

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030103

水管捲捲捲

學校名稱：嘉義市立民生國民中學

作者：	指導老師：
國一 吳昇縝	陳正雍
國一 曾俊諺	吳銘訓
國一 游濬維	

關鍵詞：水壓、波以耳定律、水管

摘要

「物理馬戲團」這本書有個實驗是，將水倒入捲成圓形的水管中，會流不出來，我們想研究這個現象。

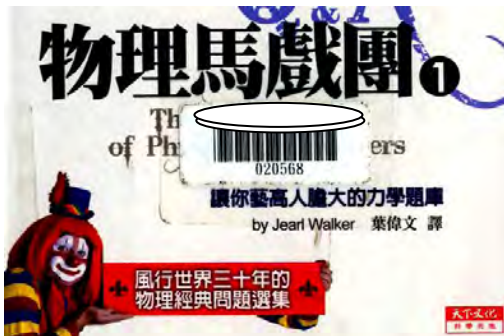
首先改變纏繞的水管圈數，發現上升水位會改變，而增加的高度與所繞圓柱體的直徑相等。改變圓柱體的直徑，發現圈數增加，上升水位也增加。而改變水管纏繞密度，則不影響實驗。

將水管纏繞為橢圓狀，發現橫軸長改變，不影響上升水位高度；若縱軸長改變，則上升水位高度會增加。改變水管為波浪狀，發現影響上升水位高度的仍然是波浪垂直高度及波浪數目。

最後，探討過程中水管內產生的空氣柱，發現是導致上升水位改變的主因；而且，封閉空間的空氣柱，會符合波以耳定律。也證實，只要水管纏繞圈數夠多或纏繞的垂直高度夠大，的確會造成水流不出來的現象。

壹、研究動機

有一天，我們看了一本書名叫物理馬戲團，我們看到了一個實驗，裡面內容講說一捲水管繞著一個圓柱體，再從上方的水管口倒入水，可是水流不出來，如下圖，我們便很好奇，難道水真的流不出來嗎？於是我們便決定應用到這一次的科展。



圖：物理馬戲團



圖：流不出水的水管

貳、研究目的

- 一、探討水管纏繞圈數，對上升水面高度的影響。
- 二、探討水管纏繞成圓形的直徑，對上升水面高度的影響。
- 三、探討水管纏繞成橢圓型的形狀，對上升水面高度的影響。
- 四、探討將水管為纏繞為波浪型的排列，對上升水面高度的影響。
- 五、探討水管纏繞密度，對上升水面高度的影響。
- 六、探討水管內空氣柱的體積與壓力的關係。

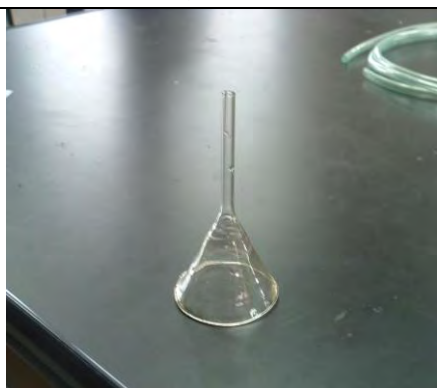
參、實驗材料



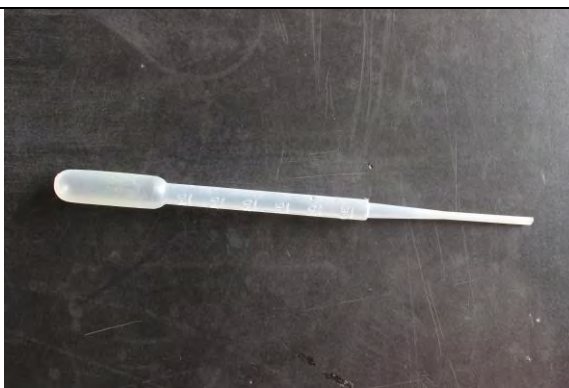
水箱



燒杯



漏斗



滴管



木尺



針筒



熱熔膠槍



水管 (瓦斯管)



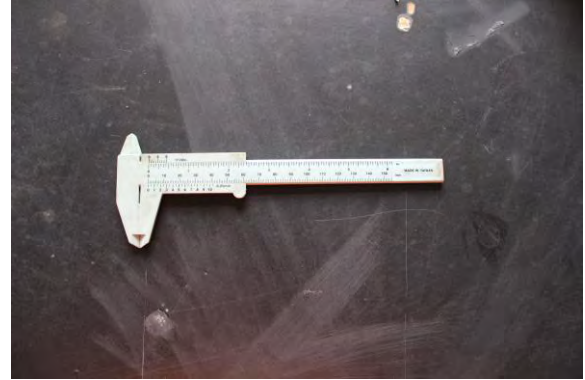
紅墨水



水平儀



膠帶



游標尺



皮尺

肆、實驗步驟

一、實驗一(探討水管纏繞圈數，對上升水面高度的影響)

- (一) 將水管一端用透明膠帶綁在木棍上，水管上方用漏斗連接，水管另一端則以逆時針方向纏繞在欄杆上，漏斗及木棍裝置在欄杆扶手上，如圖一、圖二、圖三。
- (二) 先將水管纏繞一圈在欄杆上，水管末端則綁塑膠帶，讓流出的水能匯集在塑膠袋內，如圖四。



圖一 水管繞欄杆的實驗裝置圖



圖二 將漏斗固定在水管上



圖三 水管逆時針纏繞在扶手上



圖四 水管末端的塑膠袋

- (三) 將添有紅墨水的水倒入水管內，起先先用燒杯倒，等待快接近上升的最高水面時，再改用滴管加入漏斗中，如圖五、圖六。

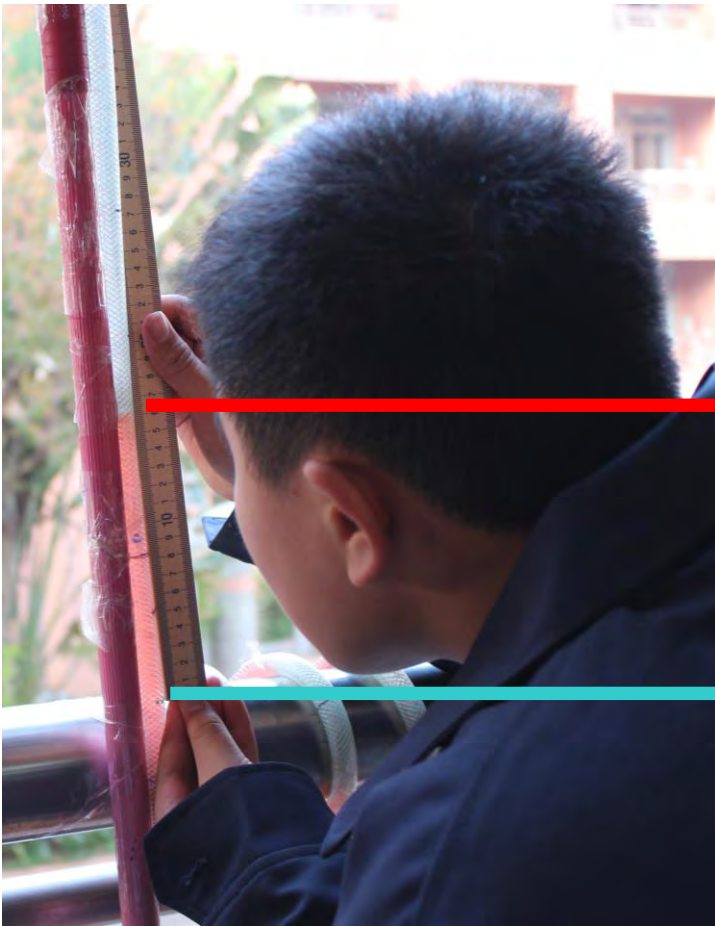


圖五 用燒杯加水到漏斗中



圖六 用滴管加水到漏斗中

(四) 將水管外徑的最上緣，當成水面 = 0，持續加入水後，水面會上升到一定高度後停止，記錄下此時的上升水面高度 h 在表一。



水在水管中，所上升的最高水面高度

將水管外徑的上緣，當成水面起始點(此時的水位高度，也是纏繞一圈時的水位高度)

圖七 量測上升水面高度 h

(五) 將水倒光後，水管繼續緊密纏繞在欄杆上兩圈，重複步驟(三)(四)，並紀錄數值在表一。

(六) 重複測量水管繞三圈、四圈、五圈及六圈的上升水面高度 h ，並測量欄杆的直徑 $F1$ ，紀錄數據在表格一。

說明：由於纏繞圈數 3 圈時，上升水面高度約為圈數從第一圈到第二圈的水面高度差兩倍。因此，以下實驗，水管皆以纏繞圈數 3 圈進行。

二、實驗二 (探討水管纏繞成圓形的直徑，對上升水面高度的影響)

- (一) 要改變水管纏繞物體的直徑，測量對上升水面高度的變化。
- (二) 將活性炭濾網用熱熔膠黏在牆壁的瓷磚上，將裝置如實驗一架設，直接纏繞水管圈數為 3 圈，紀錄上升水面高度 h 及油墨筒的直徑 $F2$ 在表格三。
- (三) 將奶粉罐用熱熔膠黏在牆壁的瓷磚上，將裝置如實驗一架設，直接纏繞水管圈數為 3 圈，紀錄上升水面高度 h 及奶粉罐的直徑 $F3$ 在表格三。



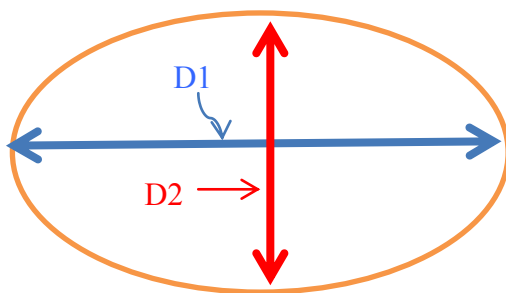
圖八 將活性炭濾網黏在牆壁



圖九 水管纏繞在活性炭濾網上的圖片

三、實驗三 (探討水管纏繞成橢圓型的形狀，對上升水面高度的影響)

- (一) 改變纏繞物為橢圓形狀一，觀察對上升水面高度的影響。



圖十 橢圓一示意圖

1. 將兩個相同的油墨罐，利用熱熔膠黏在牆壁上，排列成圖十的橢圓形一，左右對齊，如圖十四。
2. 把水管纏繞三圈在橢圓柱體上。
3. 將水倒入水管內，當水流過第三圈時，測量其上升水面高度 h 及圖十的 $D1$ 及 $D2$ ，紀錄數據在表格四。

- 將水掉光後，取下水管，再增加油墨罐為三個，改變 $D1$ ，並將水管纏繞三圈成橢圓形，將水倒入水管中，測量上升水面高度 h 及 $D1$ 、 $D2$ ，紀錄於表格四。
- 重複步驟 4，將油墨罐增為四個，測量上升水面高度 h 及 $D1$ 、 $D2$ ，紀錄於表格四。

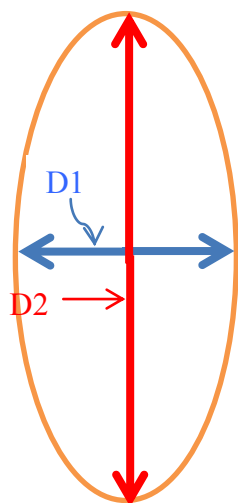


圖十一 用熱熔膠黏油墨罐在牆上



圖十二 水流經橢圓形一的情況

(二) 改變纏繞物為橢圓形狀二，觀察對上升水面高度的影響。



圖十三 橢圓二示意圖

- 將兩個相同的油墨罐，利用熱熔膠黏在牆壁上，排列成圖十三的橢圓形二，上下對齊，如圖十四。
- 把水管纏繞三圈在橢圓柱體上。
- 將水倒入水管內，當水流過第三圈時，測量其上升水面高度 h 及圖十三的 $D1$ 及 $D2$ ，紀錄數據在表格五。
- 將水掉光後，取下水管，再增加油墨罐為三個，改變 $D2$ ，並將水管纏繞三圈成橢圓形，將水倒入水管中，測量上升水面高度 h 及 $D1$ 、 $D2$ ，紀錄於表格五。
- 重複步驟 4，將油墨罐增為四個，測量上升水面高度 h 及 $D1$ 、 $D2$ ，紀錄於表格五。



圖十四 油墨罐上下對齊



圖十五 水流經橢圓形二的情況

四、 實驗四 (探討將水管為折出為波浪型的排列，對上升水面高度的影響)

(一) 將漏斗裝在支架上，以壁磚當成對齊的基準，然後把水管折出波浪狀(如圖十六、圖十七)，折出 3 個波，觀察水面高度的變化。

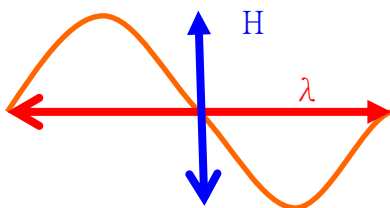


圖十六 折成波浪狀的水管 1



圖十七 折成波浪狀的水管 2

(二) 將水倒入水管內，當水流過第三圈時，測量其上升水面高度 h 及紀錄波長 λ 及高度 H (如圖十八)，記錄在表格六。



圖十八 波浪狀的示意圖

(三) 固定波長 λ ，改變波浪高度 H ，對上升水面高度的影響

1. 將水掉光後，取下水管。
2. 改變高度 H ，並將水管折出三個波浪後，將水倒入水管中。
3. 測量其上升水面高度 h 及紀錄波長 λ 及高度 H ，紀錄於表格六。

(四) 固定高度 H ，改變波浪的波長 λ ，對上升水面高度的影響

1. 將水掉光後，取下水管。
2. 改變波長 λ ，並將水管折出三個波浪後，將水倒入水管中。
3. 測量其上升水面高度 h 及紀錄波長 λ 及高度 H ，紀錄於表格七。

(五) 固定波浪高度 H 及波長 λ ，改變波浪數目 N ，對上升水面高度的影響

1. 將水掉光後，取下水管。
2. 改變波浪數目，並將水管纏繞成波浪後，由一個折到五個，將水倒入水管中。
3. 測量其上升水面高度 h 及紀錄波長 λ 及高度 H ，紀錄於表格八。



圖十九 改變不同波浪數目的水管

五、 實驗五 (探討水管纏繞密度，對上升水面高度的影響)

(一) 將漏斗裝在支架上，然後把水管拉成密度不同的排列方式，如圖二十一。



圖二十 水管緊密纏繞



圖二十一 改變水管纏繞密度

- (二) 將水管纏繞三圈，從原本緊密纏繞，拉成原本長度為 2 倍。
- (三) 將水由漏斗倒入水管中，測量其上升水面高度 h ，紀錄於表格九。
- (四) 將水倒光，纏繞水管成為原本長度的 4 倍，紀錄其上升水面高度 h 於表格九。
- (五) 重複步驟(四)，水管拉為 8 倍。
- (六) 重複步驟(四)，水管拉為 16 倍。

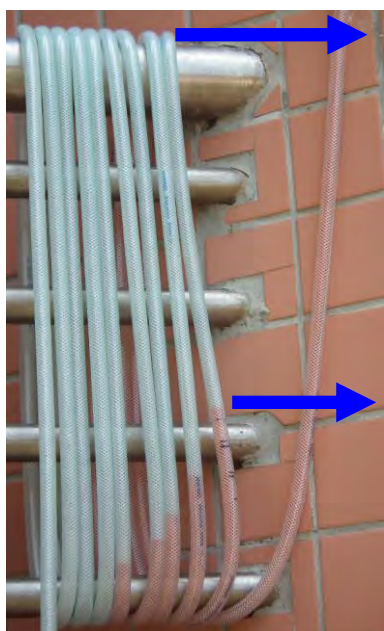
六、實驗六(探討水管內空氣柱，對上升水面高度的影響)

因為考慮到水管纏繞的垂直高度越大，入水口的水位上升會越高，空氣柱的變化也會較明顯，所以我們購買了 25 公尺的瓦斯管，並選定學校一處大樓的壁面來做實驗。

- (一) 將漏斗裝在支架上，架在四樓的走廊欄杆邊，並以膠帶將支架固定住，如圖二十二。然後將 25 公尺長的水管慢慢垂下到一樓處
- (二) 因為風吹水管會搖晃，所以到三樓與二樓的走廊處用膠帶將水管固定在牆壁上，如圖二十三。
- (三) 在一樓處將水管繞在欄杆上，選擇最大的垂直高度，一共繞 8 圈，並讓出水處垂直到水溝，如圖二十四。
- (四) 在四樓水管加水處加紅色的顏料水。
- (五) 在一樓欄杆處觀察並記錄水位上升高度及每多一圈水時第一圈的空氣柱大小及各圈兩端的水位差，並將數據記錄在表格十，如下圖二十五。



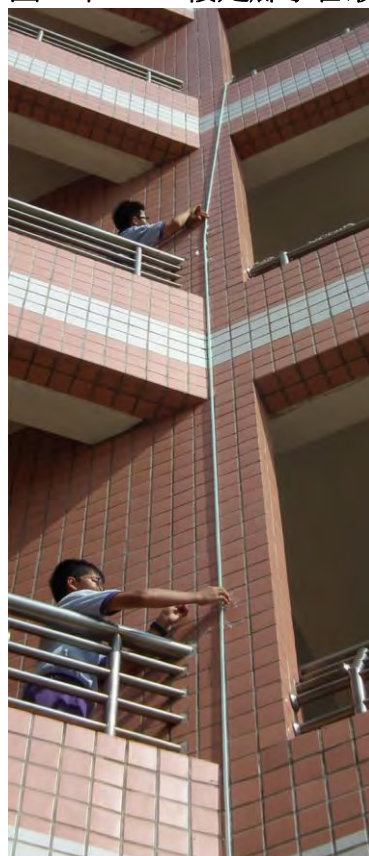
圖二十五 測量水位高與各圈水位差及第一圈氣泡大小



第一圈氣泡大小



圖二十二 四樓走廊水管最上端



圖二十三 固定水管



圖二十四 將水管纏繞在欄杆上

伍、實驗結果

一、實驗一 (探討水管纏繞圈數，對上升水面高度的影響)

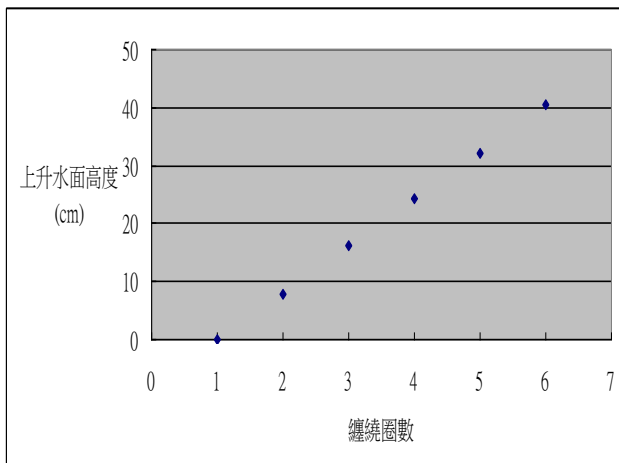
(一) 實驗數據

表格一 (纏繞圈數與上升水位高度)

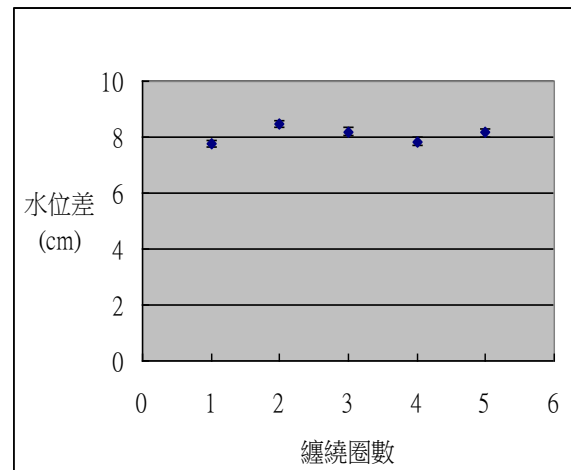
欄杆直徑 F 為 7.65cm	
纏繞圈數 n	上升水位高度 h (單位：cm)
1	0
2	7.75
3	16.20
4	24.40
5	32.25
6	40.40

表格二 (圈數變化與水位高度差)

欄杆直徑 F 為 7.65cm	
纏繞圈數變化	水位高度差 Δh (單位：cm)
1→2	7.75
2→3	8.45
3→4	8.20
4→5	7.85
5→6	8.15



圖二十六 圈數與上升水面高度的關係圖



圖二十七 圈數與水面高度差的關係圖

(二) 結果分析：

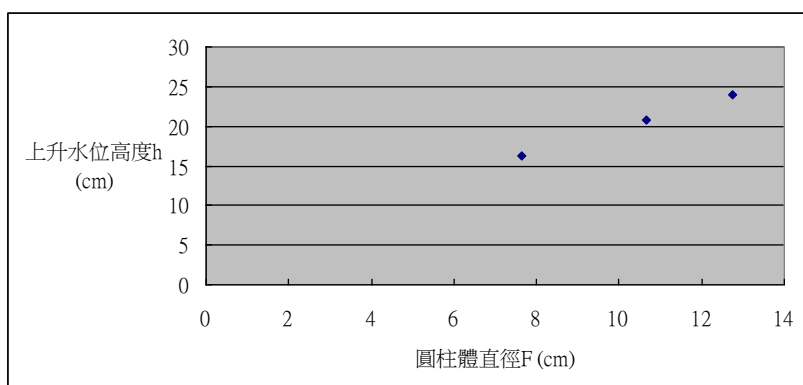
1. 每增加纏繞圈數一圈，上升水面約上升 8.1 cm (上升水面差的平均值)。
2. 由圖二十六可發現，上升水面的變化與纏繞圈數有關，若將第一圈當成 0，則纏繞圈數與上升水面差幾乎成正比關係。
3. 上升水面差的平均值 8.1 cm 與欄杆直徑為 7.65cm 差不多。

二、 實驗二 (探討水管纏繞成圓形的直徑，對上升水面高度的影響)

(一) 實驗數據

表格三 (水管纏繞不同管徑物體對 h 的影響)

纏繞圈數 $n = 3$ 圈	
纏繞圓柱體管徑 F (單位：cm)	上升水面高度 h (單位：cm)
7.65	16.20
10.65	20.70
12.76	23.89



圖二十八 纏繞圓柱體管徑與上升水面高度的關係圖

(二) 結果分析：

1. 不同管徑會影響上升水面高度 h ，纏繞管徑越大，上升水面高度越高。
2. 因為纏繞圈數 3，代表纏繞圈數從第一圈到第三圈，共增加兩圈，上升水面 h 也為水位差 Δh 的 2 倍；上升水面高度 h 大約等於纏繞圓柱體管徑 F 的 2 倍。
3. 纏繞圓柱體管徑 F 與上升水面高度 h 約成正比關係。

三、 實驗三 (探討水管纏繞成橢圓型的形狀，對上升水面高度的影響)

(一) 改變纏繞物為橢圓形狀一，觀察對上升水面高度的影響。

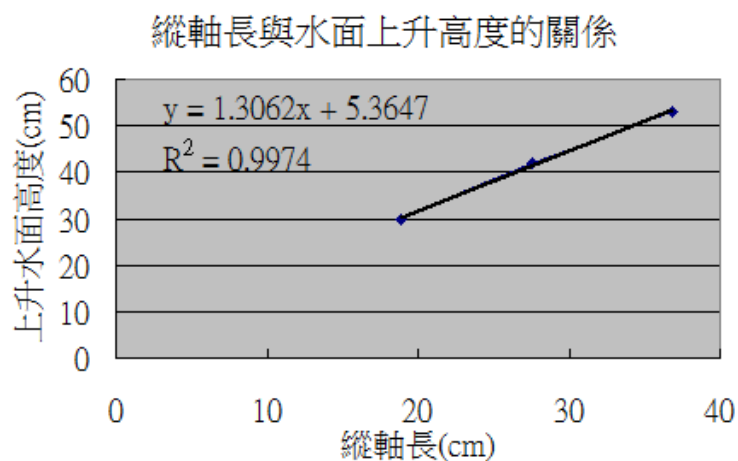
表格四 (橢圓形一中，改變橫軸長 $D1$ ，對上升水面高度的影響)

縱軸長 $D2=13.50$ cm，纏繞圈數 = 3 圈	
橫軸長 $D1$ (單位：cm)	上升水面高度 h (單位：cm)
18.60	21.10
28.15	20.00
35.60	20.00

(二) 改變纏繞物為橢圓形狀二，觀察對上升水面高度的影響。

表格五 (橢圓形二中，改變長軸長 D2，對上升水面高度的影響)

橫軸長 D1=13.5 cm，纏繞圈數 = 3 圈	
縱軸長 D2 (單位：cm)	上升水面高度 h (單位：cm)
18.90	29.70
27.60	42.10
36.80	53.10



圖二十九 上升水面高度與橢圓縱軸長的關係圖

結論：上升水面高度與橢圓縱軸長 D2 有關，但是橢圓橫軸長 D1 幾乎沒關聯性。

四、實驗四 (探討將水管為纏繞為波浪型的排列，對上升水面高度的影響)

(一) 固定波長 λ ，改變波浪高度 H ，對上升水面高度的影響

表格六 (固定波長 λ ，改變波浪高度 H ，對上升水面高度的影響)

固定波長 $\lambda=22.20\text{cm}$ ，纏繞圈數 = 3 圈	
高度 H (cm)	上升水面高度 h (單位：cm)
9.80	17.30
20.60	35.60
31.50	45.30

(二) 固定高度 H ，改變波浪的波長 λ ，對上升水面高度的影響

表格七 (固定高度 H ，改變波浪的波長 λ ，對上升水面高度的影響)

固定高度 $H=9.80\text{cm}$ ，纏繞圈數 = 3 圈	
波長 λ (cm)	上升水面高度 h (單位：cm)
22.20	17.30
33.50	15.60
44.30	16.10

(三) 固定波浪高度 H 及波長 λ ，改變波浪數目 N ，對上升水面高度的影響

表格八 (固定波浪高度 H 及波長 λ ，改變圈數，對上升水面高度的影響)

固定波長 $\lambda=9.80\text{cm}$ ，高度 $H=9.80\text{cm}$	
纏繞圈數	上升水面高度 h (單位：cm)
1	0
2	9.25
3	17.30
4	26.30
5	34.20

結論：1. 改變波浪高度 H ，會使上升水面高度 h 增加，但是並非成正比關係。

2. 改變波浪波長 λ ，對上升水面高度 h 的影響並不大。

3. 改變波浪數目後，可以發現若第一個波浪當成 0，則波浪數目會與和上升水面高度 H 成正比的關係。

五、實驗五 (探討水管纏繞密度，對上升水面高度的影響)

表格九 (改變水管纏繞密度，對上升水面高度的影響)

水管纏繞密度 D	上升水面高度 h (單位：cm)
1	16.20
0.5	16.00
0.25	16.15
0.125	16.70
0.0625	16.50

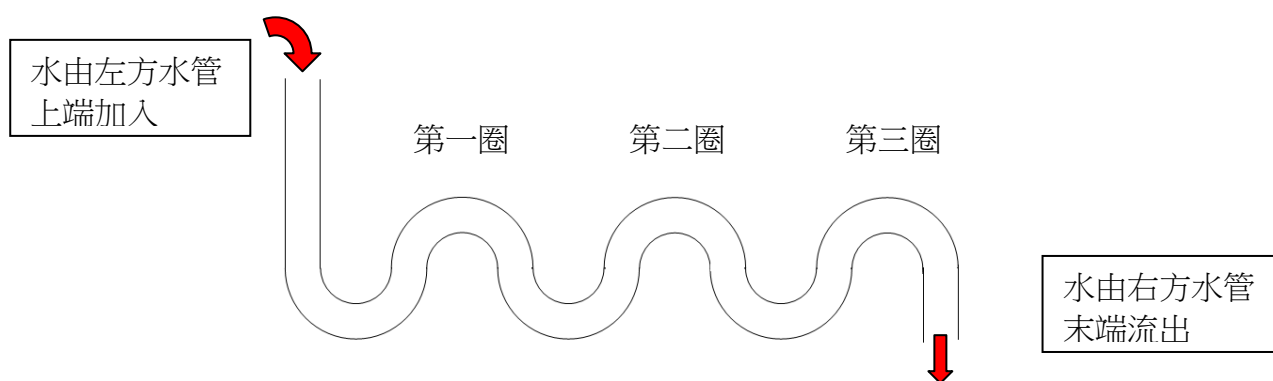
結論：改變水管纏繞密度，從一倍的水平長度到拉為 16 倍的水平長度，對上升水面高度 h 幾乎也沒有影響。

六、實驗六(探討水管內空氣柱的體積與壓力的關係)

為了探討水管中的空氣柱與上升水面高度的關係。因此，我們必須要能得到空氣柱內的氣壓數值，並符合波以耳定律 (PV 在定溫、定量下為定值)。

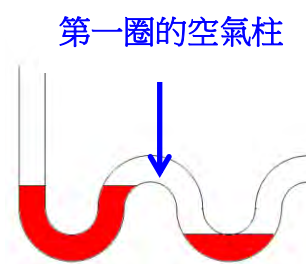
(一) 探討空氣柱的壓力

1. 先將纏繞在圓柱體的水管，以展開在平面的方式呈現，如圖三十，左方為加水進入的位置，右方為纏繞的三圈水管。



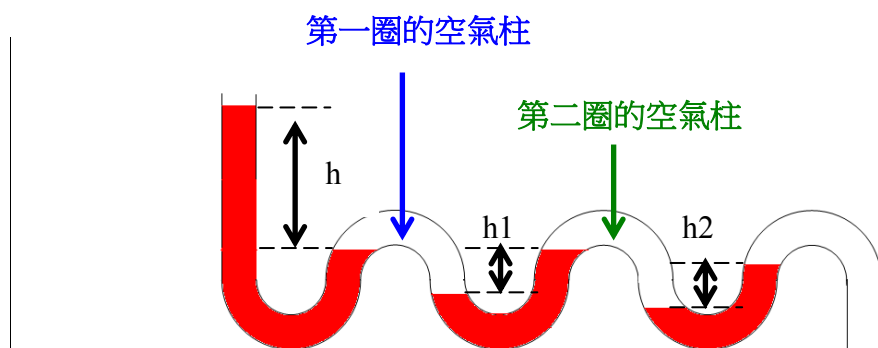
圖三十 水管展開示意圖

2. 當水經過第一圈的最高點後，會累積在第二圈的底部，如圖三十一，此時第一圈水管因為末端被水堵住，形成密閉空間，所以最左方鉛直水管的最高水面水位會開始累積。



圖三十一 封閉空間產生空氣柱

3. 以纏繞三圈的水管為例，會形成兩個封閉空間，由於水管的兩端都是開口，第二圈空氣柱內的壓力為一大氣壓再加上 h_2 的水壓；以此類推，第一圈的空氣柱壓力為第二圈的空氣柱壓力再加上 h_1 的水壓，如圖三十二所示。



圖三十二 纏繞三圈水管的空氣柱情況

4. 推導水管纏繞為 N 圈時，第一圈的空氣柱壓力 P
 (假設大氣壓力為 1033.6 gw/cm^2 ，液壓 = 液體高位差 $\times$ 液體密度)

纏繞 2 圈 $P = 1033.6 + h_1$

纏繞 3 圈 $P = 1033.6 + h_1 + h_2$

纏繞 4 圈 $P = 1033.6 + h_1 + h_2 + h_3$

.....

纏繞 N 圈 $P = 1033.6 + h_1 + h_2 + \dots + h_{N-1}$

5. 表格十為在不同的纏繞圈數下，水位差與空氣柱壓力的數據。

表格十 (不同纏繞圈數中，水管內空氣柱的體積與水面高度差)

水管纏繞圈數	上升水面高度 h (單位：cm)	第一圈空氣柱長度 (單位：cm)	h_1 (單位：cm)	h_2 (單位：cm)	h_3 (單位：cm)	h_4 (單位：cm)	h_5 (單位：cm)
2	37.80	53.80	37.90				
3	101.60	50.20	45.60	54.00			
4	153.60	47.70	42.60	50.60	58.80		
5	196.90	45.90	41.20	48.30	52.10	53.00	
6	242.10	44.60	39.60	45.80	49.60	52.40	52.30

6. 將第一圈空氣柱在不同纏繞圈數時，左端水壓所造成的空氣柱壓力及計算出的右端水壓，填在表格十一。

表格十一 (改變水管纏繞圈數，探討第一圈空氣柱在左右兩端的液體壓力)

水管纏繞圈數	左端水壓造成的空氣柱壓力 (單位：gw/cm ²)	右端水壓造成的空氣柱壓力 (單位：gw/cm ²)
2	37.80	37.90
3	101.60	99.60
4	153.60	152.00
5	196.90	194.60
6	242.10	239.70

結論：不同纏繞圈數下，第一圈空氣柱的左端水壓與右端水壓大致相等。

(二) 探討空氣柱體積與壓力的關係

由於，第一圈空氣柱因為是密閉空間，在溫度、空氣分子數量不變的情況下，是否符合波以耳定律(也就是 PV 為定值)。所以，我們將第一圈空氣柱的壓力以上升水位高度加上一大氣壓表示，而水管直徑為 0.98 cm，截面積為 0.75 cm²，計算出空氣柱體積，將水管纏繞圈數由 2 到 6 圈的結果記錄在表格十二。

表格十二 (改變水管纏繞圈數，探討第一圈空氣柱的體積與壓力的關係)

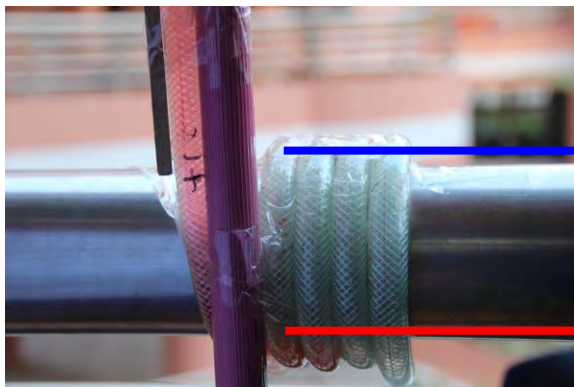
水管纏繞圈數 N	空氣柱的氣壓與體積的乘積 PV (單位：gw • cm)
2	43456.60
3	42963.33
4	42693.73
5	42581.03
6	42894.86
平均 $PV = 42917.91$ (gw • cm) 標準差 = 337.83 (gw • cm) 誤差(%) = 0.79 %	

結論：(1) 當上升水位增加，則第一圈空氣柱的體積就會減小，但是氣壓會增加。

(2) 不同纏繞圈數下，第一圈空氣柱的體積與壓力乘積為定值，符合波以耳定律。

陸、討論

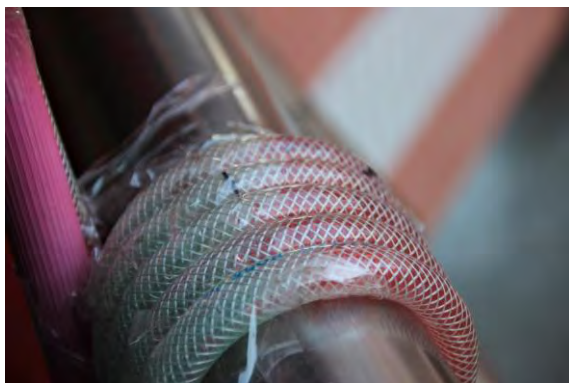
- 一、實驗一開始，我們所選擇的為市面上常見的水管，但在實驗過程中，一旦將水管纏繞在圓狀物體上時，可以明顯觀察到水管因為擠壓而變形，每次測量後水管也無法恢復到原本狀態，因此，才將水管改用硬度較佳、恢復性更好的瓦斯管來進行實驗，才改善此問題。
- 二、實驗進行中，因為自來水在瓦斯管中不容易辨識，因此加入數滴紅墨水，以方便觀察。但是，卻發現每次測量上升水面高度時，所紀錄的數值卻都不相同，經過觀察，發現是因為在瓦斯管末端，綁了原本要收集流出紅墨水的塑膠袋，但因為在倒水後，形成密閉空間，因此氣體壓力影響到實驗結果，結果，在塑膠袋上方剪出一開口後，使水管與外界大氣能相通，便解決了這個問題。
- 三、將水從漏斗倒水到水管，水會由下方開始累積到一定高度，接下來會往下流，水會累積在水管一側，接下在水管另一側會產生空氣柱(圖三十三)，而且每一圈的空氣柱體積似乎不同，如圖三十四、圖三十五。



水管第一圈的空氣柱起始位置

水管第一圈的空氣柱結束位置

圖三十三 水管中的空氣柱位置

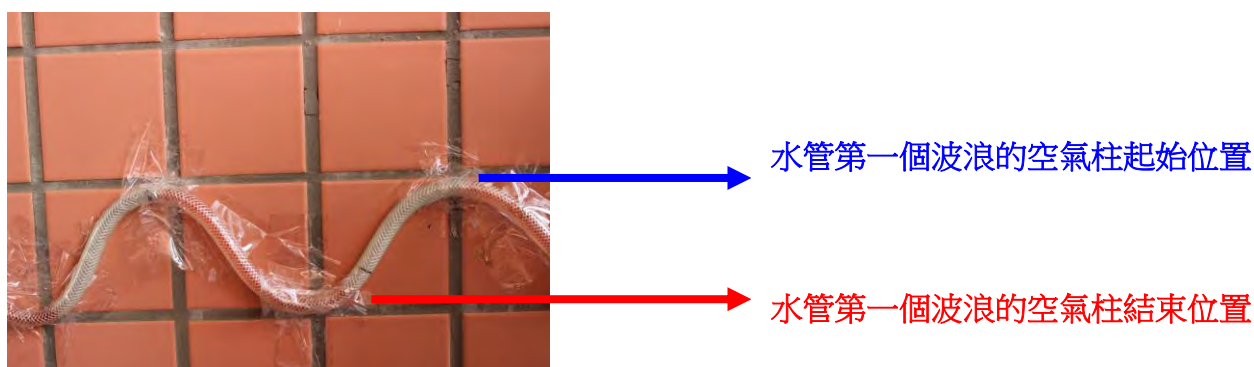


圖三十四 空氣柱位置的俯視圖



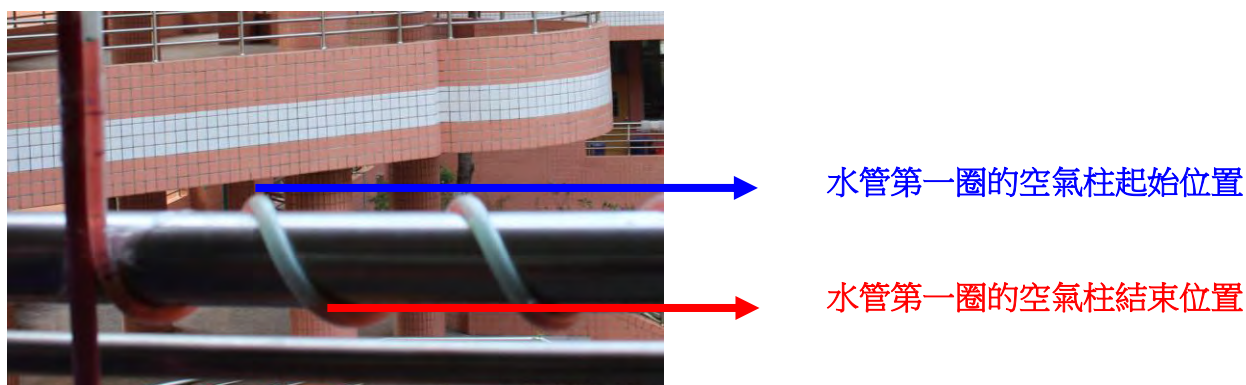
圖三十五 空氣柱位置的仰視圖

- 四、 將水管折成波浪狀，一樣會產生空氣柱，如圖三十六，由每一個波浪的波峰到波谷(水由圖的右方倒入)，每一個波浪所累積的空氣柱情況。



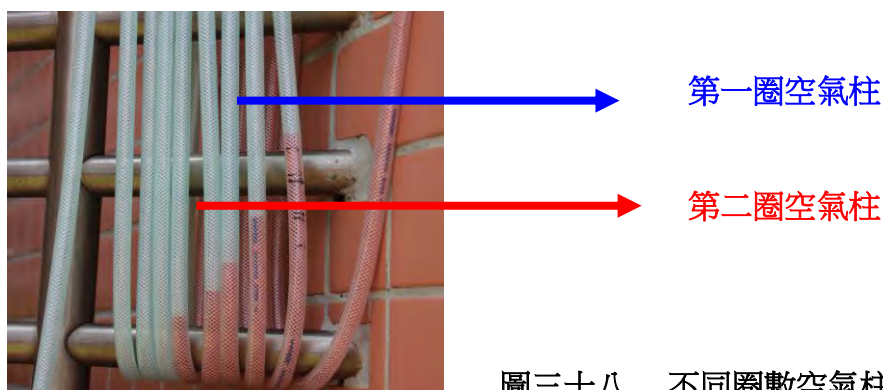
圖三十六 波浪型水管的空氣柱位置

- 五、 將水管纏繞密度改變，發現雖然空氣柱體積增加，但發現上升水面高度仍然與緊密纏繞的結果一樣，都與所纏繞的圓柱體直徑有關係，如圖三十七。



圖三十七 繞圈的空氣柱位置

- 六、 此實驗在倒水到水管時，不能倒太快，否則會產生虹吸現象，而使倒入水管內的水，一下子就從水管末端流出，一點不留。
- 七、 在實驗六中，因為纏繞的物體垂直高度夠高，所以，可以清楚看見每一圈的空氣柱大小體積不同(圖的右方為加水進入的位置)，越後面形成的空氣柱體積會越大，如圖三十八。此結果與實驗一所觀察到的空氣柱體積大小變化情況相似，會導致此結果的原因是，實驗六纏繞物體的垂直高度較大，所以空氣柱體積變化會較明顯。



圖三十八 不同圈數空氣柱的體積變化

柒、結論

- 一、從實驗一可以得知，纏繞圈數越多，上升水面高度越高；纏繞圈數每增加一圈，上升水面將多增加一個纏繞圓柱的直徑長度。
- 二、從實驗二可以得知，纏繞圓柱的直徑與每多一圈所增加的水面差成正比關係。
- 三、從實驗三可以得知：
 - (一) 上升水面高度與橢圓縱軸長 D_2 有關。
 - (二) 上升水面高度與橢圓橫軸長 D_1 沒關係。
- 四、從實驗四可以得知：
 - (一) 改變波浪高度 H ，會使上升水面高度 h 增加。
 - (二) 改變波浪波長 λ ，對上升水面高度 h 的影響並不大。
 - (三) 波浪數目會與上升水面高度 h 成正比的關係
- 五、從實驗五可以得知，水管纏繞密度並不會明顯影響上升水面高度。
- 六、從實驗六可以得知
 - (一) 封閉空間內的空氣柱壓力增加，會導致上升水面高度增加，結果符合液體壓力推導出的結果。
 - (二) 封閉空間內的空氣柱壓力與體積乘積為定值，符合波以耳定律。
- 七、若纏繞的物體垂直高度夠高或纏繞的圈數夠多，則空氣柱會有足夠的氣體壓力，抵抗從上方加入的水，所造成的水壓，因此的確會造成水流不出去的現象。

捌、參考資料

- 一、郭重吉等編著(民國 101 年)，自然與生活科技 2 上(P.64 ~ P.68)，南一出版。
- 二、郭重吉等編著(民國 101 年)，自然與生活科技 2 下(P.116 ~ P.175)，南一出版。
- 三、物理馬戲團(2000 年)，沃克著，天下文化出版社。

【評語】 030103

能從日常生活中觀察，再詳入研究是本件特色，但無創新設計較為可惜，入水方式未能以機器操作來達到客觀的比較標準，較無說服力，對空氣柱的成因，應再詳加探討，對實際應用方面應再多著墨，本件若能與血管連接，更顯實用價值。