

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040104

漩案？！

國立宜蘭高級中學

作者姓名：

高二 魏嘉瑩 高二 游蕙瑜 高二 李國廷
高二 王秋皓

指導老師：

林世維 吳旭明

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科
組 別：高中組

作品名稱：漩案？！
關 鍵 詞：漩渦、裙芭、空氣柱
編 號：

壹、摘要

何謂懸案？前無古人，後無來者，歷久之謎，費心猜疑……

過去的資料中常有類似的研究，但幾乎都是強制渦流的實驗，為自然渦流者其實細看也只略敘一二，今日，我們探討其原因結構及未曾出現在資料中的『裙苞』（見結論之三），聽我們細說從頭。

貳、動機

生活中總是有許多常被忽略但其實值得被探討的事情，隨著得到的知識累加，我們一直在用不同的角度去詮釋週遭的每一個現象……拉起浴缸塞子，在排水孔水的層層環繞；下探的氣柱試探著我們對它瞭解的程度……走吧！用現在的知識去發掘它的深度……

參、理論

一、裙苞

σ :液體表面張力係數

P_∞ :大氣壓力

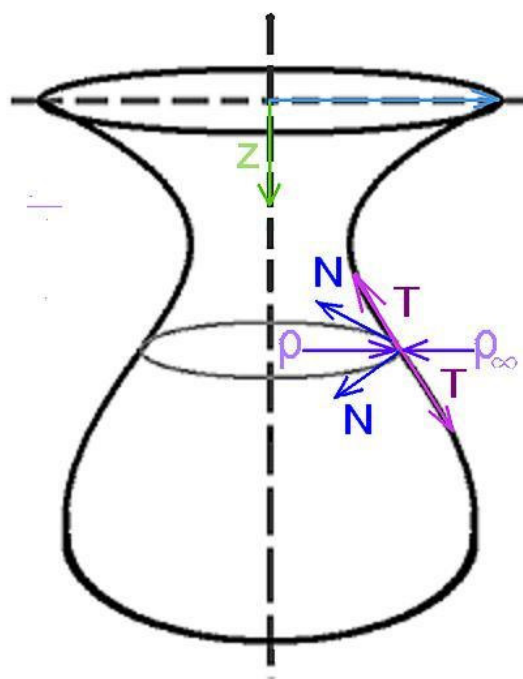
$r_N : \eta \left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$:次曲率半徑

$r_T : - \frac{\left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{\partial^2 \eta}{\partial Z^2}}$:主曲率半徑

$$P = P_\infty + \sigma \left(\frac{1}{r_N} + \frac{1}{r_T} \right)$$

$$\begin{aligned} P &= P_\infty + \sigma \left[\frac{1}{\eta \left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} - \frac{\frac{\partial^2 \eta}{\partial Z^2}}{\left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \\ &= P_\infty + \sigma \left[\frac{1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 - \eta \frac{\partial^2 \eta}{\partial Z^2}}{\eta \left[1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \end{aligned}$$

P 液與表面張力在曲面垂直方向之平衡。



二、自然渦流結構測定：

(一)、平面渦流：

1、 Δm 僅受向渦流中心之力作用

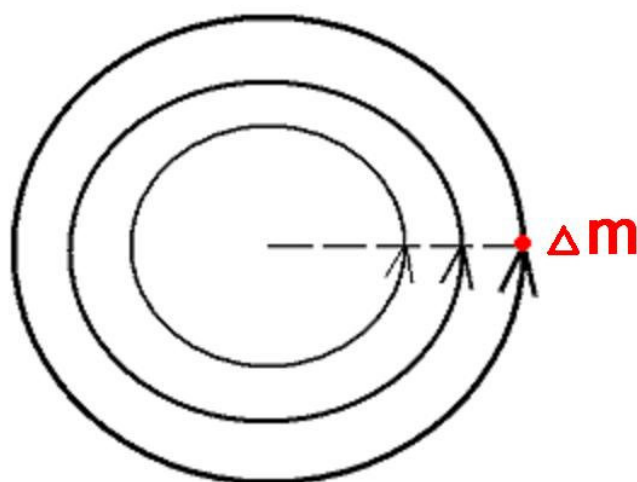
$$\Rightarrow \tau = 0$$

$$2、\text{又 } \tau = \frac{dL}{dt}$$

$$\Rightarrow L = \Delta m r v = \text{const.}$$

$$\Rightarrow r v = \frac{\text{const.}}{\Delta m} = c$$

$$\therefore v = \frac{c}{r}$$



(二)、垂直結構渦流：

1、A 點為渦流面之最高點 $R \rightarrow r$

$\therefore$ 伯努利定律：

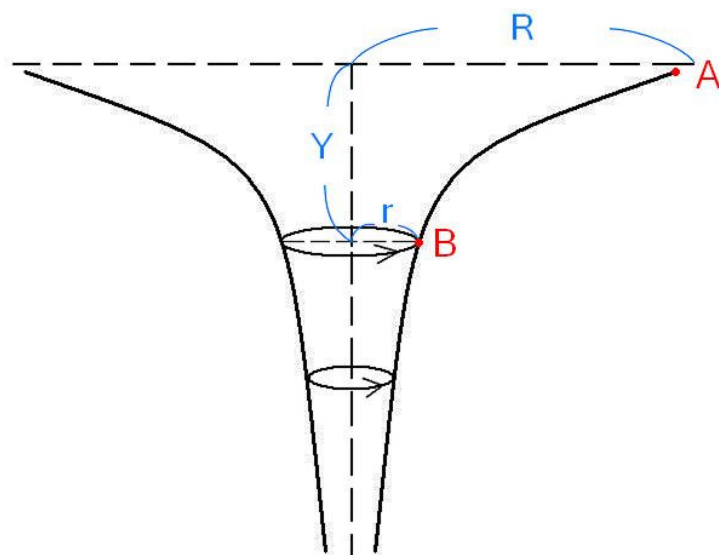
$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g(-y)$$

$$\text{, 且 } P_A = P_B, v_A \rightarrow 0$$

$$\therefore v_B = \sqrt{2gy}$$

2、2-dim 下之垂直結構曲線

$$\text{由 } \begin{cases} v_B = \sqrt{2gy} \\ v_B = \frac{c}{r} \end{cases} \Rightarrow y = \frac{c^2}{2gr^2}$$



三、科氏力

$\vec{k}$ ：垂直方向的單位向量。

科氏力： $-f\vec{k} \times \vec{V}$

離心力： $-\frac{V^2}{R}$

當 R 很小時， $\frac{V^2}{R} \gg fV = Co$ ，科氏力可忽略不計

$$\frac{Ce}{Co} \gg 1 \quad \left| \frac{Ce}{Co} \right| = \frac{V^2/R}{fV} = \frac{V}{fR} = Ro \gg 1$$

所以 Ro 很大，表示科氏力的影響可以忽略，

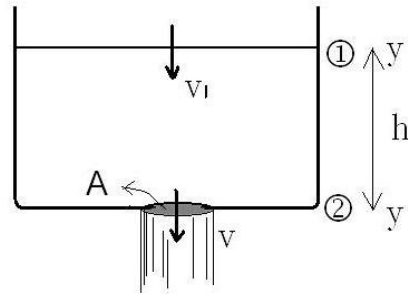
四、白努力定律

洩水孔流速

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \rho g y_2$$

$$\rho g(y_1 - y_2) = \frac{1}{2}\rho(V_2^2 - V_1^2) \approx \frac{1}{2}\rho V_2^2 (\because V_2 \gg V_1)$$

$$\therefore V_2 = \sqrt{2gh}$$



五、流程時間

流程時間：實心水流時間+含有空氣柱水流時間

(一)、實心水流時間：0~t₁ 實心流時間 $\Delta t_1 = t_1 - 0$

$$\frac{dm}{dt} = -\rho v A_0 \quad v = \sqrt{2gh}$$

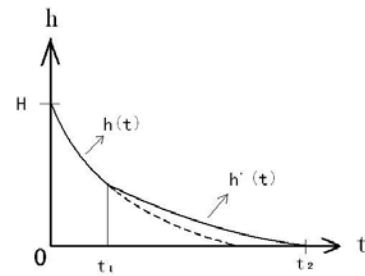
$$\text{又 } m = \rho A h \Rightarrow \frac{dm}{dt} = \frac{d(\rho A h)}{dt} = \rho A \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dm}{dt} = -\rho \sqrt{2gh} A_0 \Rightarrow \rho A \cdot \frac{dh}{dt} = -\rho \sqrt{2gh} A_0$$

$$\Rightarrow \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{-A_0}{A} \sqrt{2g} dt \Rightarrow \int_H^h \frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{-A_0}{A} \sqrt{2g} \int_0^t dt$$

$$\Rightarrow 2\sqrt{h} \Big|_H^h = \frac{-A_0}{A} \sqrt{2g} t \Rightarrow 2\sqrt{h} - 2\sqrt{H} = \frac{-A_0}{A} \sqrt{2g} t$$

$$\Rightarrow 2\sqrt{h} = 2\sqrt{H} - \frac{A_0}{A} \sqrt{2g} t \Rightarrow h = \frac{(2\sqrt{H} - \frac{A_0}{A} \sqrt{2g} t)^2}{4}$$



h-t 之關係圖

(二)、含空氣柱水流時間：t₁ ~ t₂ (結束) $\Delta t_2 = t_2 - t_1$

a. 水流有效面積為扣除氣柱截面積後之 A 如圖 a。

b. A' (t) 隨時間而變，關係如圖 b。

$$c. \Delta m_2 = \int AV(h(t)) \rho dt = \rho \int A(t) \sqrt{2gh(t)} dt$$

孔洞面圖

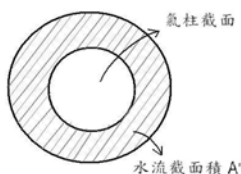
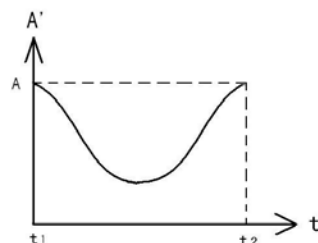


圖 a

圖 b



(三)、總流程時間：

$$\Delta t = t_1 + t_2 \quad \text{且總水質量 } M = \Delta m_1 + \Delta m_2$$

$$M = \rho A \int \sqrt{2gh(t)} dt + \rho \int A(t) \sqrt{2gh(t)} dt$$

肆、實驗目的

- 一、瞭解此現象（空氣柱、裙苞）的成因。
- 二、探討形成空氣柱及裙苞的範圍。
- 三、空氣柱及裙苞的結構。
- 四、探討空氣柱及裙苞的關係

伍、實驗器材

水槽一只、能改變孔徑的有孔塞子數個(可由泡棉、膠帶製成；加管則加軟墊)、碼表、尺。

陸、實驗

一、實驗 A 氣體與裙蓬形成後的變化關係

(一)、步驟

1. 取數支線香點燃，將其點燃端靠近較可能形成空氣柱的水面中心
2. 倒水至 20cm.待其靜止
3. 將槽口下方的遮蔽物以不影響水流的原則下移開
4. 觀察其煙的動向並探討原因

二、實驗 B 不同口徑對空氣柱形成的相關數據的變化

(一)、步驟

1. 製作不同孔徑的塞子：使用泡棉，以水槽原本的孔徑大小為基準，向內加厚，製得由六層、八層、十層以及十二層的泡棉所圍成的不同內徑的有孔塞子
2. 先取其中一種孔徑，倒水入槽內至 20cm.
3. 固定槽內的水量（20cm.），待加入槽內的水靜止
4. 把槽口下方的遮蔽物以不影響水流的原則下移開，並開始計時
5. 形成空氣柱（氣柱下探到槽口）時紀錄第一次時間及水位高度
6. 形成聲音（空氣柱產生時所產生的特殊聲音）時紀錄第二次時間及水位高度
7. 若出現空氣擾動空氣柱（以第一次擾動為紀錄值）時紀錄第三次時間及水位高度
8. 當水流至接近底部時如果產生「水闔」紀錄第四次時間及水位高度
9. 水流完時紀錄第五次時間
10. 每次減少初始水量 2cm.（即水高為 18cm.、16cm.）並重複 2~9 步驟
11. 每做完一套固定孔徑對不同水量的實驗，即取另一種口徑再做另一套
12. 紀錄分析上述實驗所得的數據

三、實驗 C 不同口徑對裙苞形成的相關數據的變化

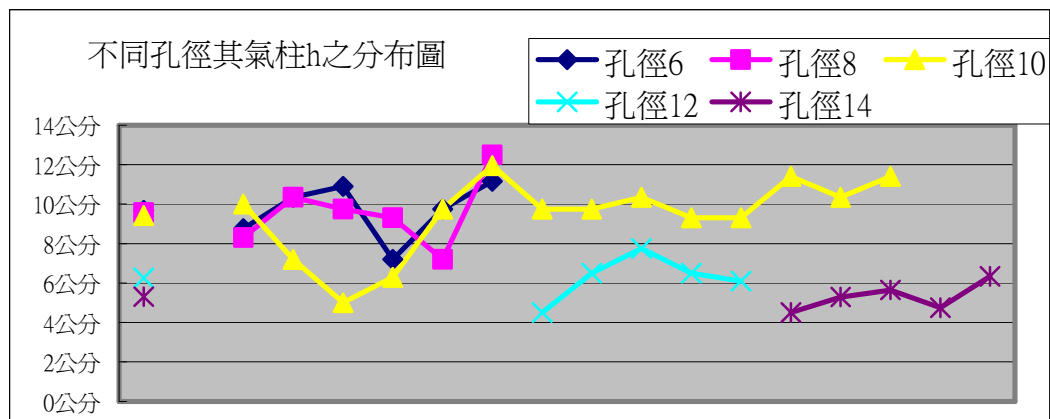
(一)、步驟

1. 製作不同孔徑的塞子：使用泡棉，以水槽原本的孔徑大小為基準，向內加厚，製得由六層、八層、十層以及十二層的泡棉所圍成的不同內徑的有孔塞子
2. 先取其中一種孔徑，倒水入槽內至 20cm.
3. 固定槽內的水量（20cm.），待加入槽內的水靜止
4. 把槽口下方的遮蔽物以不影響水流的原則下移開，並開始計時

5. 形成 空氣柱（氣柱下探到槽口）時紀錄第一次時間及水位高度
6. 裙苞形成後紀錄其最大寬度及最大長度
7. 當到達裙苞的膨大階段與縮小階段的臨界點時（反折點）紀錄其時間
8. 水流完時紀錄其時間
9. 每次減少初始水量 5cm.（即水高為 20cm.、15cm.、10cm.、5cm.）並重複 2~9 步驟
10. 每做完一套固定孔徑對不同水量的實驗，即取另一種口徑再做另一套
11. 紀錄分析上述實驗所得的數據

柒、討論

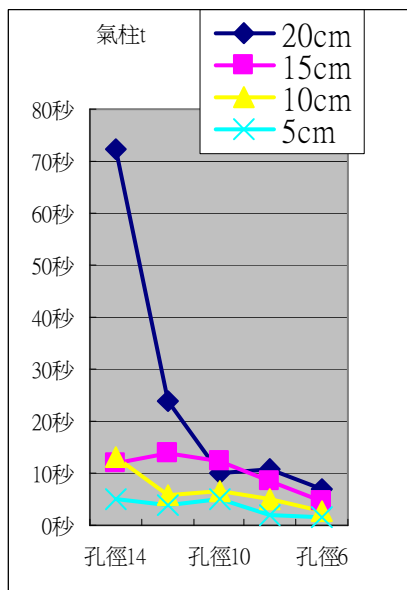
一、不同口徑（無加管）對空氣柱形成的相關數據的變化



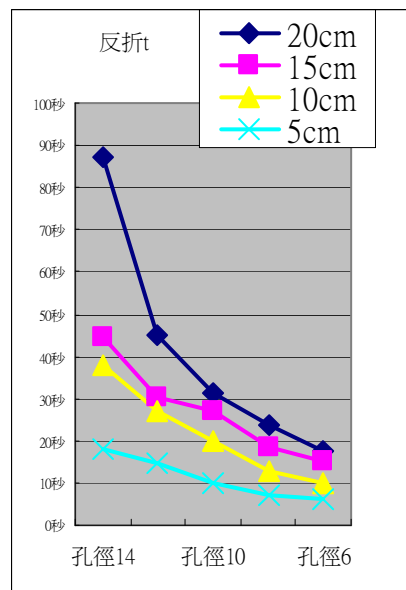
圖表 1

我們發現孔徑大於 10 圈，漩渦出現的高度大致相同，但孔徑小於 10 圈者，漩渦出現高度隨著孔徑愈小高度愈低。

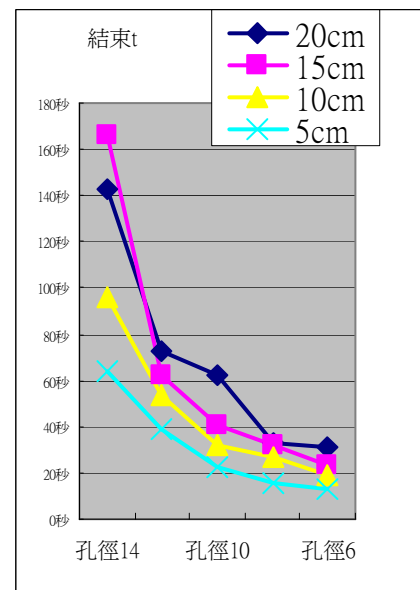
二、不同口徑（無加管）對裙苞形成的變因時間的變化



圖表 2



圖表 3



圖表 4

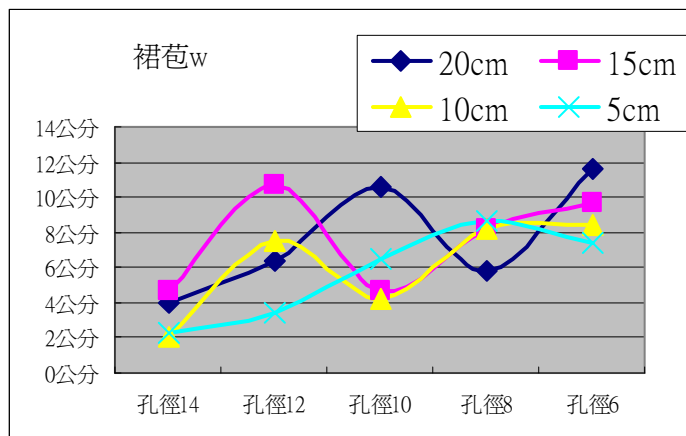
比較三圖的數線，發現會有一大致相同的趨勢：時間隨著出水孔內徑增大而減少。但也可發

現有較異常的點：

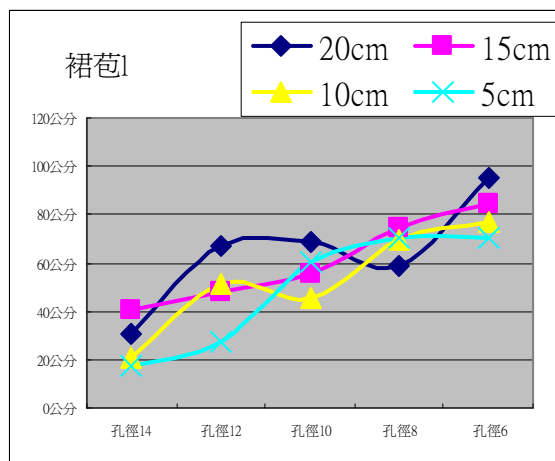
現象：圖表 4 的孔徑 14、水位 20cm 的點比孔徑 14、水位 15cm 的平均水流結束時間還要短

推論：由圖表 5、6 可得知「孔徑 14、水位 15cm.」的裙苞 w、l 皆比「孔徑 14、水位 15cm.」來得大，導致圖表 4 呈現此結果。因為孔徑固定，裙苞愈大，空氣所佔的面積愈大，相對地，水流下的量便減少了，以致於拉長其結束 t。

三、不同口徑（無加管）對裙苞的最大寬度及最大長度的變化



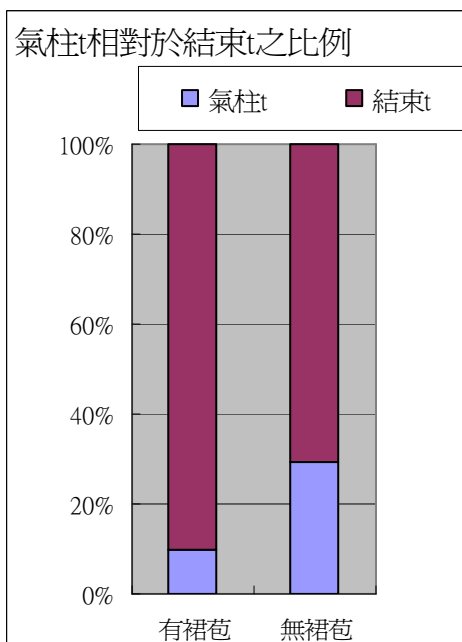
圖表 5



圖表 6

比較二圖的數線，發現會有一大致相同的趨勢：裙苞的最大寬度及最大長度大致成比例。而水位 20cm 的數線不同於另外三條，水位 15cm、10cm 的數線除了孔徑 12、水位 15cm 外大致相同，水位 5cm 的數線也異於其他三者。而我們在「實驗 B 不同口徑（無加管）對空氣柱形成的相關數據的變化」的初期就漸漸發現到空氣柱的性質會有高、中、低水位三個區塊的不同，而在實驗 C 中裙苞的性質也顯然一樣成高、中、低水位三個區塊的分布。

三、可否形成裙苞與時間比例的關係



裙苞出現率對照表

裙苞出現率(%)					
	孔徑 14	孔徑 12	孔徑 10	孔徑 8	孔徑 6
20cm	60	60	100	80	100
15cm	100	60	60	40	100
10cm	100	100	80	80	100
5cm	100	80	40	60	100

孔徑之內徑對照表

孔徑(圈)	6	8	10	12	14
內徑(cm)	6.30	5.30	4.50	3.40	2.25

圖表 7

四、遮蔽物

爲了使每次實驗的操縱變因都能準確地維持相同值，我們嘗試過不同的方法使水開始流動，原先我們是用手在槽口上方於開始測量時快速地向上升，但手經過水體時會改變靜止的水面賦予其初速度，使方向無法每次都完全相同，於是我們想：水是依靠重力加速度的方向往下流，若順這方向往下拉或許能解決此問題，所以我們準備了能完全密閉的塞子以繩子往下拉，實驗發現，此效果會因繩與塞子無法完全附著而不好，最後還是以手抵住槽口下方，再隨重力往下送，解決此問題。

五、變因的選擇

轉速：

一開始我們直觀的認爲轉速是觀測漩渦的唯一方法，所以開始時我們使用保力龍球當懸浮粒子，想藉懸浮粒子的轉動測出轉速，但實際實驗後我們發現懸浮例子並不會乖乖的在漩渦面上轉動，大部分的懸浮例粒子會被空氣柱的拉力拉扯進去，無法從頭至尾觀測。爲了防止懸浮物被吸進去，我們用棉線綁住懸浮粒子，但棉線會吸水，轉動的趨勢會受到自身很大的影響，並不客觀，後使用不會吸水的釣魚線，但釣魚線較硬，轉動不易。後來無意間發現把較具彈力的釣魚線，用火燒使其溶化後快速拉成細絲，而在末端留下較多的熔質，因其冷卻快速，就立刻製成一枝類似釣魚竿的測量工具，轉動狀況良好。使用數位相機錄影欲始其有客觀的依據，但隨後發現錄影之後觀測不易，嘗試加深其末端的圓粒使其方便觀測，但其實還是非常不明顯，而轉向由其他的切入點來觀察。

時間：

時間是最容易測量的方法，且原本以爲可以用它來換算成水的流量，但後來發現水的流速不平均，在換算上會有極大的誤差；就在我們要放棄這方面的數值時，我們發現時間可以代表裙蓬內外壓力差與達平衡的時間點，故繼續採用之。

漩渦孔及裙蓬的大小：

我們由實驗發現漩渦孔和裙蓬的大小有相關性，故想藉由光的直線傳播已作球當作標準來判定其大小，後來發現在洩水過程中漩渦大小會改變，以及肉眼觀測上會有誤差，故捨棄此測量方法。

水位高：

由於經費關係而且我們是窮苦克難的高中生，所以我們買了 200 塊一個的 26 吋打不破雙料橘色塑膠水盆，並在中間鑽洞，但因爲水盆壁面爲曲面，並沒有與盆底垂直，但爲了方便在短時間內能立即知道水位高，故在水壁面上畫上我們自訂的刻度，一一換算其實際高度，易在漩渦形成的瞬間，準確測出高度。

六、誤差及改善方法

時間：我們以碼表爲計算時間的工具，因此可能會有人體反應時間的誤差，所以我們在實驗時，同一變因會做五次且每次三人，刪去差距甚大之數值，取其平均值

水平面：將水倒入槽中，難免會有餘波蕩漾，我們會盡量至水面靜止時才開始

捌、結論

一、裙苞內的氣體是由空氣柱上方吸入

爲了證明我們「裙苞內的氣體是由空氣柱上方吸入」，所以我們使用線香的煙來觀察。透過照片來呈現我們的成果：

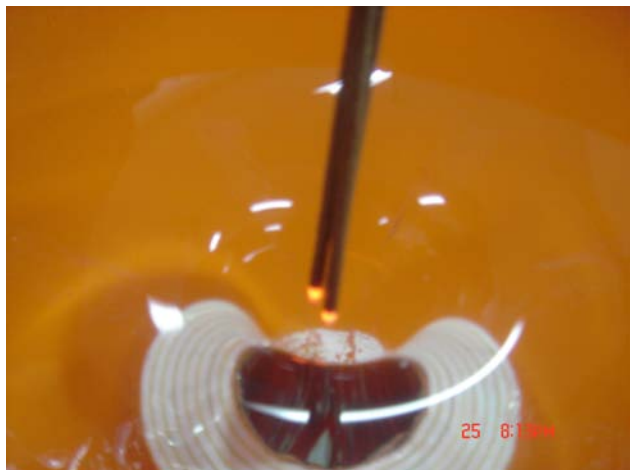
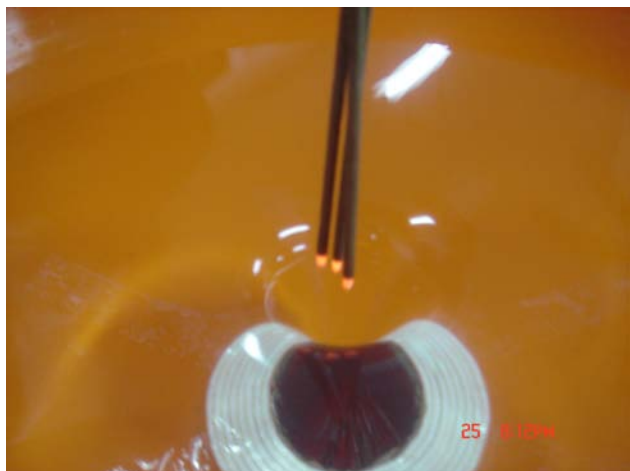
1. 線香的煙因爲溫度較高、密度較小，本應往上升。

（此時水面尙無凹面以空氣柱產生，可以看到煙原本的移動方向）



2. 空氣柱形成後，依照我們的推論，在裙苞返升前，會吸入氣體使裙苞脹大

（而此時無法從照片上看到煙，因其已被吸入空氣柱至裙苞中。）



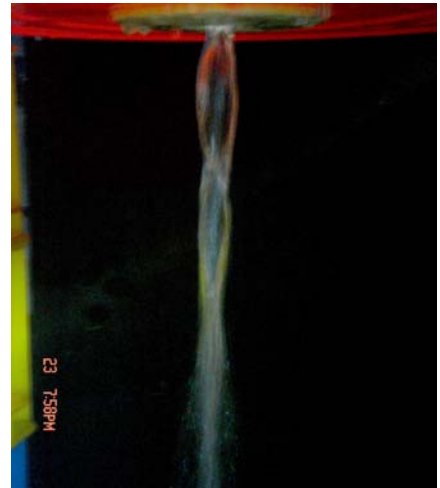
3. 裙苞返升後，將前一段過程中吸入裙苞內的氣體擠出

（此時煙的方向受被擠出的氣流作用，與靜止時煙的運動方向對照下較接近垂直線）



二、漩渦的原因：

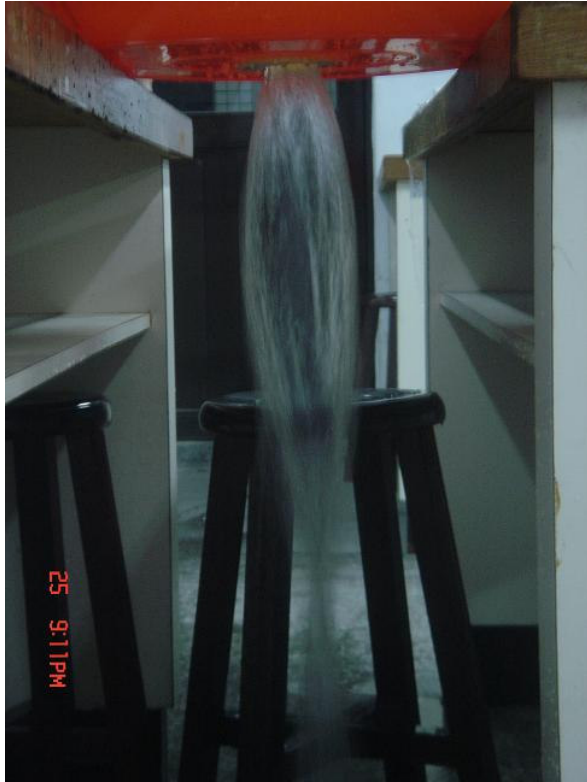
一開始流下的水柱呈圓柱狀的實心流，水面靜止呈盆內的水會產生擾動並開始旋轉、形成凹面，這時氣壓改變所以空氣從上方吸入；下方水柱也會開始旋轉成螺旋狀，但其打在地面的截面積為長方形，當速度變快長方形便將空氣包圍，下方空氣始往上，與上方空氣抗衡，形成裙苞，而形成裙苞的位置即是上下氣壓平衡的位置。而我們發現當孔徑漸小，其旋轉的速度愈慢，導致空氣吸入的速度遠大於水旋轉的速度，因此產生水節點*¹。〈見右圖〉



〈裙苞(大孔徑)的過程〉









拾、參考資料及其他

- 一、高中物質科學物理篇 第十章 流體力學 — 龍騰
- 二、高中物理 第一章 聲波 — 龍騰
- 三、動力氣象學 — 國立編譯館
- 四、2002 年台灣國際科展 漩渦之美 — 陳奕中

拾壹、展望

- 一、改變液體的黏滯力、表面張力
- 二、更大及更小的基準底面
- 三、裙苞水節點的位置

附錄

孔徑 12							
	氣柱	聲音	擾動	轉向	結束	氣柱 h	擾動 h
20cm	26.68	30.04	37.46	~	71.32	10.9	6.5
	45.75	50.84	~	*	68.22	4.5	1.95
	18.47	20.07	*	~	70.61	13.5	>9.75
	36.89	44.14	~	56.5	68.53	6.5	1.95
	25.8	34.5	35.84	~	83.83	10.9	7.2/4.5
	28.4	37.25	*	~	*	7.2	5
18cm	27.62	32.78	40.49	~	60.29	7.75	3.85
	27.23	29.71	~	~	59.16	7.75	~
	31.92	34.13	~	49.58	58.68	6.5	1.95
	32.29	37	~	50.74	59.2	6.1	1.65
	~	56.8	~	~	~	~	1.65

孔徑 10							
	氣柱	聲音	擾動	轉動	結束	氣柱 h	擾動 h
20cm	14.33	16.34	*	~	41.25	10	*
	19.35	21.38	*	~	40.38	7.2	1.95
	23.54	26.33	~	30.39	41.53	5	1.8
	*	16.93	*	~	45	11.675	5.65
	21.61	25.11	~	30.68	38.46	6.3	1.8
	15.13	18.08	25.68	~	38.06	9.75	*
18cm	9.72	12.31	~	30.41	38.04	11.95	1.8
	12.32	14.36	~	*	36.25	9.75	~
	11.99	16.3	~	29.64	37.57	9.75	1.65
	11.85	14.01	~	29.04	35.31	10.35	1.65
	13.56	15.34	~	28.75	36.6	9.3	1.65
16cm	*	16.93	~	*	36.73	9.3	1.8
	7.92	8.85	*	~	39.93	11.4	*
	8.86	10.96	~	26.75	35.03	10.35	1.65
	8.46	11.76	19.42	~	35.39	9.75	*
	7.33	8.83	*	~	38.17	11.4	*
	6.77	7.77	10.03	~		11.4	*

14cm	7.85	9.31	*	~	32.43	9.525	~
	13.36	17.58	~	22.14	28.43	6.1	1.65
	9.06	17	24.14	~	31.25	9.3	*
	7.52	8.89	18.16	~	33.21	*	3.3
	5.74	7.48	~	15.36	43.04	9.525	*
12cm	9.55	*	~	14.93	27.35	6.1	2.45
	9.32	11.15	19.92	~	27.78	6.5	1.95
	5.11	6.31	6	~	36.44	9.75	5.65
	5.5	7.96	13.91	~	32.88	8.75	3.85
	4.51	6.33	10.86	~	34.78	9.3	5.65
	7.17	*	12.02	~	*	7.75	3.85
	10.09	13.05	~	19.88	37.28	6.5	1.95
10cm	10.5	~	~	16.7	32.25	5	2.2
	5.94	8	~	17.55	32.4	7.2	1.8
	5.79	7.57	~	17.43	31.17	6.985	1.95
	5.24	6.57	*	~	31.24	7.75	~
	10.5	14.7	~	16.8	27.7	4.5	2.2

孔徑 8							
	氣柱	聲音	擾動	轉動	結束	氣柱 h	擾動 h
20cm	14.29	16.47	~	23.95	34.18	8.3	1.95
	11.83	13.44	~	24.5	34.03	10.35	1.95
	12.34	14.07	~	24.71	33.15	9.75	1.95
	13.2	18.01	~	23.84	33.56	9.3	1.95
	8.73	10.34	14.41	~	38.59	13.05	6.5
	15.82	19.66	~	24.12	33.19	7.2	1.95
18cm	9.25	11.36	14.72	~	32.14	10.35	6.1
	6.79	8.27	12.83	~	37.59	12.5	7.2
	9.86	12.74	16.38		31.16	11.95	5
	9.43	12.64	~	21.83	33.01	12.5	1.95
	8.69	10.17	12.28	~	35.61	10.9	8.3
16cm	11.91	13.17	16.3	~	29.69	6.5	3.3
	14.39	18.13	19.55		30.06	5	3.3
	7.19	8.6	10.38		31.44	10.35	7.75

孔徑 14						
	氣柱 t	反折 t	結束 t	氣柱 h	裙苞 w	裙苞 l
20cm	96.13	~	130.99	3.85	~	~
	43.55	91.91	138.08	13.05	3.5	*
	119.22	~	129.66	1.65	~	~
	83.53	116.18	131.76	6.1	1.5	7
	18.43	53.08	182.45	16.45	7	55
平均	72.172	87.05667	142.588	8.22	4	31
15cm	11.26	46.67	*	13.5	5	43
	10.78	*	173.76	14.05	5	39
	9.57	37.72	180.52	14.65	4	39
	19.69	51.49	139.5	12.5	4	43
	8.99	42.39	171.2	14.65	5.5	40
平均	12.058	44.5675	166.245	13.87	4.7	40.8
10cm	16.75	50.73	77.02	8.3	1.5	15
	13.36	28.67	127.64	9.3	3	31
	9.89	27.12	119.19	9.75	3	35
	12	*	90	8.3	2	12
	*	45.01	68.54	7.2	1	10
平均	13	37.8825	96.478	8.57	2.1	20.6
5cm	3.16	17.45	91.67	6.1	2.5	20
	4.74	19.72	60.06	5.65	2.5	16
	*	17.84	*	6.1	1.5	16
	7.75	16.46	60	5	2.25	19
	4.87	*	45.84	5.65	2.75	16
平均	5.13	17.8675	64.3925	5.7	2.3	17.4

孔徑 12						
	氣柱 t	反折 t	結束 t	氣柱 h	裙苞 w	裙苞 l
20cm	32.74	~	59.7	*	~	~
	16	47.32	*	14.05	5.5	46
	12.69	44.1	100.44	15	9.5	70
	43.46	~	61.83	4.5	~	~
	15.22	43.71	67.45	14.65	4	85
平均	24.022	45.04333	72.355	12.05	6.333333	67
15cm	10.22	29.22	64.27	*	10	36
	6.48	*	85.75	13.5	17	>100
	15.03	31.04	63.55	10.35	5	60
	~	~	50.56	~	~	~
	24.35	~	45.4	6.1	~	~
平均	14.02	30.13	61.906	9.983333	10.66667	48
10cm	5	*	75.41	*	9	65
	9.1	29.34	39.71	8.3	2	15
	4.01	25.71	47.98	9.3	8	50
	5.31	26.89	54.46	9.3	7	50
	5.77	27.06	48.86	8.75	6	40
平均	5.838	27.25	53.284	8.9125	6.4	44
5cm	2.8	16.42	37.41	6.1	5	45
	7.58	17.74	38.59	5	1.5	12
	4.25	~	25.1	5	~	~
	2.5	11.4	44.49	6.1	3.5	27
	2.56	12.26	47.22	*	3.5	25
平均	3.938	14.455	38.562	5.55	3.375	27.25

孔徑 10						
	氣柱 t	反折 t	結束 t	氣柱 h	裙苞 w	裙苞 l
20cm	12.96	31.76	60.75	12.5	8.5	14
	10.94	29.55	50.1	19.2	7	67
	5.81	25.07	79.01	17	17	110
	9.67	33.71	61.71	15	9.5	74
	9.78	35.6	61.31	14.65	11	77
平均	9.832	31.138	62.576	15.67	10.6	68.4
15cm	15.72	~	38.05	6.1	~	~
	18.03	~	37.58	5.65	~	~
	8.87	27.75	39.42	10.35	4	47
	9.39	25.26	46.85	10.9	6	67
	9.71	27.33	40.87	10.35	4	52.5
平均	12.344	26.78	40.554	8.67	4.666667	55.5
10cm	7.09	21.1	31.03	7.2	3.5	36
	4.5	17.51	37.28	8.3	5.5	58.5
	6.18	20.34	31.07	7.75	3	38
	5.01	20.73	31.91	8.3	5	51
	10.63	~	28.1	5	~	~
平均	6.682	19.92	31.878	7.31	4.25	45.875
5cm	2.52	10.33	25.16	5.65	5	54
	8.59	~	20	2.85	~	~
	~	~	20.05	~	~	~
	2.83	9.9	25.54	5	8	67
	6.58	~	21.11	3.3	~	~
平均	5.13	10.115	22.372	4.2	6.5	60.5

孔徑 8						
	氣柱 t	反折 t	結束 t	氣柱 h	裙苞 w	裙苞 l
20cm	12	24.71	32.56	4.5	4	47.5
	8.52	24.44	31.34	13.05	5.5	71
	13.15	~	32.99	8.75	~	~
	10.09	25.37	32.28	11.4	7	53
	10.14	19.57	36.9	10.9	6.5	63
平均	10.78	23.5225	33.214	9.72	5.75	58.625
15cm	9.29	~	28.45	7.75	~	~
	10.59	~	29.54	6.1	~	~
	11.58	~	29.89	6.1	~	~
	6.76	19.25	31.56	9.75	4.5	59.5
	4.33	17.88	38.58	12.5	12	90
平均	8.51	18.565	31.604	8.44	8.25	74.75
10cm	3.41	13.05	28.5	8.75	10	91
	6.4	*	27.64	5.65	5	50
	8.27	~	24.26	5	~	~
	4.38	12.63	24.08	7.75	8	56
	2.26	12	28.12	8.3	10	80
平均	4.944	12.56	26.52	7.09	8.25	69.25
5cm	2.91	~	19.73	4.5	~	~
	2	7.81	22.29	5.65	8	92
	1.83	7.36	22.45	6.1	10	62
	2.08	~	15.3	5	~	~
	1.64	5.85	20.42	5	8	57
平均	2.092	7.006667	20.038	5.25	8.666667	70.33333

孔徑 6						
	氣柱 t	反折 t	結束 t	氣柱 h	裙苞 w	裙苞 l
20cm	8.35	16.73	29.13	*	9	93
	6.36	18.41	37.24	14.05	14	95
	6.38	19.18	29.27	13.5	12	100
	7.65	18.45	26.64	14.05	8	86
	6.02	15.49	33.05	14.65	15	103
平均	6.952	17.652	31.066	14.0625	11.6	95.4
15cm	6.63	17.5	20.33	7.75	4.5	33
	5.1	13.49	24.47	10.35	8	85
	3.45	14.55	23.87	11.4	13	103
	5.13	15.45	20.86	10.35	10	100
	3.48	14.71	28.86	11.95	13	102
平均	4.758	15.14	23.678	10.36	9.7	84.6
10cm	2.89	11.05	17.84	8.3	8	81
	2.29	7.91	20.98	8.3	10	92
	3.2	9.65	17.37	7.2	6	56
	2.65	10.86	18.49	7.2	8	59
	2.18	10.22	19.93	8.3	10	95
平均	2.642	9.938	18.922	7.86	8.4	76.6
5cm	2.33	8.07	12.6	4.5	5	55
	1.44	5.01	13.35	5	10	91
	1.33	5.57	12.76	5.65	9	87
	1.49	6.67	12.3	4.5	5	46
	1.1	5.89	12.67	5	8	71
平均	1.538	6.242	12.736	4.93	7.4	70

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 物理科

040104

漩案？！

國立宜蘭高級中學

評語：

定量分析不足，整體來看似乎無法得到強而有力的論証結果，宜加強對實驗設計的精緻度。