

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 物理科

040104

又長高了嗎？-毛細管傾斜前後液柱高度變化的
討論

學校名稱：國立羅東高級中學

作者： 高二 李劭安 高二 黃玟娟 高二 黃怡萍	指導老師： 鍾佩玲 邱銘鴻
---	-----------------------------

關鍵詞：毛細現象、接觸角

摘要

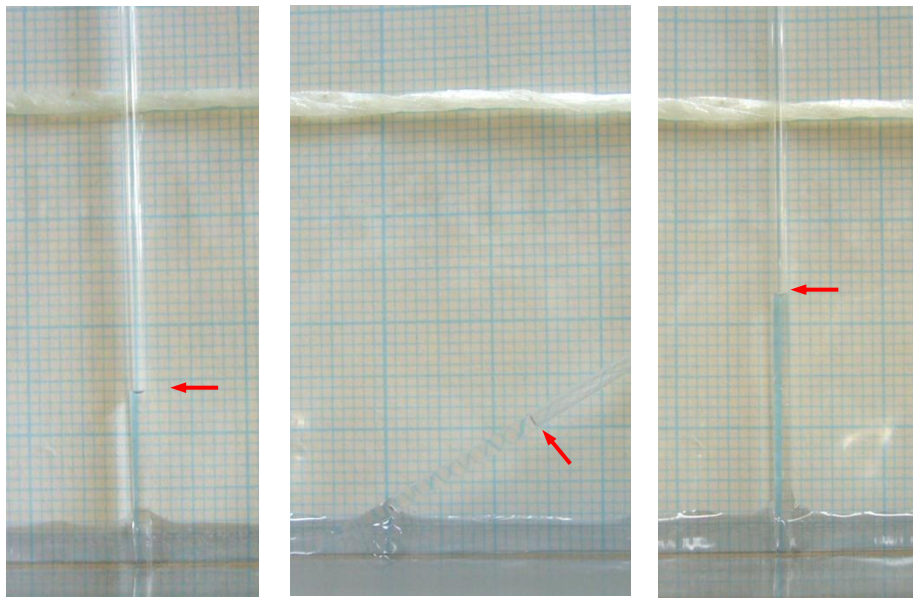
在高中教科書中，均介紹毛細管鉛直插入水中後水柱上升的高度公式為 $h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$ 。經實驗觀察，我們發現毛細管傾斜前後管內水柱高度會有改變，為了解水柱高度改變的原因，於是展開了研究。

研究結果：

1. 經與毛細管傾斜時的管內水柱總長作比較，發現水柱的增高與管壁潤濕程度有關。
2. 傾斜時，因管壁正向力的支撐，可使管內水柱長增加，但水柱液面處表面張力的總拉抬力量沒有改變。
3. 各出版社的教科書中，均指液體的表面張力為定值，因此我們原以為毛細管傾斜前後，因管壁潤濕使接觸角減小，而使毛細管傾斜回正後的水柱高度增加。但由我們的實驗結果分析，發現接觸角幾乎不變，因此改為考慮是表面張力或水的密度值的改變。
4. 另外，我們有個意外收穫：在許多書籍、文獻或我們參考的歷屆科展研究報告中，大家都指將毛細管壁充分潤濕可使接觸角為 0° ，但由我們的實驗結果可發現，這是不可能的。

壹、研究動機：

在喝養樂多時，偶然注意到纖細的吸管一插入養樂多中，管內的液面便會上升，而在稍加搖晃、傾斜後，液面竟又上升了！我們知道這個現象是物理課中學習到的毛細現象，但課本中僅介紹當毛細管鉛直插入水中時，水柱上升的公式(原理、公式可參考附錄)，而沒有提到毛細管傾斜前後，水柱會更為上升的現象，因此我們想進一步作實驗，討論毛細管傾斜前後水柱高度變化的情形及其成因。



(a)毛細管鉛直插入水中 (b)毛細管向右傾斜某一角度時 (c)毛細管再次回復鉛直

貳、研究目的：

- 一、探討不同傾斜角扶正後毛細管內水柱高度的變化，並找出其規律與成因。
- 二、討論毛細管中水的接觸角測量方法之改進。

參、研究設備及器材：

毛細管A及B(管徑1.00mm及0.95mm)

純水

生理食鹽水(0.9%)

方格紙

數位相機

解剖顯微鏡

溫度計

MB-Rular(角度測量軟體)

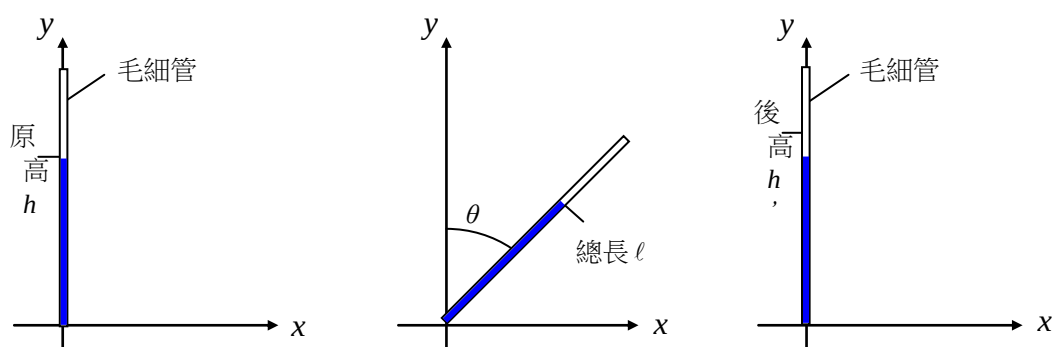
肆、研究過程或方法：

實驗一、探討不同傾斜角扶正後毛細管內水柱高度的變化，並找出其規律與成因：

因毛細管傾斜角度的微量差距難以測量，故記錄管上一點 P 傾斜時的座標(x,y)，

利用 $\tan\theta = \frac{x}{y}$ 算出毛細管的傾斜角度。

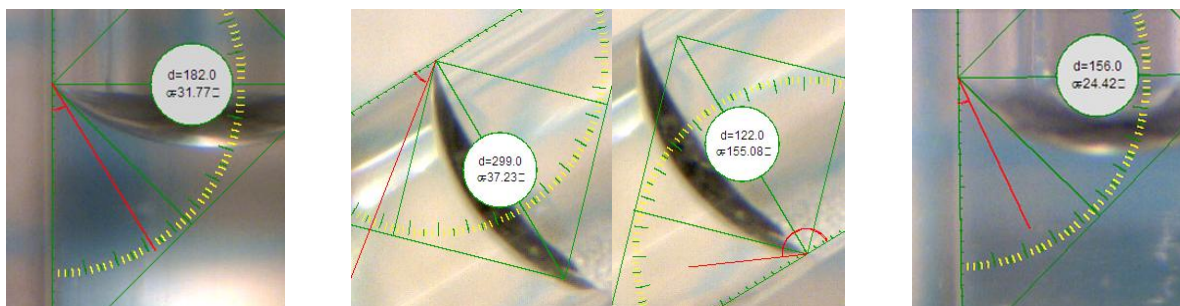
1. 將毛細管鉛直放入水中，待管內水面不再改變後，記錄水柱高度為 h 。
2. 將毛細管向右傾斜 θ 角，待管內水面不再改變後，記錄(x,y)值及水柱總長 ℓ 。
3. 扶正毛細管，待管內水面不再改變後，記錄傾斜扶正後水柱的高度為 h' 。
4. 重覆上述步驟， θ 角由 1° 變化至 80° 左右，記錄 h 、 h' 及 ℓ 於<表一>中，並進一步作圖分析。



實驗二、討論毛細管中水的接觸角測量方法之改進：

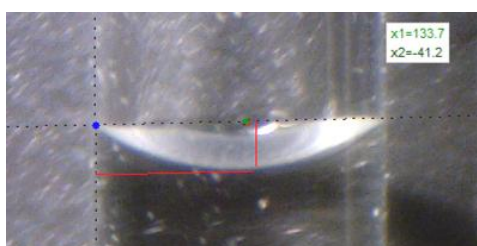
使用數位解剖顯微鏡拍攝不同情況之毛細管內的水面，利用角度測量軟體 MB-Rular 做下列兩種不同方法之分析，將測量所得記錄於<表二>、<表三>中。

(方法一) 利用 MB-Rular 的量角器功能直接在電腦上量測接觸角的大小，如下圖示。



(a)正插時，接觸角為 α (b)傾斜時，接觸角為 α_1 及 α_2 (左壁 α_1 、右壁 α_2) (c)回正後，接觸角為 α'

(方法二) 利用 MB-Rular 的直角座標定位功能，將水面定位後，以 Excel 作圖求出彎月面的函數式，再進一步利用微分及三角函數計算，求出接觸角的大小。



以 MB-Rular 於照片上定位後，

若經 Excel 分析得彎月面函數式為 $y = ax^2 + bx + c$ ，

$$\text{則 } \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = \cot \alpha_{\text{左壁}} \quad , \quad \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=500} = \cot \alpha_{\text{右壁}}$$

伍、研究結果：

一、 θ 由 $1^\circ \sim 80^\circ$ 改變時， h 、 h' 及 ℓ 的測量結果：

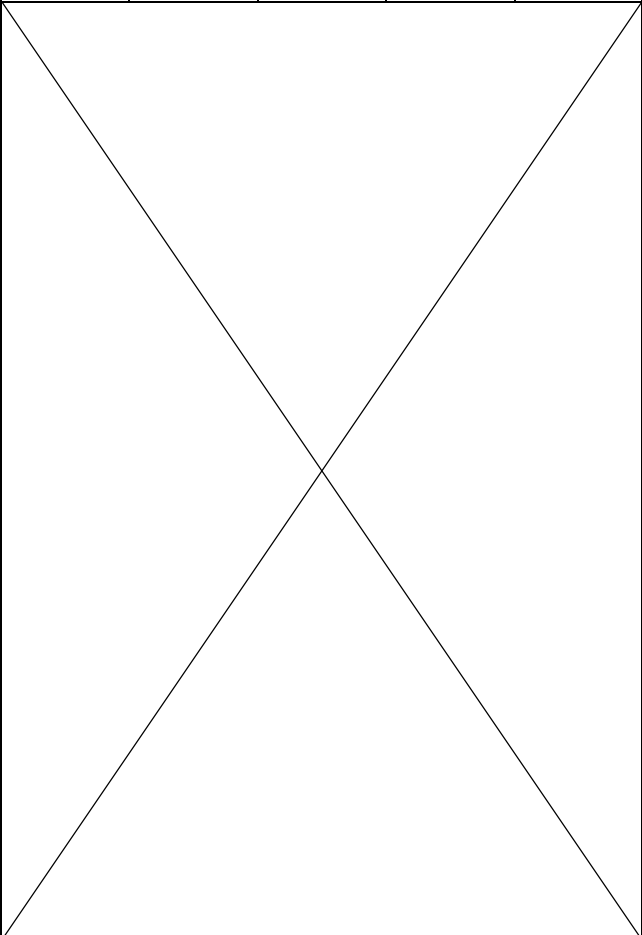
(水溫 18.5°C 、管徑 0.95 mm)

$\theta(\text{deg})$	$h(\text{mm})$	$h'(\text{mm})$	$\Delta h(\text{mm})$	$\ell(\text{mm})$	$\theta(\text{deg})$	$h(\text{mm})$	$h'(\text{mm})$	$\Delta h(\text{mm})$	$\ell(\text{mm})$
1.1	21.5	21.5	0.0	21.5	31.8	19.8	23.1	3.3	23.9
2.3	20.0	20.0	0.0	20.0	32.6	19.4	24.0	4.6	25.0
3.4	18.2	18.4	0.2	18.5	33.4	18.8	21.0	2.2	24.1
4.6	20.3	20.4	0.1	20.3	34.2	19.1	23.6	4.5	24.5
5.7	18.3	18.5	0.2	18.4	35.0	18.0	21.0	3.0	22.6
6.8	21.3	21.5	0.2	21.6	35.8	19.9	24.2	4.3	24.3
8.0	17.8	17.8	0.0	17.9	36.5	17.8	22.0	4.2	22.4
9.1	21.6	22.3	0.7	22.1	37.2	20.2	24.6	4.4	24.9
10.2	18.2	18.6	0.4	18.5	38.0	20.2	23.8	3.6	24.6
11.3	19.5	20.0	0.5	20.1	38.7	18.0	23.1	5.1	24.1
12.4	18.1	18.5	0.4	18.5	39.4	22.6	22.7	0.1	19.9
13.5	18.6	18.9	0.3	19.2	40.0	17.8	22.8	5.0	23.0
14.6	21.4	21.7	0.3	22.3	40.7	20.0	25.0	5.0	26.0
15.6	19.3	19.8	0.5	20.0	41.3	18.6	25.0	6.4	27.6
16.7	19.7	20.0	0.3	20.0	42.0	20.3	25.6	5.3	27.7
17.7	17.8	18.8	1.0	19.0	42.6	19.0	25.0	6.0	26.2
18.8	19.0	19.6	0.6	19.7	43.2	18.4	24.9	6.5	26.1
19.8	21.4	21.2	-0.2	21.3	43.8	20.0	24.7	4.7	26.7
20.8	18.5	18.8	0.3	19.4	44.4	20.0	25.1	5.1	25.3
21.8	19.0	19.5	0.5	19.9	45.0	18.0	24.1	6.1	22.7
22.8	18.2	19.6	1.4	19.7	45.6	19.8	26.0	6.2	24.8
23.7	18.2	19.4	1.2	19.8	46.1	20.8	21.8	1.0	27.5
24.7	17.9	19.1	1.2	19.6	46.7	22.0	26.8	4.8	29.7
25.6	18.5	20.6	2.1	21.2	47.2	19.1	23.6	4.5	28.4
26.6	18.4	20.7	2.3	20.9	47.7	17.0	26.9	9.9	29.0
27.5	18.0	20.0	2.0	21.0	48.7	18.0	27.2	9.2	29.1
28.4	20.0	21.2	1.2	22.4	49.2	18.5	27.0	8.5	37.7
29.2	19.9	19.2	-0.7	25.6	49.7	18.3	27.0	8.7	39.9
30.1	21.0	24.0	3.0	24.2	50.2	20.7	27.9	7.2	29.4
31.0	19.1	20.2	1.1	21.1	50.8	17.3	26.6	9.3	28.4

<表一> 毛細管以不同角度傾斜，傾斜前後的水柱高度、高度差及傾斜時的水柱總長。

(續下頁表)

(承前頁表)

θ (deg)	h (mm)	h' (mm)	Δh (mm)	ℓ (mm)	θ (deg)	h (mm)	h' (mm)	Δh (mm)	ℓ (mm)
51.3	19.0	27.8	8.8	30.0	65.6	20.8	30.0	9.2	29.9
51.9	16.1	25.0	8.9	28.7	67.4	18.3	31.0	12.7	51.5
52.4	18.7	25.0	6.3	26.8	69.3	19.8	35.4	15.6	51.9
53.0	22.0	29.5	7.5	32.5	70.0	20.8	31.8	11.0	59.1
53.5	19.2	29.0	9.8	33.3	71.8	22.0	31.8	9.8	48.0
54.0	20.3	29.7	9.4	33.0	75.3	21.3	32.0	10.7	75.5
54.9	17.2	27.5	10.3	29.6	76.6	17.4	30.0	12.6	73.7
55.4	19.3	29.0	9.7	33.1	77.7	21.0	30.2	9.2	95.3
55.9	18.8	29.0	10.2	35.1	78.7	17.6	30.0	12.4	93.6
56.3	16.7	27.0	10.3	31.7	79.1	20.1	30.8	10.7	85.0
56.9	19.8	29.6	9.8	37.8	79.7	19.8	28.4	8.6	91.8
57.4	16.2	28.2	12.0	34.1					
58.0	19.8	29.4	9.6	37.8					
58.5	17.2	28.8	11.6	38.3					
59.0	20.0	30.1	10.1	38.9					
59.5	19.5	30.3	10.8	39.1					
60.0	17.6	29.7	12.1	38.6					
60.5	20.8	31.2	10.4	41.2					
60.9	18.6	31.0	12.4	37.7					
61.4	18.0	27.7	9.7	39.1					
61.8	18.1	30.2	12.1	42.5					
62.2	19.4	29.0	9.6	38.2					
62.7	18.8	30.0	11.2	37.7					
63.0	20.8	31.4	10.6	39.9					
63.4	20.0	29.7	9.7	53.5					
63.8	19.9	30.8	10.9	40.3					
64.2	20.0	31.0	11.0	47.3					
64.5	19.5	31.8	12.3	29.9					
64.9	22.0	30.9	8.9	30.7					
65.2	20.5	32.0	11.5	30.3					

<表一> 毛細管以不同角度傾斜，傾斜前後的水柱高度、高度差及傾斜時的水柱總長。

二、 θ 由 $1^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 改變時， α 、 α' 的測量值與逆推值：

θ	用量角器測量		由 h、h' 逆推		θ	用量角器測量		由 h、h' 逆推	
	α	α'	α	α'		α	α'	α	α'
1.1	46.2	48.0	45.4	46.6	31.8	48.4	35.3	50.8	42.5
2.3	45.6	56.0	50.3	50.3	32.6	57.7	52.5	51.7	40.0
3.4	54.1	49.7	54.5	54.0	34.2	57.0	51.0	52.4	41.1
4.6	48.8	53.1	49.6	49.4	35.0	54.3	47.4	54.9	47.9
5.7	57.1	58.9	54.2	53.8	35.8	52.0	46.4	50.5	39.4
6.8	54.6	55.9	47.1	46.6	36.5	49.1	49.1	55.4	45.4
8.0	54.7	57.4	55.4	55.4	37.2	47.9	43.2	49.8	38.2
9.1	45.9	54.9	46.4	44.6	38.0	51.1	55.0	49.8	40.5
10.2	58.0	57.5	54.5	53.6	38.7	53.6	50.1	54.9	42.5
11.3	54.2	51.2	51.5	50.3	39.4	58.3	50.5	43.8	43.5
12.4	57.6	56.8	54.7	53.8	40.0	56.9	50.2	55.4	43.3
13.5	54.6	55.3	53.6	52.9	40.7	47.3	46.0	50.3	37.0
14.6	58.6	56.1	46.9	46.1	41.3	48.8	40.4	53.6	37.0
15.6	53.8	54.0	52.0	50.8	42.0	47.6	44.3	49.6	35.2
16.7	56.6	55.2	51.0	50.3	42.6	49.8	48.9	52.6	37.0
17.7	54.7	47.2	55.4	53.1	43.2	55.5	46.9	54.0	37.3
18.8	51.9	57.0	52.6	51.3	43.8	53.8	33.0	50.3	37.9
20.8	56.8	59.4	53.8	53.1	44.4	50.7	52.7	50.3	36.7
21.8	55.4	51.2	52.6	51.5	45.0	59.3	52.3	54.9	39.7
22.8	54.4	52.6	54.5	51.3	45.6	55.4	44.4	50.8	33.9
24.7	53.5	55.2	55.1	52.4	46.1	55.5	51.8	48.4	45.9
25.6	56.7	49.4	53.8	48.9	46.7	50.8	44.3	45.4	31.2
26.6	51.9	57.7	54.0	48.6	47.2	54.8	55.7	52.4	41.1
27.5	48.0	55.5	54.9	50.3	47.7	50.1	44.3	57.1	30.8
28.4	52.0	50.4	50.3	47.4	48.7	53.8	49.3	54.9	29.7
29.2	51.5	48.8	50.5	52.2	49.2	55.5	48.8	53.8	30.4
30.1	52.1	52.5	47.9	40.0	49.7	50.4	41.7	54.2	30.4
31.0	50.7	55.7	52.4	49.8	50.2	56.6	45.1	48.6	27.0

<表二> 毛細管以不同角度傾斜，傾斜前後及傾斜時的水面與玻璃壁之接觸角測量值與逆推值。

(續下頁表)

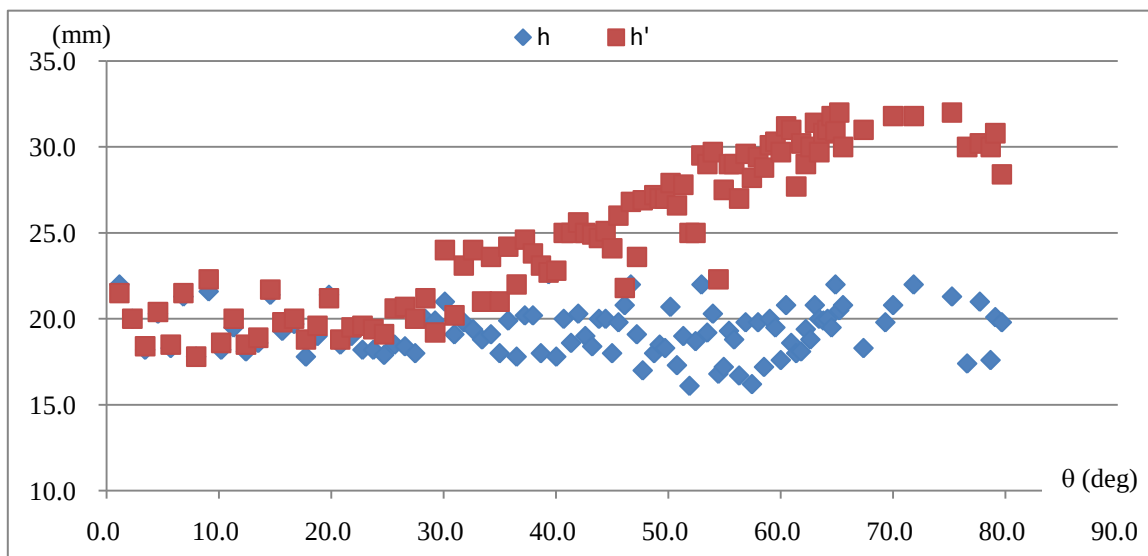
(承前頁表)

θ	用量角器測量		由 h、h' 逆推		θ	用量角器測量		由 h、h' 逆推	
	α	α'	α	α'		α	α'	α	α'
50.8	57.4	48.6	56.5	31.9	61.4	52.1	55.7	54.9	27.8
51.3	56.5	41.4	52.6	27.4	61.8	54.2	39.5	54.7	15.3
52.4	49.4	48.8	53.3	37.0	62.2	53.4	45.4	51.7	22.2
53.0	55.2	47.6	45.4	19.6	62.7	48.4	38.9	53.1	16.7
53.5	52.8	46.1	52.2	22.2	63.4	50.1	46.8	50.3	18.5
54.9	48.1	37.9	56.7	28.6	63.8	56.7	49.5	50.5	10.4
55.4	50.0	46.1	52.0	22.2	64.2	51.6	56.3	50.3	8.2
55.9	44.9	39.1	53.1	22.2	64.9	53.4	40.9	45.4	9.4
56.3	51.7	49.7	57.8	30.4	65.6	50.6	45.4	48.4	16.7
57.4	58.5	52.8	58.8	25.8	67.4	57.2	44.0	54.2	8.2
58.0	57.0	47.2	50.8	20.2	70.3	58.6	45.9	56.0	37.6
58.5	52.7	50.3	56.7	23.1	74.1	55.7	48.1	54.9	39.4
59.0	51.7	48.2	50.3	16.0	76.6	46.4	39.4	56.2	16.7
59.5	52.0	40.0	51.5	14.6	77.7	50.6	37.0	47.9	15.3
60.0	53.9	50.4	55.8	18.5	78.7	50.3	44.3	55.8	16.7
60.5	49.9	32.6	48.4	5.0	79.1	50.1	37.9	50.1	10.4
60.9	50.2	43.5	53.6	8.2	79.7	52.9	46.9	50.8	24.9

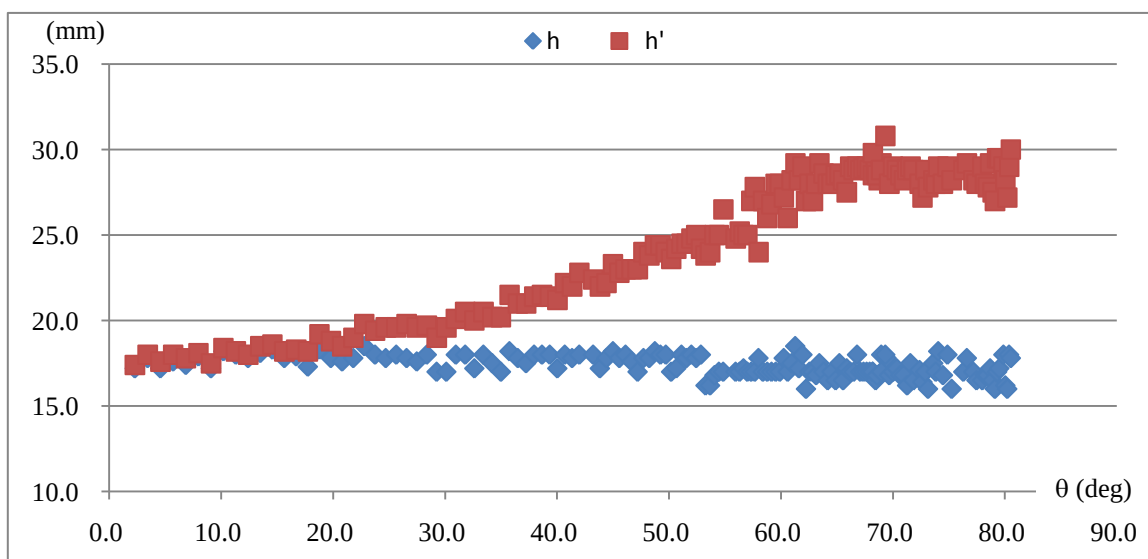
<表二> 毛細管以不同角度傾斜，傾斜前後及傾斜時的水面與玻璃壁之接觸角測量值與逆推值。

陸、討論：

一、不同傾斜角扶正後毛細管內液柱高度的變化與成因討論：



(圖一) 毛細管傾斜前後的水柱高度對傾斜角之關係圖

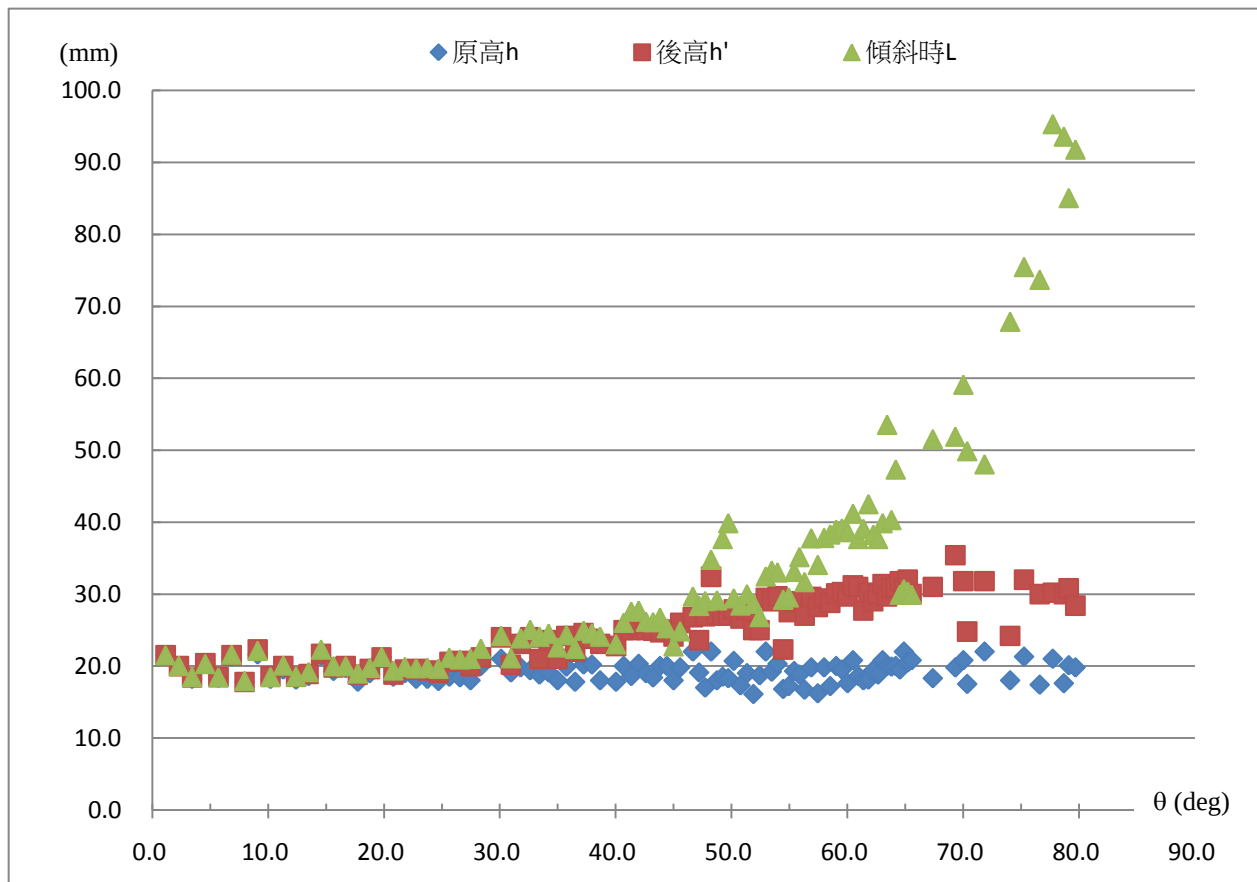


(圖二) 毛細管傾斜前後的生理食鹽水水柱高度對傾斜角之關係圖

1. 不論是純水或生理食鹽水，均在小角度時無高度明顯的變化；在 20° 以上時，隨傾斜角度的增加，高度明顯增加；但在大角度(約 55° 以上)時，高度雖然增加，但變化量保持定值。

傾斜角 θ	$0^\circ \sim 20^\circ$	$20^\circ \sim 55^\circ$	$55^\circ \sim 80^\circ$
高度差 Δh	$< 1 \text{ mm}$	$1 \sim 10 \text{ mm}$	$10 \sim 13 \text{ mm}$

2. 推論是因毛細管傾斜時， θ 愈大，管內水柱上升的長度愈多，致玻璃管壁潤濕層增加的比例愈多。當毛細管回復鉛直後，因為水與玻璃的交界層性質改變，使得水與玻璃的接觸角減小，因此傾斜前後的水柱高度會有差異。故進一步由圖三(h、h'、 ℓ 對 θ 關係圖)來討論。



(圖三) 毛細管傾斜前後的水柱高度對傾斜角之關係圖
傾斜時的水柱總長對傾斜角之關係圖

3.若將毛細管傾斜時的水柱總長 ℓ 視為玻璃管壁被潤濕的長度，則由圖三我們可以看出：

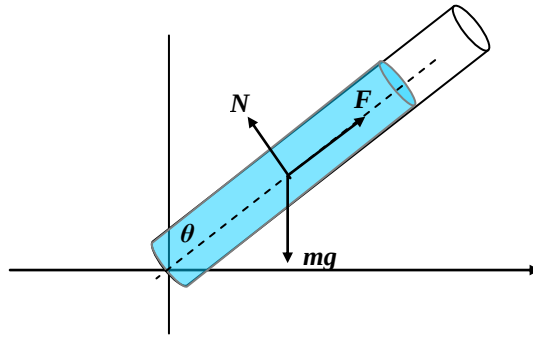
- (1) $\theta < 55^\circ$ 時，水柱後來的高度幾乎就是玻璃壁潤濕的長度， $h' = \ell$ 。
- (2) $\theta > 55^\circ$ 時，水柱後來的高度小於玻璃壁潤濕的長度， $h' < \ell$ ，且二者的差異隨傾斜角度的增加逐漸顯著加大。

此實驗結果顯示，毛細管傾斜前後水柱高度的改變，確實是與管子傾斜時水柱總長的增加(使得玻璃壁被潤濕的程度增加)有關。

4.我們推論，毛細管傾斜再回正時，水的表面張力值不變，但管壁已潤濕，水柱液面處因潤濕層內水分子與管壁附著力大於與水的內聚力，使得接觸角減小，而有 $h' > h$ 的結果。

由圖三中， $\theta > 55^\circ$ 時的 h' 趨於一固定值 30mm 來計算，可知即使我們可以利用傾斜毛細管來增大潤濕層，進而使管子回正後的接觸角縮小，但接觸角也不可能為 0° ，在我們的實驗中， $\alpha_{\min}$ 應為 16° 。(常在一些課本或參考用書的練習題中，看到我們求毛細管中水柱的最大上升高度時，以 $\alpha = 0^\circ$ 代入 $h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$ 來計算，顯然這是不太合理的。)

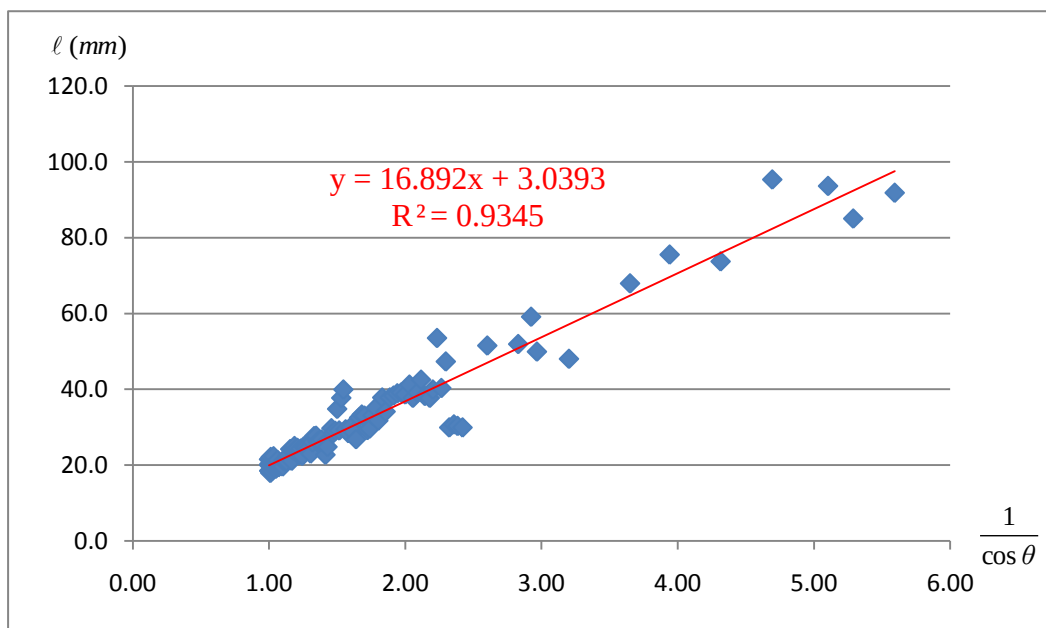
5.討論傾斜時，液柱上升，管內水柱總長增加的原因：



(1)如上圖所示，若假設毛細管傾斜時，水柱在液面所受的表面張力的總拉抬作用力不變(F =定值)，而多出來的水柱重由管壁支撐，

$$\text{則} \quad \rho \cdot \pi r^2 \cdot \ell \cdot g \cdot \cos \theta = F \quad \Rightarrow \quad \ell = \frac{F}{\rho \pi r^2 g} \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} \right)$$

故將我們的實驗結果作 $\ell - \frac{1}{\cos \theta}$ 關係圖，得 $\ell = 16.892 \left(\frac{1}{\cos \theta} \right) + 3.0393$



(圖四) 毛細管傾斜時的水柱總長對傾斜角正割值之關係圖

(2)實驗誤差的討論：

利用(式 1)計算，當 $\theta=0^\circ$ (代表毛細管鉛直插入)時的水柱高， $h_{\text{實驗值}} = 19.93$ (mm)；

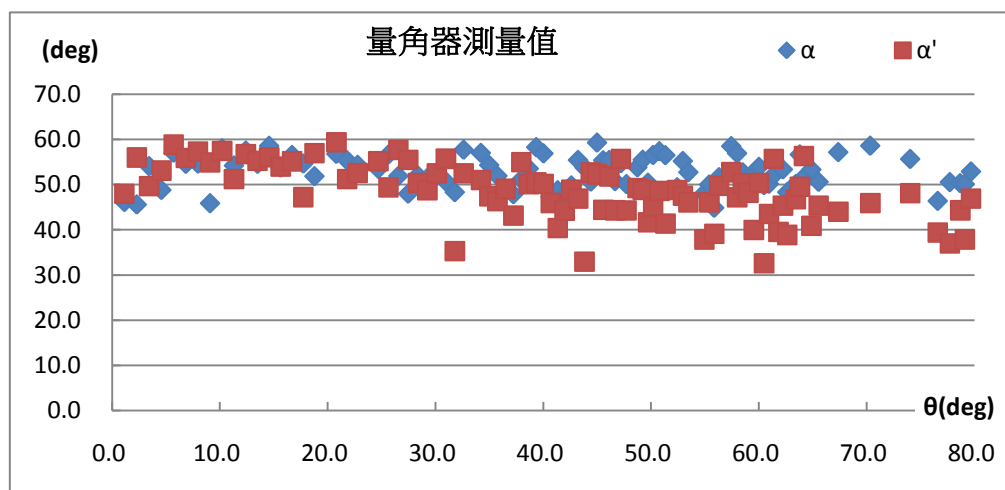
而我們每次傾斜毛細管前的水柱原高平均值 $\bar{h}_{\text{傾斜前}} = 19.20$ (mm)，

$$\text{得實驗結果的百分誤差約為 } \text{error} = \left| \frac{19.93 - 19.20}{19.20} \right| \times 100 (\%) = 3.80 (\%)。$$

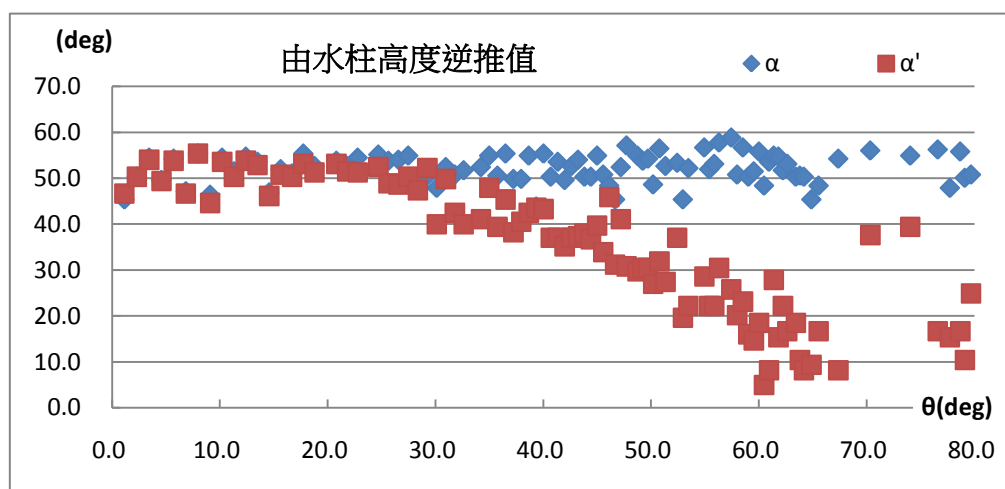
(3)因為由(式 1)計算的 $h_{\text{實驗值}}$ 與實驗測量的水柱高平均值 $\bar{h}_{\text{傾斜前}}$ 誤差僅 3.80(%)，所以可以論證我們的假設— 毛細管傾斜時，水柱在液面所受的表面張力的總拉抬作用力不變(F =定值)是可接受的。

二、毛細管中水的接觸角測量方法之改進討論：

為了確認毛細管傾斜回正後，水柱高度的增加真的是因為接觸角縮小所致，我們進一步利用<表一>的 h 、 h' 由公式 $h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$ 逆推毛細管傾斜前後的接觸角，並與我們實際量測的接觸角做比較得(圖五)、(圖六)。

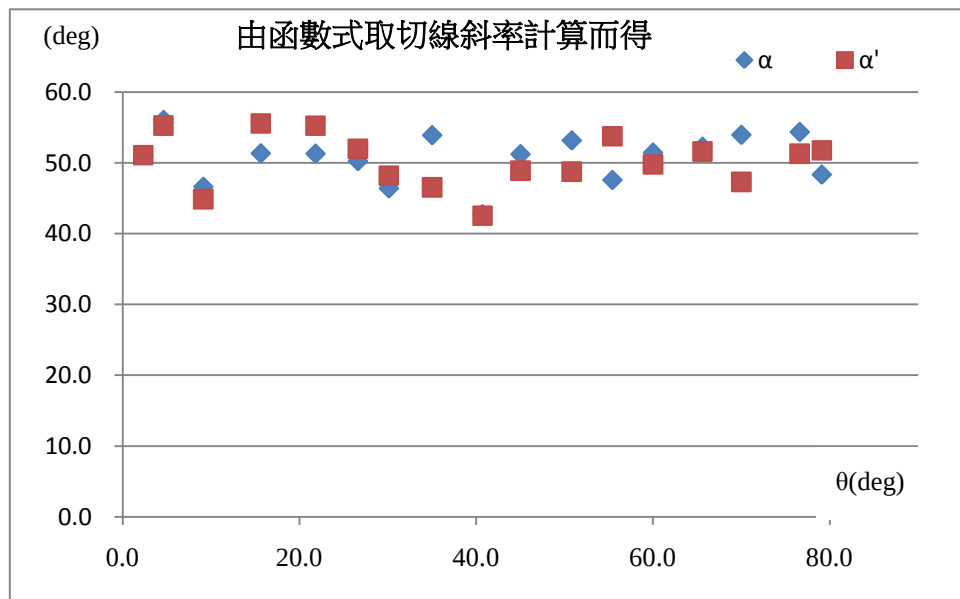


(圖五) 毛細管傾斜前後的接觸角(量角器測量)對其傾斜角之關係



(圖六) 毛細管傾斜前後的接觸角(水柱高逆推)對其傾斜角之關係

- 1.由(圖五)、(圖六)的比較，我們發現在第一部份的實驗結果推論中，推論毛細管傾斜回正後，水柱高度的增加起因於接觸角的縮小，這個推論似乎是不太合理的。
- 2.為了確認水面處的接觸角大小，避免人為量測誤差，因此我們 MB-Rular 的直角座標定位功能，將水面定位後，以 Excel 作圖求出彎月面的函數式，再進一步利用微分及三角函數計算，求出接觸角的大小，結果如下頁(圖七)。



(圖七) 毛細管傾斜前後的接觸角對其傾斜角之關係圖

由圖七可看出，毛細管傾斜前後，接觸角真的幾乎沒有變化。那我們的困惑即是—究竟是什麼原因造成毛細管傾斜回正後水柱高度的增加？

由毛細管水柱高度公式 $h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$ 來看，既然不是接觸角的變化，那就只可能是表面張力 γ 或水的密度 ρ 的改變了。

柒、結論：

- 一、毛細管傾斜角小於 20° 時，傾斜前後水柱高度幾乎沒有變化；傾斜角介於 $20^\circ \sim 55^\circ$ 時，傾斜前後水柱高度明顯隨傾斜角增大而增加；當傾斜角大於 55° 時，傾斜前後水柱高度增加最為顯著，但保持為定值。
 1. 經與毛細管傾斜時的管內水柱總長作比較，發現水柱的增高與管壁潤濕程度有很大的關連。
 2. 傾斜時，因管壁正向力的支撐，可使管內水柱長增加，但水柱液面處表面張力的總拉抬力量沒有改變。
- 二、各出版社的教科書中，均指液體的表面張力為定值，因此我們原以為毛細管傾斜前後，因管壁潤濕使接觸角減小，而使毛細管傾斜回正後的水柱高度增加。但由我們的實驗結果分析，發現接觸角幾乎不變，因此改為考慮是表面張力或水的密度值的改變。

另外，我們有個意外收穫：在許多書籍、文獻或我們參考的歷屆科展研究報告中，大家均指將毛細管壁充分潤濕可使接觸角為 0° ，但由我們的實驗結果可發現，這是不可能的。

捌、參考資料：

1. 林明瑞(民國 97)。普通高級中學物理下冊。臺南市：南一。
2. 姚珩(民國 99)。普通高級中學物理下冊。臺南市：翰林。
3. 林凡又、鄭雨軒、林虹君(民國94)。毛細管內液體流速之探討及黏度測量方法之創新。中華民國第42屆中小學科學展覽會高中組物理科第一名。臺北市立麗山高級中學。
4. 吳岳霖、何宗諭、張育端、吳杰鴻(民國84)。毛細管測量液體表面張力的研究。中華民國第35屆中小學科學展覽會高中組物理科第一名。台灣省立嘉義高級中學。
5. 高頌凱(民國 95)。利用浮沉子測量液體表面張力並演示“Cheerios effect”。美國第五十七屆國際科技展覽會大會物理科四等獎。國立嘉義高級中學。
6. 呂婉甄、王琦雅(民國 94)。分散值的結構與張力。2005 年國際科學展覽會大會獎佳作。國立嘉義女子高級中學。
7. 楊文昌譯。基礎流體力學。五南圖書出版股份有限公司出版。第 22~39 頁。2000 年版。
8. 林清涼、戴念祖。啟發性物理學-力學。五南圖書出版股份有限公司出版。第 203~228 頁。2005 年版。
9. 中興大學物理學系普通物理實驗室http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex_h.htm

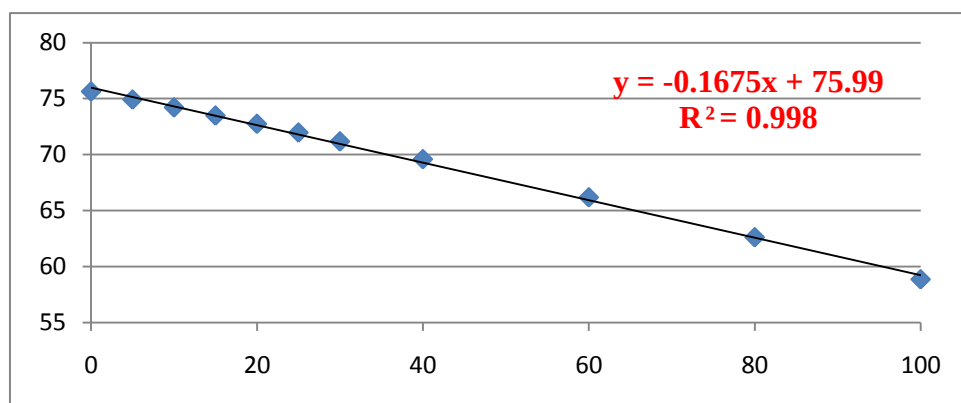
玖、附錄：

(一) 水的表面張力參考值：

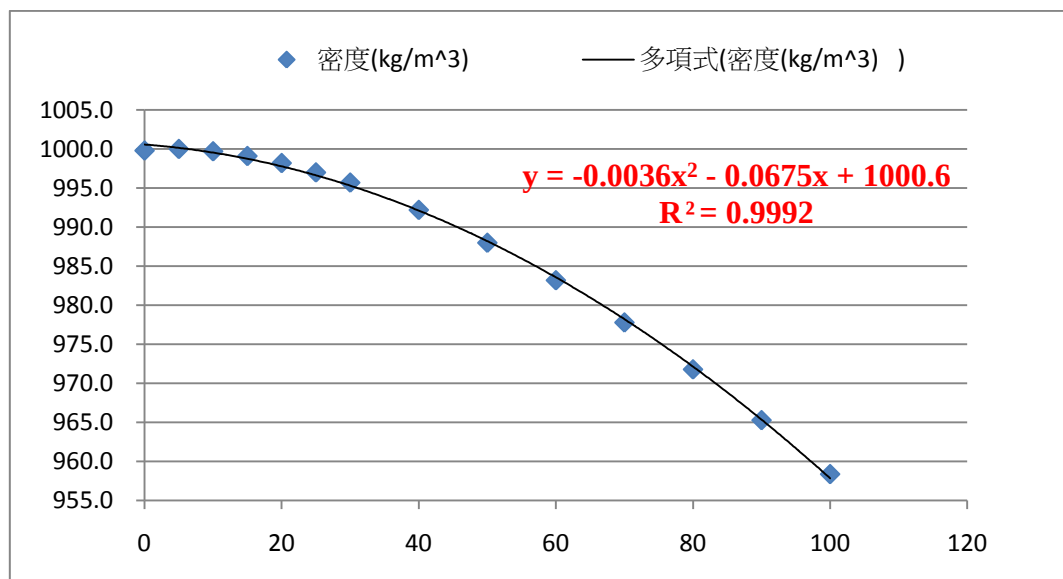
由南一版物理下冊課本及中興大學普通物理實驗室網頁中，不同溫度時水的表面張力值，得出不同水溫時表面張力的關係式為 $\gamma (T^{\circ}\text{C}) = -0.1675T + 75.99(\text{Dyne/cm})$

，並由此計算我們實驗時水的表面張力參考值 $\gamma_{18.5^{\circ}\text{C}} = 72.89(\text{Dyne/cm})$ 。

水溫 $T(^{\circ}\text{C})$	0	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
水-空氣表面張力 $\gamma (\text{Dyne/cm})$	75.64	74.92	74.22	73.49	72.75	71.97	71.18	69.59	66.18	62.61	58.85



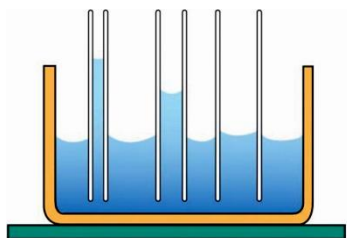
(二) 水的密度參考值：



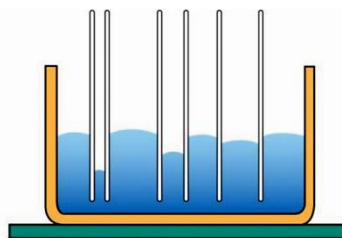
(二)毛細現象：

1.現象：

管徑很小的細管插入液體中時，液面會沿管壁上升或下降的現象，稱之。且管徑愈小，液柱的高度變化愈顯著。



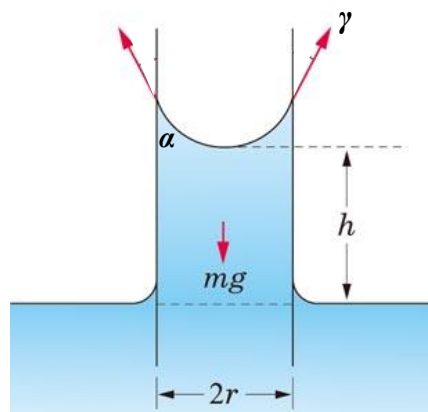
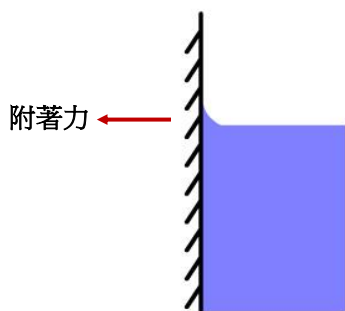
對玻璃言 (a)潤濕液體－水



(b)不潤濕液體－水銀

2.成因：(以“水”為例)

當毛細管插入水中時，因附著層裡的水分子受到玻璃壁的附著力大於與水柱內的內聚力，附著層沿管壁上升，這部分液體上升引起液面彎曲，呈凹形彎月面，故水面處的表面積變大，與此同時由於表面層的表面張力收縮作用，管內液體也隨之上升，直至表面張力向上的拉伸作用與管內升高的液體重量平衡時，液體停止上升，故毛細管內的水會穩定在一定的高度處。



3.公式推導：

水柱高度不變時，表面張力向上的拉伸作用=液柱重量

$$\gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos \alpha = \rho \cdot \pi r^2 \cdot h \cdot g$$

$$\Rightarrow h = \frac{2\gamma \cos \alpha}{\rho g r}$$

(γ ：液體的表面張力、 α ：液體與玻璃的接觸角、 ρ ：液體密度、 g ：重力加速度、 r ：毛細管半徑)

【評語】 040104

這是個有趣的發現。然而作品中對力的分析不夠深入，對前人結果查證的觀察尚未深入與證實，例如水的接觸角度議題。然而我們甚至鼓勵對課本的結果提出質疑。