

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國小組

物理科

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：水龍捲

— 液體旋轉運動液面和漩渦變化的研究

關鍵詞：漩渦、漩渦拉力、雙漩渦

編號：080103

學校名稱：

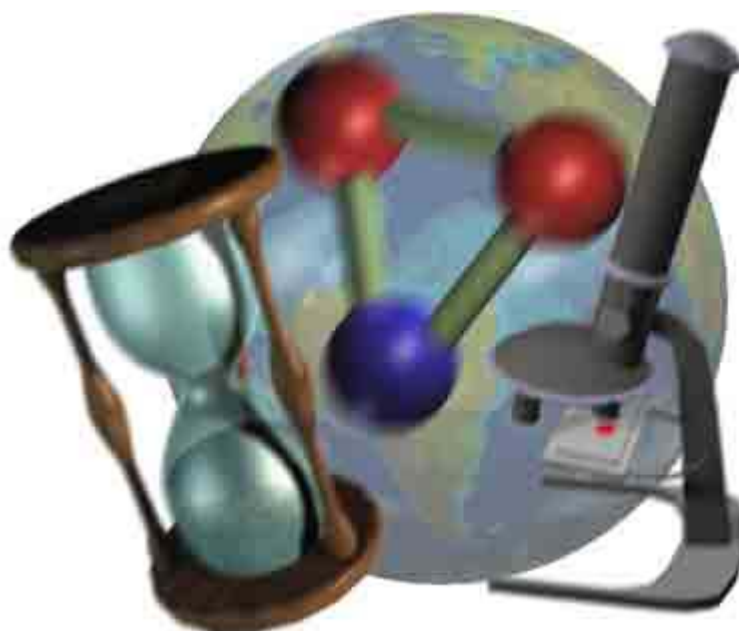
台北板橋市埔墘國小

作者姓名：

陳依昕、郭維元、邱柏元、鄭日安

指導老師：

柯文賢、黃靜良



摘要

本研究是資優班獨立研究課程的作品，結合五下科學探索課程中大氣壓力、白努利定理、圓周運動等學習單元的概念，進一步探討漩渦形成的原理和液體旋轉運動時液面的變化，及影響漩渦空氣蕊直徑大小與漏流速度快慢的變因。同時發揮我們的創造力，親自製作器材，操作實驗，設計出測量漩渦拉力大小的方法，觀察雙漩渦彼此相互推擠或牽引的現象，10 個月的辛苦研究，我們收穫豐富。

壹、研究動機：

暑假中，依昕參加表姊的喜宴，對餐桌轉盤上的湯旋轉時會溢出的現象感到疑惑，而日安也對浴缸排水時，產生漩渦的問題存疑了很久，柏元對他每晚泡牛奶用的電動沖泡機產生的空氣蕊更是好奇，就在維元參加科學夏令營，帶回一個又酷又炫的保特瓶水龍捲玩具，吸引大家的目光時，我們就決定對這些現象做更深入的探究，作為本學期資優班獨立研究的主題，一探液體旋轉運動時液面和漩渦變化的奧秘。

貳、研究目的：

探討液體旋轉運動的液面變化。
探討大氣壓力對液體旋轉運動漩渦形成的影響。
探討漩渦形成的原理。
探討影響漩渦大小、漏流快慢的變因。
漩渦拉力大小的測量。
雙漩渦的探討。

參、研究器材設備：

自製測量儀器：旋轉測試台(馬達、回轉速控制器)、簡易壓力計(5ml 針筒、L 管、塑膠軟管)、空氣蕊直徑測量儀(雷射筆、塑膠溝槽、升降支架)，轉槳(12V DC 馬達、切換式整流器、風扇葉片、竹筷)、雙漩渦測試桶(內徑 45cm 冰品專用大壓克力桶)、漩渦拉力測量器(60ml 針筒、大橡膠塞、原子筆桿、透明壓克力桶)。

其 他 器 材：不同大小形狀透明容器、1m 透明壓克力管、不同大小孔徑壓克力片、大小橡膠塞、小鋼珠、量筒、量角器、保特瓶(含塑膠雙接頭)、測高紙條、PU 顆粒、保麗龍、投影片、塑膠水管(罩筒)、墨汁、沙拉油、沙拉脫、洗髮精、膠水、塑膠壓克力接著劑、焊槍、熱熔(膠)槍、鑽孔機、線鋸、電動充氣機、碼錶、三腳架、相機。

肆、研究過程：

研究一：探討液體旋轉運動中的液面變化

實驗一：容器與旋轉中心的距離不同，是否影響液面變化？

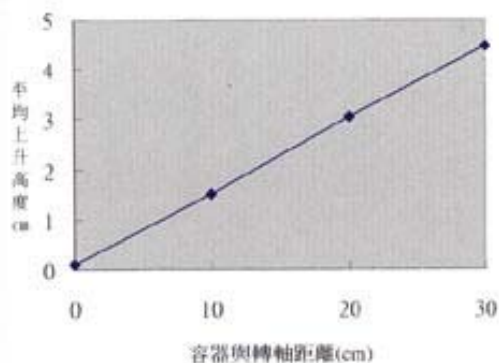
1. 方法：

- (1) 用馬達、木料，自製一個旋轉測試台。
- (2) 將同大小透明容器裝水 4 cm，分別固定在距旋轉中心不同遠近的位置上。
- (3) 滴入墨汁將水染色，放入測高紙條。
- (4) 用回轉速控制器，控制旋轉速度由慢而快，至轉速 1.5 後旋轉 30 秒。
- (5) 取出測高紙條，測量液體上升高度。



2. 結果：

次數 上升高度 cm 容器與轉軸距離	一	二	三	四	五	平均
0 cm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10 cm	1.6	1.4	1.5	1.7	1.3	1.5
20 cm	3.3	2.6	3.2	3.3	2.9	3.06
30 cm	4.9	3.8	4.4	4.9	4.2	4.44



3. 發現：

- (1) 容器位置在旋轉中心時，液面中心稍呈向下凹陷的拋物曲面，外圍液面微量上升。
- (2) 容器與轉軸距離越遠時，離心力越大，液面上升越高，旋轉中液面是向外傾斜的。



實驗二：轉速是否影響液面變化？

1. 方法：

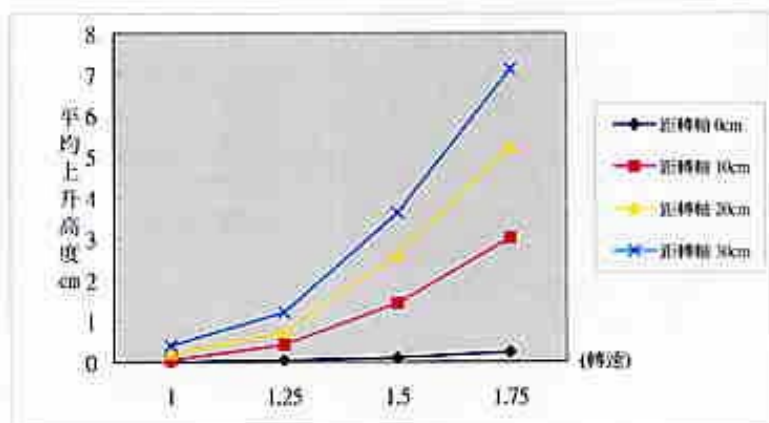
- (1) 將透明容器裝水 2cm，分別放在距轉軸不同遠近的位置上。
- (2) 用回轉速控制器控制不同的轉速，同實驗一方法，測量液面上升高度。分別測試 5 次求平均值。

2. 結果：

(1)

轉速 容器與轉軸距離 cm	1	1.25	1.5	1.75
0	0	0.04	0.1	0.24
10	0.04	0.42	1.42	3.02
20	0.2	0.72	2.6	5.22
30	0.4	1.2	3.62	7.12

(2)



3. 發現：

- (1) 轉速越快，液面平均上升高度越高。
- (2) 容器與轉軸距離越遠，液面上升越高。

實驗三：容器大小是否影響液面變化？

1. 方法：

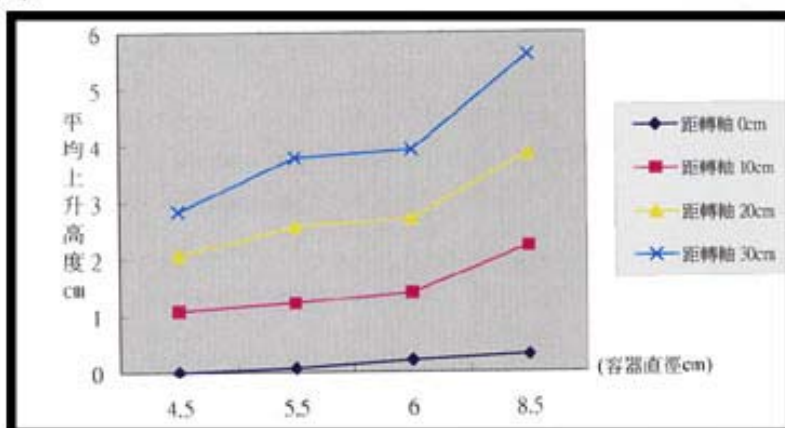
- (1) 在不同大小的四個透明容器，各裝水 4cm。
- (2) 分次同時放在距旋轉中心 0、10、20、30cm 的位置，0cm 的放法，容器中心對準轉軸中心。其他的放法，容器外緣對準 10cm、20cm、30cm 的點。
- (3) 控制相同轉速，同實驗一方法測量上升高度。

2. 結果：

(1)

平均上升高度 容器距轉軸距離 cm	容器直徑 cm	4.5	5.5	6	8.5
0		0	0.07	0.2	0.3
10		1.08	1.22	1.4	2.22
20		2.06	2.56	2.7	3.86
30		2.84	3.78	3.92	5.6

(2)



3. 發現：

- (1) 容器在轉軸上時，直徑越大，外緣距中心越遠，離心力越大，液面上升越高。
- (2) 與轉軸等距離的大小容器，液面上升高度是不同的，原本水位雖然相同，但大容器的水量較多，旋轉後向外拋的離心力越大，液面上升越高。



實驗四：容器內原本的水位高低是否影響液面變化？

1. 方法：

- (1) 將透明容器裝入水，使水位高度分別為 2cm、3cm、4cm、5cm。
- (2) 將透明容器分次同時放在距轉軸 0、10、20、30cm 的位置。
- (3) 同實驗一方法，測量液面上升高度。
- (4) 以相同大小的保特瓶，擺在與轉軸等距的位置旋轉，內裝極少(水位 2cm)，極多(水位 12cm)的水量再做檢驗。

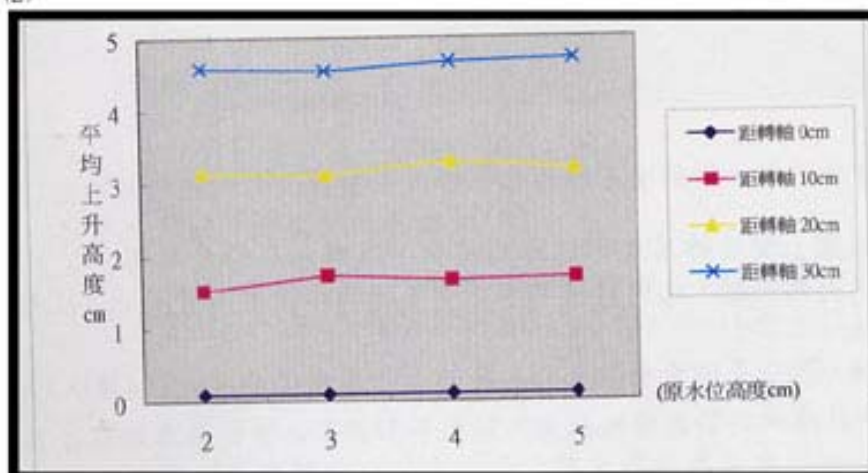


2. 結果：

(1)

平均上升高度 距旋轉軸距離 cm	2	3	4	5
0	0.1	0.1	0.1	0.1
10	1.52	1.72	1.65	1.68
20	3.14	3.1	3.28	3.18
30	4.58	4.54	4.65	4.7

(2)



3. 發現：

- (1) 容器內原本的水位高低不同，旋轉後液面上升高度幾乎相同，都非常接近，均在誤差範圍內。
- (2) 原本水位高，旋轉時外拋力量大，但推高的水量相對也較多，所以水位上升高度和原本水位低的相同。

實驗五：容器內液體性質不同，是否影響液面變化？

1. 方法：

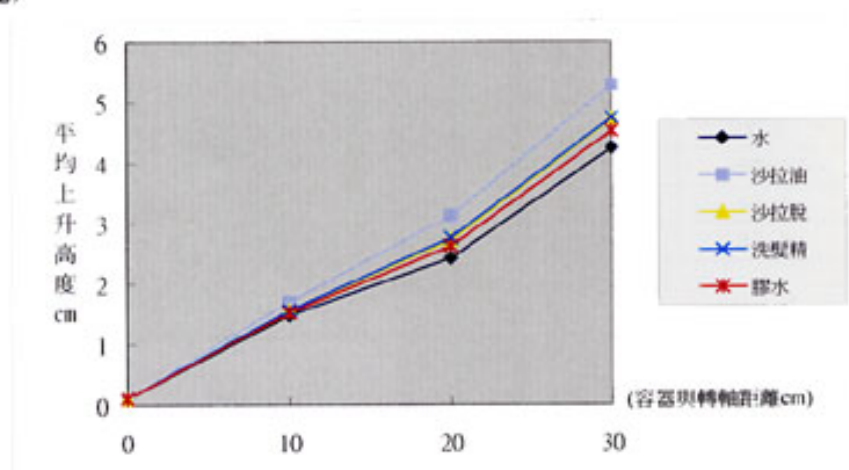
- (1) 測量不同液體的黏滯度，先將不同液體倒滿透明壓克力管，再測量小鋼珠由管口掉落底部的時間。
- (2) 將不同液體倒入大小相同的容器中，液面高度 3cm。
- (3) 分次同時將各容器放在距轉軸 0、10、20、30cm 的位置，測量旋轉後液面上升高度。

2. 結果：

(1)

液體類別 平均上升高度 容器與轉軸距離 cm	水	沙拉油	沙拉脫	洗髮精	膠水
	1" 41	2" 49	9" 59	34" 68	85" 33
0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	1.48	1.7	1.56	1.56	1.52
20	2.42	3.12	2.72	2.76	2.62
30	4.24	5.28	4.72	4.74	4.52

(2)



3. 發現：

- (1) 越黏稠的液體，鋼珠掉落底部的時間越長，液體的黏滯度越高。
- (2) 黏滯度比水高的液體，比同體積的水還重，旋轉拋出的力量更大，上升高度都較水高。
- (3) 液體太黏稠，則分子間會相互牽引，反而上升高度並非最高(如膠水)，而是沙拉油上升最高。

實驗六：液體在不同形狀容器中，是否都能穩定旋轉？

1. 方法：

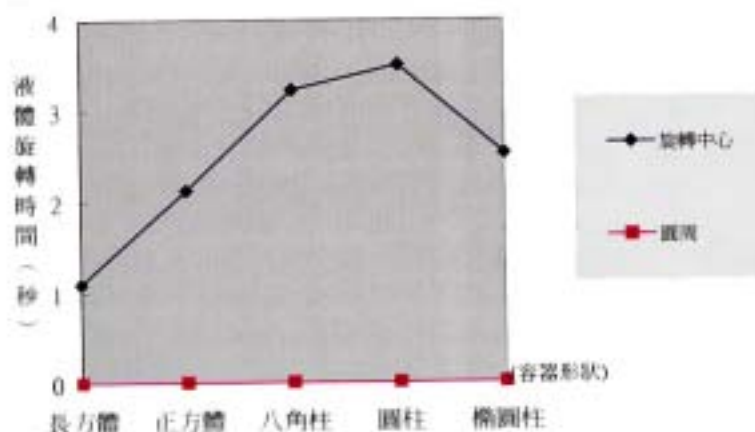
- (1) 將不同形狀容器，裝水至同一高度，放入 PU 顆粒。
- (2) 將各容器分別放在轉軸中心及圓周上，以相同轉速旋轉 30 秒後，測量顆粒於容器停止轉動後，持續旋轉的時間。

2. 結果：

(1)

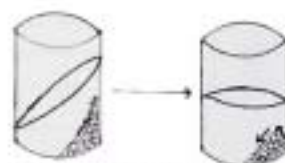
液體旋轉時間 容器位置	容器形狀	長方體	正方體	八角柱	圓柱	橢圓柱
旋轉中心		1° 09	2° 12	3° 23	3° 50	2° 52
	馬達停止後，顆粒向中心集中					
圓周		0	0	0	0	0
	馬達停止後，液體無旋轉，顆粒集中一邊側面					

(2)

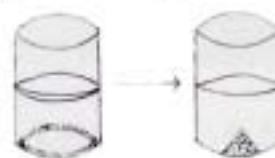


3. 發現：

- (1) 容器放在圓周上，馬達停止後，液體都不會旋轉，顆粒向前衝撞杯壁後，集中在容器一邊側面的底部。



- (2) 容器放在旋轉中心，馬達停止後，液體仍會因慣性而維持短暫旋轉。容器越接近圓形，旋轉時間越長，停止後，顆粒集中底部中心。



研究二：探討大氣壓力對液體旋轉運動漩渦形成的影響

1. 方法：

- (1) 將大小相同的二個寶特瓶用連接器接好，並用焊槍在瓶身中央各穿 1 個洞，並在孔洞貼上膠帶控制開合。
- (2) 觀察靜止時，水瓶(上)中的水是否漏流至空瓶(下)裡。
- (3) 將寶特瓶固定在旋轉測試台中央，測量連續旋轉和旋轉 10 秒後急停的漩渦形成時間。(回轉數控制器固定轉速為 3)



2. 結果：

容器 型態	上：水瓶	密閉	密閉	開洞	開洞
	下：空瓶	密閉	開洞	密閉	開洞
漩渦 形成 時間	靜止	×	×	×	水柱漏流
	連續旋轉	44° 28	29° 17	25° 41	前段：水柱漏流 後段：形成漩渦
	旋轉 10 秒 後急停	12° 91	12° 65	11° 59	前段：水柱漏流 後段：形成漩渦

3. 發現：

- (1) 當容器靜止時，上下都開洞的會有水柱漏流的現象(上下壓力相等，水因本身重量而下漏，空氣由孔洞擠出)。其餘的組合，則因底瓶空氣無法被擠出(密閉)，或大氣壓力頂住水無法下漏(開洞)而呈靜止狀態。
- (2) 不論連續旋轉或旋轉後急停，只要有開 1 個洞，漩渦形成的時間就會比完全密閉的還快。
- (3) 旋轉 10 秒後急停比連續旋轉更易形成漩渦，且都在急停後 1、2 秒左右就立刻形成漩渦。

研究三：探討漩渦形成的原理

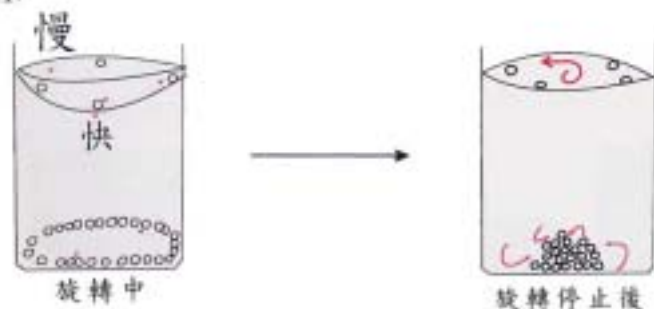
實驗一：觀察水流旋轉內外圈流速快慢並測試壓力差。

1. 方法：

- (1) 將透明容器裝水和 PU 顆粒，並固定在旋轉台上，控制轉速一定。
- (2) 旋轉中由杯緣丟入保麗龍屑，觀察中心及外圈的轉速。
- (3) 用針筒、L 管、塑膠管自製一個簡易壓力計，測量水流旋轉時，中心及外圈液面下 1 公分處的壓力大小。

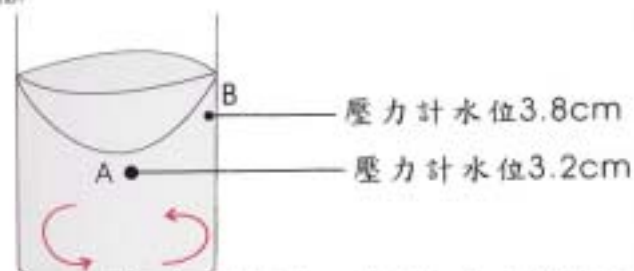
2. 結果：

(1)



- ①上：外緣保麗龍屑轉速慢，漸向中心集中。中心保麗龍屑快速旋轉。
①上：保麗龍屑急停瞬間向中心集中，後因中心液面上升而向外旋轉散開。
- ②底：因旋轉離心力，顆粒在杯緣旋轉。
②底：顆粒向中心集中。

(2)



水流旋轉時，旋轉中心壓力較小，外圈壓力較大。



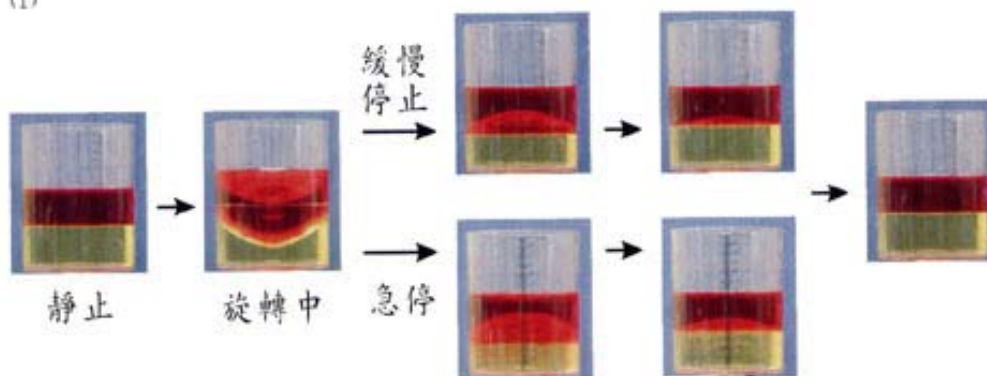
實驗二：容器旋轉後急停，底部漏流為何較易形成漩渦？

1. 方法：

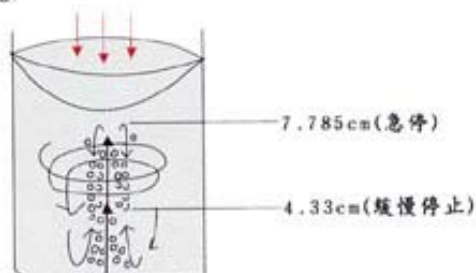
- (1) 將沙拉油和滴紅墨水的酒精倒入容器中，形成分層溶液，固定在轉台上。
- (2) 啓動馬達，旋轉 60 秒後，切斷電源，觀察旋轉中及緩慢停止和急停時，液體中內部受力的情形。
- (3) 寶特瓶裝入水和 PU 顆粒，固定在旋轉台上。將直尺刻度影印在投影片上，並黏貼在寶特瓶筒身。
- (4) 同方法(2)，觀察水中顆粒流動情形並測量顆粒上升高度(四人同時觀察 5 次求平均值)
- (5) 同研究二方法(3)，觀察旋轉急停後，漩渦漏流的情形。

2. 結果：

(1)



(2)



容器中的水因旋轉離心力而向外拋，旋轉停止後，轉速變慢，水受重力影響向下沉，並向壓力小的中心集中後向上升，急停時水流上升高度更高。

(3)



容器急停時，旋轉中心壓力小，水流向上升的力量更強，帶動底瓶中的氣流由洞口中心順勢向上衝，與水面的大氣相互貫穿，形成空氣蕊。水流由洞口沿著邊緣成傘狀旋轉而下，沿容器壁流到底部，水流持續旋轉，形成漩渦。



研究四：探討影響漩渦大小、漏流快慢的變因。

實驗一：容器孔洞直徑不同，對空氣蕊直徑和漏流快慢有影響嗎？

1. 方法：

- (1) 將圓形壓克力桶底部用鑽孔機在圓心鑽一直徑 4.8cm 的孔洞。
- (2) 準備不同大小孔徑的壓克力片，分次黏貼圓桶底部，並塞入橡膠塞，每次裝水同一高度 23cm。
- (3) 用自製轉槳(固定輸入電壓 12V)旋轉 20 秒後拔塞，測量空氣蕊直徑和漏流時間，測量 5 次求平均值。
- (4) 空氣蕊直徑測量：
 - ① 用雷射筆、塑膠溝槽，自製一個移動式雷射光點測量器，實測液面下降至水位 14cm 時，液面下 1.5cm 處空氣蕊的直徑。
 - ② 相片測量：用單眼相機(固定相機與圓桶距離)拍攝液面下降至水位 14cm 時的相片，再用直尺量取相片中空氣蕊的直徑。
- (5) 用碼錶測量拔塞後至水全部流完的漩渦漏流時間。

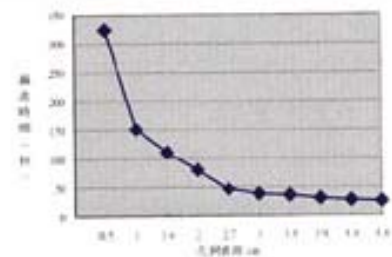
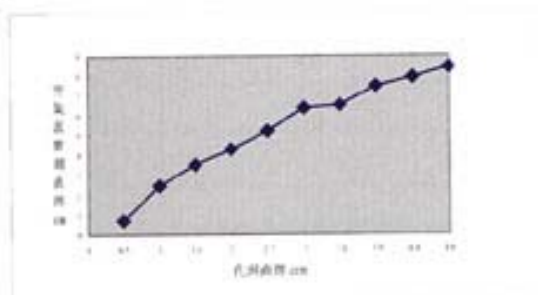


2. 結果：

(1)

容器孔洞直徑 cm		0.5	1.0	1.6	2.0	2.7	3.0	3.4	3.9	4.4	4.8
空氣蕊直徑 cm	雷射光實測 cm	0.74	2.48	3.52	4.3	5.22	6.38	6.52	7.46	7.9	8.4
	相片測量 cm	0.8	1.5	2.15	2.8	3.6	3.7	4.1	4.7	5.0	5.3
漏流時間(秒)		323 [〃] 54	155 [〃] 62	110 [〃] 82	80 [〃] 61	46 [〃] 97	38 [〃] 53	35 [〃] 92	30 [〃] 68	27 [〃] 11	25 [〃] 08

(2)



3. 發現：

- (1) 容器孔洞直徑越大，漩渦空氣蕊直徑也越大，漏流時間越短，速度越快。
- (2) 孔洞很小(如 0.5cm)的漩渦，空氣蕊直徑最小，漏流一段時間後，水流轉速減弱，當下拉力量和水的浮力相當，形成拉拒時，空氣蕊會上下浮沉，甚至突然中斷後又再出現漩渦。



實驗二：原水位高度相同，下降至不同水位高度時，空氣蕊直徑和漏流速度會一樣嗎？

1. 方法：

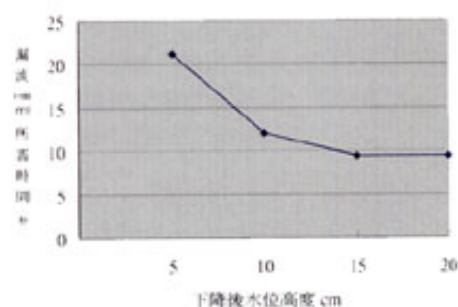
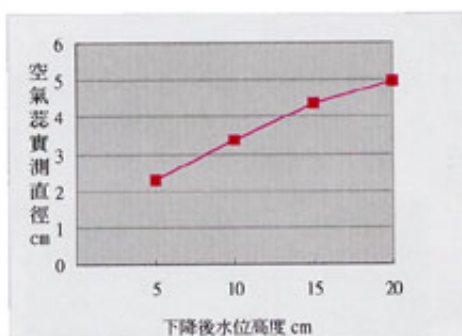
- (1) 固定原水位高度為 23cm，漏流孔洞直徑 2cm，同實驗一方法製造漩渦。
- (2) 當液面下降至不同的高度時，測量液面下 1.5cm 的空氣蕊直徑及漏流 1100ml 所需時間，測量 5 次求平均值。

2. 結果：

(1)

下降後水位高度 cm		5	10	15	20
空氣蕊直徑 cm	雷射光實測 cm	2.3	3.36	4.38	4.96
	相片測量 cm	1.25	2.1	3.1	4.6
漏流 1100ml 所需時間(秒)		21" 20	12" 07	9" 36	9" 34

(2)



3. 發現：

- (1) 漩渦的空氣蕊直徑，會隨著水位不斷的下降而逐漸縮小。
- (2) 漩渦下降後的水位高度越低，因水壓小，漩渦下拉力量也小，漏流的速度越慢。
- (3) 水位高度 20cm 時，空氣蕊直徑大，水漏流空間相對較小，但因水位高，水壓大、轉速快，因此與水位 15cm 時的漏流速度差不多。



實驗三：原水位高度不同，下降至同一水位高度時，空氣蕊直徑和漏流速度會一樣嗎？

1. 方法：

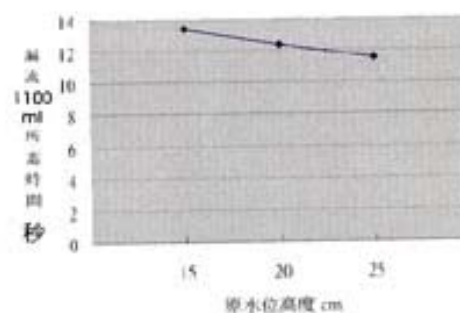
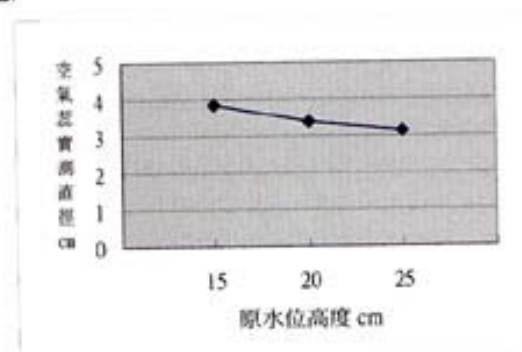
- (1) 固定原水位高度分別為 15、20、25cm，漏流孔洞直徑 2cm，同實驗一方法製造漩渦後漏流。
- (2) 當液面下降至 10cm 時，測量液面下 1.5cm 的空氣蕊直徑及漏流 1100ml 所需時間，測量 5 次求平均值。

2. 結果：

(1)

原水位高度 cm		25	20	15
空氣蕊直徑 cm	雷射光實測 cm	3.12	3.38	3.85
	相片測量 cm	2.1	2.5	2.8
漏流 1100ml 所需時間(秒)		11" 50	12" 39	13" 33

(2)



3. 發現：

- (1) 原水位高度越高，下降至同一高度時的空氣蕊直徑反而越小(可能轉速變慢所造成)。
- (2) 本實驗證明了實驗二的推論，漩渦下降到同一水位高度時，空氣蕊直徑越大(孔洞大小相同)，水漏流的空間相對較小，漏流速度較慢。

實驗四：容器筒身直徑不同，對空氣蕊直徑和漏流快慢有影響嗎？

1. 方法：

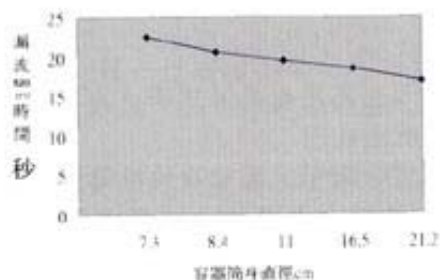
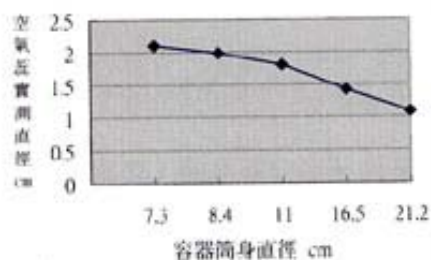
- (1) 將不同大小的圓筒容器底部各鑽一個直徑 1cm 的漏流孔洞，每一容器水位高度 15cm，用同一轉槳，輸入相同電壓(4.5V)旋轉 20 秒，製造漩渦後漏流。
- (2) 當液面下降至 10cm 時，測量液面下 1.5cm 處空氣蕊直徑及漏流 520ml 所需時間。
- (3) 用原水位高度 3cm 的簡易壓力計，測量相同水位時及漏流相同水量後容器底部的壓力大小。

2. 結果：

(1)

容器筒身直徑 cm		7.3	8.4	11	16.5	21.2
壓水 力位 計高 度 cm	水深 15cm 時 容器底壓力	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
	漏流 520ml 後 容器底壓力	3.2	3.7	4.4	4.8	5
空氣 蕊 直 徑 cm	雷射光實測	2.1	1.98	1.8	1.42	1.08
	相片測量	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
漏流 520ml 所需時間 (秒)		22" 43	20" 47	19" 42	18" 36	16" 77

(2)



3. 發現：

- (1) 容器筒身不同，水位相同時，容器底部的壓力大小仍相等。
- (2) 容器筒身直徑越大，水位下降至 10cm 時的空氣蕊直徑越小。
- (3) 容器筒身直徑越小，在相同水位時漏流相同水量後的水位越低，水壓越小，漏流時間越長，速度越慢，與實驗二結果相同。

實驗五：容器大、空氣蕊直徑反而小，是否與漩渦轉速有關？

1. 方法：

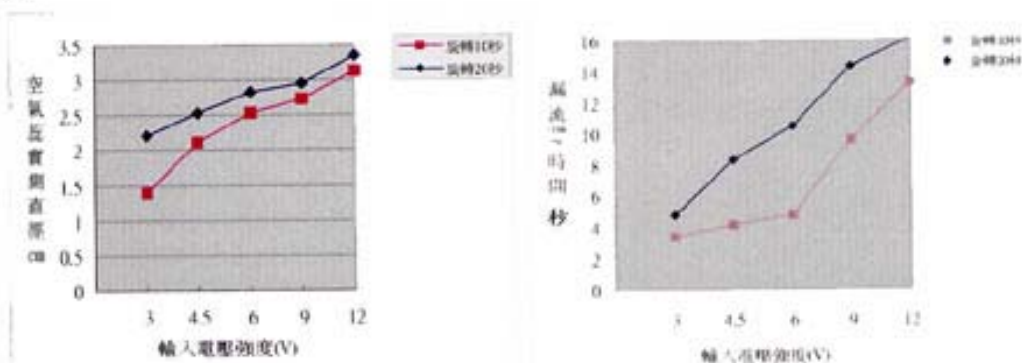
- (1) 將漏流孔洞直徑 2cm 的容器，固定水位高度 15cm，調整轉槳輸入不同的電壓強度，分別旋轉 10 秒、20 秒後拔塞漏流。
- (2) 當液面下降至 10cm 時，測量液面下 1.5cm 處空氣蕊直徑。
- (3) 拔塞後立即測量漏流 1100ml 所需時間。

2. 結果：

(1)

轉速(輸入電壓 V)		3		4.5		6		9		12	
轉槳旋轉時間(秒)		10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
空氣蕊直徑 cm	雷射光實測	1.38	2.2	2.12	2.52	2.52	2.82	2.74	2.96	3.12	3.36
	相片測量	1.05	1.75	1.75	2.0	2.0	2.2	2.1	2.2	2.2	2.3
漏流 1100ml 所需時間(秒)		3" 36	4" 73	4" 13	8" 27	4" 77	10" 42	9" 56	14" 31	13" 29	16" 11

(2)



3. 發現：

- (1) 輸入電壓越大，轉槳旋轉時間越長，水流的轉速會越快，空氣蕊直徑也越大，相對漏流空間越小，漏流時間反而越長。
- (2) 由本實驗得知，實驗四中容器越大，空氣蕊直徑反而小，是因大容器帶動的水量最多，輸入電壓與旋轉時間都相同的條件下，轉速相對較慢所造成。

實驗六：液體黏滯度不同，對漩渦空氣蕊直徑及漏流時間有影響嗎？

1. 方法：

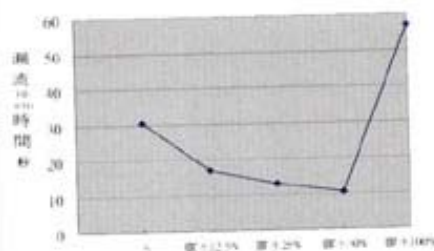
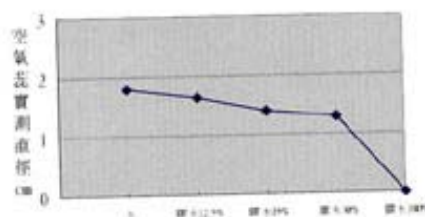
- (1) 將水和不同重量百分濃度的膠水，分別倒入壓克力管中，測量鋼珠掉落底部的時間，比較黏滯度。
- (2) 將不同黏滯度液體倒入容器中，液面高度 15cm，轉槳輸入電壓 4.5V，旋轉 15 秒。
- (3) 當液面下降至 10cm 時，測量液面下 1.5cm 處空氣蕊的直徑。
- (4) 拔塞後，立即測量液面漏流下降 10cm 所需的時間。

2. 結果：

(1)

液體類別		水	膠水			
			12.5%	25%	30%	100%
彈珠掉落時間(秒)		1" 46	1" 65	1" 89	2" 11	85" 26
空氣蕊直徑 cm	雷射光實測	1.8	1.62	1.4	1.3	0
	相片測量	1.8	1.5	1.1	1.0	0
液體漏流 10cm 所需時間(秒)		30" 50	16" 96	12" 87	10" 55	56" 87

(2)



3. 發現：

- (1) 液體黏滯度越低，則空氣蕊直徑越大，漏流空間縮小，漏流速度反而越慢。
- (2) 未稀釋的膠水(100%)太黏稠，旋轉後無法形成漩渦，漏流速度也不同於一般水柱漏流，速度非常慢。



實驗七：漏流孔洞銜接導管，對漩渦空氣蕊直徑及漏流時間有影響嗎？

1. 方法：

- (1) 在容器孔洞黏接一小段口徑 1.6cm 的壓克力管，再分別銜接不同長度的導管做測試。(長導管由 4 樓垂直落下)
- (2) 固定裝水 23cm，轉錶輸入電壓 7.5V，旋轉 15 秒，當水位下降至 14cm 時，測量液面下 1.5cm 處空氣蕊直徑。
- (3) 當水位下降至 14cm 時，分別測試漩渦漏流和直接漏流(無漩渦)兩種不同狀態，水位漏流 10cm 所需的時間。

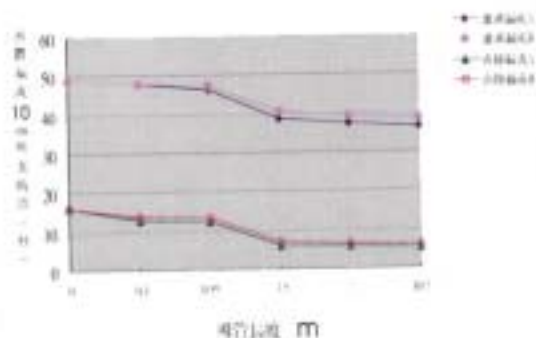
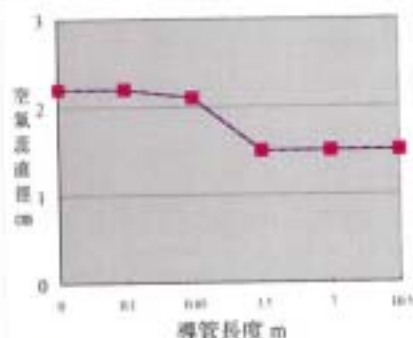


2. 結果：

- (1) A：導管不埋入水中 B：導管埋入水底

孔洞銜接導管長度 m			0	0.10	0.85	3.5	7	10.5
空氣蕊直徑 cm (相片測量)		A	2.2	2.2	2.1	1.5	1.5	1.5
		B		2.2	2.1	1.5	1.5	1.5
液體所需時間 (秒)	漩渦漏流	A	48" 84	47" 72	46" 25	38" 53	37" 33	36" 38
		B		47" 80	47" 28	40" 68	39" 36	38" 46
	直接漏流	A	15" 84	12" 77	12" 33	6" 18	5" 82	5" 29
		B		13" 74	13" 27	7" 05	6" 53	5" 99

(2)



3. 發現：

- (1) 漏流孔洞銜接導管加長後，空氣蕊的直徑明顯縮小。
- (2) 液體漩渦漏流，會使漏流速度明顯變慢，直接漏流的速度非常快。
- (3) 導管越長，管中的水量越多，重量越重，受重力影響，往下拉的力量更大，漏流速度越快。
- (4) 導管埋入水底，水中壓力大，會阻礙水的流出，比不埋入的漏流時間更長。

實驗八：容器加壓對漩渦空氣蕊直徑及漏流時間有影響嗎？

1. 方法：

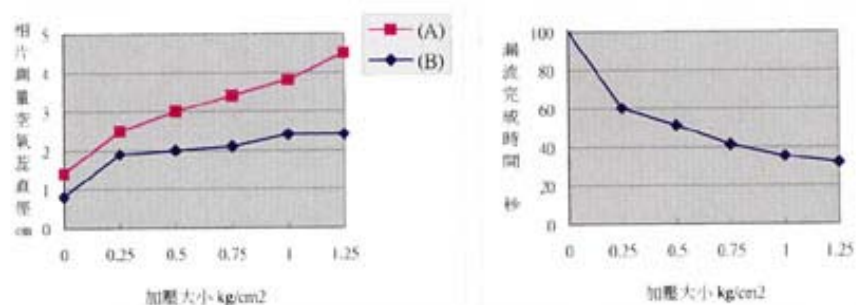
- (1) 將容器裝水 15cm 高，用 4.5V 轉槳製造漩渦水流，蓋上瓶蓋後，拔塞漏流。
- (2) 用電動充氣機由瓶蓋上方孔洞充氣。(分別調整壓力計控制充氣鋼瓶內不同的壓力大小，對漏流漩渦連續充氣)
- (3) 用相機拍攝水位下降至 10cm 時的漩渦照片，測量液面下 1.5cm 處空氣蕊的直徑及螺旋第一節最寬處的寬度。
- (4) 用碼錶測量拔塞後全部漏流完成的時間，測量 5 次求平均值。

2. 結果：

(1)

加壓大小 kg/cm^2		0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
相片 空氣蕊 測量 直徑 cm	水位 10 cm 時 液面下 1.5 cm 處 (A)	1.4	2.5	3.0	3.4	3.8	4.5
	空氣蕊螺旋 第一節最寬處 (B)	0.8	1.9	2	2.1	2.4	2.4
漏流完成時間(秒)		100'' 43	60'' 31	51'' 36	41'' 41	35'' 35	31'' 83

(2)



3. 發現：

- (1) 容器不加壓，圓錐狀的空氣蕊側面是較平整的曲面，加壓後，轉速更快螺旋狀旋轉的空氣蕊，螺紋更明顯。
- (2) 容器內壓力越大，空氣蕊直徑擴張越大，螺旋第一節最寬處的寬度也增長。
- (3) 容器加壓，會加速漩渦旋轉，漏流速度明顯更快。壓力越大，漏流完成時間越短。容器不加壓但加蓋，則漏流速度很慢。



實驗九：容器傾斜對漩渦形成的影響？

1. 方法：

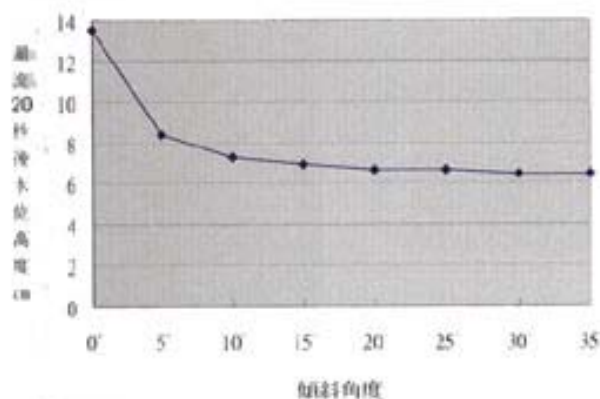
- (1) 在容器壁畫一條垂線，調整筒身傾斜，使垂線對準量角器上不同的傾角。
- (2) 固定容器水位 18cm，轉槳輸入電壓 7.5V，旋轉 15 秒後拔塞漏流，觀察漩渦的變化。
- (3) 漏流 20 秒後，塞住孔洞，將容器擺正，測量水位高度。

2. 結果：

(1)

容器傾斜角度	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
空氣柱能否持續不中斷	✓	✓	△	△	△	×	×	×
漏流 20 秒後水位高度 cm	13.52	8.4	7.28	6.96	6.64	6.62	6.48	6.42
漏流情形	空氣柱持續不中斷	空氣柱持續不中斷	空氣柱偏斜	空氣柱下拉	空氣柱下拉	空氣柱下拉	約 1-3 處中斷	沒有形成漩渦

(2)



3. 發現：

- (1) 容器傾斜會使空氣柱偏斜或中斷，傾斜角度越大，空氣柱下拉的長度越短，傾角 25° 以上，甚至無法形成漩渦。
- (2) 容器傾斜時，空氣柱偏向孔洞一側，大量水流由另一側邊漏流，水落下速度明顯比不傾斜的快，水位下降越多（不偏斜的漩渦是由孔洞四周均勻的旋轉漏流）。



實驗十：偏心漏流對漩渦形成的影響？

1. 方法：

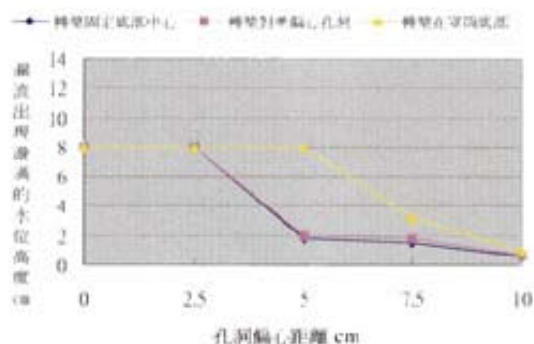
- (1) 將壓克力容器底部距中心 0、2.5、5、7.5、10cm 的位置分別鑽直徑 1.6cm 的孔洞，並塞上橡膠塞。
- (2) 固定水位 8cm，轉槳輸入電壓 4.5V，分別將轉槳固定容器底部中心，對準各偏心孔洞，在罩筒底部旋轉 10 秒。
- (3) 測量不同偏心距離的孔洞，拔塞是否可形成漩渦漏流及漏流出現漩渦的水位高度，測量 5 次求平均值。

2. 結果：

(1)

轉槳位置	固定容器底部中心					對準各偏心孔洞					在罩筒底部旋轉				
孔洞偏心距離 cm	0	2.5	5	7.5	10	0	2.5	5	7.5	10	0	2.5	5	7.5	10
轉槳能否製造漩渦水流	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○
拔塞是否可形成漩渦漏流	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	○	○	○	×	×
漏流出現漩渦的水位高度 cm	8	8	1.8	1.5	0.6	8	8	2	1.8	0.7	8	8	8	3.2	0.9

(2)



3. 發現：

- (1) 轉槳對準偏心孔洞旋轉時，無法形成漩渦下拉的空氣柱，而加上罩筒在筒內可形成漩渦水流。
- (2) 孔洞偏心距離小的(偏心 2.5cm)，拔塞後仍可漩渦漏流，空氣柱持續不中斷。偏心距離大的孔洞，拔塞後不能立即漩渦漏流，等水位下降到接近底部時才出現空氣柱，且偏心越遠，出現空氣柱的水位高度越低。
- (3) 用罩筒形成旋轉水流，可以讓偏心更遠的孔洞容易漩渦漏流(如偏心 5cm)，更早出現空氣柱，出現漩渦的水位高度更高。

研究五：漩渦拉力大小的測量

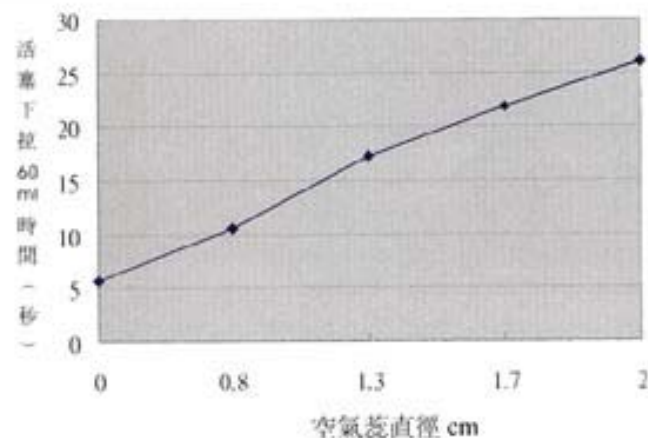
方法(一)：針筒活塞下拉法

1. 設計構想：

- (1) 容器底部中心銜接導管，瓶塞穿入 1 支 60ml 的針筒，活塞向上拉到頂。
- (2) 固定導管長度 3.5m 埋入水底，裝水高度 18cm，轉藥輸入不同強度電壓旋轉 20 秒後漏流。
- (3) 當水位下降至 12cm 時，塞入瓶塞，測量針筒活塞下拉到底所需的時間，並同時拍照測量空氣蕊直徑。

2. 結果：

轉藥輸入電壓(V)	0	3	6	9	12
空氣蕊直徑 cm (相片測量)	0	0.8	1.3	1.7	2
活塞下拉 60ml 時間(秒)	5" 70	10" 52	17" 24	21" 90	26" 06



3. 發現：

- (1) 直接漏流的速度快，水流向下的拉力大，針筒活塞下拉到底的時間最短。
- (2) 空氣蕊直徑越大，水流旋轉的速度快，離心力更大，但向下的拉力反而小，針筒活塞下拉到底的時間越長。



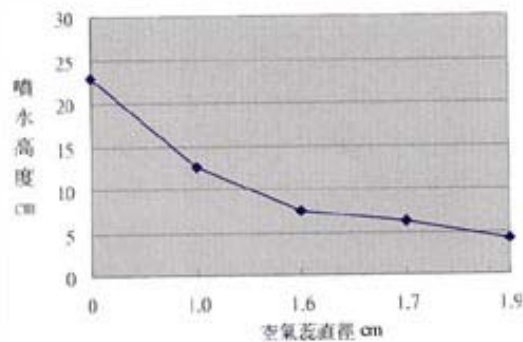
方法(二)：負壓吸水噴泉法

1. 設計構想：

- (1) 將方法(一)的瓶底靠側穿入 1 支筆桿，銜接 1m 的吸水管，埋入吸水瓶中。
(排水管長度 3.5m)
- (2) 容器裝水 13cm，轉錶輸入不同強度電壓旋轉 20 秒後漏流並塞緊瓶塞。
- (3) 水位下降至 10cm 時，測量空氣蕊直徑，水位下降至 5.5cm 時測量噴水高度。

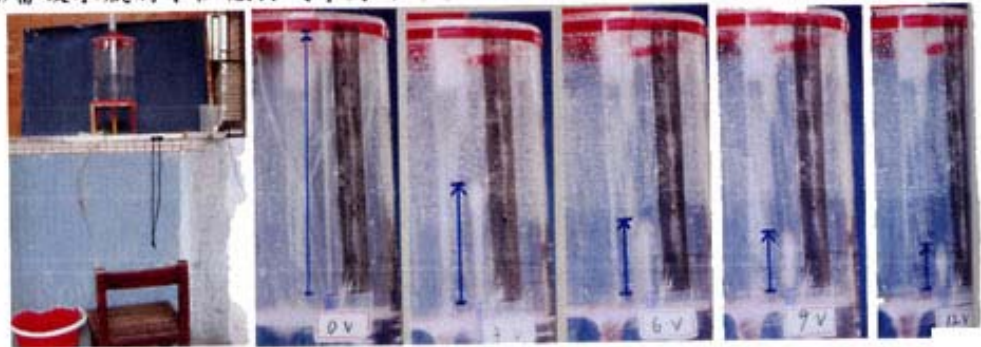
2. 結果：

轉錶輸入電壓(V)	0	3	6	9	12
空氣蕊直徑 cm (相片測量)	0	1.0	1.6	1.7	1.9
噴水高度 cm	23	12.5	7.4	6.2	4.1



3. 發現：

- (1) 空氣蕊直徑越大，噴水高度越低，水流向下的拉力越小。直接漏流的噴水高度最高，向下拉力最大。
- (2) 噴水的原理是因水漏流後，容器內壓力減小，原有的空間由吸水瓶向上噴水來填補。
- (3) 當吸水瓶的水位低於或等高於排水口水位，無法噴水。



研究六：雙漩渦的探討

實驗一：旋轉方向不同，對雙漩渦有影響嗎？

1. 方法：

- (1) 在透明壓克力桶底部，用鑽孔機鑽直徑 2.3cm 的孔洞 3 個，使孔距分別為 10、15、25cm，並用橡膠塞塞住。
- (2) 容器裝水，水位高 10.5cm，將同大小罩筒套在孔洞，放入相同轉槳，輸入相同電壓 4.5V，旋轉 10 秒後同時拔塞並取出罩筒，製造漩渦。
- (3) 改變轉槳旋轉方向，測量同向與逆向旋轉的漩渦組合，在不同孔距時，雙漩渦氣柱開始至中斷時持續的時間，測試 5 次求平均值。



2. 結果：

漩渦組合	同向旋轉			逆向旋轉		
漩渦距離	10	15	25	10	15	25
雙漩渦平均持續時間(秒)	3" 62	4" 22	30" 27	9" 13	31" 47	32" 23
變化情形	漩渦碰撞快速消失	漩渦碰撞後，由大變小偏心旋轉即消失。	雙漩渦持續不中斷。	漩渦相互靠近很快消失，但比同向 10 和 15cm 持續更久。	雙漩渦持續不中斷。	雙漩渦持續不中斷。

3. 發現：

- (1) 同向旋轉，漩渦水流會相撞，破壞漩渦結構，孔距太近，很快就消失，但距離遠則影響不大。
- (2) 逆向旋轉，水流不會對撞，孔距 15cm 以上，就能雙漩渦持續不中斷，直到水漏完為止。
- (3) 消失了的漩渦，當水位下降到接近容器底部時，各孔洞都會再出現漩渦漏流。

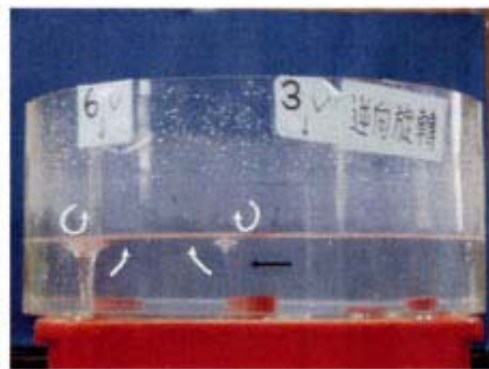
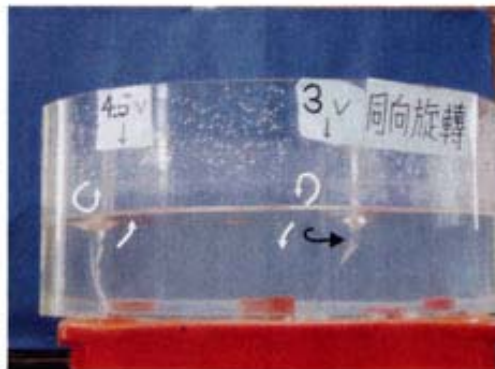
實驗二：旋轉強度不同，對雙漩渦有影響嗎？

1. 方法：

- (1) 同實驗一方法，在距離 15cm 的同大小(直徑 2.3cm)孔洞上，製造雙漩渦。
- (2) 轉盤輸入不同的電壓強度，改變轉速，觀察快慢漩渦相遇的情形，並測量氣柱持續的時間，測試 5 次求平均值。

2. 結果：

漩渦組合	同向旋轉				逆向旋轉			
右漩渦轉盤 輸入電壓 V	3	3	3	3	3	3	3	3
左漩渦轉盤 輸入電壓 V	3	4.5	6	7.5	3	4.5	6	7.5
雙漩渦持續時間(秒)	6" 34	5" 29	4" 31	3" 46	33" 28	29" 37	9" 34	7" 27
單漩渦持續時間(秒)	28" 36	30" 34	30" 29	31" 43	0	4" 24	25" 28	27" 31
變化情形	漩渦碰撞後由大變小，偏心旋轉即消失。	慢漩渦被快漩渦推開後消失，快漩渦持續不中斷。	慢漩渦被快漩渦推開後消失的速度更快，快漩渦持續不中斷。	慢漩渦被快漩渦推開後消失的速度最快，快漩渦持續不中斷。	雙漩渦持續不中斷	慢漩渦向快漩渦偏斜，慢漩渦短暫消失又再出現。	慢漩渦向快漩渦靠攏後消失。	慢漩渦向快漩渦靠攏的速度更快。



3. 發現：

- (1) 漩渦同向旋轉時，慢漩渦(壓力大)向快漩渦(壓力小)偏移靠攏，但因水流方向不同，被快漩渦撞開後消失，留下快漩渦持續不中斷。快漩渦越強，慢漩渦消失的速度越快。
- (2) 漩渦逆向旋轉時，慢漩渦向快漩渦偏斜靠攏，但因水流方向相同，使雙漩渦維持的時間較長。當轉速快慢相差越大，慢漩渦靠攏的速度越快，雙漩渦持續的時間就縮短。

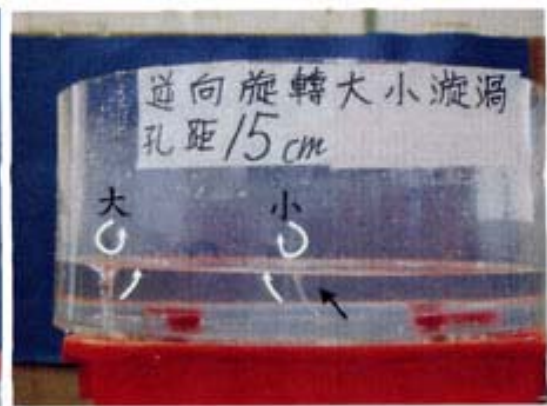
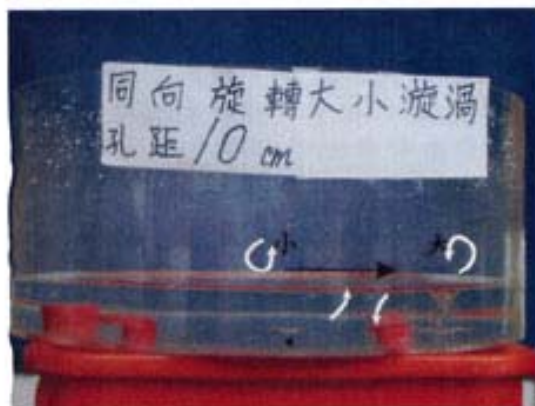
實驗三：漩渦大小(漏流孔洞直徑)不同，對雙漩渦有影響嗎？

1. 方法：

- (1) 同實驗一方法鑽直徑 3.8cm、2.3cm 的大小孔洞，使孔距分別為 10、15、25cm。
- (2) 同實驗一方法製造漩渦並測量大小雙漩渦氣柱開始至中斷時持續的時間，測試 5 次求平均值。

2. 結果：

漩渦組合	同向旋轉			逆向旋轉		
漩渦距離 cm	10	15	25	10	15	25
雙漩渦平均持續時間 (秒)	2" 28	6" 76	22" 55	9" 64	23" 23	23" 76
變化情形	小漩渦立即向大漩渦靠攏後因旋轉方向相同，水流相撞而消失。水位在 6cm 時，大漩渦氣柱再度出現。	小漩渦氣柱向大漩渦偏斜，6 秒後消失不見，大漩渦氣柱持續不中斷。	 大小漩渦持續不中斷。	小漩渦立即向大漩渦靠攏，9 秒後消失，大漩渦氣柱持續不中斷。	 大漩渦氣柱直立，小漩渦氣柱向大漩渦偏斜。大小雙漩渦持續不中斷。	大小漩渦持續不中斷。



3. 發現：

- (1) 孔洞大，水漏流面積大，下拉力量強，轉速更快(壓力小)，距離近時，會使小漩渦(壓力大)向大漩渦靠攏或偏斜，但距離太遠則牽引的力量不足，大小漩渦持續漏流不中斷。
- (2) 逆向旋轉的水流，小漩渦不會破壞大漩渦的結構，距離很近，小漩渦消失，大漩渦仍持續不中斷。
- (3) 水流同向旋轉，距離近時，小漩渦向大漩渦偏斜後，因水流相撞，大小漩渦都消失。

伍、討論：

- 一、 容器不在轉軸而在圓周上旋轉，液面是向外傾斜的，而且上升很高，難怪餐桌轉盤上的湯會溢出，終於有了答案。
- 二、 液體旋轉運動時，中心壓力小，外圍壓力大，又受到大氣壓力、離心力等作用力的影響，容易形成漩渦，經由實驗推論，終於解開沖泡機產生空氣蕊、浴缸排水漩渦漏流等水龍捲現象的迷思。
- 三、 影響漩渦空氣蕊大小和漏流速度的變因非常複雜，而且各個變因之間相互影響，有時並不能以單一變項去解釋。例如：
 1. 漩渦空氣蕊直徑大的，如果是因孔洞大的原故，則漏流很快；但如果孔洞條件相同，因水流旋轉快速而使氣柱變大，則漏流空間相對縮小，漏流速度反而變慢了。
 2. 容器加壓，空氣蕊變大，漏流空間小，但因水流旋轉下拉快速，漏流速度也更快了。
- 四、 容器加壓，空氣蕊變大，漏流空間小，但因水流旋轉下拉快速，漏流速度也更快了。
- 五、 漩渦空氣蕊直徑大的條件歸納有：孔洞直徑要大、原水位要低、容器筒身直徑小、水流轉速快、液體黏滯度低、孔洞不接導管、加壓、容器不傾斜、孔洞不偏心等。
- 六、 漩渦漏流速度快的條件歸納有：孔洞直徑大、原水位高(壓力大)、容器筒身直徑大、水流轉速慢、液體有點黏又不能太黏、孔洞銜接長排水管、容器稍傾斜等，只要能使空氣蕊直徑小一點，增加液體漏流的空間和拉力，就可使漩渦漏流的速度更快。
- 七、 實驗中發現長導管可使排水速度更快，所以樓層越高，在排水方面應該是更有利的。
- 八、 在湖泊、溪流遇到小漩渦可別大意，因為空氣蕊直徑小，水流下拉的力量反而很大。遇到旋轉快速的大漩渦則要小心會被吸引過去。
- 九、 雙漩渦出現後會有相互推擠或牽引的現象，難怪氣象報告有雙颱風合併等的預測報導。

陸、研究結論：

- (一) 容器在轉軸上旋轉，液面中心是向下凹陷的拋物曲面，外圍液面則上升；而容器在轉盤圓周上旋轉，液面是向外傾斜的。
 1. 容器的直徑越大、與轉軸的距離越遠、轉速越快，則離心力越大，水向外拋的推力更大而使液面上升或傾斜斜度更高。
 2. 比水黏滯度大的液體，旋轉後液面上升高度都比水高，但太黏滯的液體(如膠水)分子間互相牽引，液面上升高度並非最高。
 3. 容器內原水位高度不同，不影響旋轉後液面上升的高度。
 4. 容器放在圓周上，啟動轉盤，液體不會旋轉；固定在轉軸上，液體會旋轉，馬達停止後，液體仍會因慣性而維持短暫旋轉，容器越接近圓形，旋轉時間越長。
- (二) 1. 用連接器接連水瓶與空瓶做水旋轉試驗，不論水瓶或空瓶，只要任意開一個洞，漩渦氣柱形成的時間就會比完全密閉的還快，證實水旋轉後受大氣壓力擠壓，更容易產生漩渦氣柱漏流。

2.容器旋轉後急停，漩渦氣柱漏流形成的時間更快。

(三) 漩渦形成的原理

1.水流旋轉時，旋轉中心壓力小，外圍壓力大，旋轉停止後，水流向中心集中後上升再往下沉，容器中的顆粒會集中底部中央。

2.水流旋轉後孔洞漏流，因旋轉中心壓力小，氣流由孔洞下方中心隨上升水流向上衝，與水面的大氣相互擠壓貫穿，形成空氣蕊，水流則由洞口邊緣持續成傘狀螺旋旋轉而下。

(四) 影響漩渦大小、漏流速度的變因歸納如下：

1.孔洞直徑越大，漩渦空氣蕊直徑也越大，漏流速度越快。

2.漩渦空氣蕊直徑，會隨著漏流水位的下降而逐漸縮小；水位越低，水壓越小，漏流速度越慢。

3.原水位高度越高，比低水位形成的漩渦下降到同一高度時的空氣蕊直徑還小，漏流空間相對越大，漏流速度越快。

4.容器筒身直徑越小，水位下降至同一高度的空氣蕊直徑越大，漏流空間越小，漏流相同水量後的水位越低，漏流速度越慢。

5.轉槳轉速越快、旋轉時間越長，水流旋轉越快，空氣蕊直徑就越大，相對漏流空間越小，漏流速度反而越慢。

6.液體黏滯度越低，則空氣蕊直徑越大，漩渦漏流速度越慢；太黏稠的液體(如 100%膠水)很難形成漩渦，漏流速度也非常慢。

7.漏流孔洞銜接長導管，漩渦空氣蕊直徑明顯縮小，水管越長，管中水量越多，下拉的力量更大，漏流速度越快，尤其沒有漩渦的直接漏流，速度更快。

8.容器加壓越大，空氣蕊直徑擴張得越大，但因壓力加速漩渦的轉速，漏流的速度不因空氣蕊的變大而減慢，反而更快。

9.容器傾斜會使空氣柱偏斜或中斷，傾斜角度越大，空氣柱下拉的長度越短。容器傾斜時，漏流速度比不傾斜更快。

10.漏流孔洞偏心距離遠的，拔塞後不能立即形成漩渦，等水位下降到接近底部時才出現空氣柱，偏心越遠，出現空氣柱的水位高度越低。

(五) 漩渦拉力大小的測量

1.我們利用針筒活塞下拉法及負壓吸水噴泉法，可以成功的比較漩渦下拉力量的大小。

2.漩渦轉速越快，空氣蕊直徑越大，則漩渦向下拉力反而越小，活塞下拉時間越長，噴水高度越低。

(六) 雙漩渦的探討

1.同向旋轉時，漩渦水流會對撞而快速消失；逆向旋轉，只要漩渦距離不要太近，雙漩渦就能持續不中斷。

2.同向旋轉時，慢漩渦會被快漩渦推開後消失；逆向旋轉時，慢漩渦(壓力大)會向快漩渦(壓力小)偏斜靠攏；轉速相差越大，推開或靠攏的速度越快，雙漩渦持續並存的時間就縮短。

3.漏流孔洞大的大漩渦，水流下拉力量更強，轉速更快(壓力小)，會使小漩渦(壓力大)向大漩渦靠攏或偏斜。

柒、參考資料

- (一) 奇妙物理入門 P109~113 福島肇 著 國際村文庫書店有限公司。
- (二) 中山自然科學大辭典 第四冊 物理學 P268、269。
- (三) 第 38 屆全國科展國小組優勝作品專輯 P46~55。
- (四) 光復科學圖鑑 第四冊 P155~156。
- (五) <http://www.ntsec.gov.tw/39/mschool/39-1-1.htm>
- (六) <http://www.csghs.tp.edu.tw/teach/tause19.htm>
- (七) <http://www.hko.gov.hk/wservice/tsheet/tsf/warc.htm>
- (八) <http://iai.edu123.com/phy/phy-07/phy-0701/heat/html/c+25+50.html>
- (九) <http://kids.yam.com/foot/brain/opinion/right.php3?st=14>

評語

所選的題目並不是一個可以簡單呈現的題目，但學生可以將如此複雜的題目用簡易的巧思設計一系列的工​​具來研究十分難得。這份研究的數據處理及工具設計都值得嘉許。在測量部份，有許多創新的傑作。

在口試問答的時候，學生們表現的非常有自信，對各項原理也了解得十分透澈。我們也看到學生快樂地研究的精神，這部份更是難得。