

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：旋轉舞動的水

學校 / 作者：國立臺南女子高級中學 陳玟靜
國立臺南女子高級中學 吳英瑜

作者簡介



我們是吳英瑜（左）、陳玟靜（右）。目前就讀於國立台南女子高級中學，二年級學生。我們兩個都是好奇寶寶，平常在學校就很喜歡探索事物的原理，常常纏著別人問東問西。也很喜歡將所得的知識運用在日常生活中。基於有這樣對科學的濃厚興趣再加上學校的鼓勵推動，促使我們報名這次國際科展比賽。希望研究所得的結果能在生活當中得到效用，造福社會。

Abstract

This research divides into two subjects. The first subject aims at single-hole-swirls, we use single-hole-swirls to discuss water volume to the eddy current influence. The experiment obtains the relations between the aperture and the bottom area of the vessel. It also produces difference between free vortexes and forced vortexes of the eddy current.

Our another discussion subject is twin-hole-swirls, which is extremely complex but actually an interesting part. Twin-hole-swirls is easy to be disturbed by the external factors. The result is different from our supposition. But from the experiment we discovered twin-hole-swirls is a mini version of twin-typhoons. Twin-hole-swirls has the same phenomenon with Fujiwhara effect.

中文摘要

本研究探討分為兩個主題。首先是針對單孔，我們利用單孔漩渦探討水量對漩渦的影響，並實驗求得孔徑與容器底面積的關係，以及自由渦流與強制渦流所產生之漩渦的差異。

我們另一個探討的主題是雙孔，也是實驗中非常複雜但卻有趣的一部份。雙孔漩渦極易受到外在因素干擾，產生的結果與我們在實驗前的假設出入頗大，但從實驗中我們發現雙孔漩渦其實是雙颱風的縮小版，雙孔漩渦與雙颱風效應有著許多相符的現象。

研究報告

壹、研究動機

漩渦是自然界中極美的物理現象，日常生活中，我們並不難發現它的存在。翻閱了一些探討漩渦的書籍，發現影響漩渦之因素甚多。最初的單孔漩渦會受不同水壓的影響，強制渦流以及自由渦流的情形也迥然不同。雙孔的彼此干涉更是極為複雜，值得我們深入研究。

貳、研究目的

- 一、孔徑大小對漩渦產生的影響
- 二、不同水壓對漩渦的影響
- 三、自然情況下與強制轉動下對流量的比較
- 四、漩渦對流量的影響
- 五、雙孔漩渦彼此干涉的情形

參、實驗中的原理

一.漩性流與非漩性流

非漩性流（Irrotational flow）指每一流體單元體不對其與運動面垂直之軸而轉動者。設在此面內，每一流體單元體內相互垂直兩線段之平均角速度為零，則非漩性流之條件可滿足。當流體沿直線或曲線流動時，由於運動關係將使流體單元體發生變形。

非漩性流變形之情形乃由於向順時針方向轉動之水平線段與向反時針方向轉動之垂直線段速率相同所致，在此面上之淨轉動為零。而漩性流則由於其兩線段均向順時針方向轉動，故流體單元體未變形。

二.強制渦流運動&自由渦流運動

當流體受一定之扭力矩而旋轉時，即稱為強制渦流（Forced vortex）。受力渦流為漩性流之一例，因為此種流動中每一流體質點亦均對其自軸旋轉。此種流型不應用流網分析。實例上，離心式抽水機之葉板、水輪機之導槳、攪拌器之旋葉等均可有此效果。如將所加之扭力矩移去，則由於黏性與亂流之切力作用，流體最後必將停止轉動。

自由渦流（Free vortex）與強制渦流之動力情況迥然不同，流體沿曲線運動時，

自然發生自由渦流運動，此種運動並不因外加之扭力矩而起，因此，自由渦流之角運動量時變率為零。此類運動合乎漩性流條件，因此，自由渦流運動可應用於流網方法分析之。水由容器底孔流出之現象即為自由渦流最常見之裡。

除上述兩種渦流外，另有一種稱之為藍琴組合渦流（Rankine combined vortex）亦常可在自然界中見到，此種渦流由自由渦流與強制渦流聯合而成，強烈旋風中氣流轉動情況即近於此種流動。

三.雙颱風效應

「雙颱風效應」最早是由日本氣象學者藤原(Fujiwhara)在 1921~1931 年間所進行的一系列水工實驗後所發現，主要解釋當兩個颱風同時形成並互相靠近時所產生的交互作用。簡單的說，如果一個地區同時有兩個颱風形成，且兩個颱風之間的距離縮短在一千五百公里以內時，就可能產生「雙颱風效應」，也就是所謂的「藤原效應」。因為地球是逆時鐘方向自轉，受到應力的作用，所以北半球的颱風也會逆時鐘方向旋轉，但若在距離此颱風 1000~1200 公里左右的地方也有另一個颱風，則這兩個颱風就會彼此互相牽引，同時繞著相連的軸線作逆時鐘旋轉。以跳華爾滋舞為例，共舞的兩人都各自「自轉」，而同時也會「互繞」。那麼，雙颱風效應會產生哪些現象呢？其實雙颱風效應共可分三種：第一種是直接影響，也就是大颱風和小颱風相碰後，小颱風就會被大颱風「吃掉」而形成一個颱風，而這個合併後的大颱風，有時變成更強的颱風，但有時也不會有很明顯的變化。第二種則是半直接影響，就是當兩個颱風所在的緯度相近時，它們會分別與週邊的高壓產生作用。由於颱風的逆時針氣流與高壓的順時針氣流產生交互作用，會造成位在東邊的颱風向北偏移、而位在西邊的颱風向南偏移，然後兩者間的距離就會逐漸拉開，使雙颱風效應作用消失，而依各邊週邊環境的影響繼續前進。第三種則是間接影響，當兩個颱風分別位在西北方及東南方，且都西北方前進時，當東南方的颱風愈來愈靠近西北方時，西北方颱風的逆時針氣流會將北邊的高壓往南邊帶，進而將逐漸靠近的東南方颱風往南推，而使兩者間的距離加大。

四.公式

1.伯努利方程式： $P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g h_2$

2.托里切利原理： $V(t) = 0.600 \sqrt{2gh(t)}$

3.連續方程式： $A_1 V_1 = A_2 V_2$

肆、實驗器材

碼表<圖六>

游標尺

打蛋器（可變速）<圖七>

直徑 5.2 吋（約 15.8 公分）的圓形水槽 5 個， <圖八>

漏孔直徑分別為

0.50cm 0.75cm 1.00cm 1.25cm 1.50cm

量筒

滴管

塞子

奇異筆

水管 <圖九>

塑膠隔板

壓克力水槽(50cm*50cm*40cm) <圖十>

壓克力板 16 片(5cm*10cm)(置於水槽底部) <圖十一>

包含 12 片有孔：其孔徑分別為

0.75cm 1.00cm 1.25cm 1.50cm 1.75cm 2.00cm 各 2 片

無孔 4 片

水流緩衝器 <圖十二>

壓力感測器

漩渦產生器

電線膠布 <圖十三>

電腦

數位攝影機

science workshop 750

Data Studio 軟體

Excel

伍、實驗方法

一.針對單孔做初步實驗

自然情況下：

<1>孔徑大小對漩渦起始時間的影響

1. 將 1350mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔
 2. 將其靜置至水面無明顯起伏，作為自然情況下的模擬
 3. 塞子拔起，同時碼表開始計時
 4. 觀察水面有無漩渦產生，出現瞬間以碼表紀錄
 5. 上述 A ~ D 步驟重複作 3 次
 6. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
- 1.25cm 1.00cm 0.75cm 0.50cm 之圓形水槽皆以上述步驟作之

<2>不同水量對漩渦起始時間的影響

- 1.將 1350mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔
 - 2.將其靜置至水面無明顯起伏，作為自然情況下的模擬
 - 3.塞子拔起，同時碼表開始計時
 - 4.水流完畢時，以碼表紀錄其時間
 - 5.上述 A ~ D 步驟重複作 3 次
 - 6.將 750mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔
 - 7.將其靜置至水面無明顯起伏，作為自然情況下的模擬
 - 8.塞子拔起，同時碼表開始計時
 - 9.水流完畢時，以碼表紀錄其時間
 - 10.上述 F~I 步驟重複作 3 次
 - 11.將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
- 1.25cm 1.00cm 0.75cm 0.50cm 之圓形水槽皆以上述步驟作之

強制轉動下

<1>孔徑大小對水流時間的影響

1. 將 1350mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔
 2. 將打蛋器放入水槽，啟動之使之轉動 10~15 秒
 3. 塞子拔起，打蛋器抽離，同時碼表開始計時
 4. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
 5. 上述 A ~ D 步驟重複作 3 次
 6. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
- 1.25cm 1.00cm 0.75cm 0.50cm 之圓形水槽皆以上述步驟作之
由數據圖表比較相同水量不同孔徑所形成的漩渦造成彼此間的差異

<2>不同水量對水流時間的影響

1. 將 1350mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔

2. 將打蛋器放入水槽，啓動之使之轉動 10~15 秒
3. 塞子拔起，打蛋器抽離，同時碼表開始計時
4. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
5. 上述 A ~ D 步驟重複作 3 次
6. 將 750mL 水注入最大孔徑 1.5cm 的圓形水槽,並用塞子堵住孔
7. 將打蛋器放入水槽，啓動之使之轉動 10~15 秒
8. 塞子拔起，打蛋器抽離，同時碼表開始計時
9. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
10. 上述 F~I 步驟重複作 3 次
11. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
 - 1.25cm 1.00cm 0.75cm 0.50cm 之圓形水槽皆以上述步驟作之
 - 由數據圖表比較不同水量不同孔徑所形成的漩渦造成彼此間的差異

二.雙孔干涉實驗

自然情況下：

<1>孔徑大小對水流時間的影響

1. 將 2 片有直徑 2cm 孔徑的壓克力片及 4 片無孔壓克力片置入壓克力水槽底部並使兩孔間間隔 5cm
2. 取 25L 水置入水槽並用塞子塞住孔
3. 將其靜置至水面無明顯起伏，作為自然情況下的模擬
4. 塞子拔起，同時碼表開始計時
5. 觀察兩漩渦之間的互動關係
6. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
7. 上述 B ~ F 步驟重複作 3 次
8. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據

將 2cm 壓克力片分別換為 1.75cm 1.50cm 1.25cm 1.00cm 0.75cm 的有孔壓克力片，並重複上述步驟

<2>孔徑距離對漩渦的影響

1. 將 2 片有直徑 2cm 孔徑的壓克力片及 4 片無孔壓克力片置入壓克力水槽底部並使兩孔間間隔 5cm
2. 取 25L 水置入水槽並用塞子塞住孔
3. 將其靜置至水面無明顯起伏，作為自然情況下的模擬
4. 塞子拔起，同時碼表開始計時
5. 觀察兩漩渦之間的互動關係
6. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
7. 上述 B ~ F 步驟重複作 3 次
8. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據

將兩孔間隔分別改為 10cm 15cm 20cm 25cm 並重複上述步驟

兩孔中間隔板：

1. 將 2 片有直徑 2cm 孔徑的壓克力片及 4 片無孔壓克力片置入壓克力水槽底部並使兩孔間間隔 5cm
2. 取 25L 水置入水槽並用塞子塞住孔
3. 在兩孔中間隔板
4. 塞子拔起
5. 當兩邊皆形成漩渦時，將隔板輕輕抽離，並同時以碼表計時
6. 觀察兩漩渦之間的互動關係
7. 上述 B ~ G 步驟重複作 3 次
8. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
將 2cm 壓克力片分別換為 1.75cm 1.50cm 1.25cm 1.00cm 0.75cm 的有孔壓克力片，並重複上述步驟

兩孔不同時打開

1. 將 2 片有直徑 2cm 孔徑的壓克力片及 4 片無孔壓克力片置入壓克力水槽底部並使兩孔間間隔 5cm
2. 取 25L 水置入水槽並用塞子塞住孔
3. 拔開其中一個塞子，碼表計時
4. 形成漩渦時，拔開另一個塞子
5. 觀察兩漩渦之間的互動關係
6. 水流完畢時，以碼表紀錄其時間
7. 上述 B ~ F 步驟重複作 3 次
8. 將碼表紀錄用 Excel 製成表格數據
將 2cm 壓克力片分別換為 1.75cm 1.50cm 1.25cm 1.00cm 0.75cm 的有孔壓克力片，並重複上述步驟

陸、研究結果

► 單孔

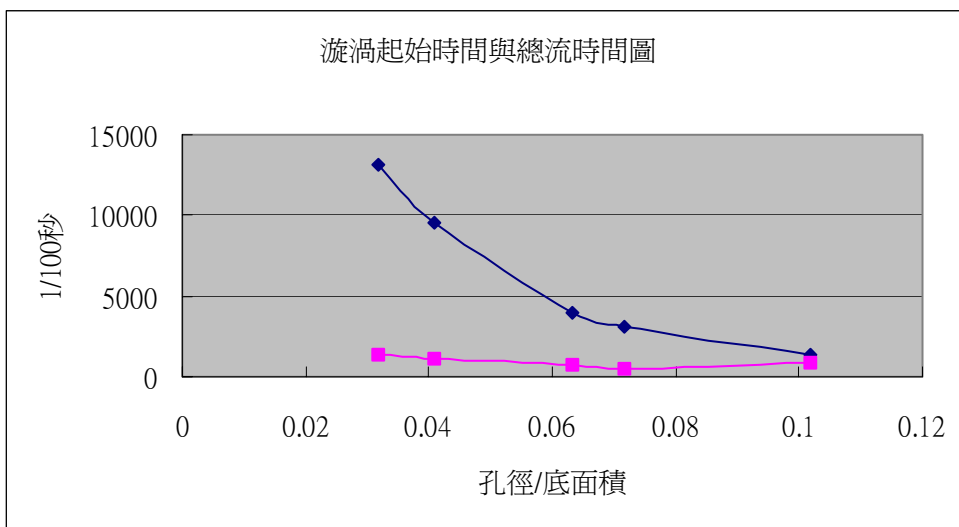
<表一>

1350ml	孔直徑 0.50cm	孔直徑 0.75cm	孔直徑 1.00cm	孔直徑 1.25cm	孔直徑 1.50cm
1	2'12"10	1'35"23	0'38"73	0'31"88	0'14"38
2	2'11"14	1'32"88	0'38"65	0'31"70	0'14"18
3	2'11"06	1'39"81	0'39"90	0'29"66	0'14"14
平均	2'11"44	1'35"97	0'39"09	0'31"08	0'14"23

<表二>

漩渦起始 時間	孔直徑 0.50cm	孔直徑 0.75cm	孔直徑 1.0cm	孔直徑 1.25cm	孔直徑 1.50cm
1	0'13"10	0'11"80	0'07"03	0'04"63	0'07"91
2	0'13"82	0'12"09	0'07"73	0'05"31	0'08"54
3	0'14"09	0'10"93	0'06"24	0'05"84	0'08"16
平均	0'13"67	0'11"61	0'07"00	0'05"26	0'08"20

<圖一>



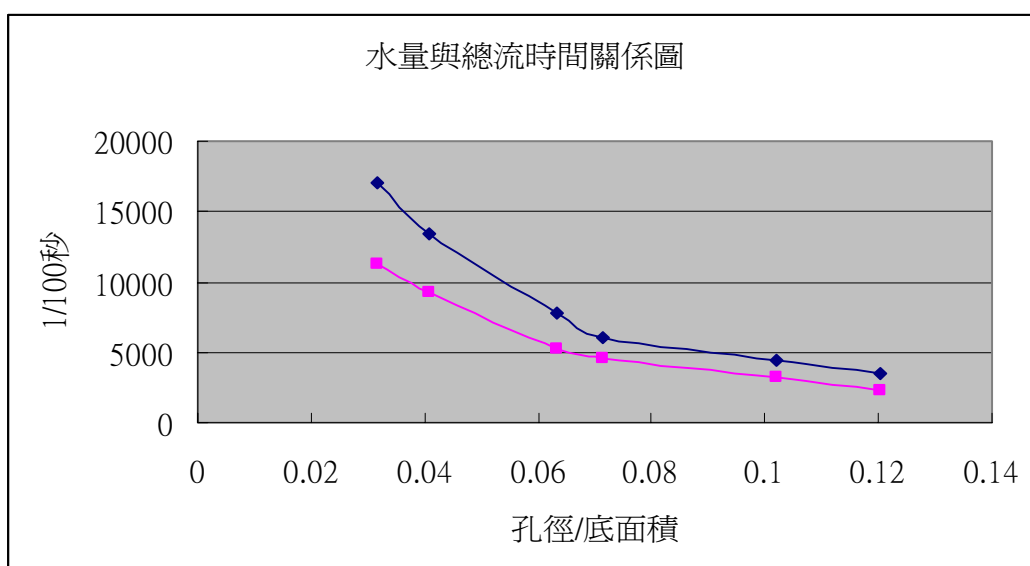
<表三>

1350 ml	孔直徑 0.50cm	孔直徑 0.75cm	孔直徑 1.00cm	孔直徑 1.25cm	孔直徑 1.50cm
1	2'45"45	2'16"22	1'16"60	0'58"72	0'41"80
2	2'49 "46	2'16"06	1'18"51	1'00"72	0'44"24
3	2'55 "97	2'09"10	1'17"79	1'02"29	0'44"87
平均	2'50"29	2'13"79	1'17"63	1'00"57	0'43"63

<表四>

750 ml	孔直徑 0.50cm	孔直徑 0.75cm	孔直徑 1.00cm	孔直徑 1.25cm	孔直徑 1.50cm
1	1'55"65	1'32"02	0'53"17	0'44"81	0'32"65
2	1'53"04	1'32"12	0'50"98	0'46"99	0'32"82
3	1'50"75	1'33"18	0'51"41	0'44"83	0'32"19
平均	1'53"28	1'32"31	0'51"59	0'45"32	0'32"45

<圖二>



柒、討論

► 單孔

一.由實驗所得到的數據圖表可歸結出以下情形：

1. 在探討『孔徑大小對漩渦起始時間的影響』此實驗中，由我們所得到的數據圖表〈表二〉及〈圖一〉——紅線可得到部分推斷：
2. 孔直徑在 0.50~1.25cm 之間呈現孔直徑愈大，漩渦出現時間愈早的情形。
3. 由 1 我們推斷孔直徑 1.50cm 漩渦出現所需的時間理應比孔直徑 1.25cm 短，但實際上實驗情況並非如此；平均時間：

1.00cm—0' 07" 00

1.25cm—0' 05" 26

1.50cm—0' 08" 20

所測得的數據不僅非我們原假設的 2~3 秒之間，反而還比孔直徑 1.00cm 所需時間為長。後來我們又加做孔直徑在 1.00cm~1.50cm 的實驗，但實驗數據起起伏伏，我們為此作了個假設，這和颱風類似，一個直徑約 200 km~300 km 的小型颱風，其颱風眼約 15 km~25 km，故直徑 15.8 cm 的容器其孔徑應在 1.2 cm~1.3 cm 之間，雖然在此之間的實驗數據起起伏伏是受到其他因素影響，但已能確定並非孔徑愈大即愈快產生漩渦，這是因為受到孔徑影響範圍的關係，若影響範圍大於孔徑反會造成干擾。

二.比較 1350mL 水自然情況和強制轉動下的水流時間

1. 發現強制情況下流完時間比自然情況下的要長的多。
2. 自然情況下皆需些許時間形成漩渦。
3. 強制情況下，因為有打蛋器帶動水流轉動，使之在拔塞瞬間便有漩渦產生。
4. 綜合 1~3，我們懷疑影響因素就在於漩渦的產生，並且推測漩渦愈早產生，水總流時間將會愈長。
5. 我們看到漩渦結構中間形成一個直管空洞，而沒有漩渦的水流則呈直線流下（沒有空洞），以至於有漩渦產生的水每秒流量較無漩渦的為少，故我們的推測得到證實。

三.『不同水量對水流時間的影響』

由〈表三〉、〈表四〉及〈圖二〉可看出孔徑愈大，兩不同水量流完時間愈接近

► 雙孔

在雙孔的實驗中，我們發現其干涉情形極為複雜，曾經因為在多次實驗中出現的情形皆不同的情況下，苦惱著數據可能毫無用處，但卻在不斷的實驗中，發現了一些特別且有趣的現象。

- 一、在自然情況下，因為毫無擾動，且雙孔彼此壓制，水流垂直落下，不易形成漩渦。
- 二、如〈圖三〉，使其兩孔徑距離在一定範圍之內，已形成的漩渦會被另一邊吃掉。但若在孔徑大小一定之下，超出影響距離外，即兩邊都會自成漩渦。
- 三、在兩孔間隔板，使其不互相牽制，當兩邊皆形成漩渦時取出隔板。若兩漩渦強度一致，即會出現有趣的現象——『共生共滅』；此即互相牽制影響的結果，如〈圖四〉。若兩漩渦一強一弱，弱者將被強者吞噬，如〈圖五〉，此與雙颱風可能產生的現象吻合。

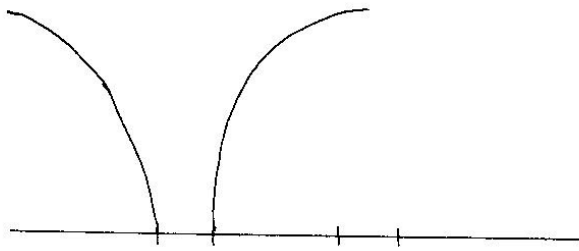
捌、未來展望

在單孔的實驗中，我們發現前人的實驗已臻於完備，因此我們從更有趣的地方下手，探討孔徑與底面積的關係。但在雙孔實驗中，干涉情形過於複雜，礙於儀器能測量的精密度有限，我們只能分析出不同的情況下會產生不同的結果（其結果能與雙颱風產生的現象吻合），但卻尚未能控制每一種結果的產生，實屬可惜。但我們仍相信雙孔漩渦的特性能運用在雙颱風上，後人若能將雙孔漩渦研究得更透徹，相信必有其貢獻。

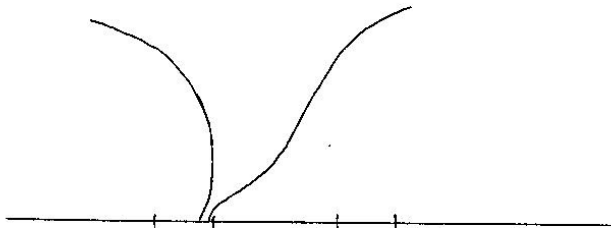
玖、參考文獻

- 一、王叔厚著，流體力學，初版，三民書局印行，1991年。
- 二、西爾、柴曼斯基、楊格著，張桐生譯，大學物理，第五版，台灣中華印行。
- 三、林元弼等著，天氣學，初版，明文出版社，1991年。
- 四、林明瑞主編，高中物質科學物理篇（下），第二版，南一書局企業有限公司編印，2005年2月。
- 五、劉鴻喜主編，高中地理（一）—地理學通論，初版，正中書局印行，2000年3月。
- 六、雙颱風效應，維基百科全書，<http://zh.wikipedia.org/wiki>

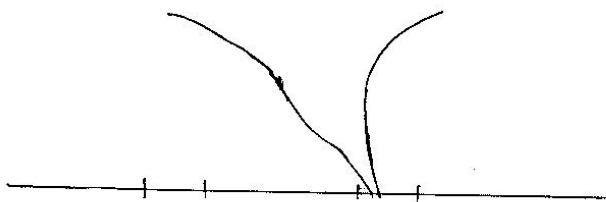
拾、附圖



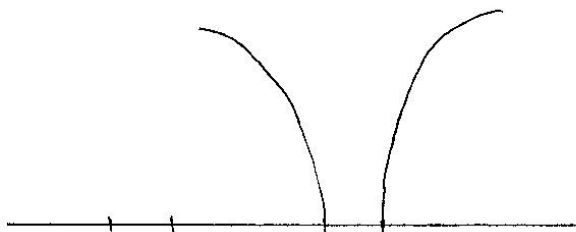
① 只打開左邊的塞子，
待其形成漩渦。



② 將右邊的塞子打開，
漩渦將逐漸右移。

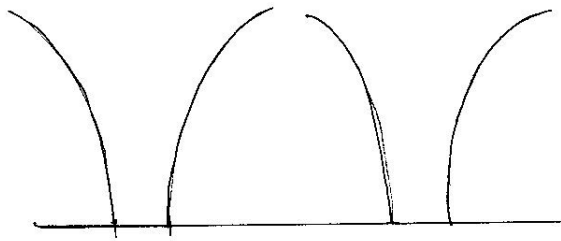


③ 當漩渦大部分移至右邊時，
底部即強制移至右邊。

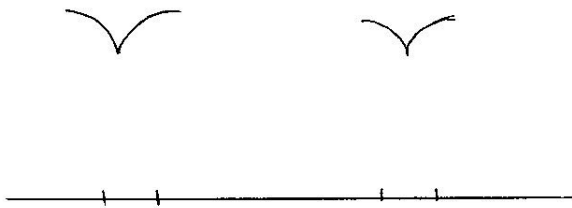


④ 漩渦移至右邊塞孔上，
而左邊無漩渦。

<圖三>



① 兩漩渦形成時取出隔板

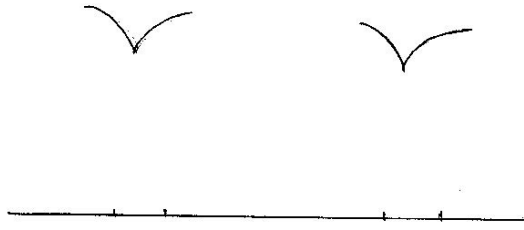


② 因互相干涉，漩渦縮小，
底部逐漸向上。

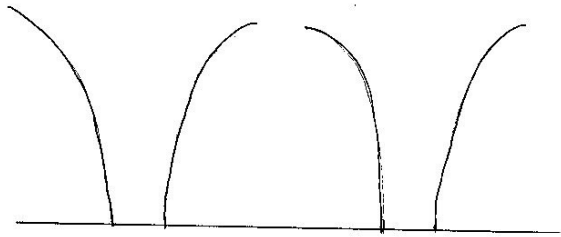


③ 漩渦短暫消失

<圖四-1>



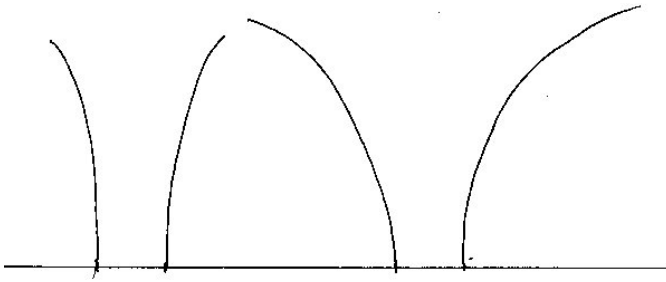
④ 漩渦再次出現,慢慢增大,
底部逐漸向下。



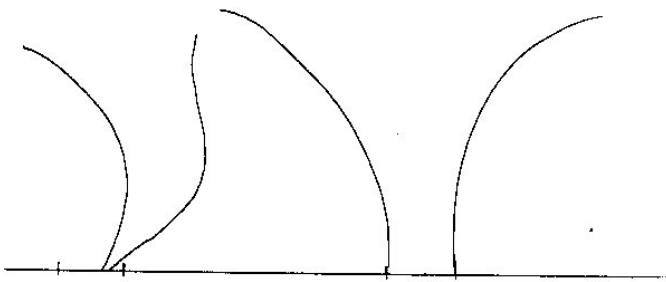
⑤ 兩漩渦恢復最初的形態

* 兩漩渦將不斷重覆①~⑤。

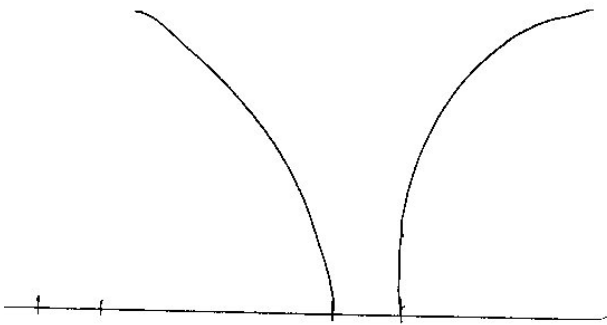
<圖四-2>



① 取出隔板時
兩旋渦一強一弱



② 弱的旋渦逐漸被
強的旋渦吸引



③ 弱的旋渦被完全吸收。

<圖五>

<圖六>



<圖七>



<圖八>



<圖九>



<圖十>



<圖十一>



<圖十二>



<圖十三>



<圖十四>



評語

本作品取題非常有趣，非常有潛力作出深入的研究成果。但可惜的是整個作品的表現完全是以平繪圖像及文字敘述，缺乏照片或影片將成果呈現出來，也未能提出具體的物理解釋。