

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

第三名

080103

水與空氣的相撲大賽-旋轉彎管對水面升降的影響

學校名稱：臺北市松山區民生國民小學

作者： 小五 王 昊 小五 蘇婕琪 小五 徐常博 小五 劉聿恩	指導老師： 黃耀陞
---	--------------

關鍵詞：啟動虹吸管實驗、白努力定律、圓周運動

## 摘要

本研究是從改良虹吸管實驗將水引出的使用習慣出發，進一步探討旋轉彎管對管內水面升降的影響。

首先在研究 1 和 2 中發現在空氣中旋轉管子後，管內水面上升，旋轉愈快及旋轉半徑愈大，水面上升愈高。在研究過程中，意外發現管內水面有時不升反降。因而設計研究 3，直接將管子上下顛倒，改由在水中旋轉，管子轉愈快及旋轉半徑大，管內水面下降愈大，且變化幅度比研究 2 明顯。甚至可將空氣引入水中，增加水中含氧量達 18%。

最後研究 4 中發現傾斜彎管其傾斜角度愈大、彎管鉛垂向下且出水口端低於水面時，當旋轉後，最能啟動虹吸管減少抽水時間，外管愈長抽水愈快。值得一提的是彎管並非在旋轉半徑大時抽水最佳，此與前三個研究結論顯然不同。



圖 1 自製儀器圖

## 壹、研究動機

在康軒自然與生活科技四下第二章活動 2，進行課本傳統的虹吸管實驗時，一般需要先把管子裝滿液體，或用嘴巴吸出，才能順利完成實驗，但如果液體不安全或管子不乾淨，則此動作並不適當。我們思考能不能有一個更安全的新方法來啟動虹吸管實驗。

實驗中發現當移動水中管子時，管內水面有下降的現象。這種管內水面上上下下的變化讓我們感到好奇。

## 貳、研究目的

- 一、嘗試改良一般課本中**啟動**虹吸管實驗的使用習慣，避免直接接觸液體。
  - (一)研究 1-1 甩動一條水管，探討轉速對管內水面上升高度的影響。
  - (二)研究 1-2 甩動一條水管，探討旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。
- 二、希望更精準探討研究 1 的數據關係。我們利用馬達帶動，探討在空氣中旋轉管子後對管內水面的影響。
  - (一)研究 2-1 探討管子旋轉轉速對管內水面上升高度的影響。
  - (二)研究 2-2 探討管子的旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。
- 三、在研究 2 實驗過程中，意外發現馬達軸心若傾斜晃動，**實驗現象完全顛倒**，管內的水居然往下降。進一步設計研究，大膽嘗試將研究 2 的**管子直接顛倒**，變成管子在水中旋轉，進行研究 3 實驗，探討管子在水中旋轉後管內水面下降的情況。
  - (一)研究 3-1 探討旋轉轉速對管內水面下降的影響。
  - (二)研究 3-2 探討水中旋轉半徑對管內水面下降的影響。
  - (三)研究 3-3 運用上面的研究，將空氣引入水中，增加水中含氧量。
- 四、改良研究 1、2，希望能在**低轉速及較小的旋轉半徑**下，更容易啟動虹吸管實驗，減少抽水時間。
  - (一)研究 4-1 探討直管傾斜角度對管口噴出水來所需旋轉轉速的影響。
  - (二)研究 4-2 探討管子彎管處角度對抽水所需時間的影響。
  - (三)研究 4-3 探討虹吸管外管長度對抽水所需時間的影響。

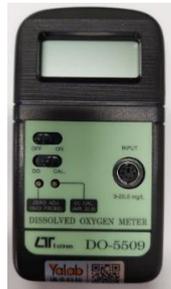
## 參、研究設備及器材

電動鑽孔機(螺絲起子)	L 型與 T 型接頭	電腦繪圖軟體與小畫家軟體
研磨機	透明水管(建材行購買)	電腦 excel 軟體
電源供應器 3 款	塑膠透明軟管、黃色橡膠管	電腦圖片播放軟體
電風扇馬達 1 個	壓克力管	安全護目鏡
直流馬達 4 個(轉速不同)	壓克力板	水桶

相機(高速連拍)	自製壓克力桶	矽利康
手機相機(高速連拍)	鐵架	尺、剪刀、膠帶
DT-2233A 光電式數字轉速計	木材質圓柱	電線、螺絲
DO-5509 溶氧計	超長硬吸管(文具店購買)	L 型玻璃管



轉速計



溶氧計



數位式直流電源供應器

圖 2 重要儀器圖

## 肆、研究過程或方法

一、我們嘗試改良自然課本中啟動虹吸管實驗的使用習慣，首先將一條透明塑膠管一端放入裝水的桶子中，管內不需事先裝水。手握管子甩動水管(如圖 3)，觀察水管內水面的變化情形，發現水有往上升的現象。



圖 3 手握管子甩動水管

(一)研究 1-1 甩動一條長水管，研究上方水管的轉速對管內水面的影響。

- 1.去建材行購買一條長 200.0 公分的透明塑膠管。
- 2.將水管一端放入水桶中，此時並不用事先在管子內裝水。
- 3.握住離另一管口 100.0 公分處。先慢慢甩動水管。
- 4.盡量保持平穩甩動水管，測量管內水面上升的高度，並用轉速計多次測量轉速。
- 5.接著慢慢增加甩動的轉速，並記錄水管內水面上升的高度及轉速(測量 5 次取平均值)。

## (二)研究 1-2 甩動一條水管，研究水管旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。

- 1.準備一條 200.0 公分的透明塑膠管。將管一端放入桶中，並不用事先在管內裝水。
- 2.握住離管口處 75.0 公分處。盡量保持甩動水管平穩的轉速約 30(轉/分)，並測量水管內水面上升的高度(測量 5 次取平均值)。
- 3.接著改變甩動水管的旋轉半徑為 80.0 公分、85.0 公分、90.0 公分、100.0 公分及 110.0 公分(如圖 4)，過程中盡量保持平穩的轉速約為 30(轉/分)，並記錄旋轉時水管內水面上升的高度(測量 5 次取平均值)。

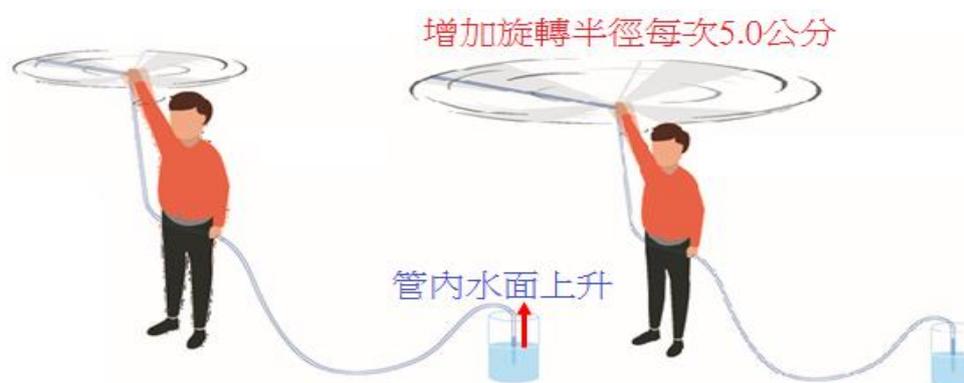


圖 4 改變甩動水管的旋轉半徑實驗示意圖

在進行研究 1 的過程中，可以明顯觀察到甩動水管時管內水面上升的情形。雖然我們盡力了，但數據不穩定。因此進行研究 2 的探討，期望得到更可信的數據與關係。

## 二、研究 2 探究在空氣中旋轉管子後管內水面的變化

### (一)研究 2-1 探討管子轉速對管內水面上升高度的影響

#### 1.第 1 代研究儀器

- (1)將家裡的電風扇馬達拆下(如圖 5)，研究示意圖如第 5 頁圖 6 所示。



圖 5 將家裡的電風扇馬達拆下，當成研究 2 的第 1 代馬達

- (2)啟動馬達，測量管內水面上升的高度。接著利用原先電風扇強中弱的開關，改變馬達轉速，再次測量管內水面上升的高度。



圖 6 研究 2 的第 1 代儀器實驗圖

**優點：**電風扇馬達轉速快，垂直管內水面上升，甚至由上方吸管處噴出。(讓我們很驚訝)

**缺點：**電風扇馬達轉速不易控制，實驗數據不穩定。進行下面第 2 代儀器的改良。

## 2. 第 2 代研究儀器

在電子材料行及網路上尋找數個直流馬達(如圖 7 所示)，並尋找數種可調電壓的直流電源供應器(如圖 8 所示)。馬達、鐵架與吸管相關位置實驗關係圖如第 6 頁圖 9 所示。

<p>直流馬達</p>	
<p>圖 7 數個直流馬達</p>	
<p>可調電壓的直流電源供應器</p>	
<p>圖 8 可調式電源供應器</p>	

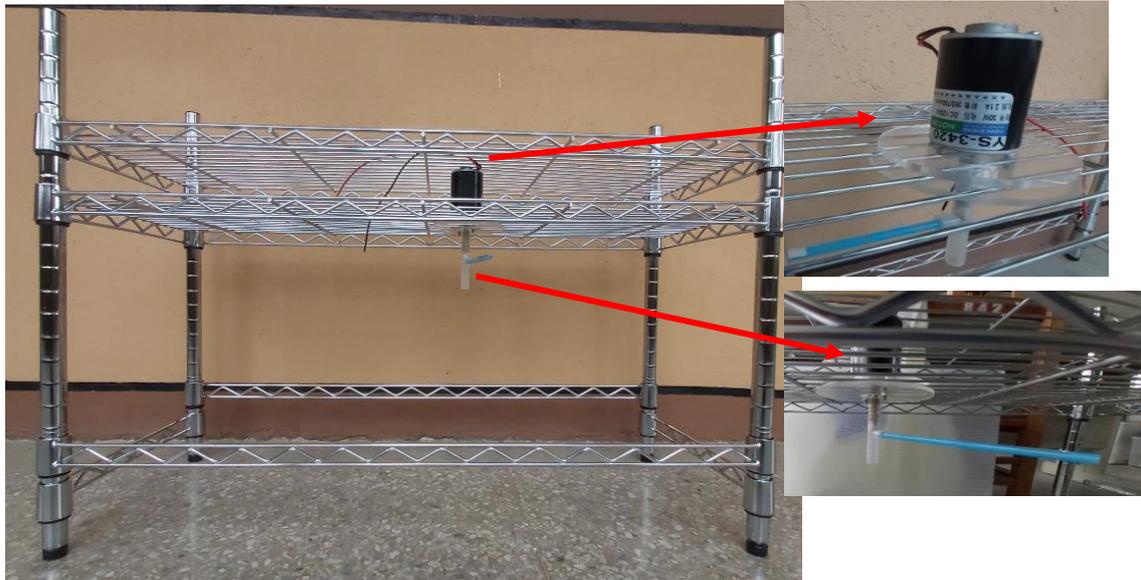


圖 9 馬達、鐵架與吸管相關位置實驗關係

研究 2-1 實驗步驟：

- (1)實驗示意圖裝置如圖 10 所示。
- (2)上方是在文具店買的藍色長吸管(比一般吸管硬，不易變形)，旋轉半徑維持 36.2cm。
- (3)利用可調式電源供應器控制馬達轉速，並用轉速計測量轉速。
- (4)利用相機高速連拍及手機超慢動作攝影的功能，拍攝垂直管內水面上升的高度。
- (5)將拍攝的照片匯入電腦小畫家軟體，讀取實驗數據(測量 5 次取平均值)。
- (6)微調馬達輸入的電壓，改變馬達轉速。
- (7)分析轉速與管內水面上升高度的關係。

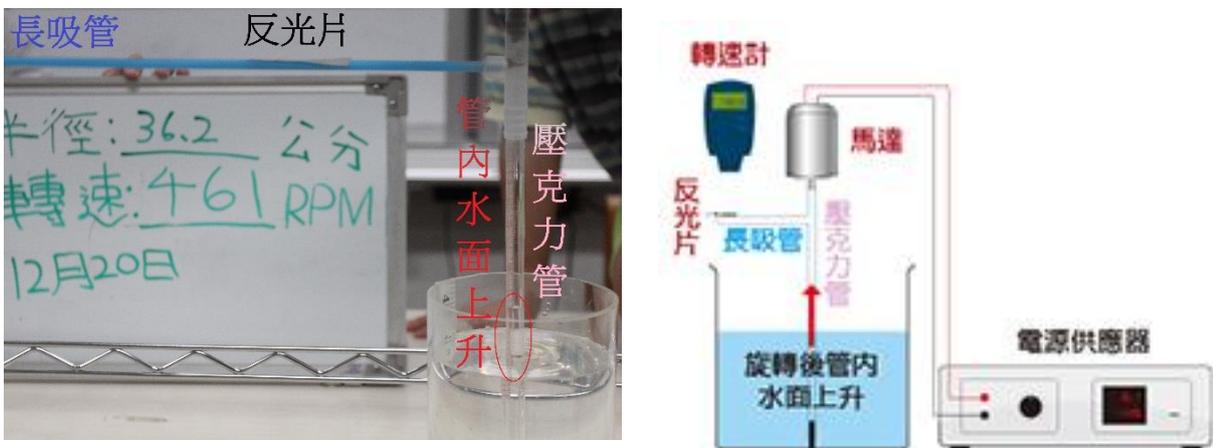


圖 10 研究 2 實驗示意關係圖

## (二)研究 2-2 探討在空氣中旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。

- 1.實驗裝置如第 6 頁圖 10 所示。
- 2.利用可調式電源供應器控制馬達轉速維持 500(轉/分)。
- 3.上方長吸管的旋轉半徑 36.2 公分。
- 4.利用相機高速連拍及手機超慢動作攝影的功能，拍攝管內水面上升的高度。
- 5.將拍攝的照片匯入電腦小畫家軟體，讀取實驗數據(測量 5 次取平均值)。
- 6.利用剪刀剪下一小段吸管長度，以改變旋轉半徑(如圖 11)。旋轉半徑依序為 34.0 公分、33.0 公分、30.9 公分、27.7 公分、24.0 公分、22.0 公分及 18.0 公分。
- 7.分析旋轉半徑與管內水面上升高度的關係。

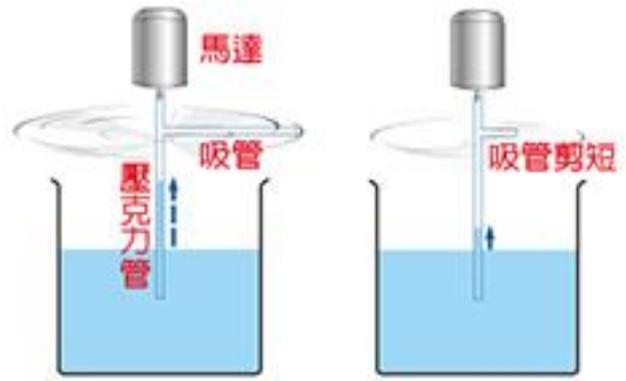


圖 11 用剪刀剪去吸管長度，改變旋轉半徑

### 意外的發現：

在使用第 1 代馬達實驗過程中，意外發現馬達軸心若傾斜(如圖 12)，有趣的是實驗現象完全顛倒，與原先的期望互相矛盾，管內的水居然往下降，引起我們進一步進行研究 3 探討的樂趣。

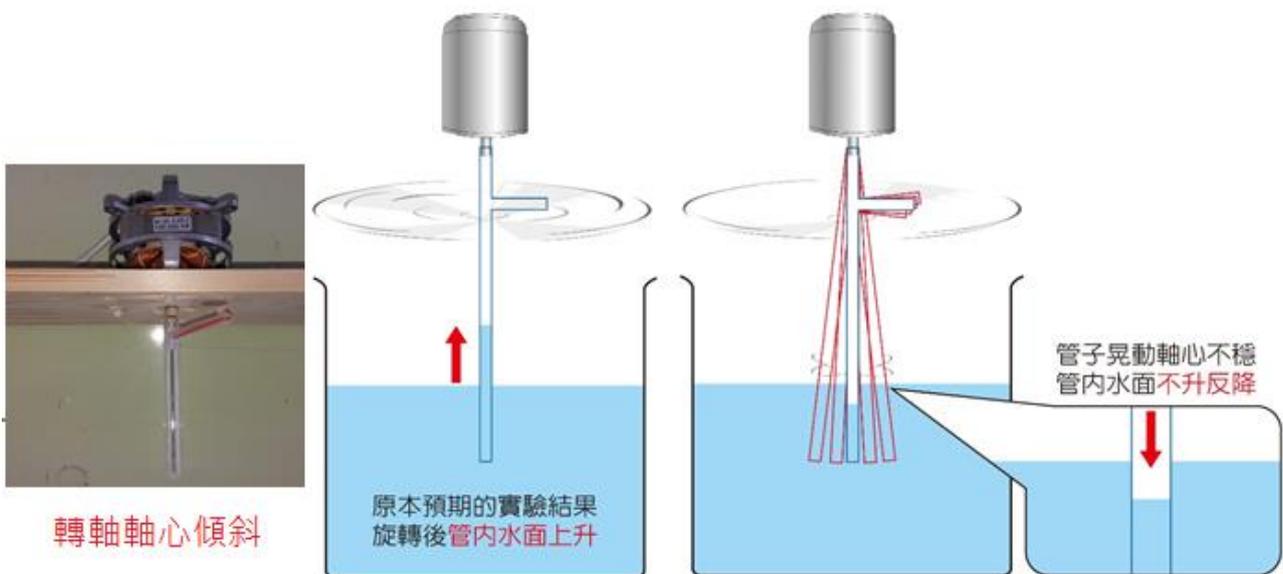


圖 12 轉軸軸心傾斜

大膽嘗試將研究 2 的管子**直接顛倒**(如圖 13)，變成管子在水中旋轉。

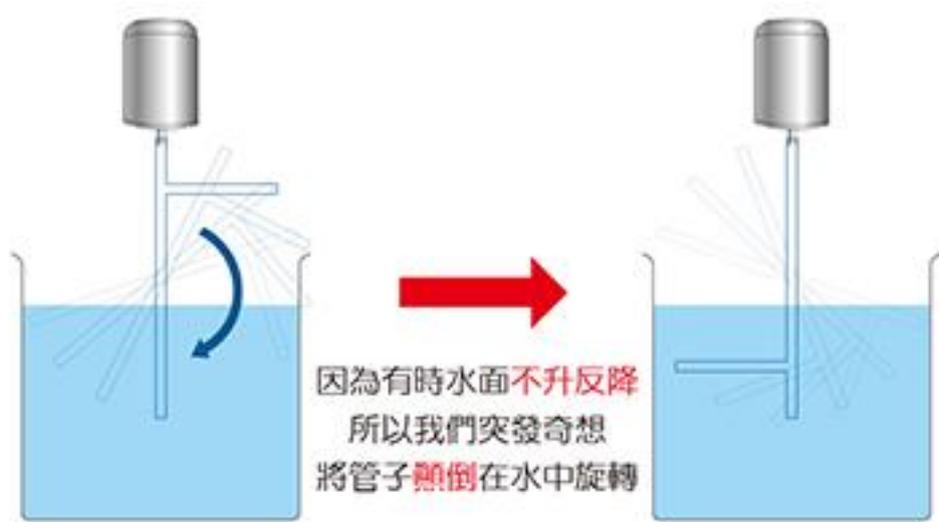


圖 13 本來在空氣中旋轉，改為在水中旋轉，探討管內的水面變化

三、研究 3 探討在水中旋轉管子後對管內水面的影響。

(一)研究 3-1 探討在水中管子的旋轉轉速，對管內水面下降的影響。

1.實驗儀器製作過程如圖 14、15、16 及 17。

2.實際裝置如第 9 頁圖 18 所示，示意圖如第 9 頁圖 19。(特別說明：壓克力管上方有 2 個空氣入口)



圖 14 利用砂紙磨平壓克力管口

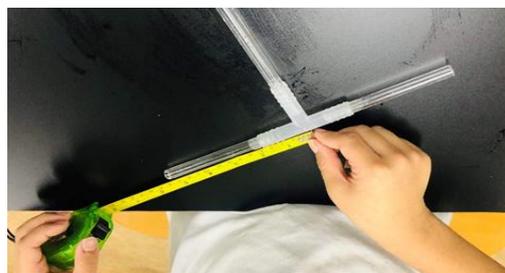


圖 16 測量旋轉半徑



圖 15 利用小型鑽孔機研磨  
壓克力管能與馬達轉軸軸心連接



圖 17 轉軸示意圖

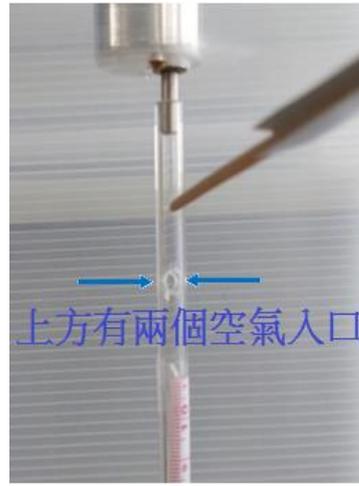


圖 18 實驗儀器圖

- 3.水面下方壓克力管子旋轉半徑維持 8.5 公分。
- 4.利用可調式電源供應器控制馬達轉速，並用轉速計測量轉速。
- 5.利用相機高速連拍及手機超慢動作攝影的功能，拍攝管內外水面高度的落差。
- 6.將拍攝的照片匯入小畫家軟體，讀取實驗數據。
- 7.接著微調輸入的電壓，加快馬達轉速。記錄水中管子轉速及管內外的水面落差高度(測量 5 次取平均值)。
- 8.利用電腦 excel 分析旋轉轉速對管內水面下降的影響。

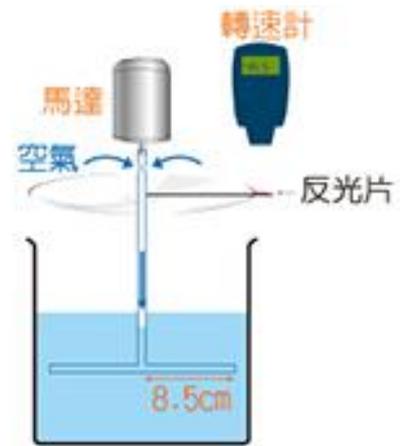


圖 19 實驗儀器示意圖

## (二)研究 3-2 探討在水中管子的旋轉半徑對管內水面下降的影響。

- 1.研究儀器示意圖如第 10 頁圖 20 所示。
- 2.利用可調式電源供應器控制馬達轉速維持在 84.3(轉/分)。旋轉半徑為 5.0 公分。
- 3.利用相機高速連拍及手機超慢動作攝影的功能，拍攝垂直管內外水面高度的落差。
- 4.將拍攝的照片匯入電腦小畫家軟體，讀取實驗數據(測量 5 次取平均值)。
- 5.接著分別**改變旋轉半徑**(示意圖如第 10 頁圖 20)。旋轉半徑依序為 6.3 公分、8.0 公分、9.0 公分及 10.0 公分(如第 10 頁圖 21)，重覆步驟 2~4。
- 6.利用電腦 excel 分析旋轉半徑對管內水面下降的影響。

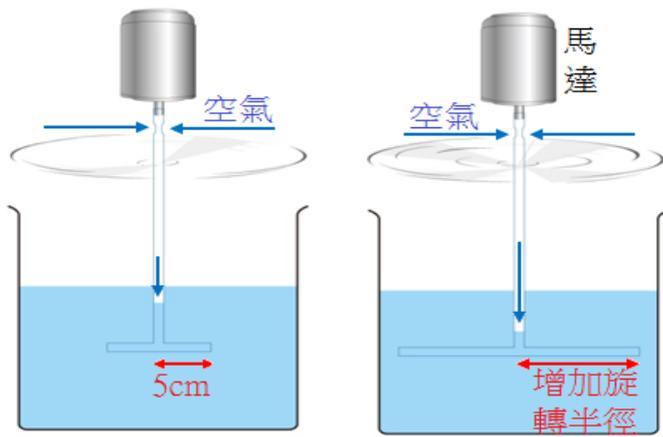


圖 20 改變在水中的旋轉半徑

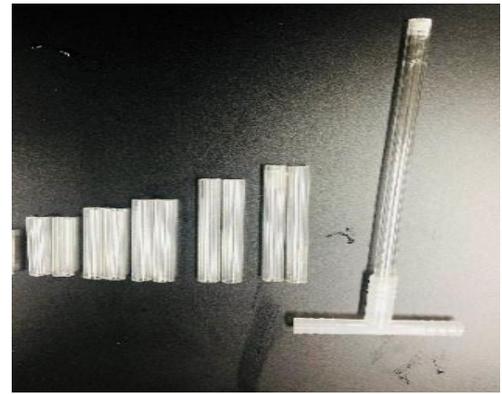


圖 21 不同旋轉半徑的壓克力管

(三)研究 3-3 在水中旋轉管子後，將外面的空氣引入容器內下層水中，增加水中含氧量。

一般有人利用水族箱氣泡細化器直接打氣或魚塢水車曝氣等方法來增加水中的含氧量。我們希望嘗試一種新的方法，增加水中含氧量。

研究 3-3 步驟：

- 1.裝置示意圖如圖 22 所示。
- 2.校正 DO-5509 溶氧計。
- 3.先利用 DO-5509 溶氧計，測量水中原本的含氧量。
- 4.開啟可調式電源供應器電源，快速調整電壓使垂直壓克力管內的水面下降，直到空氣能進入下層水中(如圖 23 所示)。馬達持續運轉 1 分鐘後，關掉電源停止旋轉。
- 5.利用 DO-5509 溶氧計，測量水中氧量。過程中錄下溶氧計的變化數據，並利用電腦軟體播放，每 0.01 秒讀取一個數據，直到水中含氧量無明顯變化。
- 6.利用 excel 軟體分析水中含氧量的變化曲線。

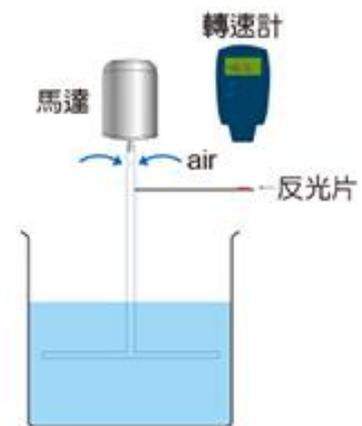


圖 22 實驗儀器示意圖



圖 23 加快馬達轉速，將空氣引入水中。

#### 四、研究 4：希望能在低轉速及較小的旋轉半徑下，更容易啟動虹吸管實驗抽水。

在研究 1 和 2 中有個缺點，就是需在較大旋轉半徑或極高的轉速下才能使管內的水面往上升，為解決這個問題，所以接下來嘗試進行研究 4。

首先我們先試著利用一支 L 型的玻璃管將研究 2 的儀器(如圖 24)，改成如圖 25 所示。

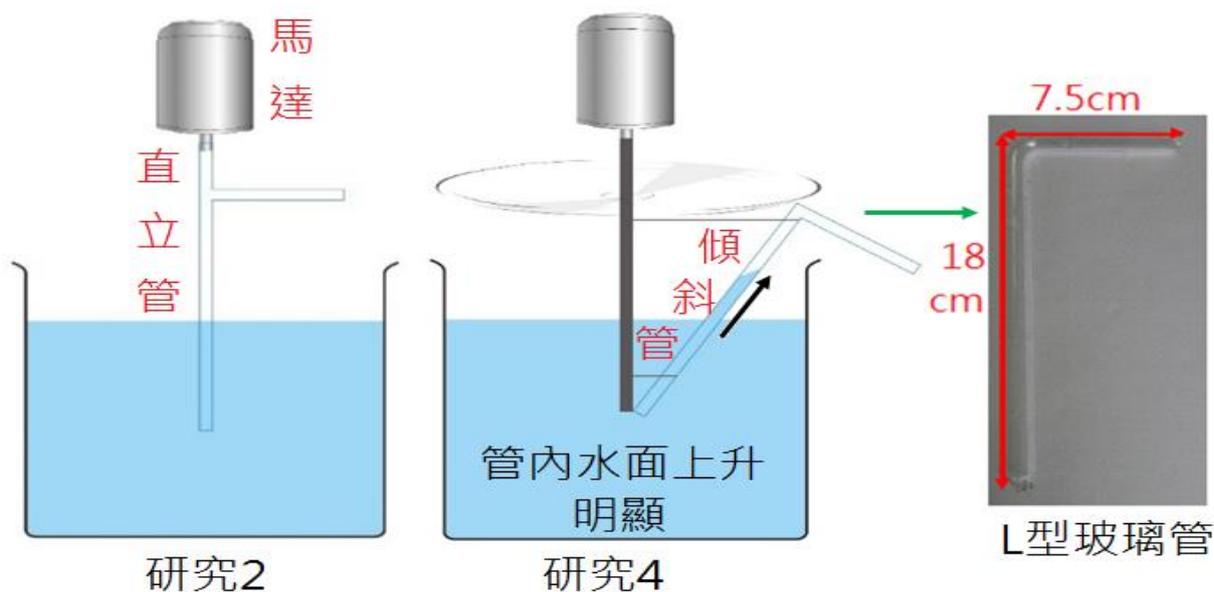


圖 24 改良前儀器圖

圖 25 改良後儀器初步圖形

驚人的發現，馬達在轉速 68.7 轉/分(較低轉速)斜管內水面便能明顯上升 3 公分(如圖 26)。在轉速 93.4 轉/分(如圖 27)，斜管內水面便能明顯上升 10 公分，並於管口端噴水。



轉速計轉速  
68.7 轉/分

圖 26 低轉速下管內水面上升 3cm



轉速計轉速  
93.4 轉/分

圖 27 管內水面上升 10cm，並噴出水柱。

於是我們設計①傾斜角度、②彎管角度及③外管長度探討(如圖 28)。

(一)研究 4-1 探討管子傾斜角度對管內水面上升的影響。

(有關研究 4-1 在教學網路及第 55 屆全國科展有類似的想法，請參閱參考資料四、五)

1.利用壓克力管製作 5 支不同傾斜角度的管子，與轉軸分別夾  $20^\circ$ ， $30^\circ$ ， $40^\circ$ ， $50^\circ$  及  $60^\circ$ (如圖 29 所示)。



圖 28 研究 4 實驗概念圖

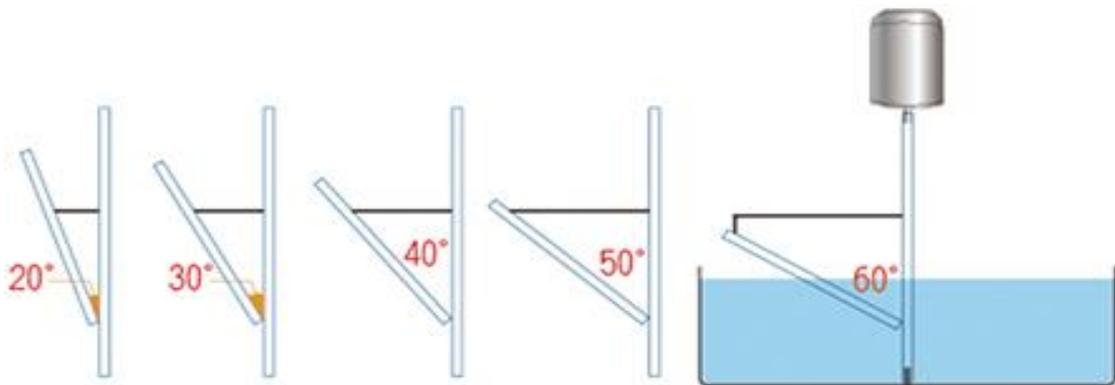
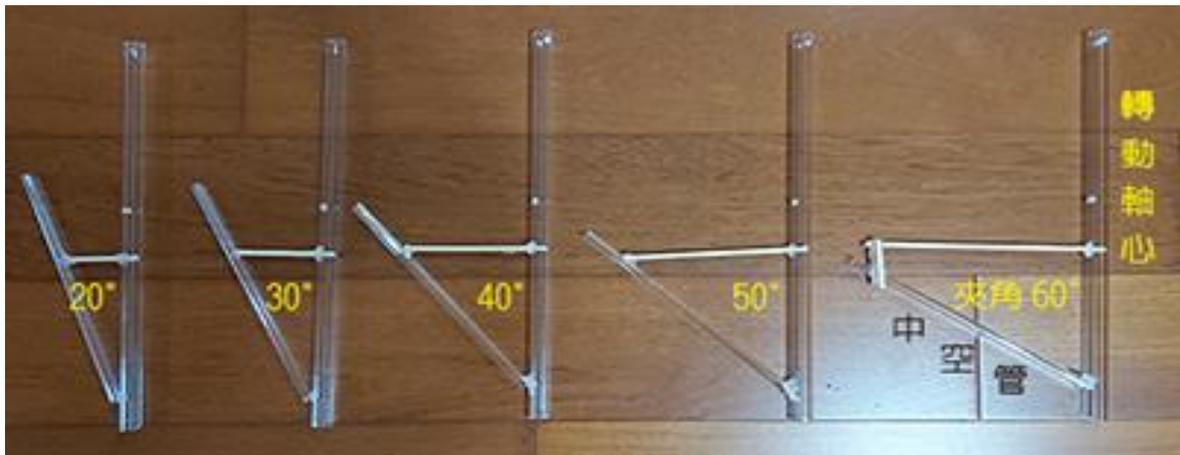


圖 29 自製 5 支不同傾斜角度的壓克力管

- 2.研究儀器如圖 30 所示。
- 3.測量在水中的旋轉半徑。
- 4.利用電源供應器輸入電壓，分別測量這 5 支管子水噴出管口所需達到的最低旋轉轉速。(利用錄影的方式，多次測量取 5 次的平均值)

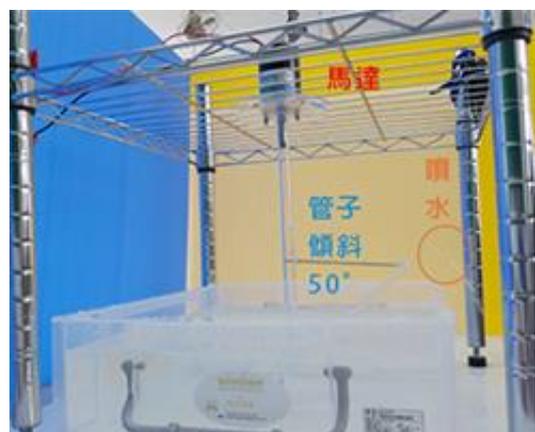


圖 30 研究 4-1 實際實驗儀器圖

(二)研究 4-2 探討彎管角度對抽水時間的影響。(此彎管處的探討，目前無類似的研究報告)

- 1.將 7 支長 29.6 公分的壓克力管，利用熱水加熱壓克力管(如圖 31)。
- 2.利用熱熔膠將彎管固定與轉軸上(如圖 32)，並於與轉軸軸心夾  $60^{\circ}$ 。

說明：

- 1.彎管與軸心並非互相連通。
- 2.為何選用與轉軸軸心夾  $60^{\circ}$  作實驗?

是因為在研究 4-1 中發現此角度的傾斜角度，管子在旋轉後最容易噴出水來。



圖 31 使用飲水機熱水及家中瓦斯爐加熱壓克力彎管



圖 32 將彎管固定在轉軸上

- 2.製作彎管角度的角度有  $50^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $80^{\circ}$ 、 $100^{\circ}$ 、 $125^{\circ}$ 、 $150^{\circ}$  及  $160^{\circ}$ (如圖 33)。

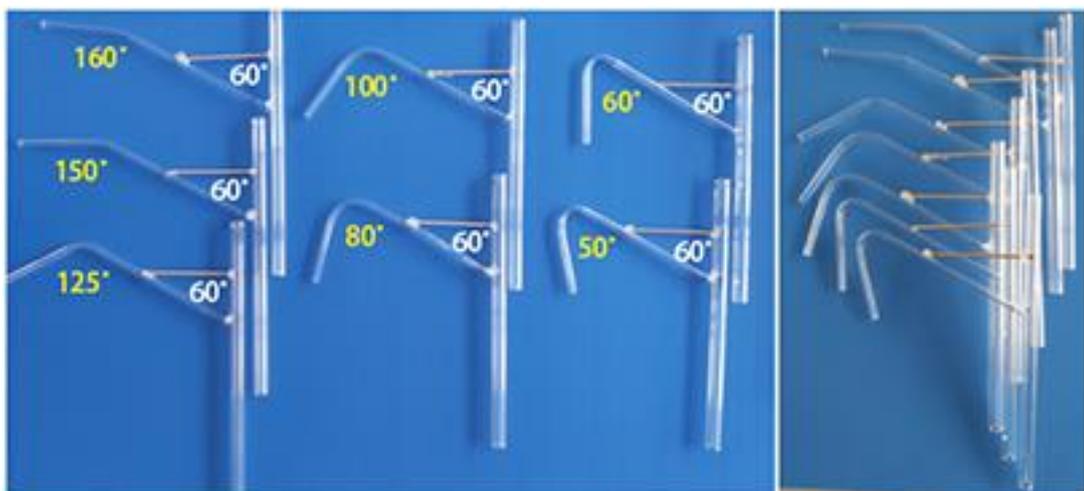


圖 33 7 支不同彎曲角度的管子

3.實驗關係圖如圖 34。示意圖如圖 35

所示。

4.利用電源供應器輸入電壓驅動馬達抽水，利用錄影的方式，測量容器內水面下降 1.0 公分，所需的時間。關掉馬達。分析抽水效果及馬達停止後是否能持續抽水。

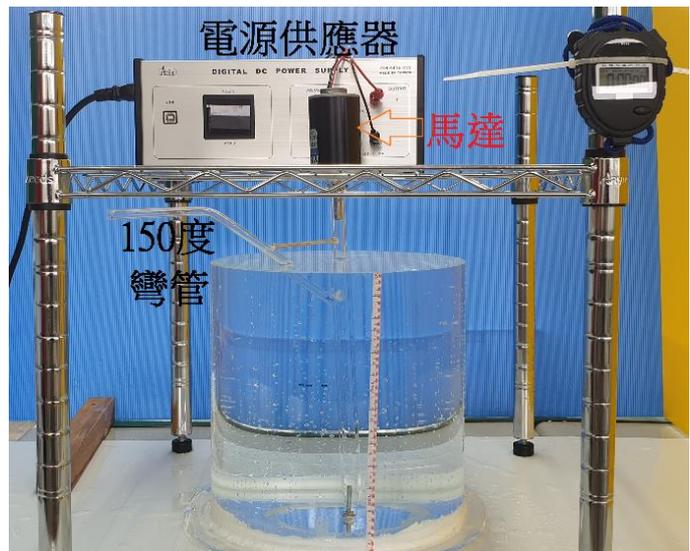


圖 34 研究 4-2 實驗關係(以彎角 150° 為例)

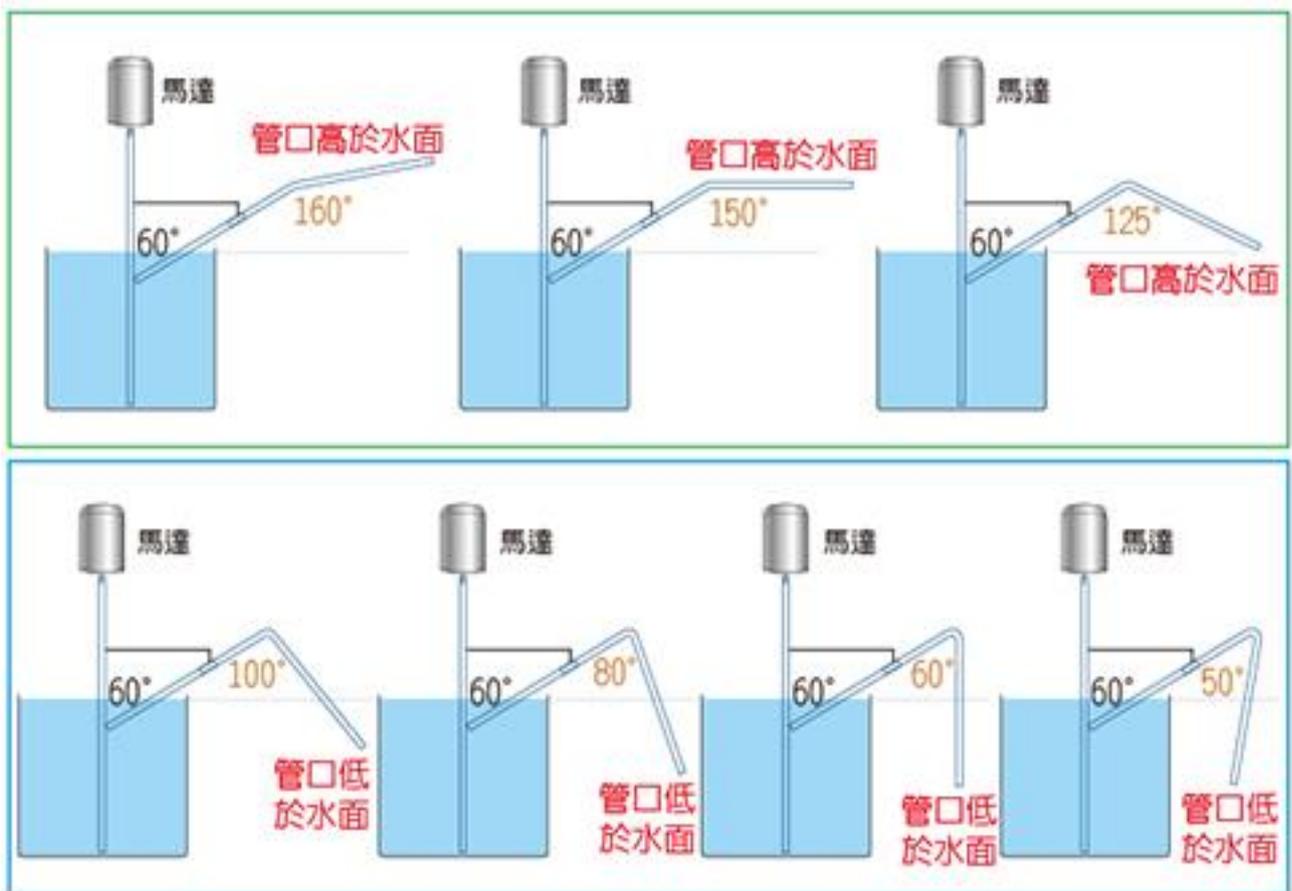


圖 35 研究 4-2 實驗示意圖

### (三)研究 4-3 探討虹吸管外管長度對抽水時間的影響。

1.將長 30 公分的橡皮管套在彎角為  $60^\circ$  的壓克力管下方，壓克力管並與轉軸夾角為  $60^\circ$  (如圖 36 所示)，實驗儀器示意圖如圖 37。

說明：選用上方彎角為  $60^\circ$  的壓克力管，是因為在研究 4-2 中發現這個角度效果最佳。

2.測量外管出水口端離容器水面的距離。

3.此部分為簡化研究，並取得穩定的數據。我們並不轉動馬達直接測量虹吸管抽出 100ml 的水所需要的時間。(數據測量 5 次並取平均值)

4.接著利用剪刀每次剪去 5 公分(前後共 5 次)，重新進行實驗(如圖 37 所示)。

5.分析外管出水口端離容器水面的距離與抽水時間的關係。



圖 36 實驗 4-3 儀器圖

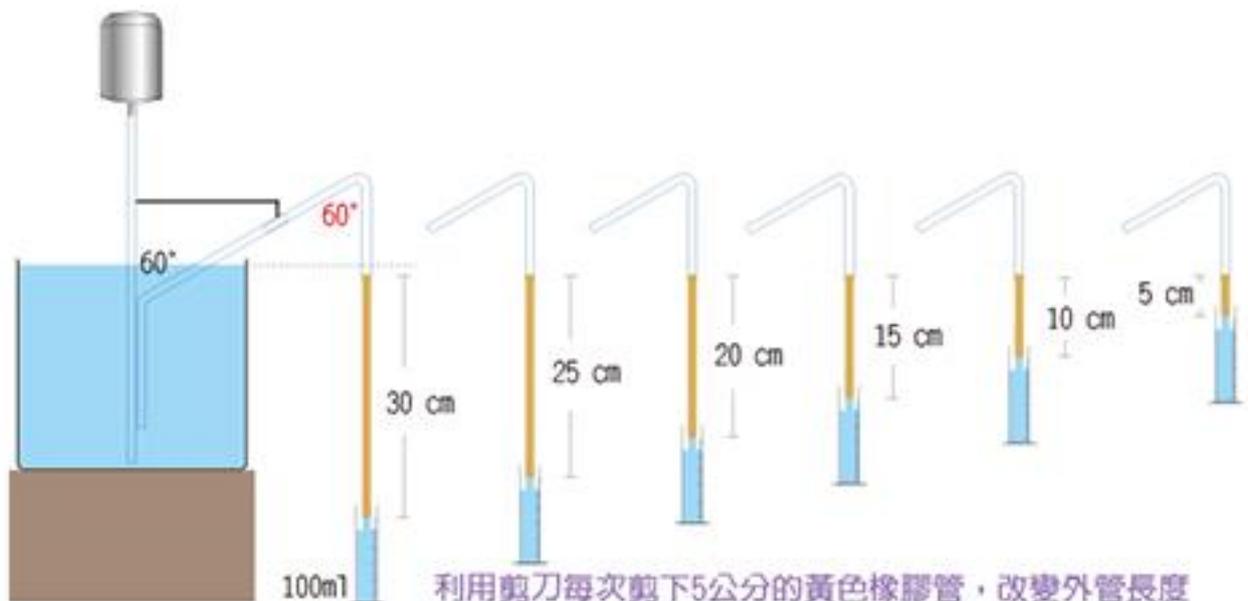


圖 37 研究 4-3 實驗示意圖

## 伍、研究結果

一、在研究 1 中嘗試改良一般課本啟動虹吸管實驗的使用習慣，避免直接接觸液體。

(一)研究 1-1 實際甩動一條水管，初步研究轉速對水管內水面上升高度的影響。

以下為整理過的數據(原始數據詳見實驗日誌，數據為 5 次測量取平均值)

表 1：甩動水管轉速與管內水面上升高度的實驗數據

水管旋轉半徑 (公分)	水管內水面上升高度 (公分)	甩動水管的轉速平均值 (轉/分)
100.0	1.5	12.1
100.0	3.0	16.0
100.0	4.5	20.0
100.0	6.2	30.0
100.0	8.0	40.2

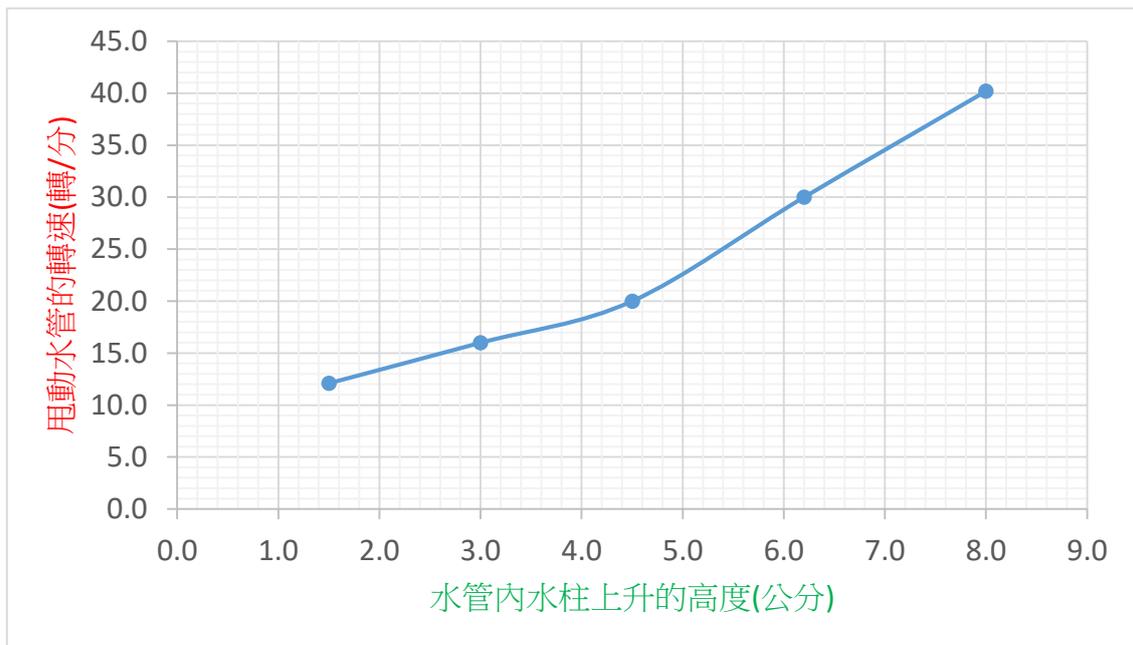


圖 38 在空氣中甩動水管，轉速與管內水面上升高度的關係圖

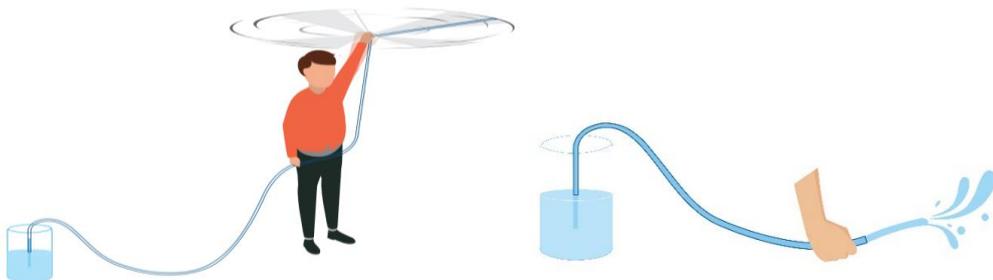


圖 39 甩動水管愈快，管內的水上升愈高。接著將水管放低後，便能進行虹吸管實驗。

## (二)研究 1-2 實際甩動一條水管，研究旋轉半徑對水管內水面上升高度的影響。

1.甩動水管的轉速約 30(轉/分)

2.以下為整理過的實驗數據(原始數據詳見實驗日誌，數據為 5 次測量取平均值)

表 2:旋轉半徑與水面上升的高度的實驗數據

甩動水管的轉速 (轉/分)	水管旋轉半徑 (公分)	水管內水柱上升高度(公分) (平均值)
約 30	75.0	3.0
約 30	80.0	3.5
約 30	85.0	4.0
約 30	90.0	4.9
約 30	100.0	6.2
約 30	110.0	9.5

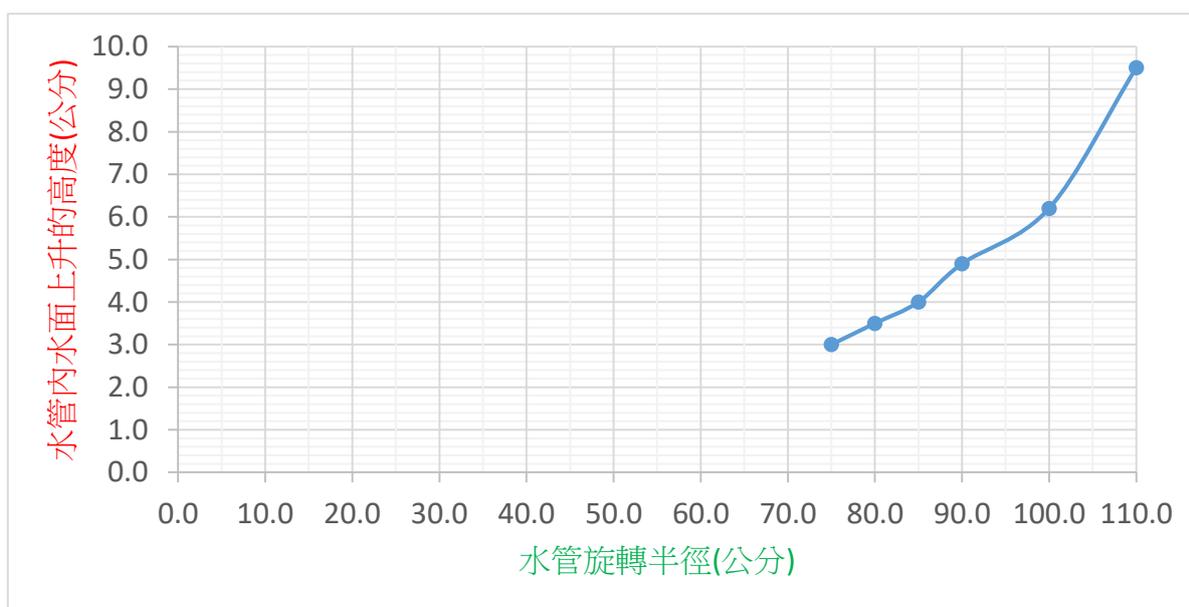


圖 40 在空氣中甩動水管，旋轉半徑與管內水面上升高度的關係圖

3.在研究 1 中我們初步發現，藉由甩動管子是可以避免直接接觸液體，安全啟動虹吸管進行實驗。但實驗過程中利用手甩動所得到的實驗數據，我們認為讀者不一定相信。為了解決這問題，所以接下來設計研究 2。

二、研究 2 是為使研究 1 數據更穩定，設計儀器研究在空氣中旋轉管子後，對管內水面的影響。

(一)研究 2-1 探討馬達轉速對管內水面上升高度的影響(原始數據詳見實驗日誌)

1.控制變因：水面上方吸管的旋轉半徑等於 36.2(公分) 2.操縱變因：不同馬達轉速

表 3 :馬達轉速與水面上升的高度數據

上方吸管的旋轉半徑:36.2(公分)	
馬達轉速 (轉/分)	管內水面上升的高度 (公分) (五次數據，取平均值)
124.0	0.28
200.7	0.47
281.2	1.23
325.5	1.57
374.6	2.03
415.0	2.50
432.9	2.71
444.3	2.94
461.0	3.25
478.1	3.46



圖 41 實驗儀器示意圖

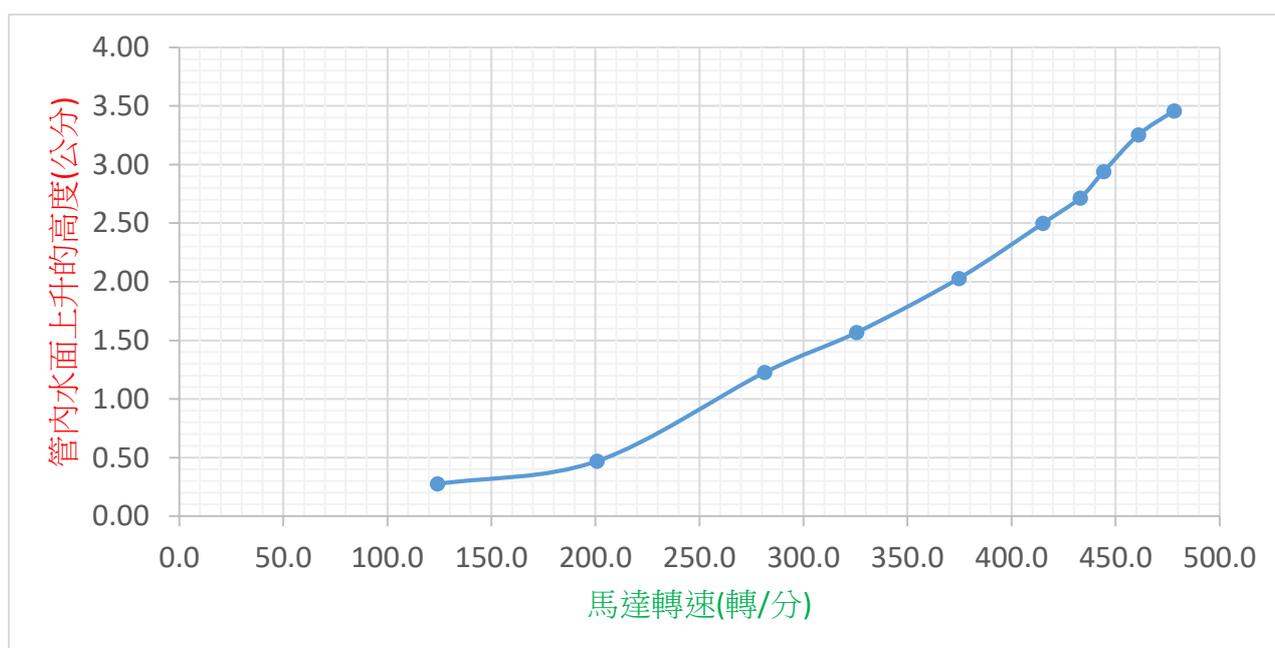


圖 42 在空氣中馬達轉速與管內水面上升高度的關係圖

(二)研究 2-2 探討在空氣中管子的旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。

1.控制變因：馬達轉速維持 500(轉/分) 2.操縱變因：改變吸管的旋轉半徑

3.整理過的實驗數據如下(原始數據詳見實驗日誌)

表 4 :旋轉半徑與管內水面上升高度的數據

馬達轉速 500(轉/分)		
	上方吸管的旋轉半徑 (公分)	水管內水面上升的高度(公分) (5 次數據，取平均值)
1	18.0	1.3
2	22.0	1.6
3	24.0	1.7
4	27.7	1.9
5	30.9	2.7
6	33.0	3.9
7	34.0	4.5
8	36.2	5.6

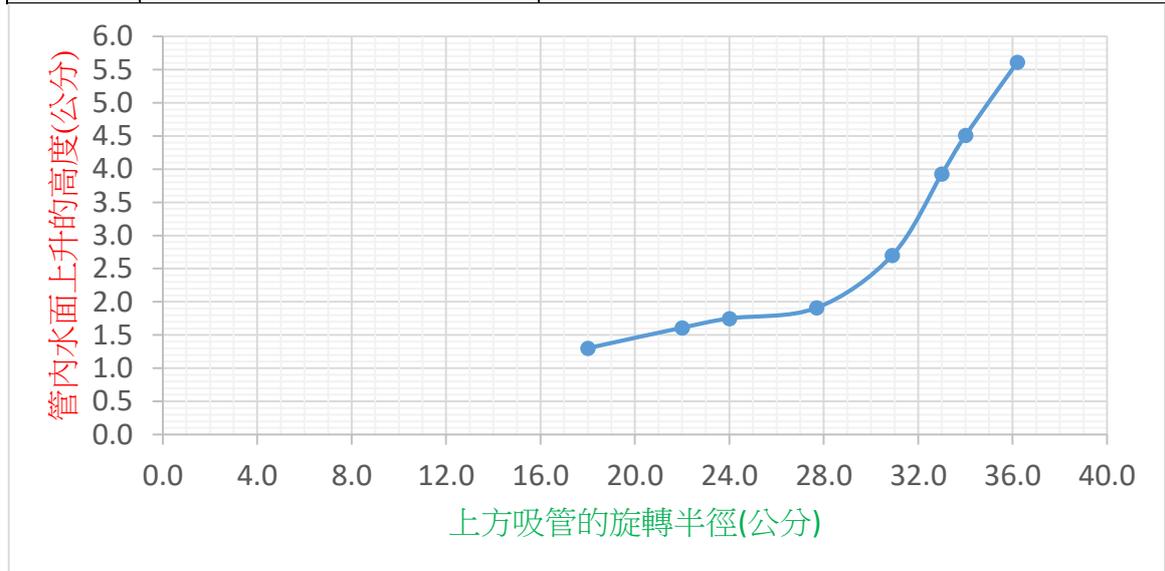


圖 43 在空氣中旋轉半徑與管內水面上升高度的關係圖

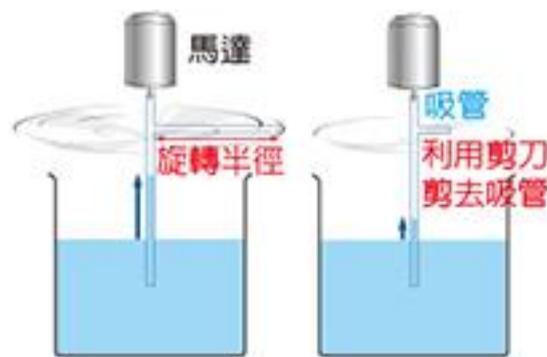


圖 44 上方吸管長度愈長，旋轉後發現管內的水面上升愈高，甚至噴出。

三、在研究 3 中研究在水中旋轉管子後對管內水面的影響。

(一)研究 3-1 探討馬達轉速對管內水面下降幅度的影響。

1.控制變因：水面下方壓克力管子旋轉半徑等於 8.5(公分) 2.操縱變因：不同馬達轉速

表 5：轉速與管內水面往下降的長度數據(原始數據詳見實驗日誌)

直流馬達輸入的電壓(伏特)	馬達轉速(轉/分)	管內水面往下降的長度(公分)
1.0	33.7	0.4
1.2	51.5	1.2
1.8	86.0	3.1
2.0	91.0	3.8
2.2	104.5	4.4
2.4	113.0	5.0
2.6	119.7	5.5

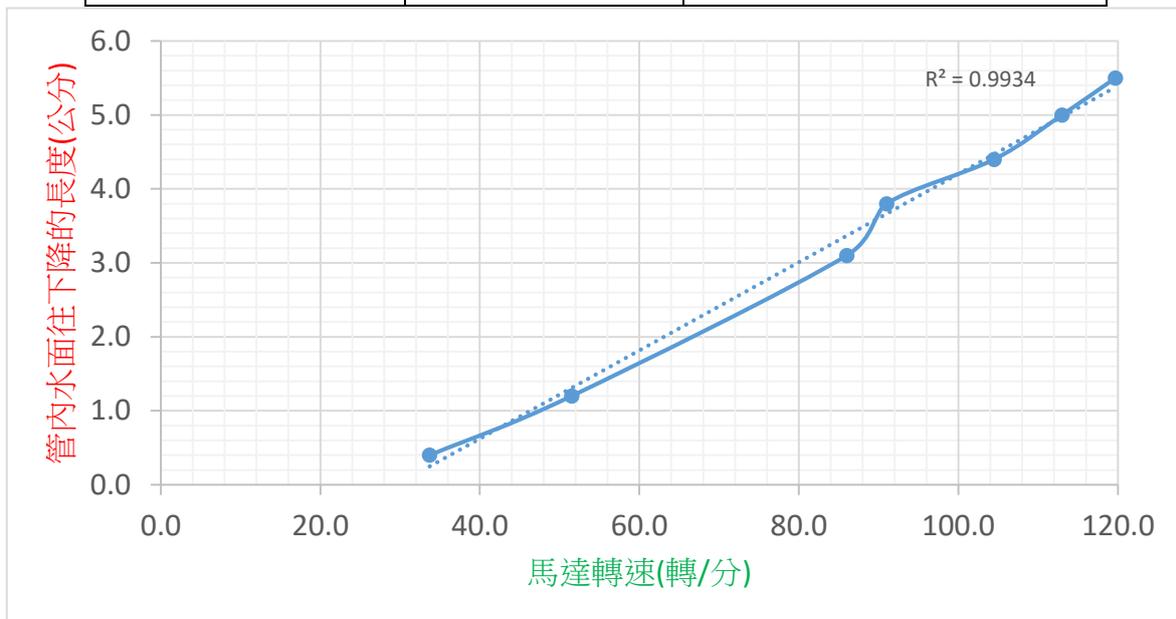


圖 45 在水中旋轉轉速與管內水面下降幅度的關係圖 (高度正相關)

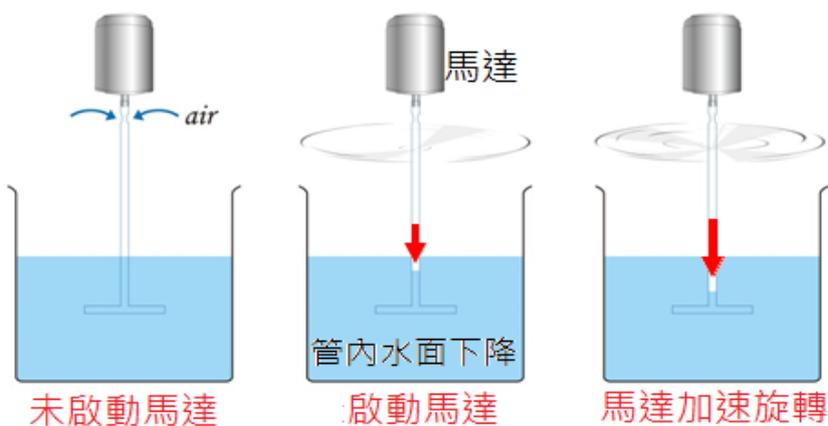


圖 46 實驗示意圖(加快馬達轉速)

(二)研究 3-2 探討在水中旋轉半徑對管內水面下降幅度的影響。

- 1.控制變因：馬達轉速維持 84.3(轉/分)      2.操縱變因：改變在水中的旋轉半徑

表 6：馬達旋轉轉速與管內水面往下降的長度

馬達旋轉轉速:84.3(轉/分)	
旋轉半徑 (公分)	管內水面往下降的長度(公分) (取 5 次數據平均值)
5.0	0.6
6.3	1.5
8.0	2.8
9.0	3.1
10.0	3.9

(原始數據詳見實驗日誌)

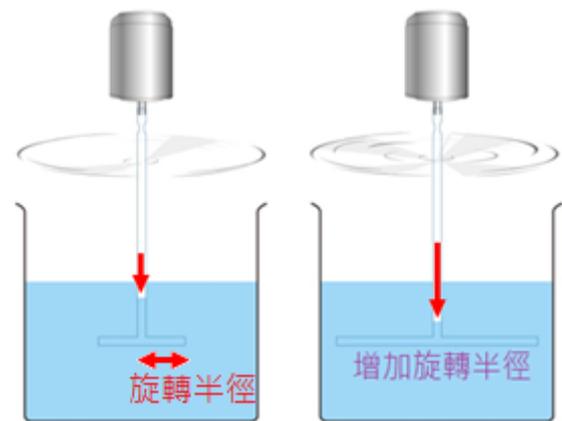


圖 47 改變在水中的旋轉半徑

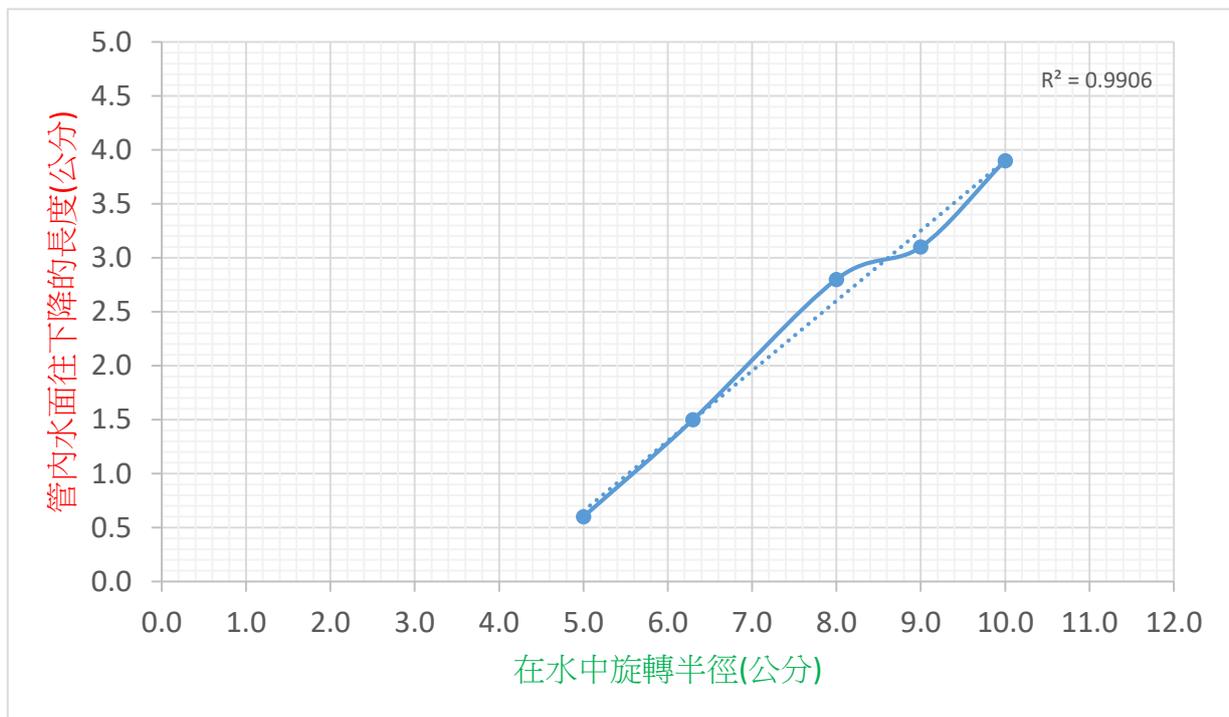


圖 48 在水中旋轉半徑與管內水面下降幅度的關係圖 (高度正相關)

說明：

由第 20 頁的圖 45 可知水中旋轉轉速愈大，管內水面下降愈大。

由圖 48 可知水中旋轉半徑愈長，管內水面下降愈大。

(三)研究 3-3 在水中旋轉管子後，將空氣引入容器下層水中，增加水中含氧量。

先利用 DO-5509 溶氧計，測量水中原本的水中氧量(DO)為 6.0 mg/L。接著先將馬達持續旋轉 1 分鐘後關閉後(將空氣引入容器下層的水中)。錄下溶氧計的變化數據，利用電腦播放，每 0.01 秒讀取一個數據，數據詳見實驗日誌。表 7 含氧量數據變化

次序	時間 (秒)	含氧量 (mg/L)	次序	時間 (秒)	含氧量 (mg/L)	次序	時間 (秒)	含氧量 (mg/L)	次序	時間 (秒)	含氧量 (mg/L)
1	0.01	9.10	31	0.31	8.80	61	0.61	8.40	91	0.91	8.40
2	0.02	9.10	32	0.32	8.70	62	0.62	8.40	92	0.92	8.40
3	0.03	9.10	33	0.33	8.70	63	0.63	8.40	93	0.93	8.40
4	0.04	9.10	34	0.34	8.70	64	0.64	8.40	94	0.94	8.40
5	0.05	9.10	35	0.35	8.70	65	0.65	8.40	95	0.95	8.40
6	0.06	9.10	36	0.36	8.70	66	0.66	8.40	96	0.96	8.40
7	0.07	9.10	37	0.37	8.70	67	0.67	8.40	97	0.97	8.40
8	0.08	9.10	38	0.38	8.70	68	0.68	8.40	98	0.98	8.40
9	0.09	9.00	39	0.39	8.70	69	0.69	8.40	99	0.99	8.40
10	0.10	9.00	40	0.40	8.60	70	0.70	8.40	100	1.00	8.40
11	0.11	9.00	41	0.41	8.60	71	0.71	8.40	101	1.01	8.30
12	0.12	9.00	42	0.42	8.60	72	0.72	8.40	102	1.02	8.30
13	0.13	9.00	43	0.43	8.60	73	0.73	8.40	103	1.03	8.30
14	0.14	9.00	44	0.44	8.60	74	0.74	8.40	104	1.04	8.30
15	0.15	9.00	45	0.45	8.60	75	0.75	8.40	105	1.05	8.30
16	0.16	9.00	46	0.46	8.60	76	0.76	8.40	106	1.06	8.30
17	0.17	8.90	47	0.47	8.60	77	0.77	8.40	107	1.07	8.30
18	0.18	8.90	48	0.48	8.50	78	0.78	8.40	108	1.08	8.20
19	0.19	8.90	49	0.49	8.50	79	0.79	8.40	109	1.09	8.20
20	0.20	8.90	50	0.50	8.50	80	0.80	8.40	110	1.10	8.20
21	0.21	8.90	51	0.51	8.50	81	0.81	8.40	111	1.11	8.20
22	0.22	8.90	52	0.52	8.50	82	0.82	8.40	112	1.12	8.20
23	0.23	8.90	53	0.53	8.50	83	0.83	8.40	113	1.13	8.20
24	0.24	8.80	54	0.54	8.50	84	0.84	8.40	114	1.14	8.20
25	0.25	8.80	55	0.55	8.50	85	0.85	8.40	115	1.15	8.20
26	0.26	8.80	56	0.56	8.40	86	0.86	8.40	116	1.16	8.10
27	0.27	8.80	57	0.57	8.40	87	0.87	8.40	117	1.17	8.10
28	0.28	8.80	58	0.58	8.40	88	0.88	8.40	118	1.18	8.10
29	0.29	8.80	59	0.59	8.40	89	0.89	8.40	119	1.19	8.10
30	0.30	8.80	60	0.60	8.40	90	0.90	8.40	120	1.20	8.10



圖 49 利用電腦播放 DO-5509 溶氧計所測量的含氧量數據

時間:0 秒,含氧量(DO)0.92mg/L 時間:2.06 秒,含氧量 7.8mg/L 時間:4.00 秒,含氧量 7.1mg/L

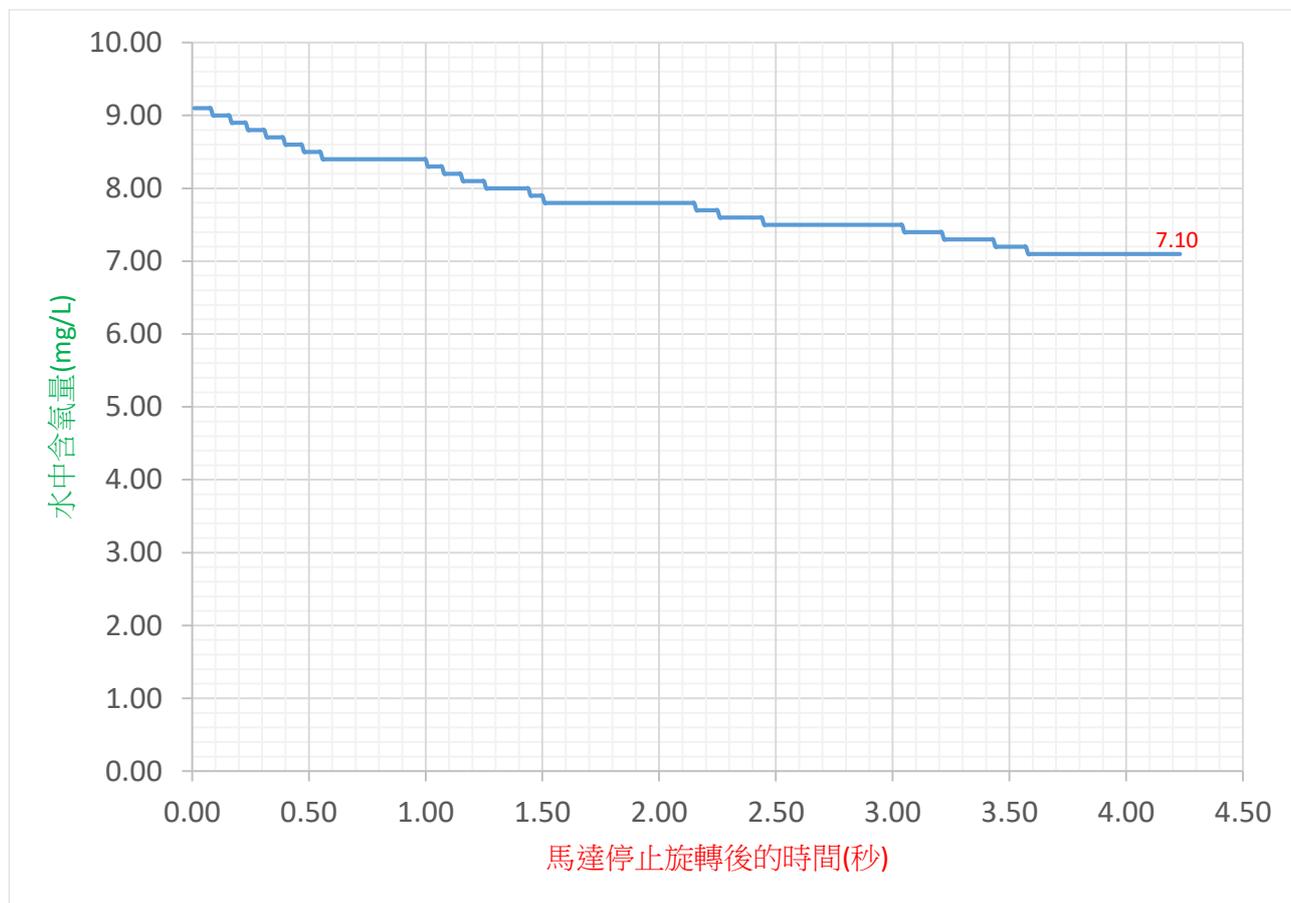


圖 50 將空氣引入容器內下層的水中後，水中含氧量的變化。

說明：測量水中原本的水中氧量 DO 為 6.0mg/L。分析引入空氣後水中含氧量趨於 7.1 mg/L，

因此可以有效增加水中含氧量約 18%。 (計算過程： $\frac{7.1-6.0}{6.0} \times 100\% = 18.3\%$ )

因為在研究 2 中，我們發現馬達的旋轉轉速需要非常高速，才能使管內的水面往上升，為解決這個問題，所以接下來嘗試作研究 4。我們先研究管子若傾斜後的情況。

#### 四、研究四探討在較低轉速及較小的旋轉半徑下，啟動虹吸管實驗抽水。

##### (一)研究 4-1 探討管子傾斜後，管口噴出水來所需的最小旋轉轉速。

斜管與轉軸的夾角(度)	旋轉半徑(公分)	水噴出管口所需達到的旋轉轉速(轉/分) (5 次測量取平均值)
20 <sup>0</sup>	3.0	208.4
30 <sup>0</sup>	3.5	154.6
40 <sup>0</sup>	5.0	101.1
50 <sup>0</sup>	7.0	82.6
60 <sup>0</sup>	11.0	60.4

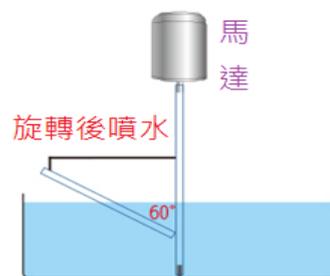


圖 51 實驗示意圖

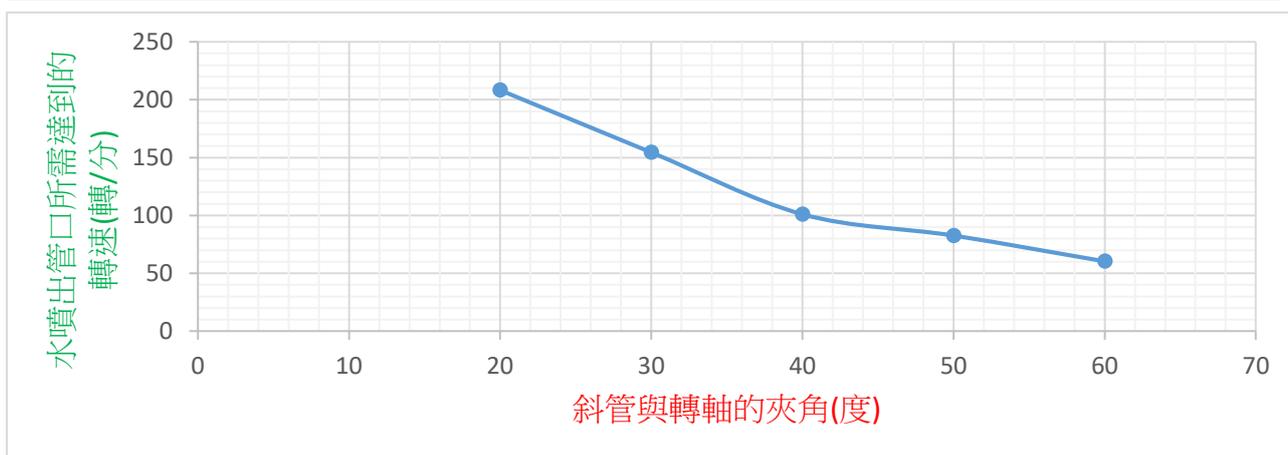


圖 52 傾斜角度與水噴出管口所需達到的轉速關係圖

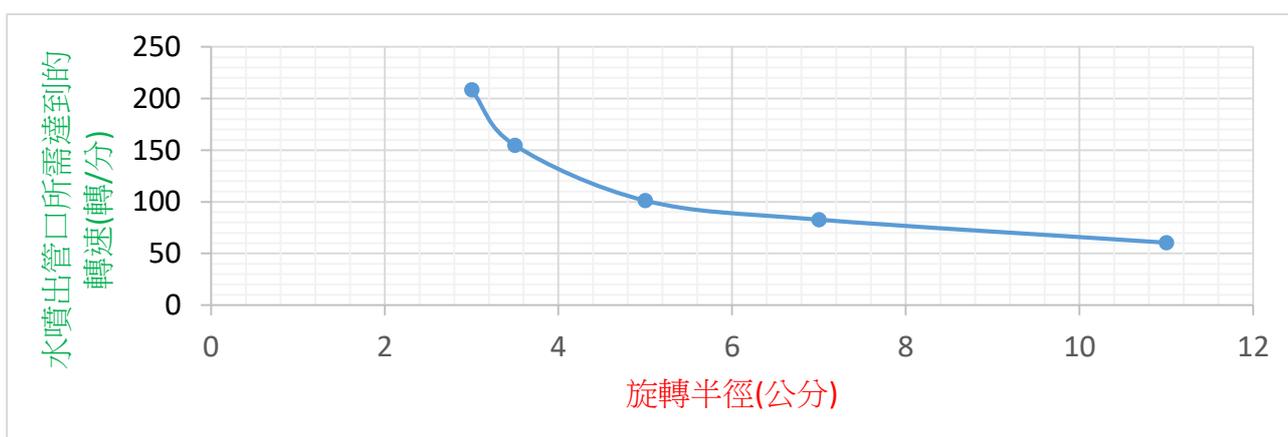


圖 53 旋轉半徑與水噴出管口所需達到的轉速關係圖

說明：由實驗數據關係圖發現管子愈傾斜，管口端噴水所需的旋轉轉速愈小。進一步分析，若分析旋轉半徑與轉速的關係，也有相似的實驗趨勢。

接著想要研究上方彎管角度，對抽水的影響。

(二)研究 4-2 接著研究上方彎管角度，對抽水的影響(抽水效果以彎管角度 125° 為基準)。

表 9：彎管角度與抽水時間實驗數據(未能發生虹吸抽水)

抽水過程中出水口端位置均高於容器水面，未發生虹吸抽水。			
彎管角度(度)	抽水時間(秒) (抽水過程中馬達持續轉動)	抽水時間減少(%)	馬達停止後，是否能持續抽水
160°	41.6	11.9%	否
150°	40.8	13.6%(最佳) 管子呈水平 旋轉半徑大	否
125°	47.2	基準	否

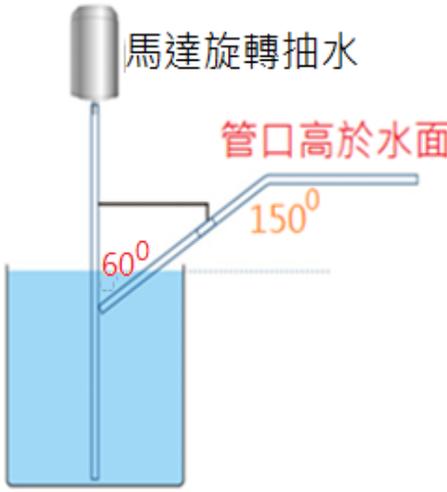


圖 54 實驗示意圖  
(外管呈水平，旋轉半徑大)

表 10：彎管角度與抽水時間實驗數據(能發生虹吸抽水)

抽水過程中出水口端位置均低於容器水面，能虹吸抽水。			
彎管角度(度)	抽水時間(秒) (抽水過程中馬達持續轉動)	抽水時間減少(%)	馬達停止後，是否能持續抽水
100°	37.8	19.9%	能
80°	32.2	31.8%	能
60°	31.6	33.1%(最佳) 管子鉛錘向下	能
50°	33.0	30.1%	能

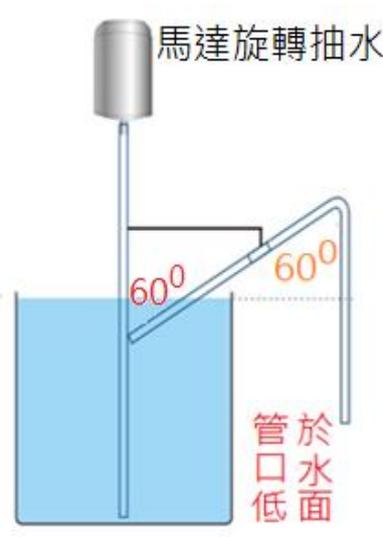


圖 55 實驗示意圖  
(外管鉛垂向下)

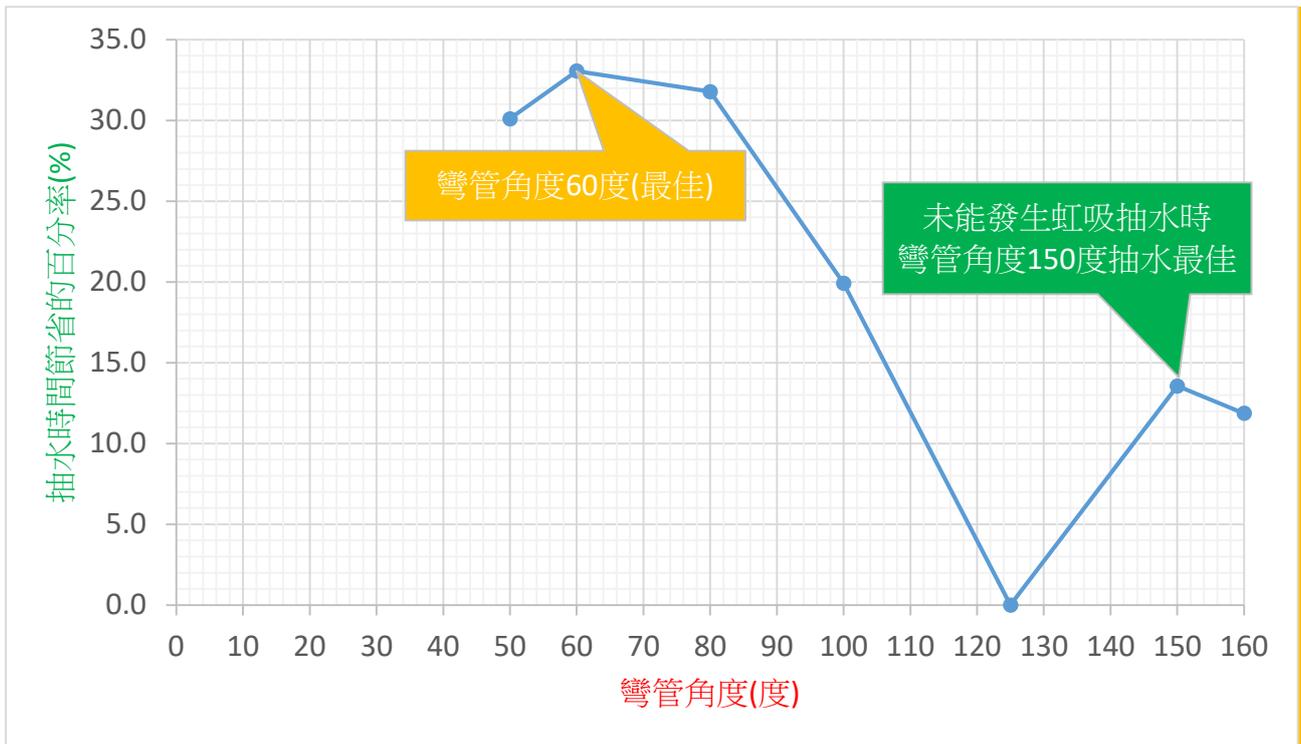


圖 56 彎管角度與抽水時間節省百分率的關係圖

說明:

- 1.彎管角度以  $60^{\circ}$  時，抽水所需時間最短。(分析主要原因為抽水過程中能發生虹吸現象)
- 2.若抽水過程中出水口端均高於容器水面，抽水過程中均未發生虹吸抽水，則抽水的效果以彎管角度為  $150^{\circ}$  時，抽水所需時間最短。(分析主要原因為旋轉半徑最大)
- 3.抽水時間節省的百分率是以彎管角度  $125^{\circ}$  為基準。

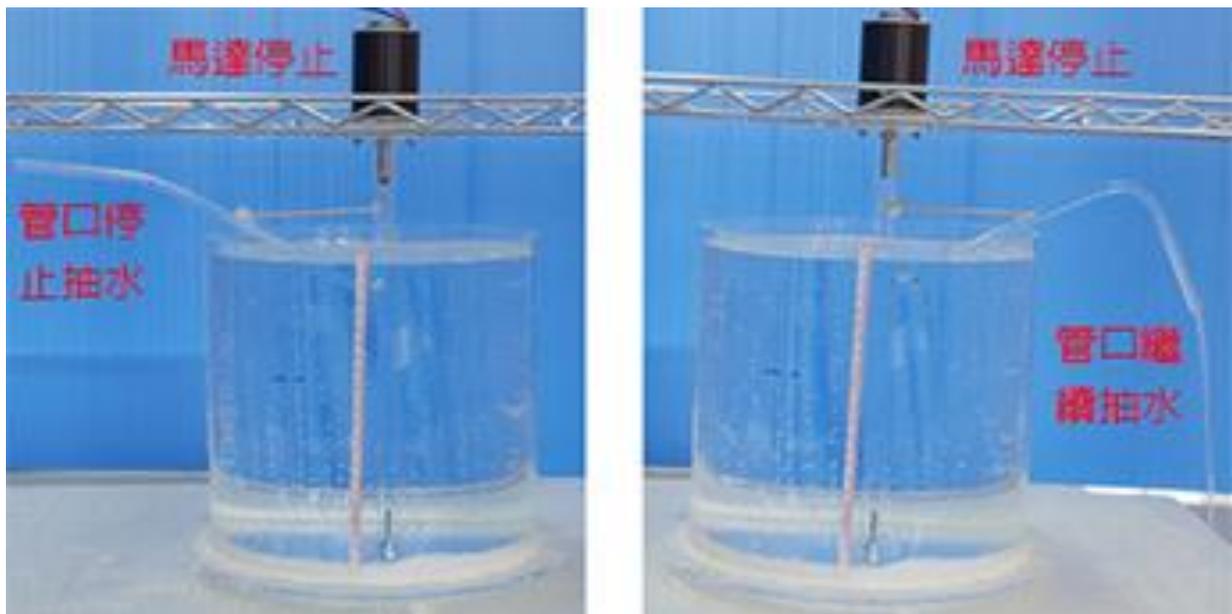


圖 57 無虹吸抽水及有虹吸抽水的儀器圖

(三)研究 4-3 探討虹吸管外管長度對抽水時間的影響。

表 11 虹吸管外管長度與抽水所需時間

	外接黃色橡皮管長 (公分)	水面距虹吸管外管出水口端 的距離(公分)	抽水 100ml 所需時間(秒) (5 次數據取平均值)
1	5	8	11.7
2	10	13	7.2
3	15	18	6.1
4	20	23	5.5
5	25	28	5.2
6	30	33	4.9

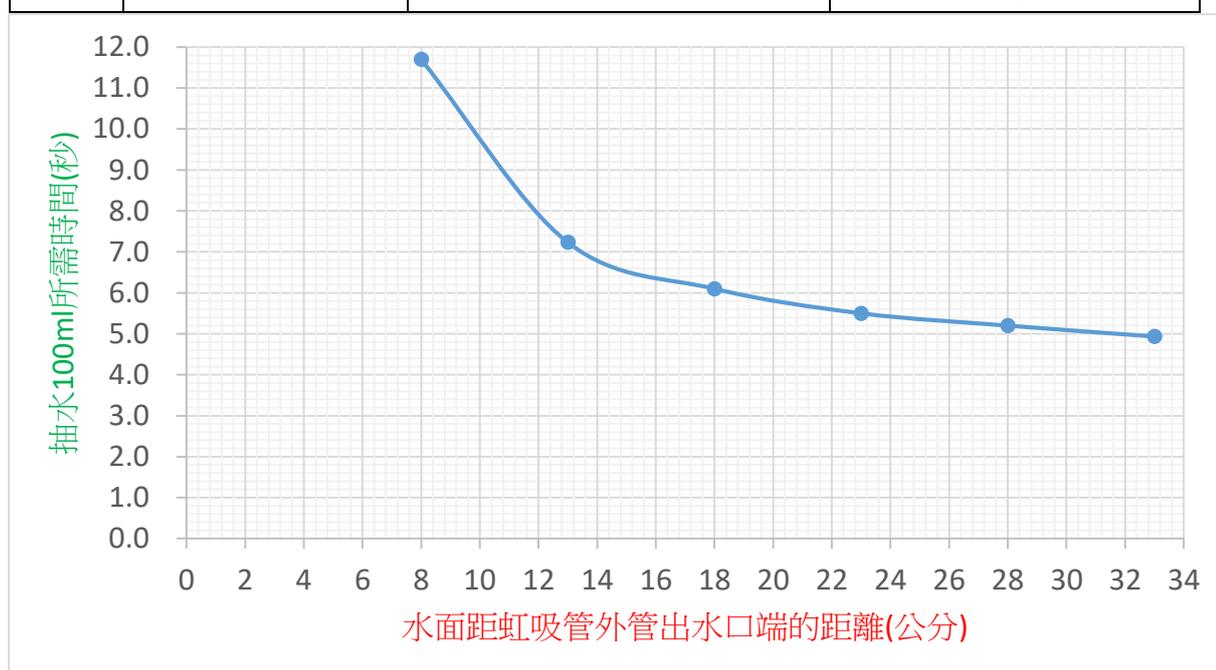


圖 58 水面距虹吸管外管出水口端的距離與抽水所需時間關係圖

說明：水面與出水口端的距離愈長，抽水所需的時間愈短。表示外管管長度愈長，抽水速度愈快。

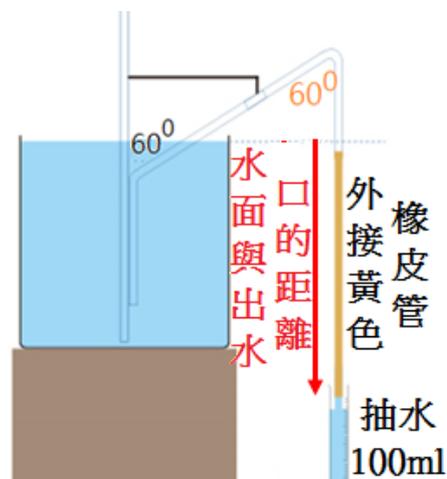


圖 59 研究 4-3 實驗儀器示意圖

## 陸、討論

一、研究 1 中利用甩動水管，成功將管內的水往上提升，過程中發現甩動水管的旋轉半徑愈長及甩動愈快，均有助於虹吸管實驗的成功率。但在失敗的過程中發現若管內有積一點的水，造成水封便會導致實驗失敗（如圖 60）。



圖 60 水管內水封，導致實驗失敗。

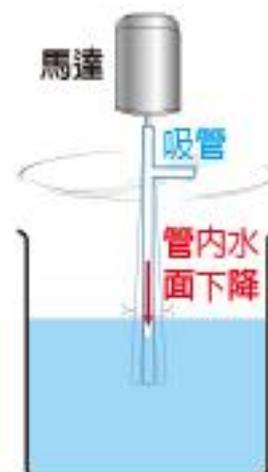


圖 61 馬達軸心歪斜

二、研究 2 的研究過程中，發現若馬達軸心歪斜(圖 61)，旋轉後管內水面下降，結果與預期有出入。後來進一步設計研究 3 了解原因，推測與白努力定律有關。

三、比較研究 3 與研究 2(如圖 62)，當管子在水中旋轉時管內水面的變化幅度比在空氣中旋轉更明顯，推測可能與水和空氣密度有關係。

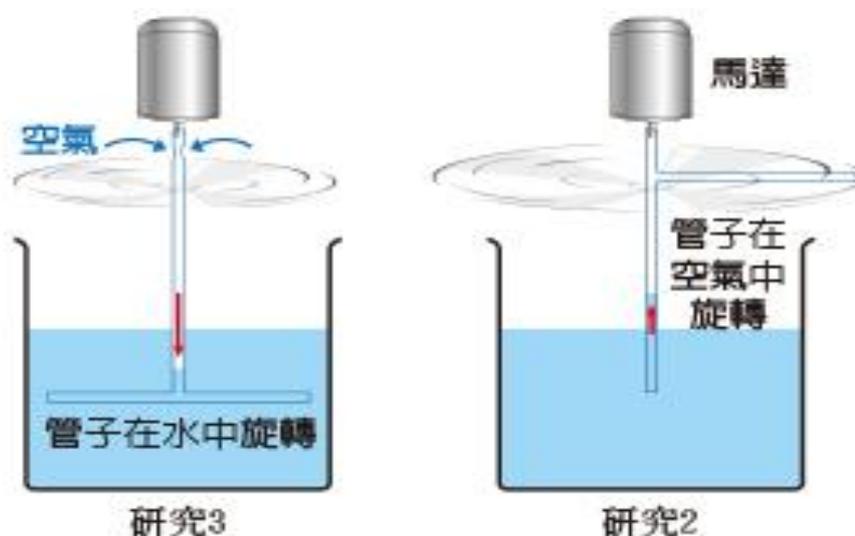


圖 62 比較研究 2 與研究 1 管內水面升降的變化幅度

四、一般有人利用水族箱氣泡細化器直接打氣或魚塢水車在上層水面曝氣等方法增加水中含氧。在研究 3-3 中，嘗試一種新的方法，發現可從容器較下層引入空氣(如圖 63)，增加水中含氧量。

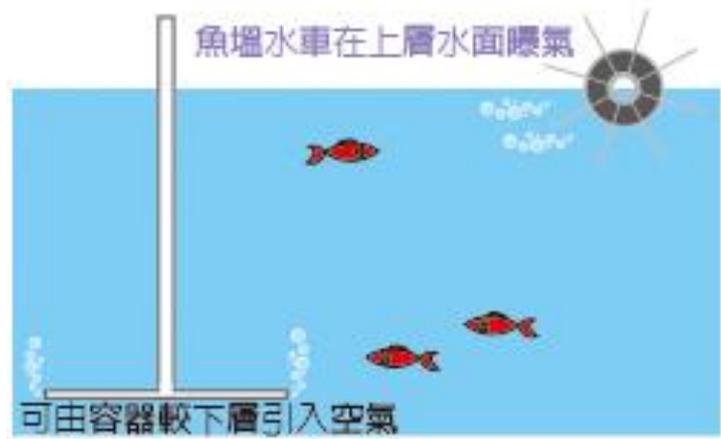


圖 63 利用研究 3 可將空氣引入下層水中

五、研究 4 中旋轉一傾斜管子後(如圖 64)，發現管內水面很容易上升，比研究 2 更明顯，推測此兩個研究，使管內水面上升的原因不同。

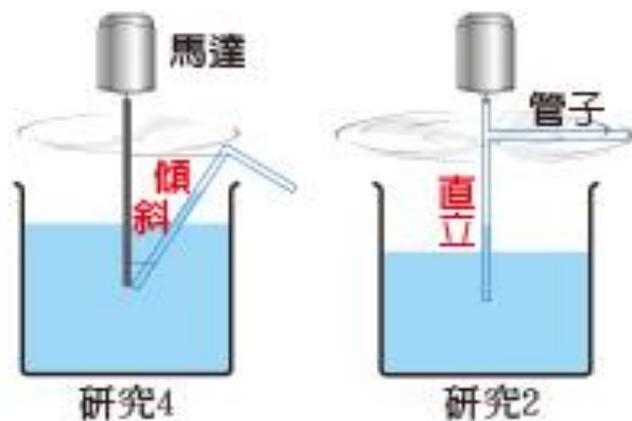


圖 64 比較研究 4 與研究 2 的儀器圖

六、在進行研究 4-2(如圖 65)之前，我們

本來猜測彎管角度  $150^\circ$  的抽水效果會是最好，這是因為我們只考慮到旋轉半徑的因素，後來我們發現當抽水過程中如果有虹吸現象產生，抽水時間將大大縮短。此變因的影響比旋轉半徑大。

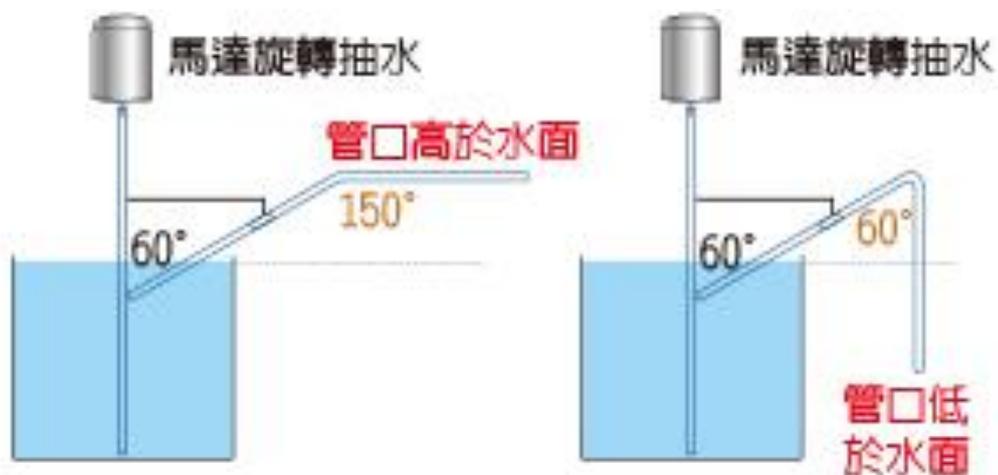


圖 65 比較兩種彎管的抽水效果

## 柒、結論

- 一、研究 1 改良一般課本中**啟動**虹吸管實驗的使用習慣，避免直接接觸液體。實際在空氣中甩動一條水管，水管轉速愈快及旋轉半徑愈長，均會造成管內水面上升愈高。當管內水面上升後，將出水口端放低於容器水面時，新的虹吸管實驗便能順利進行。
- 二、研究 2 是為了增加研究 1 結論可信度，利用可調式電源供應器驅動直流馬達，以穩定的數據，研究在空氣中旋轉管子後對管內水面的影響。
  - (一)研究 2-1 發現旋轉轉速愈大，管內水面上升愈高。
  - (二)研究 2-2 發現旋轉半徑愈長，管內水面上升愈高。
- 三、研究 3 的想法是將研究 2 的管子**上下顛倒**，研究在水中旋轉管子後對管內水面的影響。
  - (一)研究 3-1 發現在水中旋轉轉速愈大，管內水面下降愈大。
  - (二)研究 3-2 發現在水中旋轉半徑愈長，管內水面下降愈大。
  - (三)在研究 3 發現管內水面變化的幅度**比研究 2 明顯**。
  - (四)研究 3-3 是研究 3 的應用，發現在水中旋轉管子，將空氣持續引入下層水中 1 分鐘後，能有效增加水中含氧量約 18%。
- 四、研究 4 能在低轉速及較小的旋轉半徑下，順利改良課本虹吸管實驗的啟動習慣並抽水。
  - (一)研究 4-1 中發現管子愈傾斜，管口噴出水來所需的旋轉轉速愈小。因為**儀器的限制**，我們得到傾斜角度  $60^{\circ}$  為最佳結論。
  - (二)研究 4-2 在外管鉛錘向下且出水口端低於水面時，旋轉後抽水所需時間愈短。
  - (三)研究 4-3 發現虹吸管外管長度愈長，抽水所需時間愈短。

## 捌、參考資料

- 一、康軒文教事業股份有限公司(2018)、康軒自然與生活科技四下第二章活動 2，P30~P31
- 二、<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%B9%E5%90%B8> (虹吸現象)
- 三、<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B> (白努力定律)
- 四、<http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-016.html> (吸管幫浦)
- 五、中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書，累死人抽水機~吸管抽水機之探討

## 【評語】 080103

“水與空氣的相撲大賽”，主題以虹吸管現象為主，並利用旋轉時的管子兩端壓力的差值，以類似白努力定律的應用，將虹吸管的現象展現出來。

學生所拍攝的影片示範，將長的水管一端沒如水中，另一端在空氣中快速的旋繞，相當清楚的將所以要研究的問題明顯呈現，對於問題的瞭解相當清楚。

在實驗器材的製作上，利用了機電整合，構造想要研究的主題的裝置，即將伯努利原理應用於虹吸現象。能針對問題來改良實驗的方法，具有研究精神，但實驗變因的設計可再聚焦加強。

裝置可以測得需要了解的數據，而在數據處理和數據呈現的問題，可以學習如何利用不準確度做出討論，畢竟每一次的測量所得到的數據，經過彙整求平均值，並計算可能的變異範圍(也就是所謂的誤差範圍)，在綜合所有的數據分析的結果，得出結論。對實驗現象的觀察能以數據化呈現，但對現象的理論原理仍有待深入探討。

實驗的步驟中，研究 1、研究 2、研究 4 和研究 3，好像是兩個實驗，兩者研究目的與原本要研究的主題相關性，可以更加釐

清，有助於完成想要探究的問題，否則只是增加實驗的項目，但對於問題的理解沒有幫助。研究 3 比較是希望增加溶氧量，因此有溶氧量的測定，對於研究的主題關聯性比較低。

改進研究 1、2 的第四部份，可以探討的變因滿多的，最後整理出角度的結果，也有改變延伸外部管子長度的研究。可惜對於相關物理機制的解釋上比較沒有針對相關的問題進行討論，實屬可惜。相關現象的理論原理仍有待深入探討。

## 摘要

本研究是從改良虹吸管實驗將水引出的使用習慣出發，進一步探討旋轉彎管對管內水面升降的影響。首先在研究1和2中發現在空氣中旋轉管子後，管內水面上升，旋轉愈快及旋轉半徑愈大，水面上升愈高。在研究過程中，意外發現管內水面有時不升反降。因而設計研究3，直接將管子上下顛倒，改由在水中旋轉，管子轉愈快及旋轉半徑大，管內水面下降愈大，且變化幅度比研究2明顯。甚至可將空氣引入水中，增加水中含氧量達18%。最後研究4中發現傾斜彎管其傾斜角度愈大、彎管鉛垂向下且出水口端低於水面時，當旋轉後，最能啟動虹吸管減少抽水時間，外管愈長抽水愈快。值得一提的是彎管並非在旋轉半徑大時抽水最佳，此與前三個研究結論顯然不同。

## 壹、研究動機

在自然四下第二章，進行虹吸管實驗時，需先把管子裝滿液體，或用嘴巴吸出，此動作有時不適當。能不能有新方法來啟動虹吸管實驗。

## 貳、研究目的

- 一、藉由甩動一條水管，探討轉速與旋轉半徑對管內水面上升高度的影響。
- 二、利用馬達帶動，探討在空氣中旋轉管子後，探討轉速與旋轉半徑對管內水面的影響。
- 三、探討管子在水中旋轉後，轉速與旋轉半徑管內水面下降的情況。並運用此研究，將空氣引入水中，增加水中含氧量。
- 四、希望能在低轉速及較小的旋轉半徑下，更容易啟動虹吸管實驗，減少抽水時間。
  - (一) 研究4-1探討直管傾斜角度對管口噴出水來所需旋轉轉速的影響。
  - (二) 研究4-2探討管子彎管處角度對抽水所需時間的影響。
  - (三) 研究4-3探討虹吸管外管長度對抽水所需時間的影響。

## 參、研究(主要)設備及器材

電源供應器3款	壓克力管
電風扇馬達 直流馬達	D0-5509 溶氧計
DT-2233A光電式數字轉速錶	超長吸管
透明水管(建材行購買)	L型與T型接頭



## 肆、研究過程或方法

- 一 研究一：甩動一條水管改良虹吸管實驗。
  - (一) 研究1-1：甩動的轉速與管內水面上升的高度
    - (1) 購買一條長200.0公分的塑膠管。
    - (2) 將水管一端放入桶中。
    - (3) 手握離管口100.0公分處。先慢慢甩動。
    - (4) 多次測量轉速及水面上升高度。
    - (5) 增加甩動的轉速，重複上訴步驟。
  - (二) 研究1-2：研究旋轉半徑對管內水面上升高度的影響
    - (1) 方法如前，握住離管口75.0公分處。保持甩動水管平穩轉速約30(轉/分)，多次測量轉速及管內水面上升的高度。
    - (2) 接著改變甩動水管的旋轉半徑，過程中盡量保持平穩的轉速，記錄水管內水面上升的高度。
- 二 研究二：在空氣中旋轉管子，研究轉速與旋轉半徑對管內水面上升的影響。
  - (一) 研究2-1：
    - (1) 上方吸管旋轉半徑36.2公分。
    - (2) 利用電源供應器控制馬達轉速，用轉速計測量轉速。
    - (3) 拍攝管內水面上升的高度。
    - (4) 改變馬達轉速，分析轉速與水面上升的關係。
  - (二) 研究2-2：
    - (1) 控制轉速500(轉/分)。
    - (2) 拍攝實驗數據。
    - (3) 剪下一小段吸管長度，改變旋轉半徑。
    - (4) 分析旋轉半徑與水面上升高度的關係。
- 三 研究三：研究在水中旋轉管子後對管內水面下降的影響。
  - (一) 研究3-1：研究轉速對管內水面下降的影響。
    - (1) 旋轉半徑8.5公分。
    - (2) 利用電源供應器控制馬達轉速，並測量轉速。
    - (3) 拍攝管內外水面的落差。
    - (4) 微調電壓，加快轉速。分析轉速對管內外水面下降的影響。
  - (二) 研究3-2：研究旋轉半徑對管內外水面下降的影響。
    - (1) 研究步驟如前。
    - (2) 改變旋轉半徑。
    - (3) 分析旋轉半徑對管內水面下降的影響。
  - (三) 研究3-3：將空氣引入下層水中，增加含氧量。
    - (1) 裝置如前。
    - (2) 利用D0-5509 溶氧計，測量水中原本含氧量。
    - (3) 增加轉速，使管內水面下降，直到空氣進入水中。馬達持續運轉一分鐘後，關掉電源。
    - (4) 測量水中氧氣。過程中錄下溶氧計的數據，利用電腦播放，每0.01秒讀取一個數據，直到無明顯變化。
- 四 研究四：在低轉速及較小的旋轉半徑下，改良虹吸管實驗。
  - (一) 研究4-1：探討管子傾斜角度對管內水面上升的影響
    - (1) 利用壓克力管製作5支不同傾斜角度的管子，與轉軸分別夾20°、30°、40°、50°及60°。
    - (2) 測量在水中的旋轉半徑。
    - (3) 輸入電壓，分別測量這5支管子水噴出管口所需達到的最低旋轉轉速。
  - (二) 研究4-2：探討彎管角度對抽水時間的影響。(此彎管處的探討，目前無類似的研究報告)
    - (1) 將7支長29.6公分的壓克力管，利用熱水加熱，製作彎管角度為50°、60°、80°、100°、125°、150°及160°。
    - (2) 用熱熔膠將彎管固定與轉軸軸心夾角60°。
    - (3) 輸入電壓，利用錄影測量容器內水面下降1.0公分所需的時間。
    - (4) 關掉馬達。分析抽水效果及馬達停止後是否能持續抽水。
  - (三) 研究4-3：探討虹吸管外管長度對抽水時間的影響。
    - (1) 將長30公分的橡皮管套在彎角為60°的壓克力管下方，並與轉軸夾角為60°。
    - (2) 測量外管出水口端離容器水面的距離。
    - (3) 測量虹吸管抽出100ml的水所需要的時間。
    - (4) 利用剪刀每次剪去5公分(前後共5次)，重新進行實驗。
    - (5) 分析外管出水口端離容器水面的距離與抽水時間的關係。

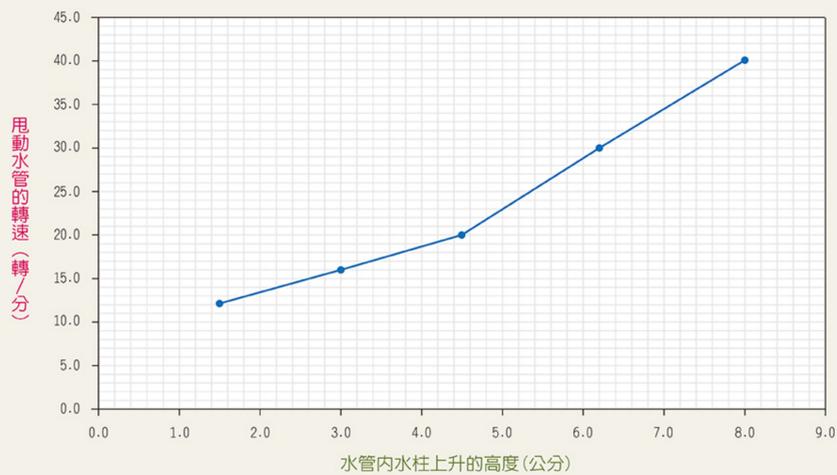
## 伍、研究結果：

### 研究一

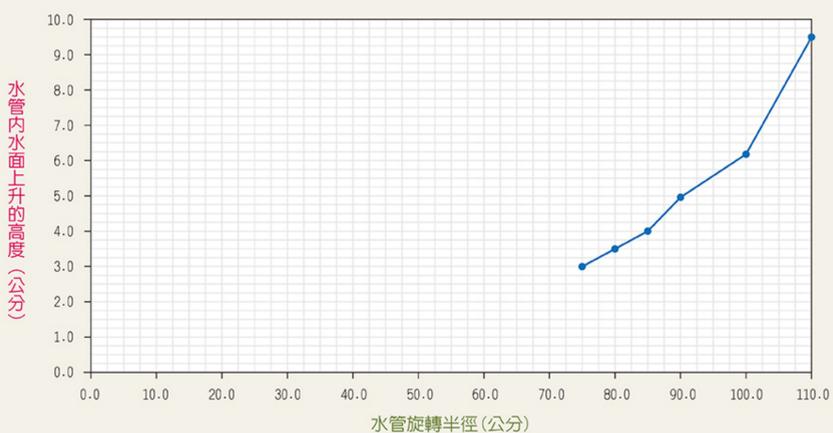
實際甩動一條水管嘗試改良課本虹吸管實驗的使用習慣。

研究1-1：旋轉轉速越快，管內水面上升的高度越高。

研究1-2：旋轉半徑越大，管內水面上升的高度也會越高。



研究1-1 在空氣中甩動水管的轉速與管內水面上升高度的關係圖



研究1-2 在空氣中甩動水管，旋轉半徑與管內水面上升高度的關係圖

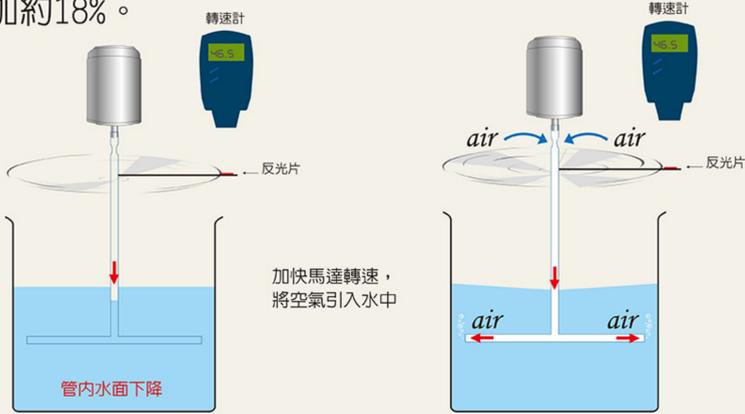
### 研究三

研究在水旋轉管子後對管內水面下降的影響。並運用在增加水中含氧量。

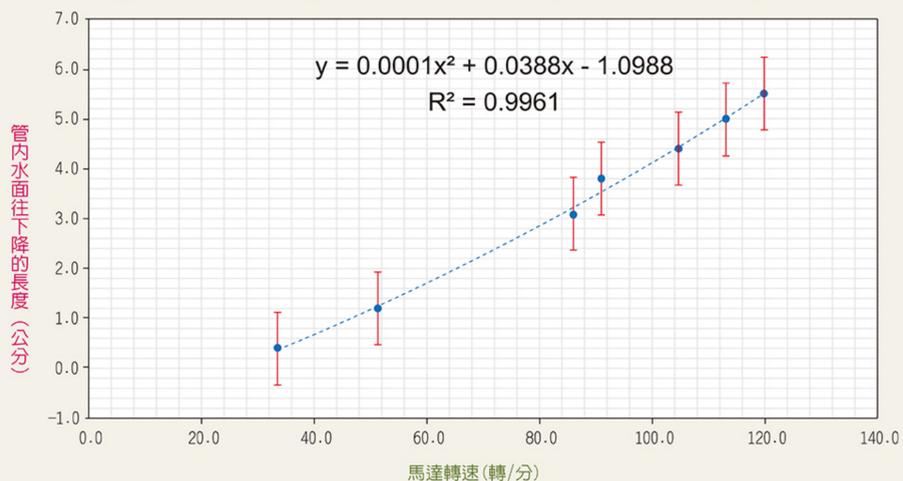
研究3-1：發現轉速越快，管內水面下降的幅度越大。

研究3-2：旋轉半徑越大，管內水面下降的幅度越大。

研究3-3：將外面的空氣引入下層水中，增加水中的含氧量。測量水中原本的含氧量為6.0毫克/公升，接著讓馬達旋轉一分鐘後關閉，再紀錄水中含氧量的變化，最初水中含氧量為9.2毫克/公升，水中含氧量最後大約為7.1毫克/公升，含氧量增加約18%。



加快馬達轉速，將空氣引入水中



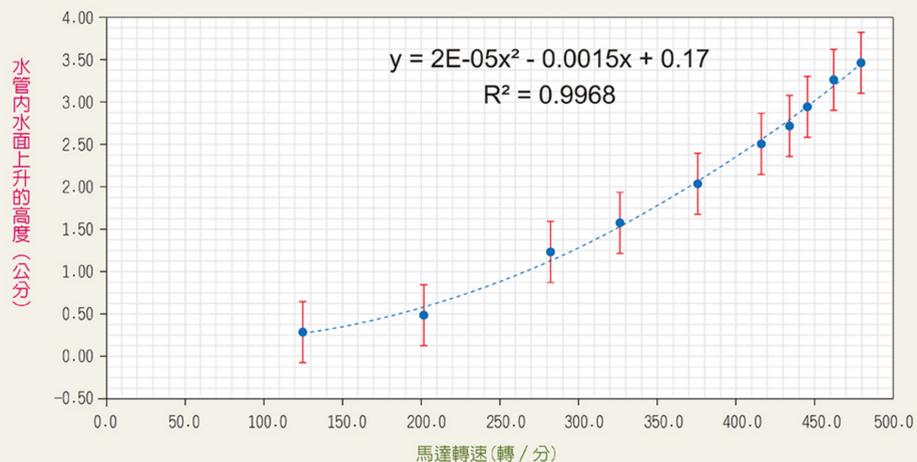
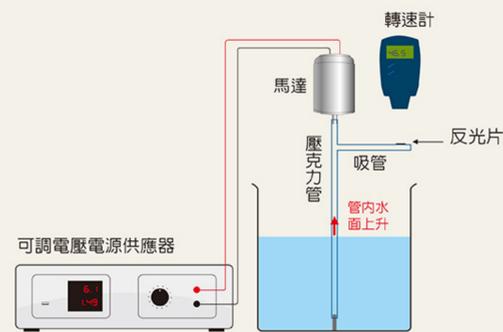
研究3-1探討馬達旋轉轉速對管內水面下降的影響  
Excel分析二次曲線(相關係數R大於0.75為高度相關,誤差分析)

### 研究二

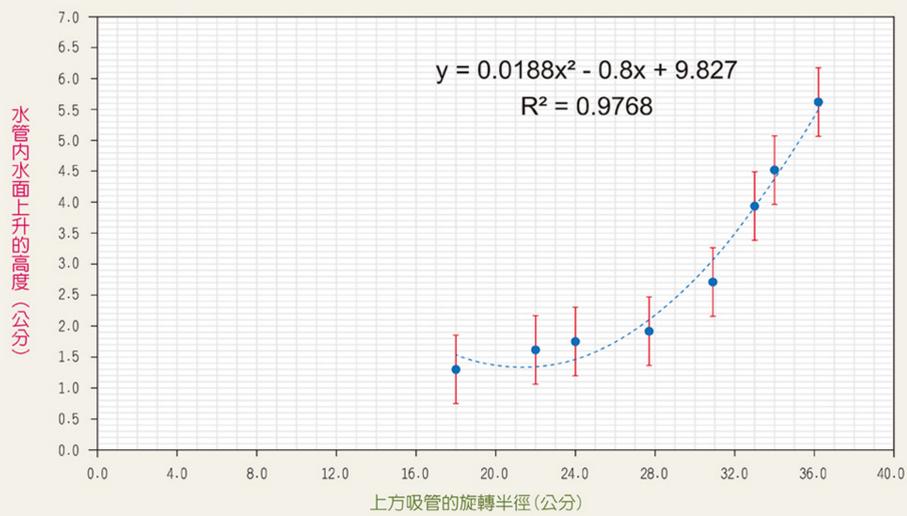
在空氣中旋轉管子，研究轉速與旋轉半徑對管內水面上升的影響。

研究2-1：發現馬達轉速越快，水面上升的高度也會越高。

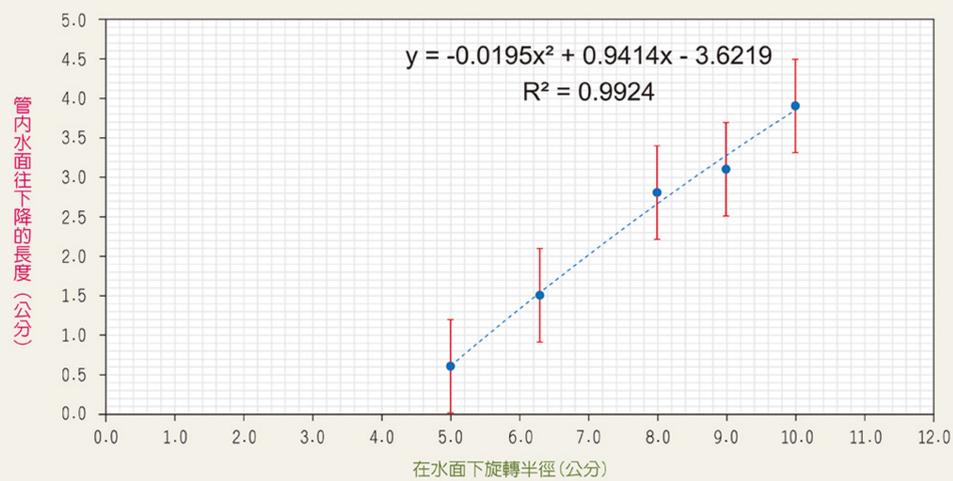
研究2-2：旋轉半徑越長，水面上升的高度也會越高。



研究2-1探討馬達轉速對管內水面上升的影響  
Excel分析二次曲線(相關係數R大於0.75為高度相關,誤差分析)



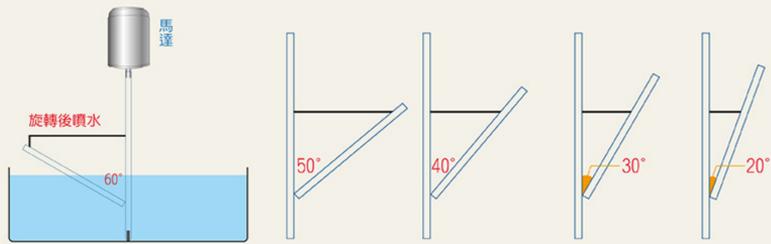
研究 2-2 探討旋轉半徑對管內水面上升的影響  
Excel 分析二次曲線(相關係數 R 大於 0.75 為高度相關,誤差分析)



研究3-2探討旋轉半徑對管內水面下降的影響  
Excel分析二次曲線(相關係數R大於0.75為高度相關,誤差分析)

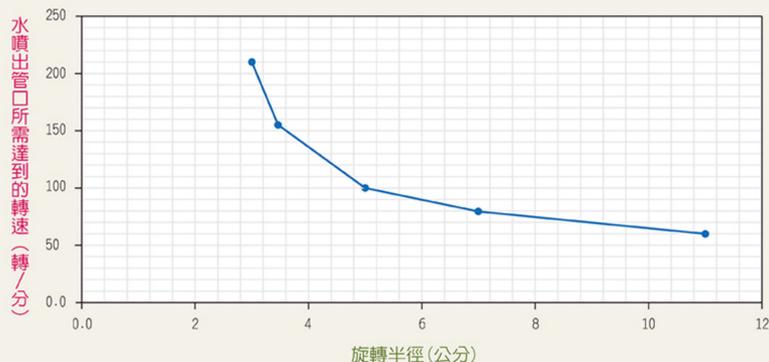
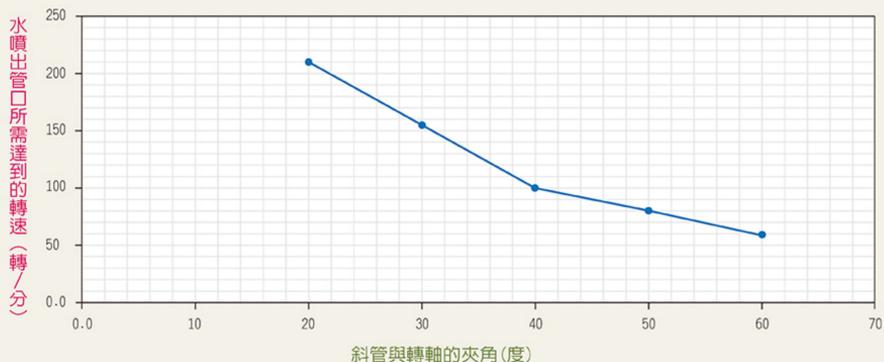


研究3-3 將空氣引入容器內下層的水中後，水中含氧量的變化



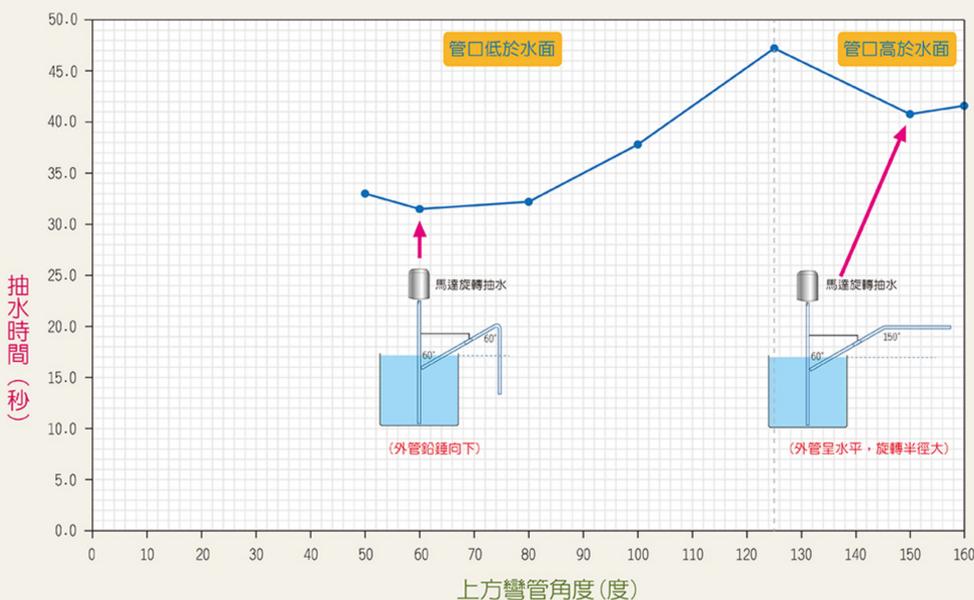
研究四 探討在較低轉速及較小的旋轉半徑下，啟動虹吸管實驗抽水。

研究 4-1：發現管子愈傾斜，管口端噴水所需的旋轉轉速愈小。進一步分析，若分析旋轉半徑與轉速的關係，也有相似的實驗趨勢。

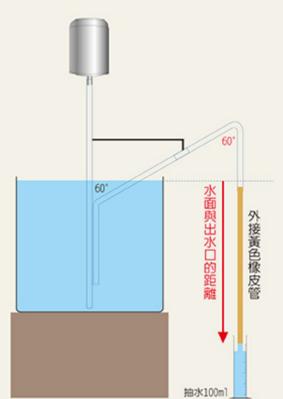


### 研究4-2：探討彎管角度對抽水的影響

彎管角度(度)	抽水時間(秒)	抽水時間減少(%)	馬達停止後是否能持續抽水
160°	41.6	11.9%	否
150°	40.8	13.6%	否
125°	47.2	基準	否
100°	37.8	19.9%	能
80°	32.2	31.8%	能
60°	31.6	33.1%	能
50°	33.0	30.1%	能



### 研究4-3：探討外管長度對抽水的影響

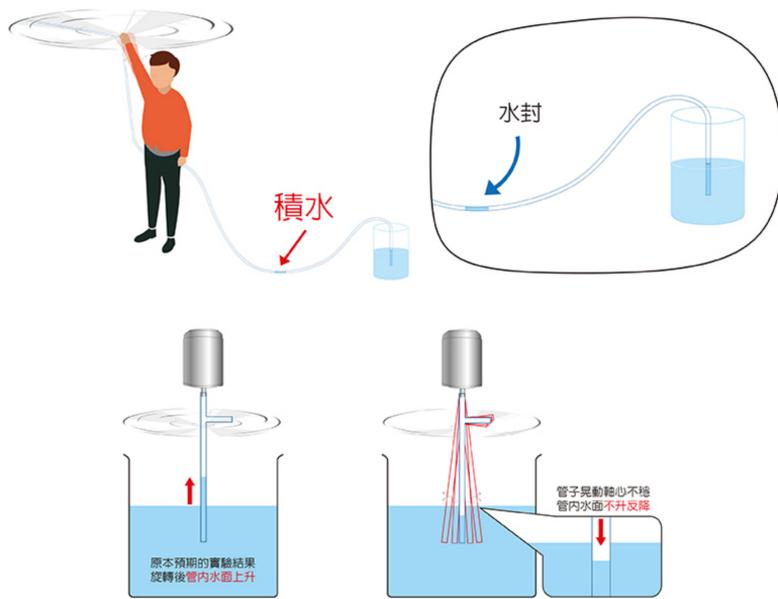


外接黃色橡皮管長(公分)	水面距虹吸管外管出水口端的距離(公分)	抽水100ml所需時間(秒) (五次數據取平均值)
1	5	11.7
2	10	7.2
3	15	6.1
4	20	5.5
5	25	5.2
6	30	4.9



## 陸、討論

- 研究一中利用甩動水管，將管內的水往上提升。若管內有積水，會導致實驗失敗。
- 研究二研究過程中若馬達軸心歪斜，旋轉後管內水面下降，結果與研究一的預測有出入。進一步設計研究三了解原因，推測與伯努力原理有關。
- 比較研究三與研究二，當管子在水中旋轉時管內水面的變化幅度比在空氣中旋轉更明顯。
- 在研究3-3中，嘗試一種新的方法，發現可將空氣引入較下層的水中增加含氧量。
- 研究四中旋轉一傾斜管子後，發現管內水面很容易上升，比研究二更明顯。
- 在研究4-2中發現，如果有虹吸現象產生，抽水時間將大大縮短。此變因的影響比旋轉半徑大。



## 柒、結論：

- 研究一在空氣中甩動一條水管，當管內水面上升後，將管口放低於液面，新的虹吸管實驗順利進行。
- 研究二發現在空氣中上方吸管旋轉轉速愈大，及旋轉半徑愈長，水管內水面上升愈高。
- 研究三旋轉水中管子，轉速愈大及旋轉半徑愈長，管內水面下降愈大。進一步將空氣引入下層水中一分鐘，能增加水中含氧量18%。
- 研究四能在低轉速及較小的旋轉半徑下，順利改良課本虹吸管實驗的啟動習慣並抽水。

## 捌、參考資料及其他：

- 康軒文教事業股份有限公司(2018)、康軒自然與生活科技四下第二章活動2，P30~P31
- <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%99%B9%E5%90%B8> (虹吸現象)
- <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B> (白努力定律)
- <http://scigame.ntcu.edu.tw/water/water-016.html> (吸管幫浦)
- 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書，累死人抽水機~吸管抽水機之探討