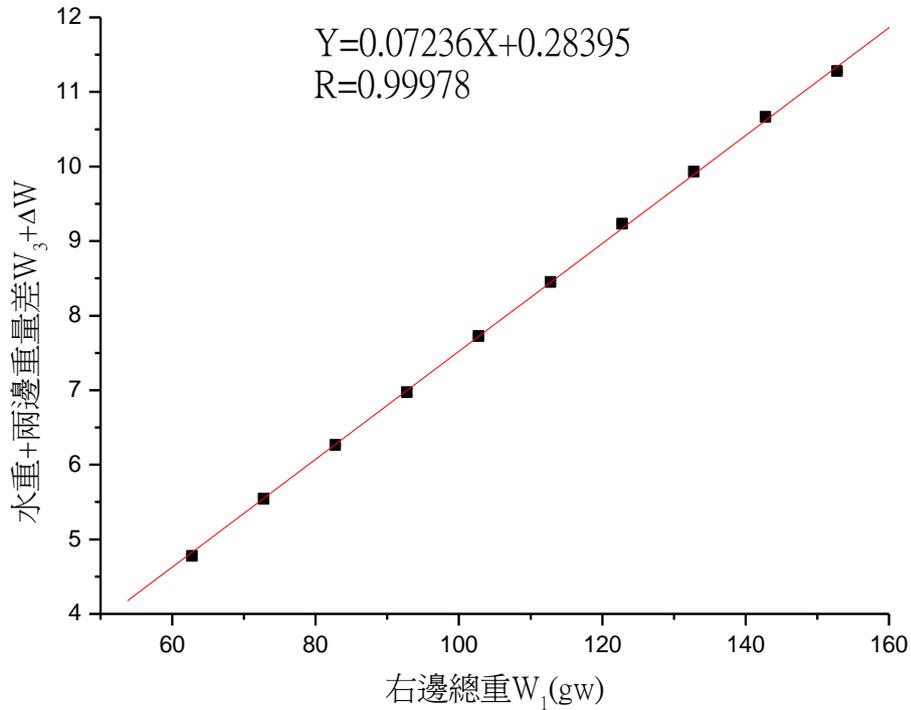


圖5-1 ($W_3 + \Delta W$)與 W_1 之關係圖

在摩擦力理論中，可得知摩擦力與正向力有相關性，從此實驗數據圖形中，滑輪與尼龍繩間之摩擦力會隨重量增加而增大。若要使實驗裝置能恰動必須克服最大靜摩擦力，而此實驗裝置之正向力是由燒杯重量、砝碼、水重與尼龍繩重來造成。

我們利用滴定管滴定所得水體積與當時的水密度 0.997767g/cm^3 來求得水之重量，並把 $W_3 + \Delta W$ 與 W_1 作圖，且 $W_3 + \Delta W$ 為此裝置之最大靜摩擦力，從實驗數據圖中得知 $W_3 + \Delta W$ 與 W_1 呈線性關係，相關係數也接近1，可得知此實驗裝置最大靜摩擦力會隨阿特午機右邊總重增加而變大，與研究原理推導的結果相同，所以在本實驗中最大靜摩擦力可以視為一穩定值，且符合摩擦力相關理論。

二、主題(二)研究結果：

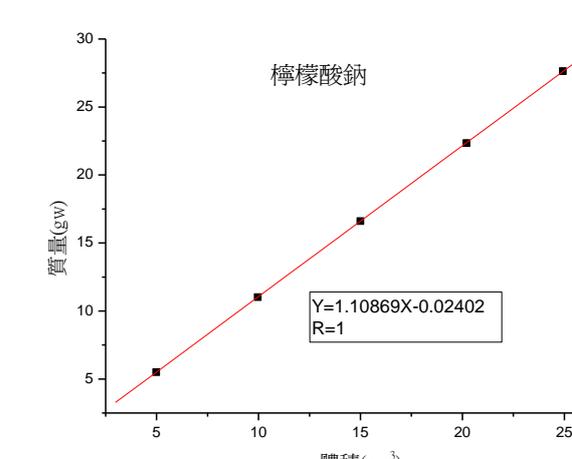
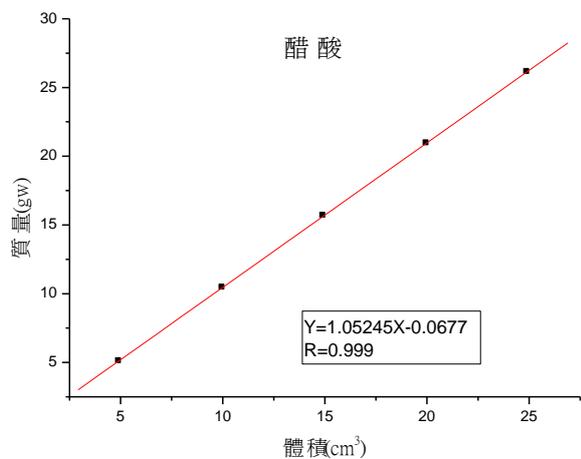
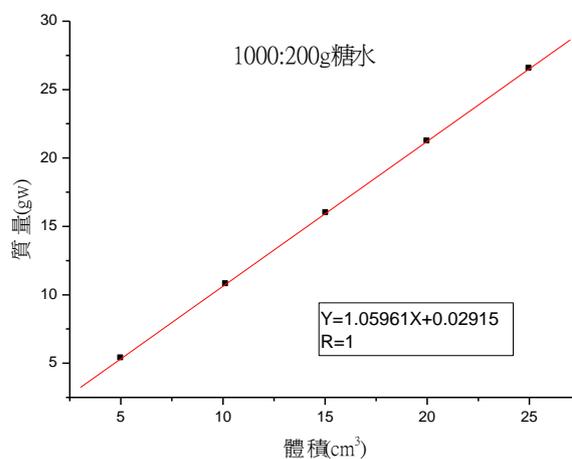
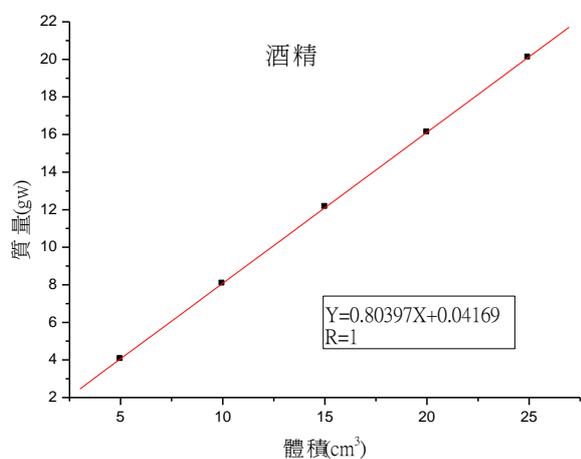
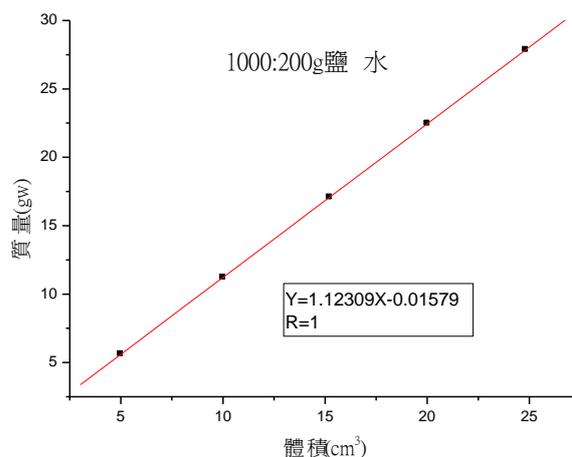
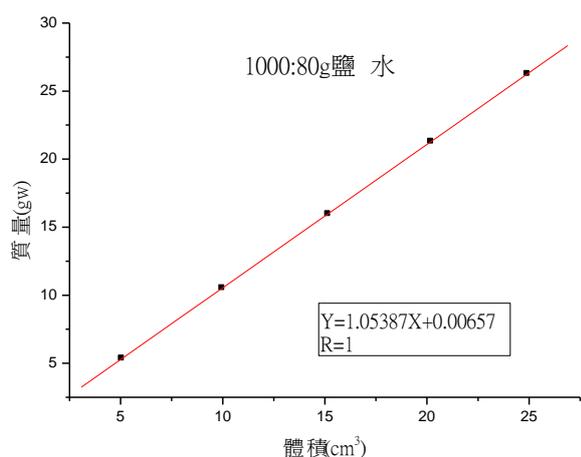


圖5-2 各種溶液以電子秤及滴定管測量之體積與質量的關係圖

種類	體積(平均值) cm^3	比重 ($\frac{\text{水體積}}{\text{液體體積}}$)	電子秤及滴定管測得之密度	誤差%
水	3.80625		0.995	
1000g水:80g鹽	3.6275	1.04927	1.05387	0.66%
1000g水:200g鹽	3.425	1.11131	1.12309	1.28%
酒精	4.7425	0.80258	0.80397	0.40%
糖水	3.5775	1.06394	1.05961	0.18%
醋酸	3.58125	1.06282	1.05245	0.75%
檸檬酸鈉	3.41625	1.1141	1.10869	0.26%

表5-1 電子秤及滴定管測得之密度與本系統測得之密度比較圖

利用電子秤與滴定管所測得之密度，且將質量與體積作圖，可得質量與體積呈現線性關係，相關係數之數值幾乎等於1，其中圖形之線性方程式中之斜率意義為各溶液之密度，呈現出質量與體積是成正比關係，符合密度之理論，代表此實驗的數值是較為精確的，我們以此一結果做為對照組。

再利用主題一之實驗裝置，來測得各溶液之體積，並利用主題二之理論所求得各溶液之比重，與電子秤及滴定管所測出之理論值作一比較，得知雙方數值非常接近，如上表可得知兩者之密度值僅差約1%，從這些的數據中表現，利用主題二之方式來求得密度之方式是可行的。

三、主題(三)研究結果：

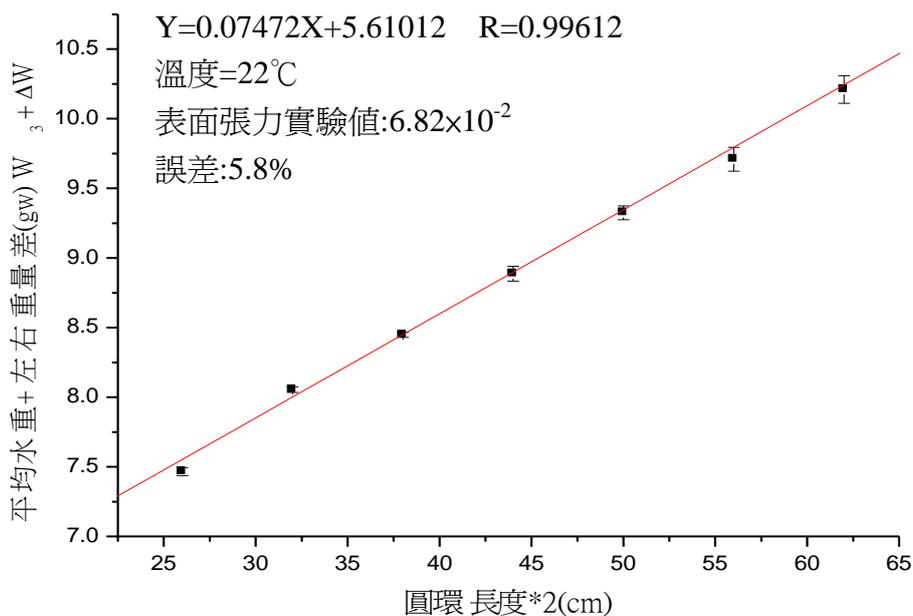


圖5-3 $(W_3 + \Delta W)$ 與 $2l$ 之關係圖

在主題三中，室溫控制於22°C，實驗裝置總共有七組金屬圓環，並將其吊掛於右邊的燒杯之上，每組金屬圓環均量得八次恰好開始移動時所加入的水重，將平均水重加上左右重量差($W_3 + \Delta W$)對金屬圓環長度兩倍($2l$)作圖如圖5-3所示，其中每組金屬圓環在不同次數中所量得水重之兩倍標準差作為誤差棒，根據主題三實驗原理中之公式推導結果，可知此圖形中之線性方程式斜率 m' 的意義為 $(m+1)T$ ，其中 m 為圖5-1中之線性方程式斜率，根據此結果可推算得知表面張力於室溫22°C時之值如下：

$$T = \frac{m'}{m+1} = \frac{0.07472}{1+0.07236} = 6.96 \times 10^{-2} \text{ gw/cm} = 6.82 \times 10^{-2} \text{ N/m}$$

陸、討論

一、在本實驗架構中恰好移動時為判讀數據的依據，要如何讓恰好移動時的判讀點較為明顯？

在本次實驗中摩擦力是最主要的關鍵，根據實驗中的觀察可發現，要克服最大靜摩擦力在於輪軸間的摩擦力，而非細繩與定滑輪間的摩擦力，在實驗之初未體驗此一現象，導致恰好移動的現象並不明顯且不順暢，因此本實驗中為了克服此一系統誤差做了下列三個措施：

1. 加入潤滑油讓定滑輪轉動順暢，且摩擦力變小。
2. 在定滑輪上做記號(如圖4-2)所示，讓輪軸間接觸面在每次實驗的接觸面的性質均相同。
3. 固定滴定管於相同較低的高度，使得每一滴水的衝量變化較小且為固定。

當實驗中嘗試上述做法之後，可發現最大靜摩擦力變小，恰好移動的現象也較為順暢且容易判讀，誤差值比較小，且滴定管的最小單位為0.1mL，改善後水體積之實驗值由原本只準確至個位數變成可準確至小點後第一位，並提高實驗值之準確性。

二、主題二密度之測量實驗和密度計的實驗可作一比較，差異性為何？

在文獻中我們找到一個類似測量液體密度的實驗稱為密度計，其作法如下：

- (1) 以一截吸管，一端塞入鉛片或是保險絲在已蠟油封住鉛片一端稱為密度計。
- (2) 將密度計放入純水中，紀錄下沒入水中的深度 H 。
- (3) 將密度計放入未知液體中記錄下沒入水中的深度 H' 。

因為步驟(2)及(3)密度計所受的浮力皆為本身的重量，根據阿基米得浮力原可推知：密度計的重量 = $D \times H = D' \times H'$ (D 及 D' 分別為水及未知液體的密度)，因為水的密度為 1 g/cm^3 ，所以未知液體的密度 $D' = \frac{H}{H'}$ 。【9】

而主題二密度測量之實驗是利用最大靜摩擦力之穩定性來測得液體的密度，由主題二的實驗原理可以得知與此密度計之實驗最大的差異性在於，主題二是利用測量液體體積之方式來求與水之體積作之比較，而求得液體密度 $D' = \frac{V}{V'}$ (V 為水之體積、 V' 為各液體體積)，而求得的密度值與理論值相近，且誤差值只介於1%之間。

若使用浮力法測量之方式，在製作密度計時發現吸管置入液體中會重心不穩，且標記高度時易造成誤差，所以我們改良以本系統測量密度，從主題二的數據分析可以知道此一改良可測量到準確的數據，證明此方式的可行性。

三、測量表面張力的實驗中為何不能帶入主題一所得到的線性方程式，進而直接求得表面張力之值？

在研究結果中可發現右邊的重量為 W_1 的時候，在左邊加入水的重量為 W_3 的時候燒杯恰好開始啟動，且左右兩邊的重量差為 ΔW ，根據主題一實驗結果符合研究原理中之線性關係即 $Y = 0.07236X + 0.28395$ ，其中 $Y = W_3 + \Delta W$ ； $X = W_1$ ，並根據測表面張力的實驗中，燒杯恰好開始動作之力學方程式：

$$W_3 + \Delta W = fsm + F = m(W_1 + F) + k + F = m(W_1 + F_T) + k + F_T$$

從方程式分析可得，似乎可直接反推表面張力 $F_T = \frac{W_3 + \Delta W - k - mW_1}{1 + m}$ ，其中 $k=0.28395$ (此

k 值即為圖5-1中趨勢線的Y軸截距)，但根據測量的經驗發現，這樣測量的結果只能測得到金屬環越長則表面張力越大的趨勢，但和理論值比較有較高的誤差，有時更高達50%的誤差值。由於下列理由產生，所測得的實驗值誤差會較大：

- (1) 因定滑輪使用一段時間之後，接觸介面之性質可能會改變，此外雖已加入潤滑油，但使用一段時間之後導致靜動的現象不順暢，而需要再上油，所以做完最大靜摩擦力實驗之後，接續做表面張力之實驗可能導致最大靜摩擦力實驗中的趨勢線方程式的斜率與截距因此而改變。
- (2) 由於測量上誤差可能導致最大靜摩擦力實驗之趨勢線方程式會有些許的誤差，但是表面張力實驗所需的精密度相當高，所以最大靜摩擦力實驗之趨勢線方程式的斜率與截距值在本實驗中的誤差，可能會導致推算表面張力之值時誤差更大。

四、承第三點的討論，在表面張力的實驗中如何能夠測得比較準確的實驗值，並討論可能的誤差原因。

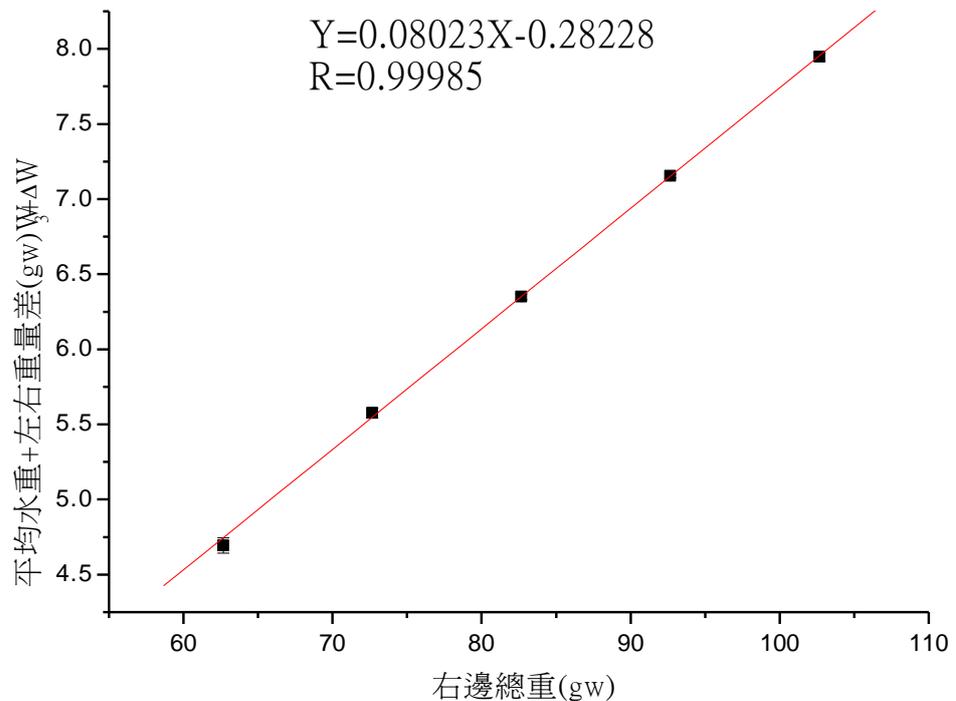


圖6-1 重測 $(W_3 + \Delta W)$ 與 W_1 之關係圖

考慮最大靜摩擦力趨勢線所造成的誤差，因此改以測量不同長度的金屬環，根據研究理論的推導，表面張力值可以利用圖5-1中的斜率 m 及圖5-3的斜率 m' 求得表面張力 $T = \frac{m'}{1+m}$ ，此一

作法可測量較精準值之原因有：

- (1) 可除去截距上的誤差，只有斜率上的誤差，當做完所有的實驗之後，再重複主題一的實驗，可得到之圖形如下，其原因為摩擦一段時間之後，接觸介面改變所致。
- (2) 承(1)，可知斜率 m 值在實驗前後增加了0.00787，直接反推表面張力

$F_T = \frac{W_3 + \Delta W - k - mW_1}{1+m}$ 的想法上可能有些值會有造成較大之誤差，反觀如果利用 $(W_3 +$

$\Delta W)$ 對金屬環長度作圖所求的表面張力 $T = \frac{m'}{1+m}$ ，只有斜率的誤差，比直接反推表面張力的方式較好。

因此，觀察圖1-1的趨勢線可以發現，在金屬環的長度較大的時候，越不容易服貼於水面上，所以金屬環越大時則誤差棒越長，但環越小時其表面張力也較小，系統的誤差值對其測量的準確度也影響較大，以至於在多次的實驗中與理論值【10】對照的結果顯示其誤差值大約在5~10%之間。

五、水的密度值會隨溫度而變，本次實驗是在室溫22°C時進行，若將1ml的水當作1gw，這樣的作法是否會造成更大的誤差？

主題一摩擦力實驗結果中(圖5-1)，趨勢線之斜率為0.07386之意義，代表右邊總重每增加1gw時實驗裝置恰動需要克服的最大靜摩擦力所增加之量值，但在本實驗中摩擦力所增加的量值以水之重量代替，且水密度因會隨溫度改變，所以1ml並不等於1gw會造成誤差。

文獻中當溫度為22°C時，水密度為0.997767g/cm³並不為1g/cm³【11】，我們若以1g/cm³來作為水的密度，所得的數據如下：

水之密度	1g/cm ³	22°C時之密度為0.997767g/cm ³
主題一	Y=0.07252X+0.28973 m=0.07252	Y=0.07236X+0.14692 m=0.07236
主題三	Y=0.07343X+4.63812 m'=0.07343	Y=0.07472X+5.61012 m'=0.07472
表面張力 $T = \frac{m'}{m+1}$	$6.84 \times 10^{-2} \text{ gw/cm} = 6.71 \times 10^{-2} \text{ N/m}$	$6.96 \times 10^{-2} \text{ gw/cm} = 6.82 \times 10^{-2} \text{ N/m}$
與理論值 $T = 7.24 \times 10^{-2} \text{ N/m}$ 【10】誤差值	7.3%	5.8%

表6-1 將水的密度視為1g/cm³及以22°C時之密度值所推算出的表面張力比較表

表格中顯示誤差值，若我們將水密度隨溫度改變之性質忽略，這樣所得之表面張力值會與理論值多1.5%的誤差，而準確度降低，且表面張力是一個需要精密度的實驗，為了避免此誤差，不可將水密度隨溫度該變之性質忽略，如此才可增加表面張力之準確度。

六、在本實驗中水的蒸發因素是否會造成測量值的誤差？

本小組經過測量及討論發現，在滴定管口上及燒杯中皆受水蒸發之影響使測量值比實際值略高，因此我們紀錄每小時重量變化如圖6-2所示，圖中斜率為每分鐘蒸發水的重量，在一次滴定的實驗過程中所需的時間約為1分鐘，燒杯及滴定管蒸發水的總重量每分鐘為0.0093g，最小金屬圓環之表面張力為2.45gw，此一蒸發量造成的誤差約為0.5%。

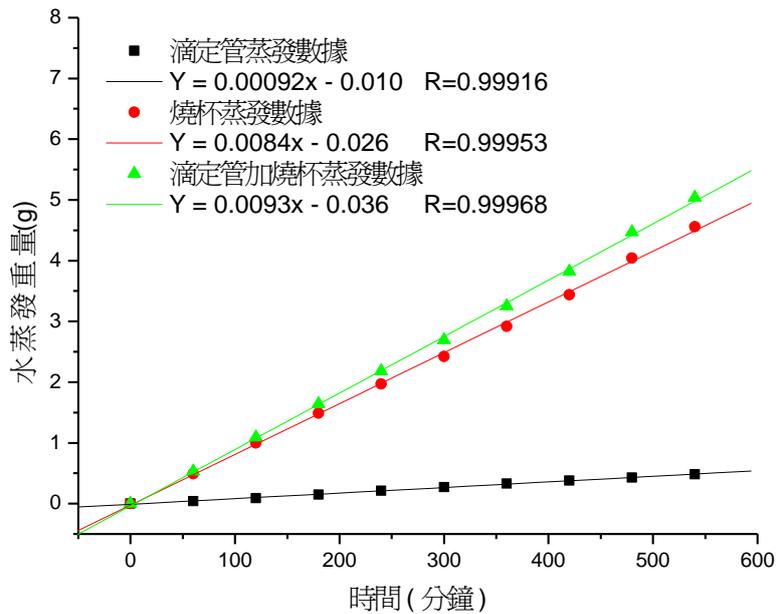


圖 6-2 燒杯及滴定管純水蒸發重量與時間之關係圖



圖 6-3 利用電子秤測量純水蒸發減少的重量

柒、結論

- 一、本實驗主要為以純水代替砝碼，以滴定管滴入燒杯中，並以恰好產生移動時作為判讀點，是本實驗之創意之所在，在主題一的實驗中發現滑輪輪軸間的最大靜摩擦力和正向力成線性關係，符合理論推導結果，可以支持本實驗系統的可行性。
- 二、主題二的密度測量方面，因測量值量方面可以準確到 0.1gw，測量體積方面可以準確到 0.1 cc，若以電子秤與滴定管測量密度的結果做比較且誤差值只介於 1% 之間，得到的數值準確度與一般天秤(準確至 0.1gw)及量筒(準確至 0.1 cc) 為工具之結果相同，因此利用最大靜摩擦力的方式產生恰動的實驗，進而測得之密度值是可行的。
- 三、主題三的表面張力的實驗中所測得的結果，誤差多在 5~10% 之間，但金屬環的長度越長，所測得的表面張力值越大的趨勢是每次測量皆可觀察到，因此推測實驗的誤差主要可細分為下列三點：
 - (1) 最小的金屬環比較容易服貼於水面，拉起時較為鉛直，但因測量力的準確度只有到 0.1gw，對最小的金屬環而言所造成的誤差約為 5%。
 - (2) 金屬環越大導致越不容易平穩，所以測量值其誤差棒較大。
 - (3) 水的每分鐘蒸發量對最小的金屬環而言約為 0.5%，在本實驗亦會有不可忽略的誤差。
- 四、根據本次實驗之經驗，如果要提高本系統的精密度，本小組提出下列的改進方式：
 - (1) 選用比較均勻且靜摩擦力大於輪軸之細繩，這樣方能在細繩與輪軸未發生相對移動時，輪軸先發生轉動。
 - (2) 如果能夠使用抗摩擦力比較好之滑輪會比較好，使最大靜摩擦力之值在固定正向力的情況下不變，但如果用一般的塑膠滑輪而言，本小組建議要能夠加上潤滑油，這樣恰好滑動時比較順暢且易判讀。
 - (3) 如果能夠使用更準確的滴定管會更好，本實驗採用的滴定管為準確到 0.1ml，且一滴水的質量為 0.050 公克，對於表面張力的測量方面其準確度比較不足。
 - (4) 在金屬環的製作方面，如果能夠選用比較長且服貼於水平面上之金屬環會比較好，且在向上拉的點也要找到環之對稱點。
 - (5) 溫度對水密度大小會有影響，故在本實驗中 1ml 的純水不能以 1gw 為基準，必須對照當時溫度下水之密度值，以避免誤差的產生。

五、本實驗的未來展望：

- (1) 為減少水蒸發量造成的誤差值，使本實驗系統在滴入純水的重量準確度提高，以下為我們設計圖，用一密閉容器裝水並於容器上方鑽小孔。
- (2) 滴定管在記錄時是滴入純的水體積，體積值只能準確到 0.1 cc，根據本實驗經驗，水的蒸發亦會造成誤差。若能夠使用下圖由電子天秤（準確到 0.01gw）直接紀錄滴入純水的重量，可提高滴入純水重量的準確度也能夠減少在滴入純水時水蒸發所造成的誤差。

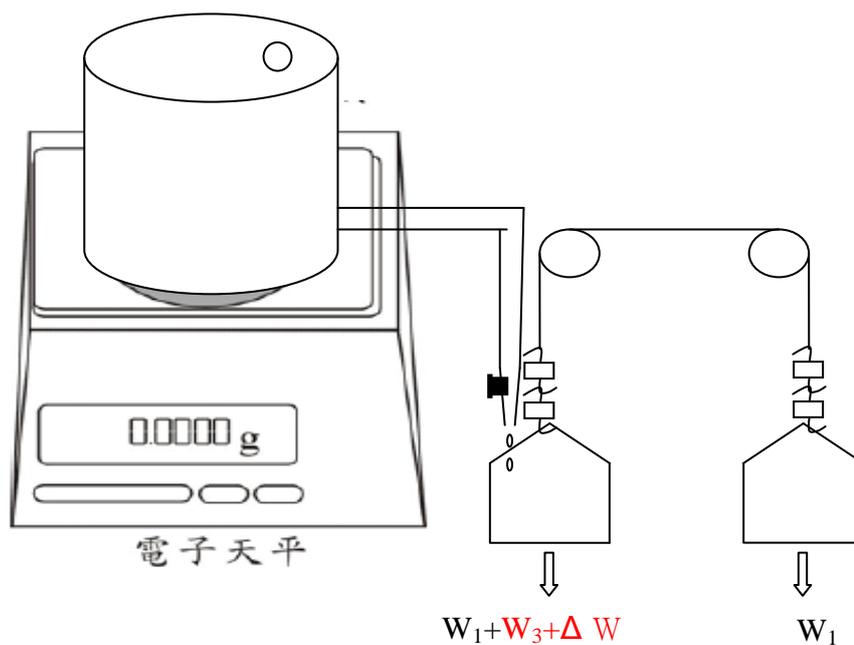


圖7-1 直接讀取滴入純水重量之設計圖

捌、參考資料及其他

1. 林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 (民97) **基礎物理** (48-54頁) 台南市：南一。
2. 林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 (民97) **物理上冊** (126-137、161頁) 台南市：南一。
3. 林明瑞、張仁昌、劉國棟、劉怡君 (民97) **物理下冊** (161-198頁) 台南市：南一。
4. 黃定加、史宗淮 (民74) **物理化學** (68-60頁)。臺北市：三民
5. 盧衍琪 (民76) **流體力學**(上冊) (70-76頁)。臺北市：東華
6. 陳龍英 (民75) **物理實驗** (89-96頁) 臺北市：三民
7. 卓靜哲、施良垣 (民85) **物理化學** (501-505頁)。臺北市：三民
8. 陳恩宗 (民75) **流體力學概論** (20-22頁) 臺北市：全華
9. **B=VD浮力測未知液密度** (無日期)。“發現學習”事件簿..一個理化老師的murmur，取自：
http://tw.myblog.yahoo.com/jw!_xKqtCOGFRbny9DNpiaf4g--
10. **N. B. Vargaftik, B. N. Volkov, and L. D. Voijak, J. Phys. Chem., 12, 817 (1983).**
11. **1990國際溫標水密度表** (無日期)。膜界，取自：
<http://www.membrane.net.cn/html/ziliaodaohang/200807/23-37.html>

【評語】 040103

- 1、 以滴定管之水滴取代小砝碼，以量測液體的密度與表面張力，具巧思。
- 2、 所設計之測量系統未先測定其靈敏度，測量之數據亦未標示誤差範圍。
- 3、 作品說明表 5-1 測得之密度未寫明單位。
- 4、 所設計系統測量上之操作未見得比傳統方式方便，準確性亦未見改進。