

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：公道杯在魚菜共生系統中的潮汐現象應用

關 鍵 詞：虹吸、公道杯、魚菜共生

編 號：

公道杯在魚菜共生系統中的潮汐現象應用

摘要

虹吸鐘裝置可以在水箱內製造類似潮汐現象的高低水位差，魚菜共生系統利用它來調節水位以便植物的根系能充分的吸取養分和呼吸空氣。我們想用四年級自然課所學的公道杯來取代它。公道杯是由一根倒 U 形管及杯體(水箱)組成，利用倒 U 形管引起虹吸現象排出杯體(水箱)裡的水。我們的研究是要探討改裝公道杯的入水管，也就是在倒 U 形管的入水口加裝寶特瓶喇叭口、或是在倒 U 形管上加裝輔助管以增加另一個人水口、在輔助管下裝置小量杯等方式，在不同的注入水流的流速下，能否成功的製造有高低水位差的潮汐現象。












壹、研究動機

四年級自然課曾介紹到一篇科學閱讀：古代的皇帝利用公道杯的虹吸現象，教訓了大臣們做人不可貪心的道理。但是公道杯除了用來說教之外，能不能用在其他實用的地方呢？我們想到，魚菜共生系統中，有一種叫做虹吸鐘的裝置，製造潮汐現象讓種菜盆的水位有高低變化，低水位時可以使空氣進入盆內，讓植物的根呼吸；而高水位時水淹過植物的根，讓植物吸收養分和水分。因為虹吸鐘製造困難，而且失敗率高，所以我們用簡單的公道杯來取代虹吸鐘，看看它是否也能成功的製造潮汐漲退的效果。

貳、研究目的

- 一、研究不同的管徑對虹吸管排水速度的影響。
- 二、研究不同水位對虹吸管排水速度的影響。
- 三、改造公道杯的入水管徑，觀察對虹吸排水速度的影響。
- 四、探討公道杯上方注入的水流速度變化對形成的潮汐現象的影響。
- 五、研究改造過的公道杯入水管是否有助於潮汐現象的形成

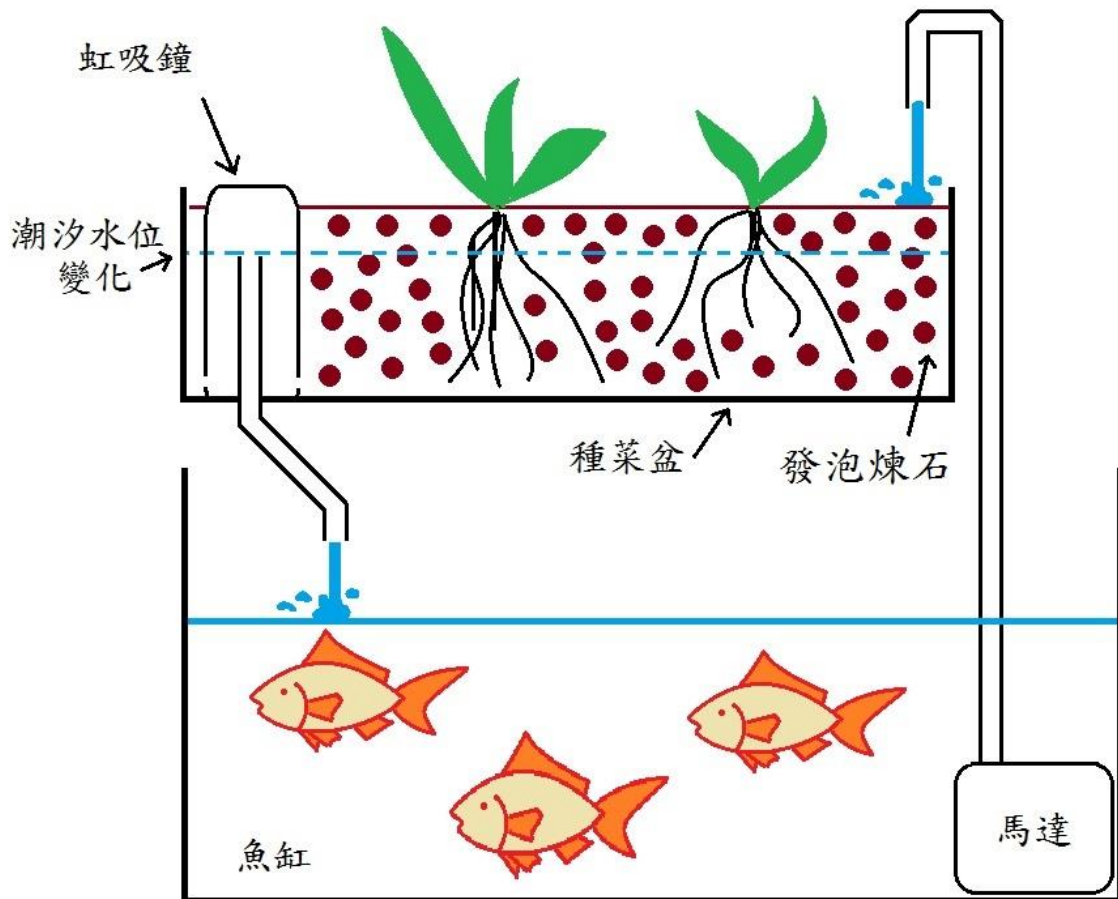
參、研究設備與器材

<p>軟質水管</p> 	<p>各式量杯</p> 	<p>水桶</p> 
<p>圓筒塑膠罐、熱熔膠、風管</p> 	<p>塑膠方桶</p> 	<p>保特瓶瓶嘴</p> 
<p>小量杯</p> 	<p>剪刀、尺、量角器、鋸子</p> 	<p>塑膠水管及水管接頭</p> 
<p>壓克力方盆</p> 	<p>橘色大型方筒</p> 	

肆、研究的過程與方法

一、運用在魚菜共生系統的虹吸鐘

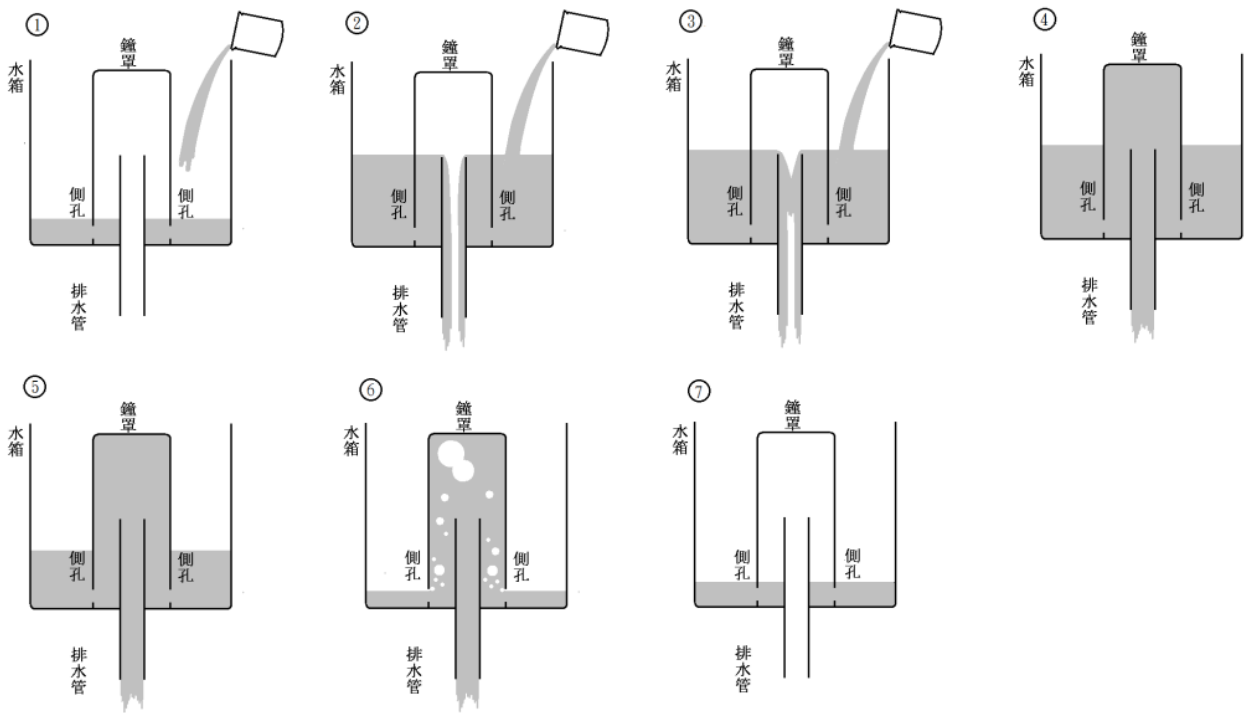
魚菜共生系統中，有一種叫做虹吸鐘的裝置，配合抽水馬達可以用來製造潮汐現象讓種菜盆的水位有高低變化，水位高時，含有魚類製造的有機肥的水會淹過植物的根部，讓植物吸收養分與水分，水位低時，讓植物的根部露出水面呼吸空氣，以免泡在水中爛掉，如圖一。



圖一、魚菜共生系統示意圖

而製造潮汐現象的虹吸鐘包含了幾個部件：用來蓄水的水箱(種菜盆)、引發虹吸現象用的鐘罩及用來排水的排水管，如圖二。它的操作原理詳細如下：

- (一)將水倒入水箱裡，水會從鐘罩上的側孔進入罩內，所以鐘罩裡面和外面的水位會一樣高，如圖二①。
- (二)當水滿過排水管頂端的人水口時，開始流入排水管形成溢流，如圖二②。
- (三)溢流持續增加，當溢流的頂部結合，在排水管裡形成水柱塊時，水柱塊會因為本身的重量快速墜落，將鐘罩的空氣一起帶出鐘罩，如圖二③。
- (四)鐘罩裡空氣減少，鐘罩內水位就會上升淹過排水管的頂端，這時水就會持續的自動從排水管排到水箱外，如圖二④。
- (五)水持續的從排水管排出後，水箱內的水位會漸漸下降，如圖二⑤。
- (六)水位下降到鐘罩的側孔位置時，空氣從側孔進入鐘罩裡，如圖二⑥。
- (七)鐘罩重新充滿空氣，鐘罩裡的水位就會跌落到和鐘罩外的水位一樣高，這時候虹吸現象就會停止，如圖二⑦。



圖二、虹吸鐘排水原理

如果上方利用抽水馬達持續倒水，那麼水箱(種菜盆)中的水位就會重新增加，直到再次引發虹吸現象造成水位下降，如此周而復始，就是所謂的潮汐現象了。

二、用公道杯取代虹吸鐘

小學四年級學到的公道杯，也是利用虹吸現象將水箱(種菜盆)中的水排出，在自然課本上，我們可以看到它的內部構造：公道杯杯體中的龍，中間有一條倒 U 形的管和底座相通，當酒慢慢注入杯中，如果酒沒有超過龍體中管子的高度，杯中的酒就不會流失；倒入的酒一旦超過管子的高度時，就會全部流入底座中。(自然課本康軒版第四冊，如圖三。)



圖三、自然課本的九龍公道杯

用圖解來說明公道杯虹吸現象如下圖四。它的部件比較簡單，用來蓄水的水箱(種菜盆)、引發虹吸現象用的倒U形管。操作原理詳細如下：

(一)從上方將水注入水箱，如圖四①。

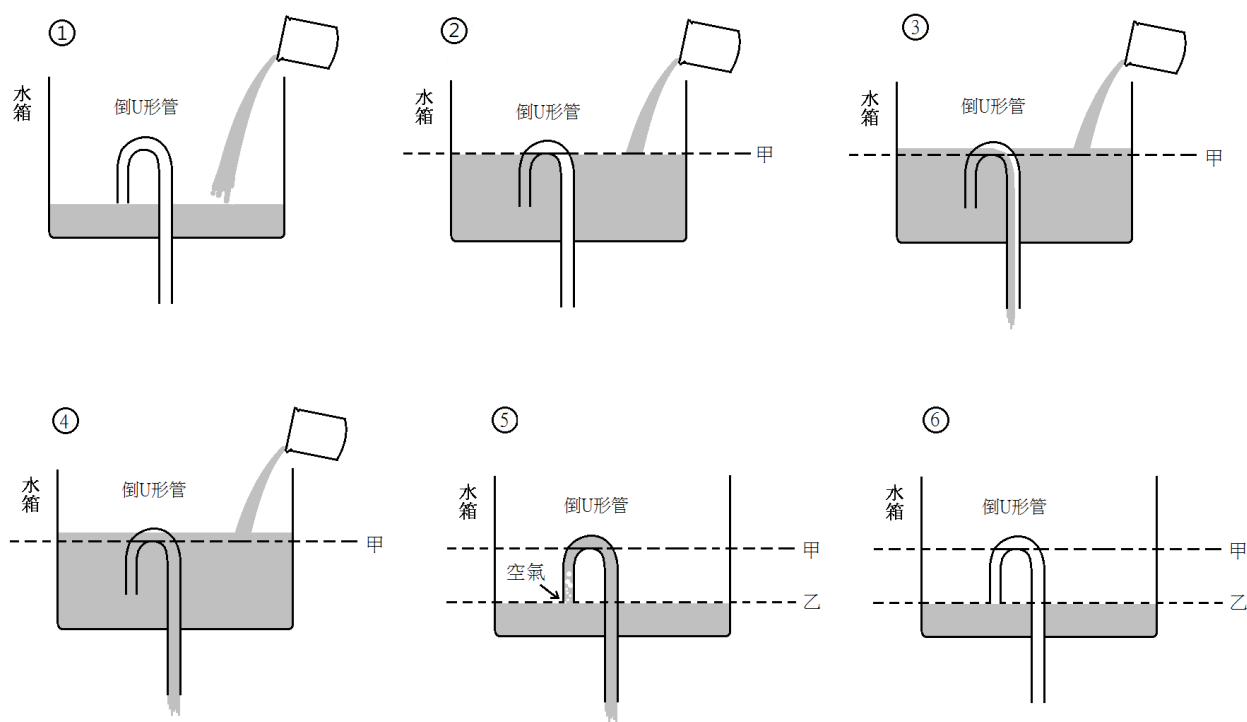
(二)箱中的水位慢慢升高，在未超過虛線甲時，不會引發虹吸現象，如圖四②。

(三)當水位超過虛線甲時，水從倒U形管底部溢出，如圖四③。

(四)水位繼續上升，將倒U形管填滿後，引發虹吸現象將水從水箱中經由倒U形管自動排出，如圖四④。

(五)當水位降至虛線乙的時候，空氣從管口進入倒U型管中，如圖四⑤。

(六)虹吸現象被進入的空氣中斷停止，如圖四⑥。



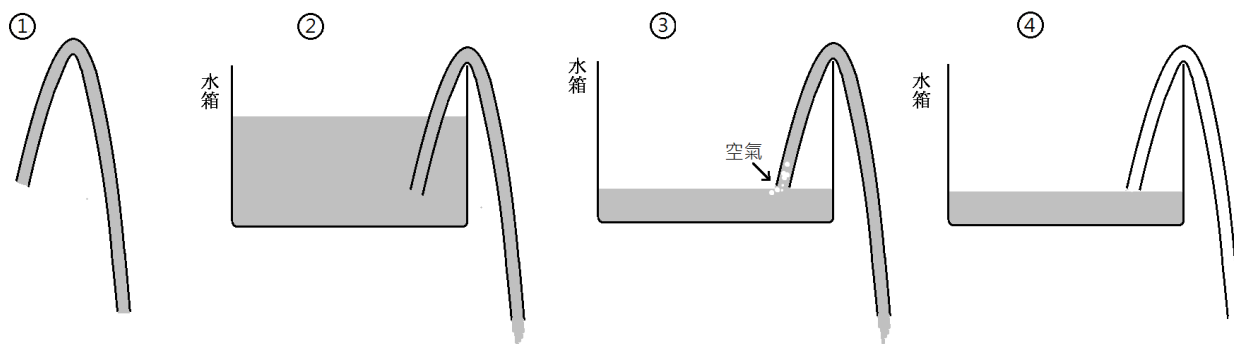
圖四、九龍杯排水原理

同樣的，如果上方利用抽水馬達持續從上方倒水，那麼水箱(種菜盆)中的水位就會重新增加，直到再次引發虹吸現象造成水位下降，如此周而復始，也會有潮汐現象。因為公道杯製作容易，也和我們課本所學有關，所以我們利用水管，塑膠箱來做出圖四的公道杯做實驗。

三、實驗設計與實驗方法：

(一)對於虹吸現象的基本了解

自然課本告訴我們，將裝滿水的水管(圖五①)，一端放入裝水的容器中，另一端出水口位置低於容器中的水面(圖五②)，水就會由水位較高的一端，順著水管越過容器流向出水口，直到空氣由入水口進入(如圖五③)，中斷排水(如圖五④)。稱為虹吸現象。

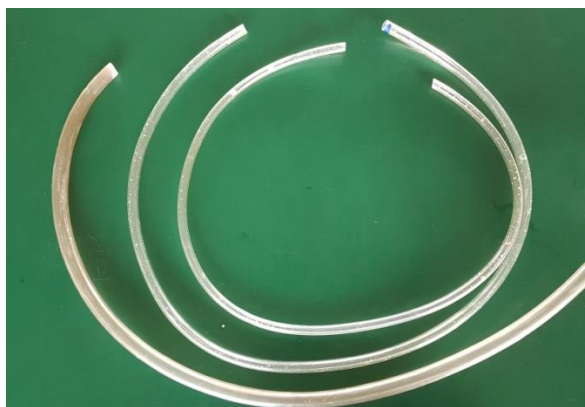


圖五、虹吸現象排水原理

我們想知道，水管的管徑粗細是否會對排水速度造成影響，想做公道杯，中間的倒 U 型管粗細該怎麼拿捏呢？

1.【實驗 1】：不同的水管管徑對虹吸排水速度的影響

- (1)用口徑分別為 1.3cm、0.9cm、0.6cm 的三種不同粗細，但長度都相同的水管，如圖六。
- (2)每次實驗時，水箱的水位固定。將水管裝滿水，一端放入裝水的水箱中，插到箱底，但不要阻塞入水口。另一端低於水箱水面，引發虹吸現象將水注入 1000ml 的量杯中，如圖七。
- (3)用碼錶測知虹吸排水注滿 1000ml 量杯時所需要的時間並記錄。
- (4)將 1000ml 除以步驟(3)的時間算出虹吸排水速度(ml/s)。



圖六

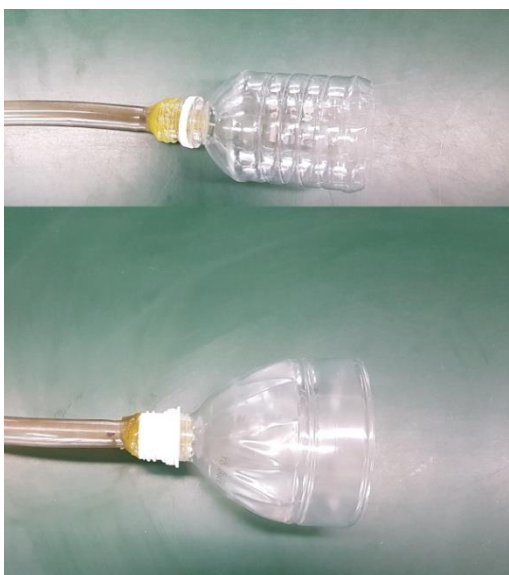


圖七

2. 【實驗 2】：只改變水管入水口的管徑對虹吸排水速度的影響

做公道杯時，畢竟要將倒 U 形管固定在水箱當中，當底部出水口固定後，管徑不能變動，那麼是否能藉由改變吸水的入水口管徑來改變虹吸排水的時間呢？我們藉由以下的方法來實驗：

- (1)將兩個大小不同的寶特瓶切開，兩個寶特瓶切的長度相同。大寶特瓶口徑 7.8cm，小寶特瓶口徑 5.6cm。
- (2)將兩個寶特瓶分別接在都接在管徑 1.3cm 的粗水管做實驗，如圖八。
- (3)每次實驗時，水箱的水位固定。將水管裝滿水，寶特瓶端放入裝水的水箱中，(插到箱底，但不要阻塞入水口。)另一端沒有裝寶特瓶的出水口低於水箱水面，引發虹吸現象將水注入 1000ml 的量杯中，如圖九。
- (4)用碼錶測知虹吸排水注滿 1000ml 量杯時所需要的時間並記錄。
- (5)將 1000ml 除以步驟(4)的時間算出虹吸排水速度(ml/s)。



圖八



圖九

3. 【實驗 3】不同水位對虹吸管排水速度的影響

在【實驗 1】的過程中我們目測發現，虹吸現象引發之後，水流開始時流的比較快，隨著水箱內的水位漸漸降低時，水管流出來的水似乎也漸漸的變慢，所以我們也做實驗來驗證。

- (1)在透明圓桶從上到下每 5 公分畫上一個刻度，由上到下分別標上 0~5，將透明圓桶裝水，水位到達最上方「0」的位置，如圖十。
- (2)將管徑 0.9cm 的水管充滿水，一端放入裝水的透明水桶中，(插到桶底，不要阻塞入水口。)另一端低於水桶水面，引發虹吸現象將水注入下方水桶中。

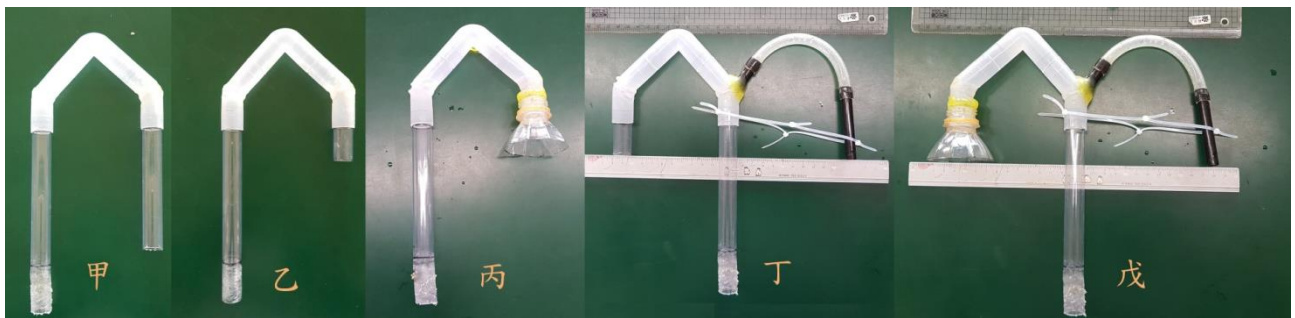
- (3)觀察虹吸現象的過程中，水位由0降到1、1降到2、2降到3、3降到4、4降到5各刻度間所花的時間用碼錶測量並記錄下秒數。
- (4)用量杯測出每個區段的水量是540ml，將540ml除以步驟(3)的時間算出虹吸排水速度(ml/s)。



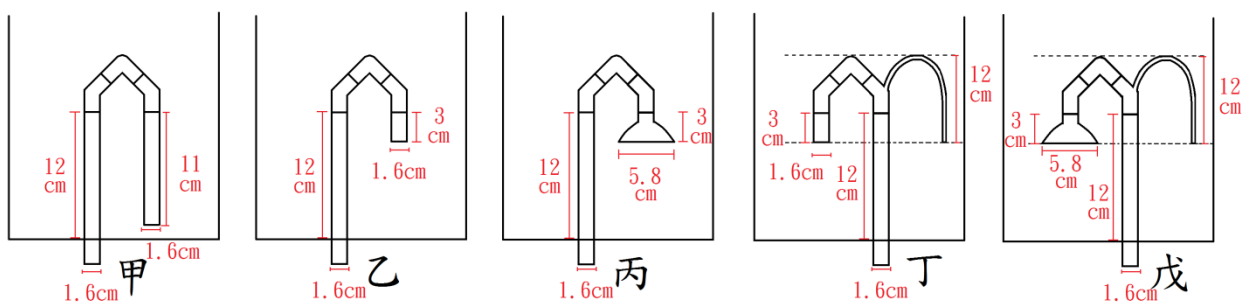
圖十

(二)製作公道杯，觀察虹吸排水與潮汐現象

我們利用管徑都是 1.6cm 的塑膠水管、接頭與寶特瓶、細水管等材料製作五組倒 U 形管，如圖十一。各組的的規格如圖十二。(註：甲、乙、丙、丁、戊的水管管徑、接頭的管徑和彎曲角度都相同，丙和戊的寶特瓶口口徑及長度都相同、丁和戊的細水管管徑、長度都相同。)



圖十一、五組不同的倒 U 形管



圖十二、倒 U 形管規格

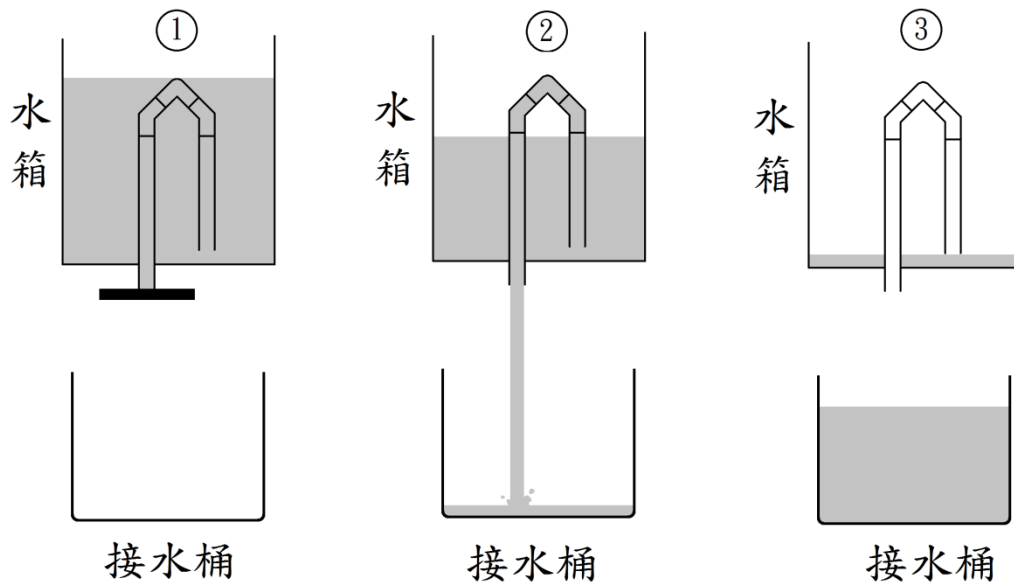
分別把它們裝在方型水箱做實驗，水箱外側從底部開始，每 2 公分向上畫一個刻度並編號(0~7)，以方便觀察。如圖十三。



圖十三

1. 【實驗 4】入水口樣式不同的倒 U 形管對公道杯排水速度的影響

- (1)用五種入水口樣式不同的倒 U 形管，裝在相同的水箱做虹吸排水實驗。規格如圖十二：
- (2)將水箱充水，直到引發虹吸現象，讓倒 U 形管中充滿了水。
- (3)將倒 U 形管的出水口用手擋住，水箱上方再繼續加水，讓水位停在倒 U 形管的頂部處，如圖十四①。
- (4)放開擋住出水口的手，讓水排出到下方的接水桶內(圖十四②)，直到虹吸停止(圖十四③)。
- (5)用碼錶測出放開手到虹吸停止的時間並記錄。
- (6)用量杯測量接水桶內的總水量。
- (7)將總水量除以步驟(5)的時間，就可知道公道杯的虹吸現象從水位在倒 U 形管的頂部到入水口處的排水速度(每秒的排水量，也就是 ml/s。)。



圖十四

2. 【實驗 5】公道杯的潮汐現象實驗

(1)上方注入水流的流速測量方法：

所謂的潮汐現象就是由公道杯的上方持續的注入水，當水位上升直到引發公道杯的虹吸現象後，公道杯自動排水，水位開始降低，當水位降低到入水口時，空氣進入倒 U 形管中斷虹吸現象，水位重新再因為上方水流的持續注入而升高，直到再次引發虹吸現象，如此重複循環，就像自然的潮汐一樣有高水位也有低水位。如果要使公道杯出現潮汐現象，最直接的想法就是上方持續注入水流的速度不可以比公道杯虹吸現象排水的速度還要快，所以必須先測量上方注入水流的速度，我們利用調整水龍頭開關來控制上方的注水速度，測量方法如下：

A.調整水龍頭的水流大小，將水注入 2000ml 的量杯，如圖十五。

B.用碼錶測知水位注滿到 2000ml 所需要的時間。

C.用 2000ml 除以步驟 B 的時間，就可以知道水流的速度。(每秒出水量，也就是 ml/s。)



圖十五、控制上方水流流速

(2)製造潮汐現象的實驗步驟：

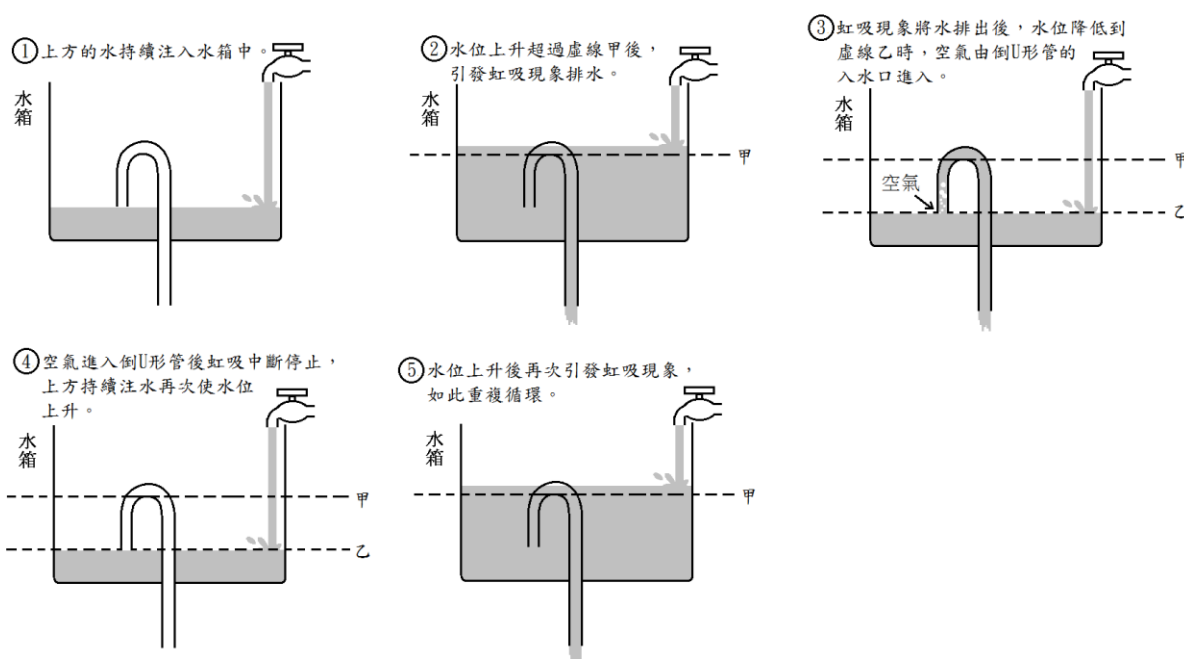
A.先控制水龍頭，用(1)的方法測知水流速度。我們用 200ml/s、150ml/s、100ml/s、50ml/s 四種水流的速度來做實驗，從公道杯(水箱)的上方用水龍頭持續的注入水流。

B.我們利用【實驗 4】中，五組不同的公道杯來做潮汐現象實驗。從上方注入水流，當水位上升到引發公道杯的虹吸現象後，公道杯會自動排水，水位開始降低，當水位降低到入水口時，空氣進入倒 U 形管會中斷虹吸現象，如圖十六①~④。

D.用碼錶測知虹吸現象開始到中斷的時間並記錄。

E.虹吸現象若能發生而且可以中斷的話，表示公道杯能形成潮汐現象。

F.為了方便觀察，我們在水箱外側底部向上等距 2cm 畫上刻度，可以實際看到水箱內的水位位置。



圖十六、製造潮汐現象示意圖

伍、研究結果

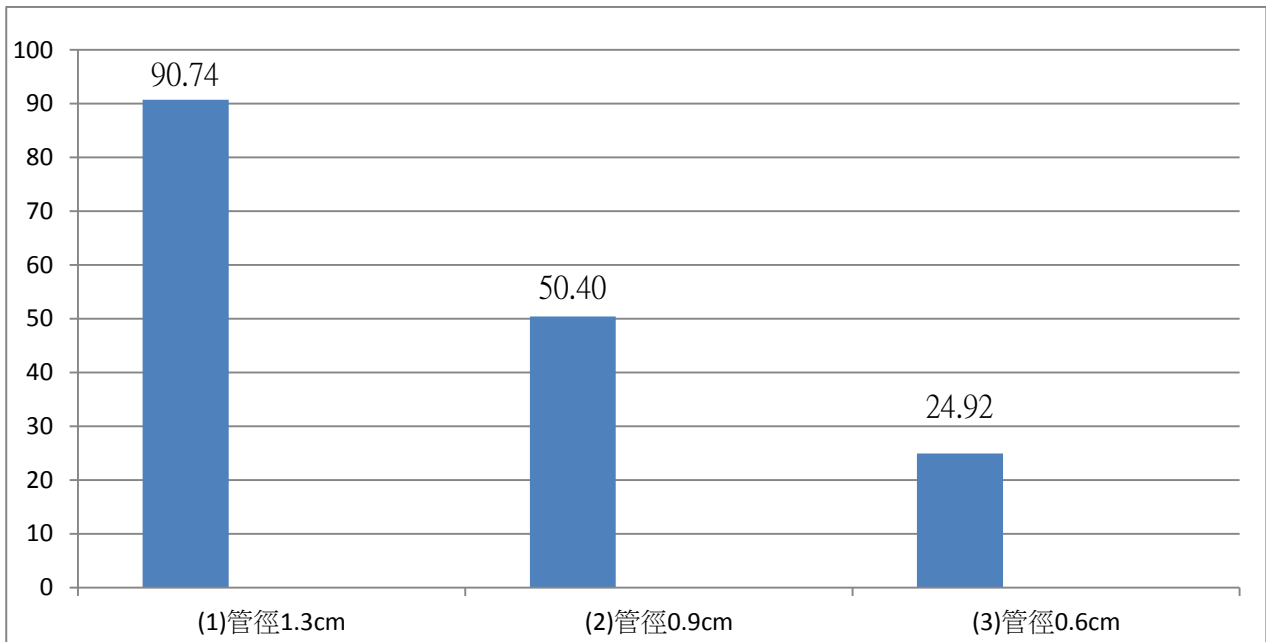
一、【實驗 1】：「不同的水管管徑對虹吸排水速度的影響」實驗結果

(一)不同水管管徑的虹吸排水排出 1000ml 的時間(單位：秒 s)

水管口徑 實驗次數	粗 1.3cm	中 0.9cm	細 0.6cm
第一次	9.18	19.97	39.23

第二次	12.78	19.57	39.60
第三次	10.54	20.68	41.08
第四次	11.02	20.54	39.73
第五次	11.57	18.46	41.03
平均	11.02	19.84	40.13

(二)將平均虹吸排水速度算出並以圖表比較 (單位:ml/s)



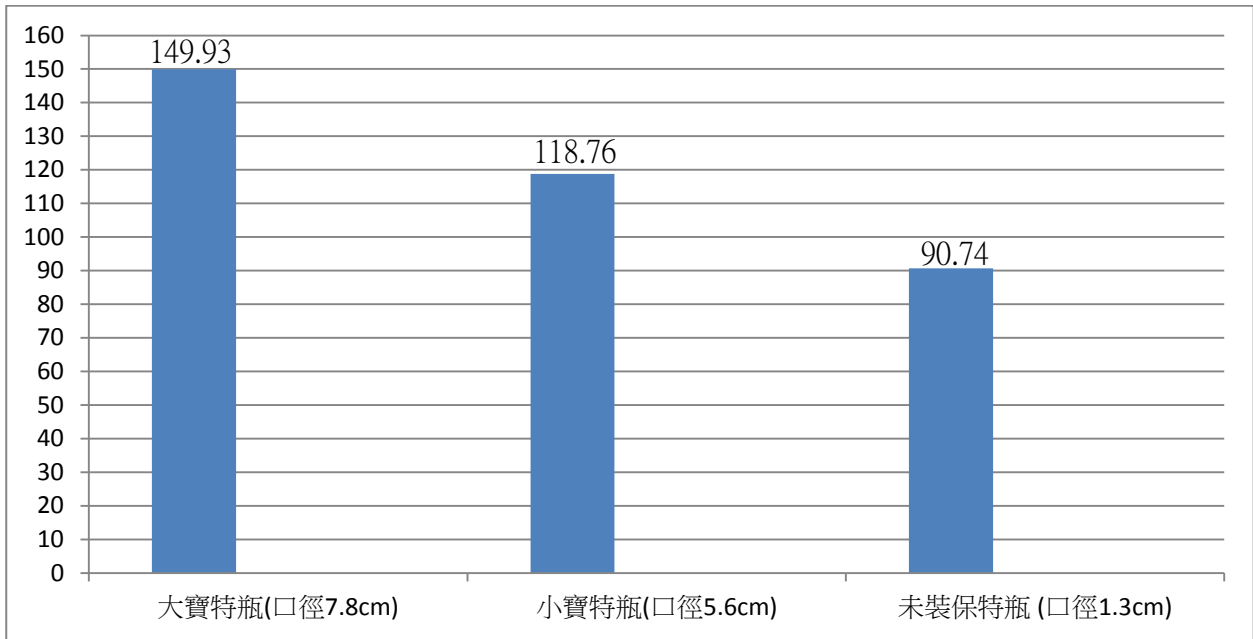
從圖可看出，同樣排出 1000ml 的水量，當水管的內徑越大時，虹吸排水的時間越少，所以排水速度越快。

二、【實驗 2】：「只改變水管入水口的管徑對虹吸排水速度的影響」實驗結果。

(一) 不同入水口的管徑虹吸排水排出 1000ml 的時間(單位：秒 s)

水管出水口管徑 入水口管徑 實驗次數	1.3cm		
	大寶特瓶 7.8cm	小寶特瓶 5.6cm	未裝保特瓶 1.3cm
第一次	6.23	7.80	9.18
第二次	6.94	8.85	12.78
第三次	6.49	8.20	10.54
第四次	6.28	8.64	11.02
第五次	7.40	8.59	11.57
平均	6.67	8.42	11.02

(二) 將平均虹吸排水速度算出並以圖表比較 (單位:ml/s)



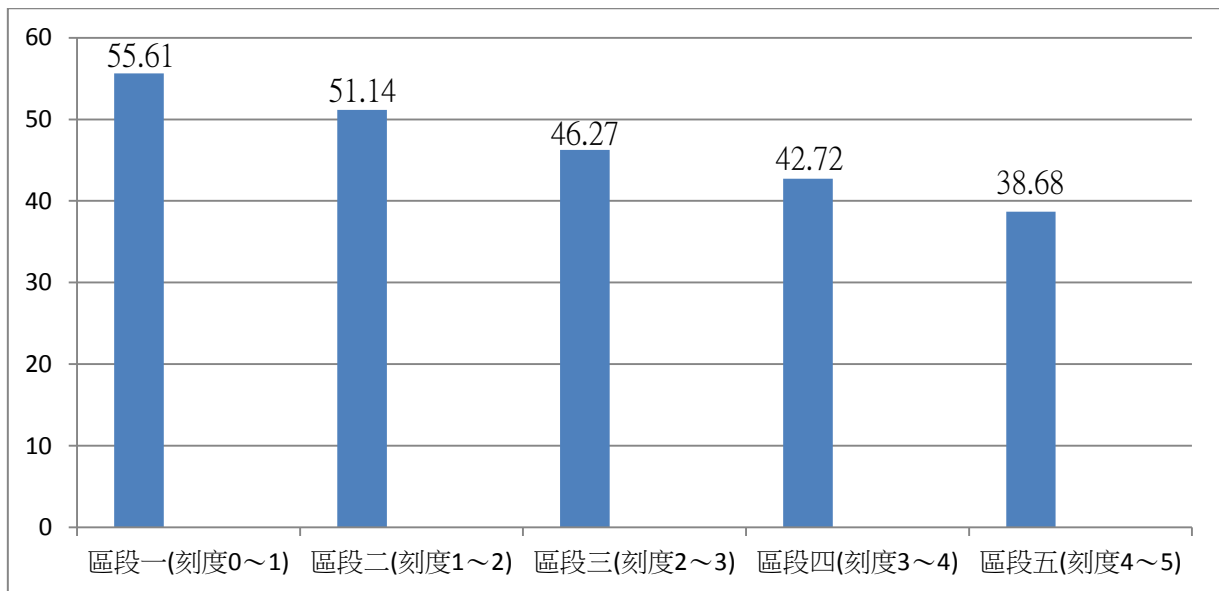
從圖可看出，同樣排出 1000ml 的水量，出水口的管徑不變時，當入水口的管徑越大，虹吸排水的時間會越少，所以排水速度越快。

三、【實驗 3】「不同水位對虹吸管排水速度的影響」實驗結果

(一) 虹吸現象在不同的水位排掉相同水量的時間(單位：秒 s)

區段 實驗次數	區段一 (刻度 0~1)	區段二 (刻度 1~2)	區段三 (刻度 2~3)	區段四 (刻度 3~4)	區段五 (刻度 4~5)
第一次	9.15	10.03	11.01	12.30	12.85
第二次	10.29	12.24	14.10	14.67	17.35
第三次	8.58	8.97	9.92	10.89	12.73
第四次	9.73	9.98	11.34	11.68	12.48
第五次	10.80	11.57	11.98	13.64	14.37
平均	9.71	10.56	11.67	12.64	13.96

(二) 將平均虹吸排水速度算出並以圖表比較 (單位:ml/s)



從圖可看出，在水位越高時，排出相同 540ml 水量的水，虹吸排水的時間會越少，所以排水速度越快。

四、【實驗 4】：「入水口樣式不同的倒 U 形管對公道杯排水速度的影響」實驗結果

(一)各組不同的倒 U 形管做成的公道杯的虹吸排水速度

1.甲組：

出水口管徑	箱內出水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	12cm	
入水口口徑	入水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	11cm	

觀察項目 實測次數	從倒 U 形管頂端開始虹吸 排水到虹吸停止的時間(秒 s)	總排出水量(ml)	每秒排水量 (ml/s)
第一次	60.51	13440	222.11
第二次	60.37	13280	219.98
第三次	61.84	13270	214.59
第四次	60.86	13400	220.18
第五次	60.56	13450	222.09
平均每秒排水量(ml/s)			219.79

2.乙組：

出水口管徑	箱內出水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	12cm	
入水口口徑	入水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	3cm	

觀察項目 實測次數	從倒 U 形管頂端開始虹吸 排水到虹吸停止的時間(秒 s)	總排出水量(ml)	每秒排水量 (ml/s)
第一次	39.00	8680	222.56
第二次	39.23	8535	217.56
第三次	38.89	8400	215.99
第四次	39.77	8600	216.24
第五次	39.49	8530	216.00
平均每秒排水量(ml/s)			217.67

3.丙組：

出水口管徑	箱內出水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	12cm	
入水口口徑	入水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
5.8cm	3cm	

觀察項目 實測次數	從倒 U 形管頂端開始虹吸 排水到虹吸停止的時間(秒 s)	總排出水量(ml)	每秒排水量 (ml/s)
第一次	36.30	8740	240.77
第二次	36.48	8600	235.75
第三次	35.82	8540	238.41
第四次	36.99	8500	229.79
第五次	35.02	8550	244.15
平均每秒排水量(ml/s)			237.77

4.丁組：

出水口管徑	箱內出水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	12cm	
入水口口徑	入水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	3cm	
●加裝輔助管管徑		0.9cm

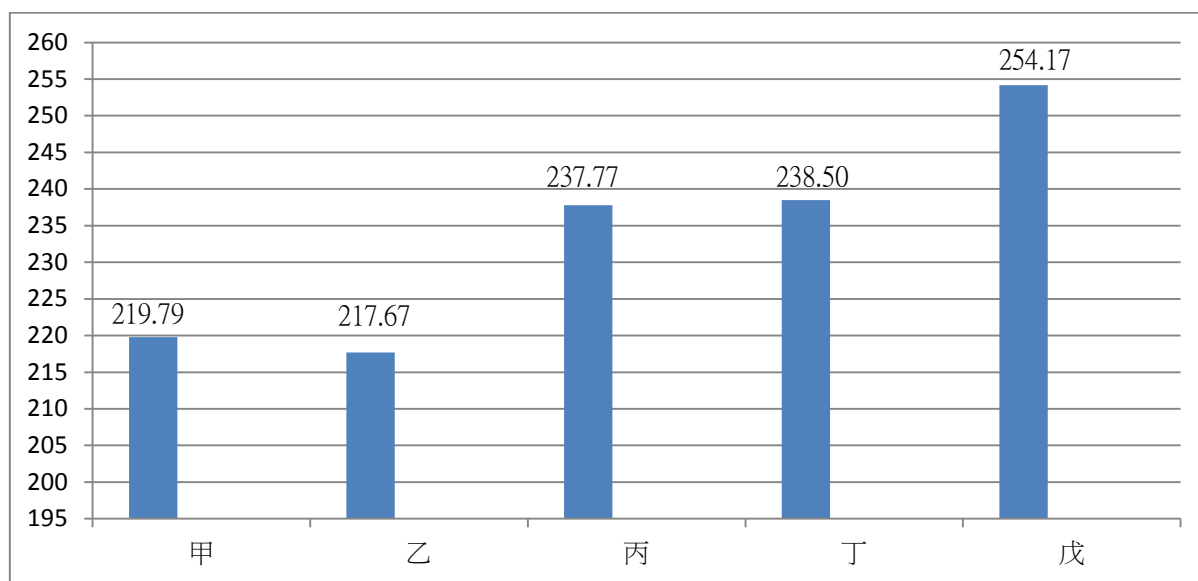
觀察項目 實測次數	從倒 U 形管頂端開始虹吸 排水到虹吸停止的時間(秒 s)	總排出水量(ml)	每秒排水量 (ml/s)
第一次	34.37	8300	241.49
第二次	35.75	8420	235.52
第三次	36.08	8450	234.20
第四次	34.62	8470	244.66
第五次	35.03	8290	236.65
平均每秒排水量(ml/s)			238.50

5.戊組：

出水口管徑	箱內出水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
1.6cm	12cm	
入水口口徑	入水管長度 (扣除倒 U 形接頭部分)	
5.8cm	3cm	
●加裝輔助管管徑		0.9cm

觀察項目 實測次數	從倒 U 形管頂端開始虹吸 排水到虹吸停止的時間(秒 s)	總排出水量(ml)	每秒排水量 (ml/s)
第一次	32.58	8350	256.29
第二次	33.87	8650	255.39
第三次	32.83	8350	254.34
第四次	32.65	8459	259.08
第五次	34.10	8380	245.75
平均每秒排水量(ml/s)			254.17

(二)以圖表比較各組的平均每秒排水量(單位：ml/s)



- 1.比較甲、乙兩組：除了甲的倒 U 形管入水管較長之外，兩者的其他條件相同，甲因為水位要降到較低的位置才能讓空氣進入虹吸管中斷虹吸，所以花了較長的時間讓虹吸停止，但是它也排出了更多的水量。從每秒的平均排水量來看，只改變入水管的長度，不改變入水口的管徑的話，兩者的每秒的平均排水量相差不明顯。
- 2.比較乙、丙兩組：兩者除了入水口的管徑不同之外，其他條件都相同，入水口的管徑越大，每秒排水量就會越快，和【實驗 2】的結果相符。
- 3.比較乙、丁兩組：丁組增加了一條輔助管吸水，相當於增加了一個入水口，所以也有擴大入水口口徑的效果，因此也能讓虹吸的速度，也就是每秒排水量加大。
- 4.戊除了用寶特瓶擴大入水口外，再增加一條輔助管吸水，都增加了入水口的口徑，因此也是所有組別中，每秒排水量最大的。

五、【實驗 5】「公道杯的潮汐現象實驗」結果

各組公道杯的上方注入水流，能引發虹吸現象後且能自行停止，才算是有潮汐現象：

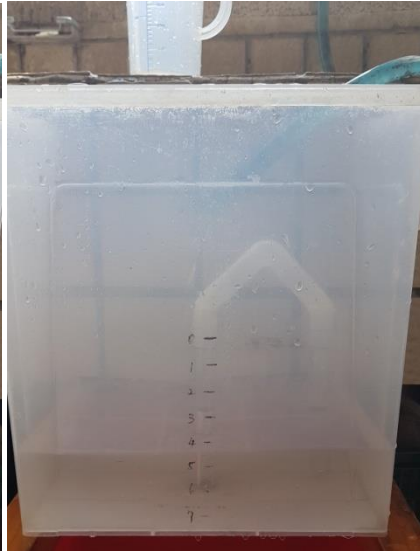
(一)甲組：平均每秒排水量是 219.79ml/s

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)	是否形成 潮汐現象	備註
200	○	無法停止	×	水位線停在箱上刻度 2~3 附近。(圖十七)
150	○	無法停止	×	水位線停在箱上刻度 4~5 附近。(圖十八)
100	○	無法停止	×	水位線停在箱上刻度 7 附近。水位線在刻度 7 時，空氣已可進入入

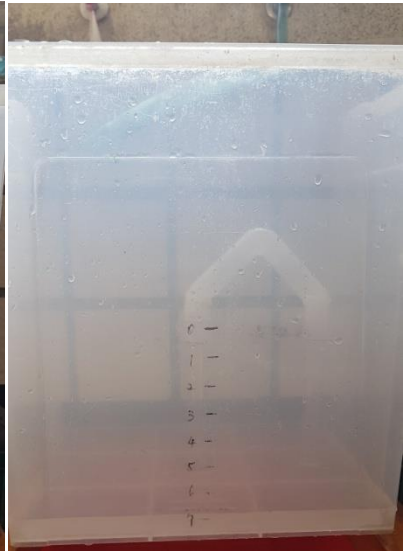
				水口，但一進入會減緩虹吸排水速度，水位線又重新上升，(圖十九)
50	×	只有溢流，無法虹吸	×	水一直從出水口排出，但無法將倒 U 形管內的空氣排掉。



圖十七



圖十八



圖十九

(二)乙組：平均每秒排水量是 217.67ml/s

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)		是否形成 潮汐現象	備註
200	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 2 附近。(圖二十)
150	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 3 附近。水位線在刻度 3 時，空氣已可進入入水口，但一進入會減緩虹吸排水速度，水位線又重新上升。(圖二十一)
100	○	第一次	72.49	○	虹吸現象能中斷，形成潮汐現象。
		第二次	73.44		
		第三次	74.89		
		第四次	71.97		
		第五次	72.29		
		平均	73.02		
50	×	只有溢流，無法虹吸		×	水一直從出水口排出，但無法將倒 U 形管內的空氣排掉。



圖二十



圖二十一

(三)丙組：平均每秒排水量是 237.77ml/s

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)		是否形成 潮汐現象	備註
200	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 3 附近。水位線在刻度 3 時，空氣已可進入入 水口，但一進入會減緩 虹吸排水速度，水位線 又重新上升。 (圖二十二)
150	○	第一次	105.47	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象。
		第二次	105.19		
		第三次	106.59		
		第四次	105.65		
		第五次	106.63		
		平均	105.91		
100	○	第一次	60.42	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象。
		第二次	59.53		
		第三次	61.43		
		第四次	59.58		
		第五次	60.26		
		平均	60.24		
50	×	只有溢流，無法虹吸		×	水一直從出水口排 出，但無法將倒 U 形 管內的空氣排掉。



圖二十二

(四)丁組：平均每秒排水量是 238.50ml/s

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)		是否形成 潮汐現象	備註
200	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 2 附近。(圖二十三)
150	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 3 附近。水位線在刻度 3 時，空氣已可進入入 水口，但一進入會減緩 虹吸排水速度，水位線 又重新上升。 (圖二十四)
100	○	第一次	54.67	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象。
		第二次	59.26		
		第三次	55.48		
		第四次	58.62		
		第五次	59.36		
		平均	57.48		
50	×	只有溢流，無法虹吸		×	水一直從出水口排 出，但無法將倒 U 形 管內的空氣排掉。



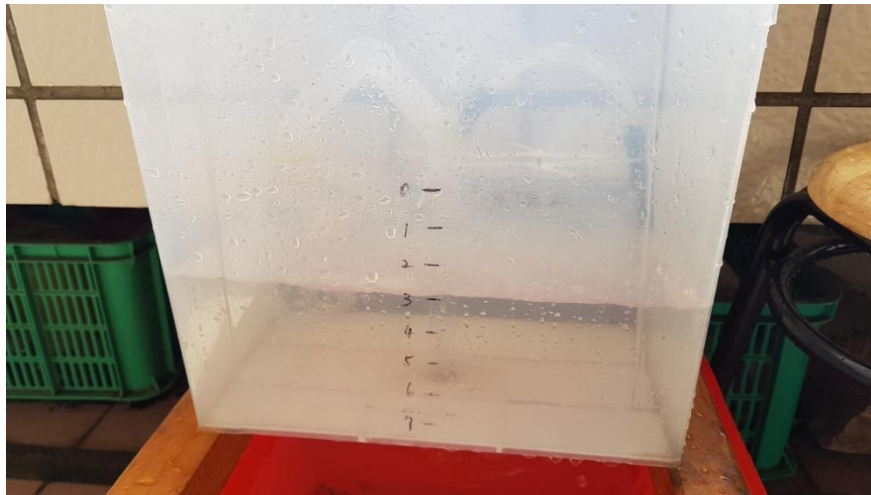
圖二十三



圖二十四

(五)戊組：平均每秒排水量是 254.17ml/s

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)		是否形成 潮汐現象	備註
200	○	無法停止		×	水位線停在箱上刻度 3 附近。水位線在刻度 3 時，空氣已可進入入 水口，但一進入會減緩 虹吸排水速度，水位線 又重新上升。 (圖二十五)
150	○	第一次	111.97	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象，但是每次停 止的時間相差很多，不 太穩定。
		第二次	90.39		
		第三次	156.45		
		第四次	114.10		
		第五次	210.73		
		平均	136.73		
100	○	第一次	52.18	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象，而且也很穩 定。
		第二次	52.43		
		第三次	52.54		
		第四次	53.66		
		第五次	53.09		
		平均	52.78		
50	×	只有溢流，無法虹吸		×	水一直從出水口排 出，但無法將倒 U 形 管內的空氣排掉。



圖二十五

陸、討論

- 一、在【**實驗 1**】及【**實驗 2**】中，我們用一般的軟質水管來做管徑大小對於虹吸排水速度的影響的實驗，卻不直接用改變倒 U 形管的管徑方式來做實驗，原因是因為倒 U 形管製作上比較麻煩，同樣是虹吸現象，其實用軟質水管來做實驗，就可以看出不同的水管管徑在虹吸排水速度上的差別。
- 二、當倒 U 形管固定在水箱之中，如果想要再擴大管徑來增加虹吸排水速度，就必須重新在水箱挖洞，實務上比較困難，所以才想到如果只是擴大入水口口徑，在入水口上加上寶特瓶，是否能加快虹吸的排水速度。所以我們先用軟質水管做了【**實驗 2**】，然後在【**實驗 4**】的倒 U 形管中，丙組也是加上了寶特瓶喇叭入水口來驗證【**實驗 2**】的結果。
- 三、在【**實驗 3**】的實驗結果中，透明圓筒的每個刻度距離都是相同的 5cm，而透明圓筒是平底直筒狀，也就是說，每個刻度之間的水量都是相同的，當水位越高，虹吸管排出相同的水量會越快，隨著水位漸漸降低，虹吸現象的排水速度會越來越慢，這可能是因為，入水口放在透明圓筒的最底部，當上方的水位越低，將水從虹吸管推出的壓力就會變小。
- 四、在【**實驗 4**】的實驗結果中：
 - (一)甲組的入水管比乙組長，因此入水口的部分在水箱中比乙組還要深，所以甲的入水口上方水的水位相對比乙高，所以平均排水速度也略快，符合【**實驗 3**】的結果。
 - (二)丙用了一個比較大的寶特瓶入水口，丁組增加了一條輔助管吸水，除此之外，丙和丁其他條件都相同，但是丁組輔助管的入水口口徑並沒有比丙組寶特瓶入水口徑大，可是每秒平均排水量(238.50ml/s)卻比丙(237.77ml/s)略大一些，這是我們比較驚訝和不解的。

五、【實驗 5】的實驗結果中：

(一)甲、乙、丙、丁、戊五組當中，平均每秒排水量最小的是乙組的 219.79ml/s，而我們每組實驗的上方注入水流速度最大只有 200ml/s 比各組的平均每秒排水量小，應該是很容易就能中斷虹吸現象，形成潮汐現象，但是我們看到五組的上方注入水流流速 200ml/s 的這個項目都無法中斷虹吸現象，我們想了想，發現【實驗 3】中，隨著水位的下降，虹吸排水速度是會變慢的，以乙組為例，雖然平均每秒排水量是 219.79ml/s 比 200ml/s 快，但是當水位降到水箱上的刻度 2 附近時，虹吸排水速度可能已經比 200ml/s 慢，所以水位無法再繼續降下去，其他各組也是相同的道理。

(二)觀察甲、乙、丙、丁、戊各組我們會發現，水位線降到某個刻度時，空氣其實已可進入入水口，但是下方虹吸排水速度和上方注入水流的速度如果太接近的話，空氣無法一口氣進入很多，不足以中斷虹吸現象，進入的空氣反而會減緩虹吸排水速度，讓水位線又重新上升。另外，我們也發現中斷虹吸現象除了和上下水流速度有關之外，入水口口徑的大小也會影響虹吸中斷時間是否穩定，例如，丁組的平均每秒排水量是 238.50ml/s，丙組的平均每秒排水量是 237.77ml/s，丁組的虹吸排水速度比丙組的虹吸排水速度略快，但是兩者在上方水流速度都是 150 ml/s 時，丁的虹吸現象無法中斷，但是丙卻可以，我們觀察實驗過程中，丙的大口徑寶特瓶入水口可以讓空氣一口氣進入中斷虹吸現象，而丁則因為水面的上下波動，空氣分別由兩端的管口零星進入虹吸管中，因此不容易中斷虹吸現象。

(三)同樣的，戊的平均每秒排水量是 254.17ml/s，又有一端的入水口是大口徑的寶特瓶入水口，在上方水流速度是 150 ml/s 時，應該也能很容易中斷虹吸現象，但是跟乙組的實驗一樣，上方水流注入時，會有水面的上下波動情形，所以空氣有時會從加裝的輔助細管口進入，減慢虹吸排水，又不足以中斷虹吸現象，所以會看到戊在 150 ml/s 的上方水流速度時，虹吸中斷的時間並不穩定。所以我們想到用一個小裝置，裝在戊組的輔助管口來做實驗解決這個問題：

- 1.我們在輔助管上放一個小量杯，下方用熱熔膠固定一個墊高台，將小量杯卡在管子和墊高台間，避免它漂走，如圖二十六。
- 2.當上方水流持續注入水箱，小量杯會浮在水面上，如圖二十七①。
- 3.水位上升後，水進入小量杯中，小量杯下沉，如圖二十七②。
- 4.公道杯引發虹吸現象後，輔助管將小量杯中的水抽吸出去，小量杯又開始浮上來，如圖二十七③。
- 5.小量杯的水被抽吸乾後，完全浮在水面上，空氣從輔助管管口大量進入倒 U 形管中，

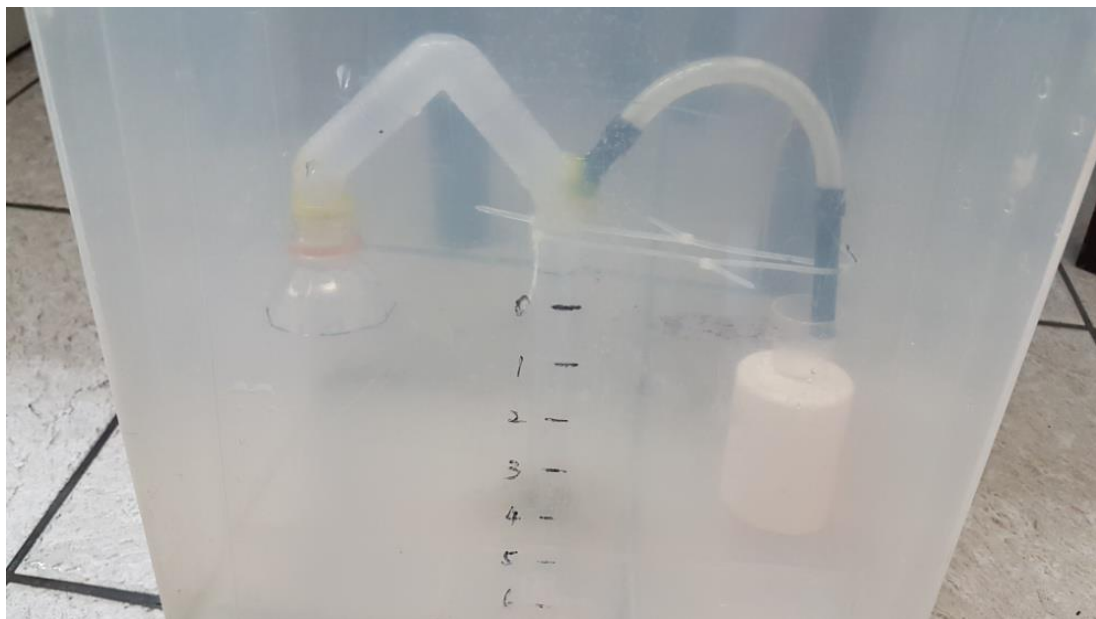
如圖二十七④。

6.空氣大量進入倒U形管後，使得虹吸中斷，如圖二十七⑤。

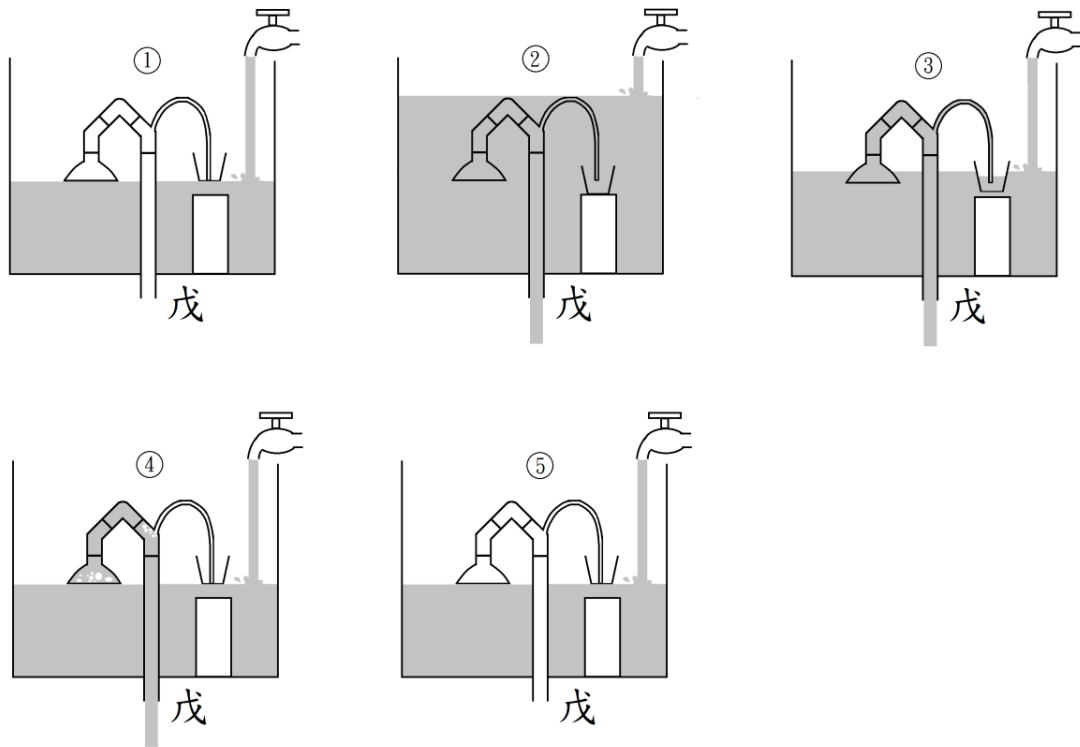
7.我們分別用 200ml/s 和 150ml/s 兩種上方水流的流速將水注入水箱中，引發虹吸現象後，用碼錶測知虹吸現象開始到中斷的時間並記錄，和【實驗 5】原本的戊組數據做比較，實驗結果如下表：

上方水流流速 單位(ml/s)	是否形成 虹吸現象	虹吸開始到停止的時間 (單位：s)		是否形成 潮汐現象	備註
200	○	第一次	93.50	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象，而且也很穩 定。
		第二次	93.64		
		第三次	94.55		
		第四次	95.40		
		第五次	95.33		
		平均	94.48		
150	○	第一次	65.22	○	虹吸現象能中斷，形成 潮汐現象，而且也很穩 定。
		第二次	64.98		
		第三次	65.63		
		第四次	64.90		
		第五次	65.32		
		平均	65.21		

我們發現原本在【實驗 5】戊組無法讓虹吸現象中斷的 200 ml/s 的上方水流流速這個項目，在加裝小量杯後，能穩定的中斷虹吸，形成潮汐現象。另外在 150 ml/s 的上方水流流速這個項目，在加裝小量杯後，也能穩定的中斷虹吸，形成潮汐現象。



圖二十六

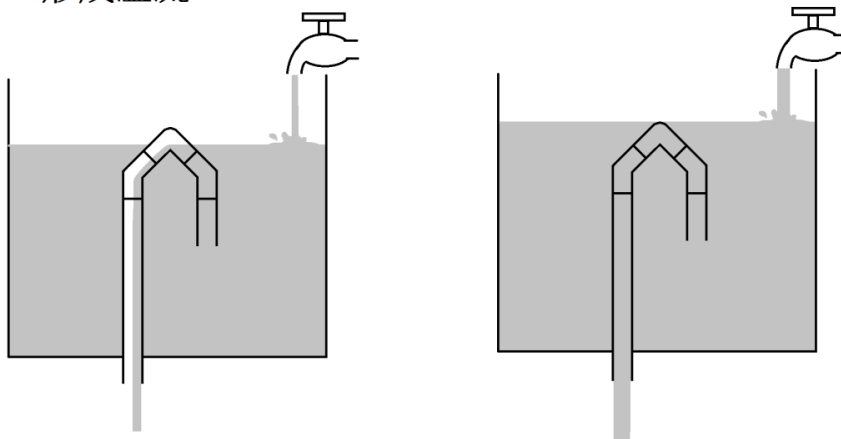


圖二十七

(四)甲、乙、丙、丁、戊五組實驗中，在上方水流流速 50ml/s 這個項目中，都無法引發虹吸現象，應該是上方水流流速過慢，水位慢慢上升，而倒 U 形管管徑相對大，所以水量無法佔滿整個管內通道將空氣推出去形成虹吸現象，水只會一直由倒 U 形管的出水口緩慢排出，直到上方水流停止，溢流也會跟著停止，如圖二十八①。

① 上方水流流速過慢，無法推出管內空氣，形成溢流。

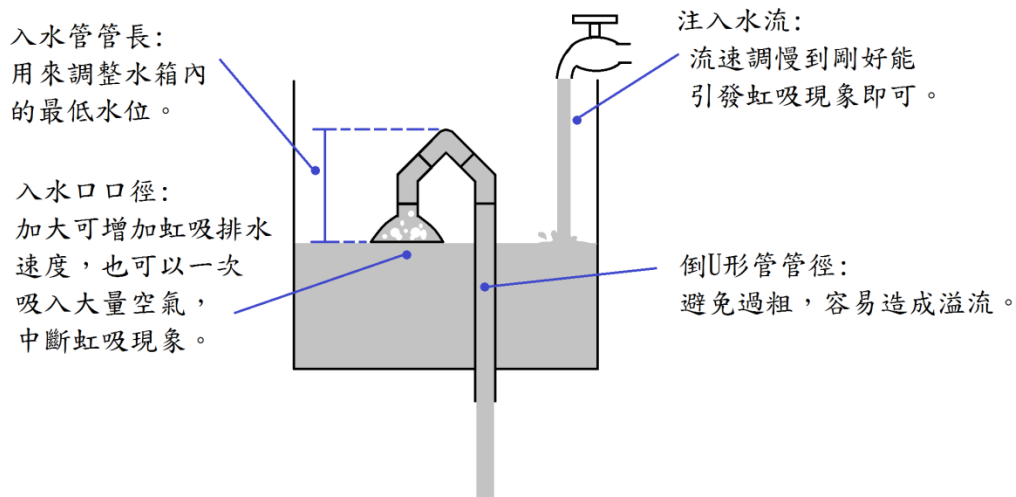
② 正常的虹吸現象，水會將管內空氣推出出水口，下方水流量很大。



圖二十八、溢流及虹吸現象排水比較圖

柒、結論

- 一、一般軟質虹吸管的管徑越大，虹吸排水的速度會越快，但是考慮到使用在公道杯中製造潮汐現象時，虹吸管的管徑過大而上方水流流速過慢時，就只會形成溢流而無法產生虹吸現象將水位降低，所以倒 U 形管的管徑只要適當就好，不要考慮增加倒 U 形管的管徑來加快虹吸現象排水的速度。
- 二、為了避免溢流形成，最好使用改變入水口口徑的方式來增加虹吸排水的速度，使用像寶特瓶喇叭狀的大管口，除了能增加虹吸排水的速度外，使用在公道杯中，也能有利於一次性的讓大量空氣進入倒 U 行管中，中斷虹吸現象以利產生潮汐現象。
- 三、虹吸現象排水的速度和水位有關，虹吸初期高水位時排水較快，末期低水位時排水較慢。所以用公道杯在做潮汐現象時，調節上方注入水流的速度，雖然要比倒 U 形管的平均虹吸排水速度慢一些才能中斷虹吸，形成潮汐現象，但是不要讓兩者的速度太過接近，因為倒 U 形管的虹吸排水速度也會隨著水位降低，漸漸變慢，虹吸現象就不易中斷，所以上方水流速度必須調慢一點，但是又不能過慢而形成溢流，所以調節上方水流速度最好能調到剛好讓倒 U 形管能形成虹吸現象即可。
- 四、在公道杯的倒 U 形管上加裝輔助管雖然能讓平均虹吸排水速度變快，但在製潮汐現象時有個嚴重的缺點，因為水流在注入水箱時會有水面波動，當水位已降至入水口附近時，兩個不同位置的入水口不一定能同時吸入足以中斷虹吸的空氣量。水面波動時，零星的空氣分別從兩個入水口進入，反而會減慢虹吸排水的速度，造成水位又重新上升，無法形成潮汐現象。雖然有加裝小量杯的方法可以解決這個問題，畢竟是多此一舉，因為用單一入水口加大口徑的方法來增加虹吸排水速度或吸入大量空氣來中斷虹吸現象會比較穩定。



圖二十九、能成功製造潮汐現象的公道杯裝置

捌、參考文獻

- 一、康軒文教事業(民 108)。自然與生活科技第四冊四下 (四版)。新北市：康軒文教事業。
- 二、台灣養耕共生協會。簡易鐘型潮汐開關。取自
<http://twaquaponics.blogspot.tw/2012/06/siphon-ebb-and-flow.html>
- 三、科學玩具柑仔店(Darling の 優)。科學玩具－壓力－自製公道杯。取自
http://kingdarling.blogspot.com/2013/01/blog-post_123.html