

看不見的風，抓不著的水——乒乓舞孃

高小組應用科學科第三名

台北縣沙崙國民小學

作者：蔡政育、連芳瑩、張哲聞、許潔茹

指導教師：余俊樑、謝先榮

一、研究動機

第一次接觸到老師的自然課，就讓我們留下深刻的印象，那天老師拿著一台吹風機，什麼也沒說就把乒乓球擺在吹口上接著打開吹風機「哇！吹風機都那麼斜了乒乓球還沒掉？」同學發出一聲驚呼，「這是什麼原因呢？」老師問著「請各位在學期末給我答案……」底下是從我們的期末報告中加以改進的記錄。

二、研究目的

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| (一)探討乒乓球穩定飄浮在空中的原因 | (六)深入研究——嘗試證明柏努利定律(二) |
| (二)探討影響乒乓球穩定飄浮的原因 | (七)理論的應用——柏努力定律之學習步道 |
| (三)深入研究——嘗試證明柏努利定律(一) | |
| (四)探討乒乓球穩定飄浮在水柱上的原因 | |
| (五)探討影響乒乓球穩定水舞的原因 | |

三、研究設備器材

(一)吹風機 (二)沉水馬達 (三)各式吹口 (四)各式噴嘴 (五)鐵架 (六)各類小球 (七)捲尺 (八)線香 (九)蠟燭 (十)砝碼 (十一)電子天平 (十二)量角器 (十三)溫度計 (十四)燒杯 (十五)吸管 (十六)玻璃管 (十七)水盆 (十八)檯燈用調光器 (十九)紅墨水

四、研究過程

(一)乒乓球能穩定飄浮在空中的原因為何？

針對上述問題我們的確相當好奇，大膽假設球能飄浮的原因：

吹風機產生一股氣流使乒乓球飄浮在空中，因氣流快速的通過球面使得移動的空氣形成氣牆包圍著球體，但當氣流快速移動時遇阻將形成亂流，乒乓球為尋找穩定狀態因而偏離氣流中心線而歪斜一邊。造成球體快速旋轉，因此

旋轉的力量和其他各力相互平衡，才使得乒乓球穩定飄浮。

為驗證上面的假設，我們設計了以下實驗：

實驗一 吹風機產生一股氣流使乒乓球飄浮在空中

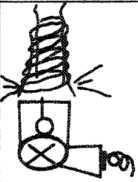
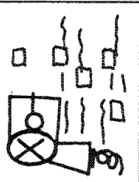

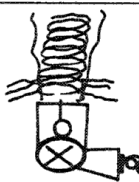
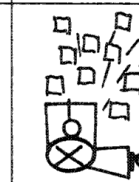
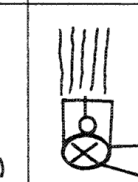
1. 實驗設計

(1) 把點燃的線香、碎紙片、長紙條分別置於吹口附近

(2) 分別觀察並記錄結果

2. 實驗結果 見表一

(表一)

方法	吹 風 機 OFF			吹 風 機 ON		
	線香	碎紙片	紙條	線香	碎紙片	紙條
結果	煙向四方擴散，並往上飄。	受地心引力影響，垂直往下掉。	受地心引力影響，紙條往下垂。	原本飄浮不定的煙，被吹風機氣流吸走，集中於吹口上方，成一直線管直往上沖。	在吹口上方之紙片直沖天花板；在吹口外圍的紙片直落地板。	紙條向上衝，形成一柱形。
繪圖						

實驗二 氣流快速通過球面形成氣牆包圍著球

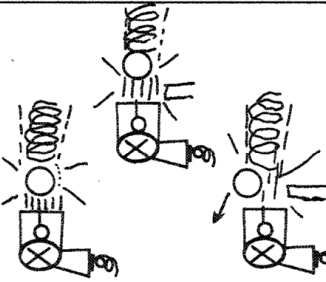
1. 實驗設計

(1) 把點燃的線香置於吹口附近，並將乒乓球置於吹口上。

(2) 打開吹風機筆尖置於吹風口與乒乓球間。

(3) 觀察並記錄結果，見表二。

(表二)

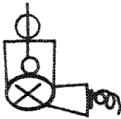
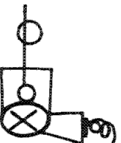
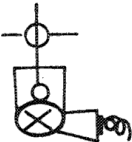
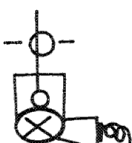
	文 字 記 錄	圖 示
觀察結果	把香放在吹口四周，可明顯看到香的煙快速通過球面，並且使香燃燒的相當旺盛（氣流快速通過之證明），吹風機的快速氣流形成氣牆包圍著球，其煙的行徑方向，如彈簧，當我們用筆去破壞氣牆時，乒乓球便掉落，由此更可證明確有氣牆之存在。	

實驗三 乒乓球偏離氣流中心線位置因而造成旋轉並因旋轉而穩定

1. 實驗設計

- (1) 將乒乓球置於吹風機上。
- (2) 把鉛垂線固定於吹口中心處，觀察並記錄結果。

2. 實驗結果：見表三

	圖 示	文 字 記 錄
吹風機OFF		乒乓球靜止不動，且對齊鉛垂線（氣流中心線）。
吹風機ON		乒乓球往上飄浮，且已明顯偏離氣流中心線，並且按一定方向旋轉。
		用細針將球推回中心時，乒乓球不再旋轉，但手可感覺到球有一股要離開現在位置的顫動。
		將針移開後，乒乓球迅速跳離原來之中心位置，向一方偏移，且按一定方向開始旋轉。

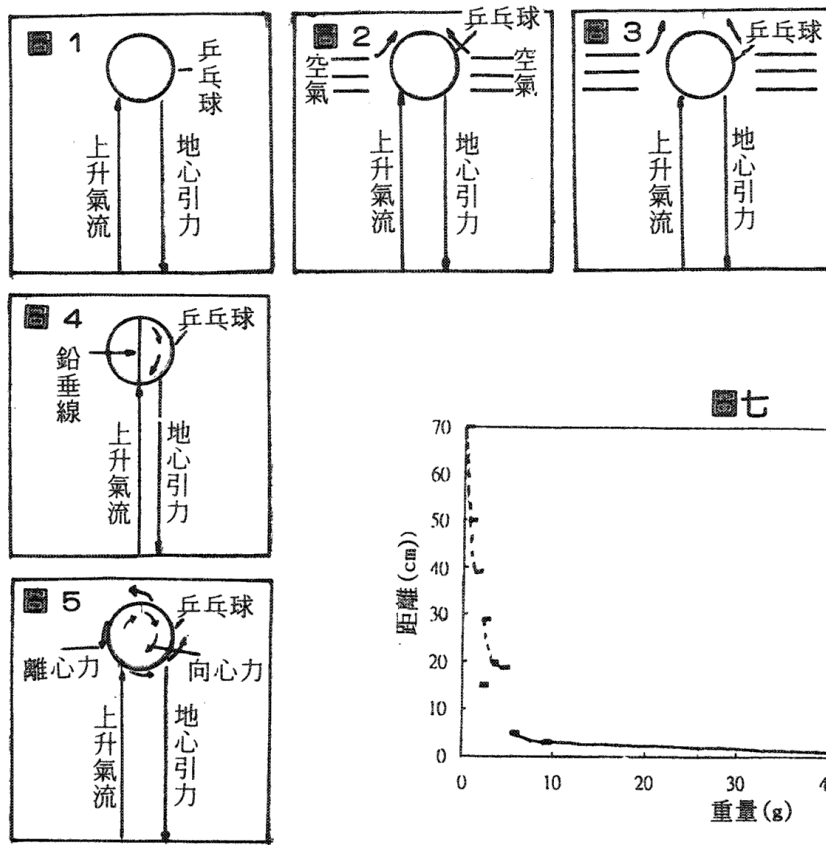
結論(-)

由上述的實驗中，我們可以清楚的從表一至表三的結果記錄內證明原先我們的假設幾近成立，配以實驗中所看到的現象我們討論後一致認為，乒乓球能穩定飄浮在空中的原因是：

1. 吹風機產生一股上升氣流使乒乓球飄浮在空中，球被氣流往上推又被地心引力往下拉，恰好構成平衡。
2. 快速的氣流形成一股吸引力使四周空氣迅速向此區移動，流動的空氣因通過球面而形成氣牆包圍著球。
3. 當氣流流速時前進受乒乓球阻礙形成亂流，乒乓球為尋找穩定狀而偏斜氣流中心線。（設偏右邊）。
4. 由於右邊距離比左邊長而空氣又必須同時到達球之頂端B，所以右邊氣流比左邊的速度快需要更多空氣去補位。因而被左邊的氣流往右邊推擠造成旋轉，

直至左右兩邊壓力相當時才停止偏斜。

5. 乒乓球進行圓周運動時產生指向中心的向心力和向外拉扯的離心力兩力相互平衡時造成乒乓球穩定持續的飄浮在空中了。



(二) 影響乒乓球穩定飄浮的原因為何

實驗四 氣流的強弱是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1. 實驗設計 (略) 2. 實驗結果 請參見表四

(表四)

氣流之力量		有無旋轉	旋轉速度	穩定程度	離吹口距離	有無掉落
10.58g	弱風	√	非常慢	×	0.5cm	√
21.02g	中弱	√	稍慢	●	1.5cm	×
28.14g	中風	√	稍快	●	3cm	×
42.30g	中強風	√	快	×	15cm	√
45.68g	強風	√	很快	×	16cm	√
備註		乒乓球重量2.25公克，穩定程度中，×表非常不穩定； ▲表尚穩定；●表穩定。				

結論(二)

- (1)當吹風機的風流愈強，球之旋轉速度就愈快，離吹口距離就愈遠；但吹風機的氣流愈弱，球之旋轉速度就愈慢，離吹口距離就愈近。
- (2)當氣流太強時無法和地心引力平衡，氣流太弱時又無法和地心引力對抗時乒乓球便會掉落。
- (3)倘氣流強弱能與地心引力平衡，則乒乓球就會在這高度準備飄浮。

實驗五 球的大小與重量是否會影響乒乓球的飄浮和穩定呢？

- 1.實驗設計(略)
- 2.實驗結果 見表五、表六、圖七

(表五) 塑膠球

球的重量	有無旋轉	旋轉速度	穩定程度	離吹口距離	有無掉落
2.25 g	√	快	●	15cm	×
5.66 g	×	/	▲	5cm	×
9.12 g	×	/	▲	3cm	×
62.16g	×	/	×	0cm	√
備註	1.穩定程度中，×表不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。 2.氣流強度42.30克（中強風）。				

(表六) 保利龍球

球的重量	有無旋轉	旋轉速度	穩定程度	離吹口距離	有無掉落
0.3 g	×	/	×	70cm	√
0.73 g	×	/	×	50cm	√
1.36 g	√	快	●	39cm	×
2.34 g	√	快	●	29cm	×
3.46 g	√	稍慢	●	20cm	×
4.65 g	√	稍慢	●	19cm	×
備註	1.穩定程度中，×表不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。 2.氣流強度42.30克（中強風）				

(表七)

傾斜角度	有無旋轉	旋轉快慢	穩定程度	離吹口距離	有無掉落
0°	√	快	●	2.2cm	×
10°	√	快	●	2.5cm	×
20°	√	稍慢	●	3cm	×
25°	√	稍慢	●	3.5cm	×
30°	√	慢	●	4cm	×
35°	√	慢	●	4.5cm	×
40°	√	很慢	●	7.5cm	×
45°	√	很慢	▲	10.5cm	×
46°	√	很慢	▲	13.5cm	×
47°	√	很慢	▲	13.6cm	×
48°	√	極慢	×	18.9cm	√
50°	×	/	×	20cm	√
60°	×	/	×	18cm	√
70°	×	/	×	14cm	√
80°	×	/	×	11cm	√
90°	×	/	×	23cm	√
備註	氣流強度28.14克(中強風)。穩定程度中，×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

結論(三)

- (1)氣流強弱固定時，球重量愈輕穩定程度愈差離吹口距離也愈遠。
- (2)氣流強弱固定時，球重量愈重穩定程度亦差離吹口距離也愈近。
- (3)球太重或太輕都無法和地心引力平衡，故易掉落。

實驗六 空氣柱傾斜的角度是否會影響球的飄浮和穩定呢？

2.實驗結果(略) 2.實驗結果 見表七、表八

(表八)

傾斜角度	有無旋轉	旋轉快慢	穩定程度	離吹口距離	有無掉落
0°	√	快	●	2.5cm	×
10°	√	快	●	3.5cm	×
20°	√	快	●	6cm	×
22°	√	快	●	8cm	×
24°	√	快	●	8.5cm	×
25°	√	稍慢	▲	7cm	×
26°	√	稍慢	▲	9.5cm	×
28°	√	稍慢	▲	10cm	×
30°	√	稍慢	▲	9.5cm	×
32°	√	慢	×	10.5cm	√
34°	√	慢	×	11cm	√
36°	√	很慢	×	10.5cm	√
38°	√	很慢	×	12cm	√
40°	√	很慢	×	12cm	√
50°	√	極慢	×	14.5cm	√
60°	×	/	×	15cm	√
70°	×	/	×	11.5cm	√
80°	×	/	×	12.5cm	√
90°	×	/	×	20.2cm	√
備註	氣流強度21.02克(中弱風)。穩定程度中，×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

結論(四)

- (1) 乒乓球隨著空氣柱傾斜角度的增加而旋轉的愈來愈慢吹口距離卻愈遠。
- (2) 傾斜角度愈大球旋浮愈高，但穩定性卻相對降低，50~60度是本實驗中乒乓球的懸浮極限。

(3)氣流愈強所能傾斜的角度也愈大，但當吹口的傾斜度到達極限時球便會成拋物線路徑掉落。

實驗七 吹口的大小和形狀是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1.實驗設計 (略) 2.實驗結果 見表九

結論(五)

- (1)由上圖可知乒乓球在圓形吹口下所造成的飄浮最穩定。
- (2)各式吹口中，吹口愈大球離吹口愈近，吹口愈小球離吹口愈遠

(表九)

吹口 形狀 紀錄	圓 形							四 方 形			1/2 圓 形							三 角 形		
	1.4	2.5	3	4	6	8	1.5 × 1.5	2.5 × 2.5	4 × 4	1.4	2.5	3	4	5	6	8	2.5	3	4	
有無旋轉	√	√	×	√	×	×	×	×	√	×	√	√	×	×	×	×	√	√	√	
穩定程度	▲	●	▲	●	●	×	▲	●	×	×	●	●	▲	▲	▲	×	▲	▲	▲	
離吹口距離	6.5	12	2	0.5	0	0	7	0.5	0	0	3	4	1.5	2	0.2	0	12	8	1	
有無掉落	×	×	×	×	×	×	×	×	√	√	×	×	×	×	×	√	×	×	×	
備 註					1/4 掉進 吹口	全 掉進 吹口		一 直 上 下 移 動										旋 轉 方 向 不 固 定	旋 轉 方 向 不 固 定	
穩定程度中，“×”表非常不穩定；“▲”表尚穩定；“●”表穩定。																				

實驗八 氣流的溫度是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1.實驗設計 (略) 2.實驗結果 見表十

(表十)

溫 度 紀錄	0°			10°		
	21°	55°	80°	21°	55°	80°
有無旋轉	√	√	√	√	√	√
旋轉速度	快	快	快	慢	中	快
穩定程度	●	●	●	●	▲	●
吹口距離	17cm	16cm	15cm	17cm	16cm	15cm
有無掉落	×	×	×	×	×	×
備 註	氣流強弱固定在42.30克(中強風)穩定程度中 ×表示非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定					

結論(六)




(1)由上面的表格中似乎可認為，當氣流強弱固定時，溫度愈低球離吹口距離愈高，溫度愈高球離吹口距離愈低。

(2)但我們的吹風機只有三個溫度變化，變因的設計不夠完整，所以對於上述的看法我們採保留的態度。

實驗九 外力的加入是否會影響球的穩定和飄浮呢？

1. 實驗設計 (略) 2. 實驗結果 如表十一

(表十一)

圖示														
	紀錄	不加外力	15 cm	13 cm	10 cm	7 cm	8 cm	6 cm	4 cm	2 cm	紙板緊貼吹口			
											17.5 cm	25.5 cm	38.5 cm	60 cm
有無旋轉	√	√	√	√	×	√	√ 一直改方向	√ 一直改方向	√	×	×	×	×	
旋轉速度	很快	很快	快	非常快	×	很快	慢	慢	很快	×	×	×	×	
穩定程度	●	●	●	▲	×	●	●	●	●	●	●	●	●	
吹口距離	2.5 cm	2.5 cm	2 cm	1.7 cm	1.5 cm	2.5 cm	2.3 cm	2.1 cm	2 cm	12 cm	19 cm	26 cm	25.5 cm	
有無掉落	×	×	×	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	
備註	氣流強弱固定24.18克(中級風)。穩定程度中，×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。													

結論(七)




(1)若板子(外力)由上而下侵入，板子離吹口愈近球離吹口距離也愈近，板子離吹口愈遠，球離吹口亦愈遠，若板子(外力)由側邊侵入，其結果同前。

(2)當板子緊貼吹口時，板子愈長球離吹口距離就愈遠，但達一極限後再加高板子球亦不再上升，本實驗中球最高可達26cm高。

實驗十 球的完整性是否會影響球的穩定和飄浮呢？

1. 實驗設計 (略) 2. 實驗結果 如表十二

(表十二)

圖 形 損 壞 程 度 紀 錄																							
	凹洞程度				破洞的個數														洞的大小 (限 4 個)				
	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個	6 個	7 個	8 個	9 個	10 個	11 個	12 個	13 個	14 個	0.4 cm	0.7 cm	1 cm	1.3 cm	
有無旋轉	√ 常改方向	√ 常改方向	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√ 常改方向	√	√	√	√	×	
程度穩定	▲	▲	×	×	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲	×	
距吹口距離	15.5 cm	16 cm	19 cm	26 cm	13.5 cm	14 cm	15.5 cm	16.5 cm	17.5 cm	18.5 cm	18 cm	19.5 cm	20.5 cm	22 cm	22.5 cm	23 cm	25 cm	28 cm	17 cm	20 cm	20 cm	28 cm	
掉落有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	√	√
備註	1. 氣流強弱固定於 24.18 克 (中級風, 冷風)。穩定程度中, “×” 表非常不穩定; “▲” 表尚穩定; “●” 表穩定。 2. 破洞個數 2 個以上, 會發出聲響。																						

結論(八)

- (1) 凹洞直徑愈長球愈不穩, 但離吹口距離卻愈遠, 直徑愈短較穩定, 但離吹口距離就愈近。
- (2) 破洞個數愈多球愈不穩, 但離吹口距離卻愈遠, 破洞個數愈少球較穩定, 但離吹口距離就愈近。
- (3) 破洞的大小其結果和上述相似。

(三) 深入研究——嘗試證明柏努力定律(一)

我們利用「製作簡易的噴霧器」來證明我們心中的想法：

氣流的速度變快時, 會引起氣壓降低, 而使得流速慢的氣流向流速快的地方移動。

底下就是我們的實驗：

1. 實驗設計

- (1) 把吸管做成 T 字形。

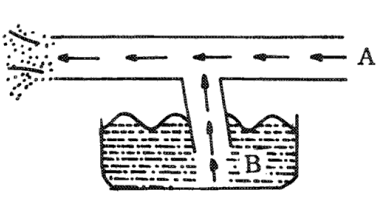
(2)將燒杯裝滿水並把T字形的吸管置於杯內。

(3)從吸管一端用力的吹，努力的吹。

(4)觀察並記錄結果。

2.實驗結果 如表十三

(表十三)

圖 示	觀 察 並 記 錄
	用口朝A端努力的吹氣，結果為管內的水面漸漸往上升起，此時若繼續用力吹氣，水會升到交叉口並被口中吹出之氣流帶出。

結論(九)

當氣體流動時，它的壓力和靜止時不同，流動的氣體流速愈快，氣體內壓力愈小；相反的，流速愈慢，壓力愈大。

(四)乒乓球能穩定飄浮在水柱上的原因為何？

當我們順利的完成上面一系列的實驗後，瑩子想曾在二年前第三十五屆全國科學展覽的會場上所看到的一件作品：把乒乓球放在噴起的細小水柱上，乒乓球竟也如跳芭蕾舞般的飄浮在空中，這和我們現在所做的實驗不是很相似嗎？我們這樣詢問老師，在老師的幫忙下我們找到那一次的實驗記錄，我們決定要自己重做一次並且要做的比他們更好。

噴水器產生一股上升的水流使乒乓球飄浮在空中，這股上升的水流因快速的通過球面導致四周的空氣被水牽動而形成移動的狀態而移動的空氣形成氣牆包圍著球體，由於水柱的打擊使得乒乓球並不穩定，球為尋找穩定狀態因而偏離水柱而歪斜一邊，造成球快速旋轉，因此旋轉的力量與水的附著力和其他各力相互平衡，才使得乒乓球穩定飄浮。

為驗證上面的假設，我們設計了以下實驗：

實驗十一 噴水器產生一股上升的水流使乒乓球飄浮在空中

1.實驗設計

(1)打開沉水馬達並調整水柱位置

(2)放上乒乓球並觀察記錄

實驗十二 上升的水流快速通過球面導致四周空氣被牽動形成氣牆包圍著球體

1.實驗設計

(1)打開沉水馬達並調整水柱位置，放上乒乓球，點燃線香和蠟燭放在噴起的水柱四周。(2)觀察並記錄結果。

實驗十三 水柱的打擊使乒乓球偏離水柱而歪斜並因此造成旋轉並使球穩定

1.實驗設計

(1)打開沉水馬達，將準備好的鉛垂線固定，並調整水柱位置使其與鉛垂線平行。

(2)放上乒乓球，觀察並記錄結果。


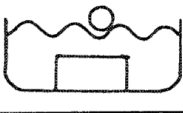




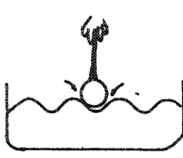
實驗十四 乒乓球和水之間有附著力也盡力使球穩定飄浮

1.實驗設計 2.實驗結果（實驗十一~十四請參見表十四）

(1)準備一臉盆的水，並將已黏好線的乒乓球入水中。

(2)用手將乒乓球輕輕拉起並用心感覺，記錄結果。

(表十四)

實驗項目	結果	圖示	觀察並記錄
ON有水			乒乓球被噴水馬達的快速水流托起來，水流包圍著球體使乒乓球飄浮並旋轉。
OFF無水			乒乓球會掉落到水盆漂浮著。
蠟燭			蠟燭的火燄被噴水器的快速水流吸走。
香			香的煙被噴水器的快速流吸走。
有偏斜狀況			乒乓球會順著一定的方向穩定旋浮。 (偏向一邊)
無偏斜狀況			乒乓球很不穩定，有一股極度偏離鉛垂線的力量。
乒乓球和水之間有附著力			用手將乒乓球拉起時手指可感覺到一股明顯拉力，但手指稍用力球便被提起，而那股拉力應該就是水的附著力。

結論(+)

由上述實驗中我們也可以清楚證明原先的大膽假設是成立的，底下是我們的結論：

- 1.噴水器產生一股上升水流使乒乓球飄浮在空中，球被水流往上推又被地心引力往下拉，恰好構成平衡。
- 2.快速的水流牽動四周空氣使四周空氣迅速向此區移動，流動的空氣形成氣牆包圍著球。
- 3.由於水柱的打擊使得乒乓球並不穩定，乒乓球為尋找穩定狀態而偏離水柱歪斜一邊（設偏左邊）。
- 4.因水柱打擊球的右邊造成球體重心往右移動，此時球原本應該掉落，但因水的附著力暫緩掉落的趨勢，球體只好旋轉以維持原有狀態。
- 5.乒乓球進行圓周運動時產生指向中心的向心力和向外拉扯的離心力，兩力相互平衡時造成乒乓球穩定持續的飄浮在空中了。

(五)影響乒乓球穩定水舞的原因為何？

實驗十五 水柱的強弱是否會影響球的飄浮和穩定呢？

- 1.實驗設計（略） 2.實驗結果 見表十五

水柱強度	高度	結果	有無旋轉	穩定程度	吹口距離	有無掉落
一級	20cm		×	×	0cm	√
二級	30cm	√ 一下子		×	0cm	√
三級	46cm	√		▲	17cm	√
四級	70cm	√		●	30cm	×
五級	79cm	√		●	43cm	×
六級	90cm	√		●	52cm	×
七級	100cm	√		●	55cm	×
八級	110cm	√		●	72cm	×
九級	120cm	√		●	80cm	×
十級	130cm	√		●	95cm	×
十一級	135cm	√		●	99cm	√ (撐7秒76)
十二級	140cm	√		●	102cm	√ (撐7秒76)
備註	穩定程度中，×表示非常不穩定；▲表尙穩定；●表穩定					

結論(±)

(1)水柱愈弱球愈不穩定，離吹口距離也愈近，水柱愈強球愈穩定，離吹口距離也愈遠。

(2)水柱太弱無法和地心引力抗衡或水柱太強地心引力無法讓球平衡球便會掉落。

實驗十六 球的大小與重量是否會影響乒乓球的飄浮和穩定呢？

1.實驗設計（略） 2.實驗結果 見表十六、十七

結論(±)

(1)水流強弱固定時，球重量愈輕旋轉速度愈快離吹口距離也愈遠。

(2)水流強弱固定時，球重量愈重旋轉速度愈慢離吹口距離也愈近。

(3)球太重或太輕都無法和地心引力平衡，故易掉落或被水擊開。

（表十六） （塑膠球）

球的重量	大小	結果	有無旋轉	穩定程度	吹口距離	有無掉落
62.16克		大	×	×	0cm	√
9.12克		中	×	×	0cm	√
5.66克		小	√	▲	30cm	×
2.25克		特小	√	●	100cm	×
備註		水柱力量開到最強。穩定程度中×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

（表十七） （保麗龍球）

球的重量	大小	結果	有無旋轉	穩定程度	吹口距離	有無掉落
4.65克		特大	√	●	17cm	×
3.46克		大	√	●	70cm	×
2.34克		中	√	●	94cm	×
1.36克		小	√	×	112cm	√
0.73克		特小	√	×	120cm	√
0.3克		limit 小	√	×	121cm	√
備註		水柱力量開到最強。穩定程度中×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

實驗十七 水柱傾斜的角度是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1. 實驗設計 (略) 2. 實驗結果 見表十八

結論(註)

(1) 水柱的傾斜角度在超過三度以後，乒乓球便掉落。

(2) 水柱的傾斜角度在0度至3度時，其穩定程度和距吹口距離並無明顯的變化。

(表十八)

傾斜角度		0°	1°	2°	3°
結果					
有無旋轉		√	√	√	√
穩定程度		●	●	●	●
吹口距離 (cm)	第一次	28	31	31	32
	第二次	28	27	27	36
	第三次	27	30	25	21
	第四次	27	22	25	25
	平均	27.5	27.5	27	28.5
有無掉落		×	×	×	×
備註	1. 維持時間5分鐘以上。 2. 水柱升力第四級(超過3°以後掉落)。穩定程度中，×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

實驗十八 噴嘴的大小是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1. 實驗設計 (略)

2. 實驗結果見表十九。

結論(註)

(1) 噴嘴愈小球飄浮的愈穩定，離噴嘴距離也愈遠。

(2) 噴嘴愈大球飄浮的愈不穩定，離噴嘴距離也愈近。

(3) 細的水柱造成水的力量增強，而粗的水柱使水的力量變弱且易打中球的重心而使球掉落，所以細的水柱比粗的水柱易懸浮且更穩定。

實驗十九 水的溫度是否會影響球的飄浮和穩定呢？

1. 實驗設計 (略)

2. 實驗結果見表二十。

(表十九)

吹口直徑 \ 結果	有無旋轉	穩定程度	吹口距離	水柱高度	有無掉落
0.2cm	√	●	101 cm	140 cm	×
0.3cm	√	●	100 cm	107 cm	×
0.4cm	√	▲	92 cm	95 cm	√
0.5cm	√	×	64 cm	70 cm	√
0.7cm	√	×	18 cm	22 cm	√
備註	水柱力量開到最強。穩定程度中，×表非常不穩定；▲表尚穩定；●表穩定。				

結論(五)

由表格和圖中我們可知水的溫度對乒乓球的飄浮幾乎沒有什麼影響球離噴嘴的距離都差不多，在做此實驗時為防燙傷我們都事先做了預防。

(表二十)

水溫 \ 結果	有無旋轉	穩定程度	吹口距離	有無掉落
15°C	√	●	35cm	×
20°C	√	●	35cm	×
30°C	√	●	35cm	×
40°C	√	●	30cm	×
52°C	√	●	30cm	×
64°C	√	●	30cm	×
70°C	√	●	45cm	×
備註	水柱力固定不變。穩定程度中，“×”表非常不穩定，“▲”表尚穩定；“●”表穩定			

實驗二十 球的完整性是否會影響球的穩定和飄浮呢？

1. 實驗設計 (略)
2. 實驗結果見表二十一。

結論(六)

(1) 凹洞直徑長短並不會影響球離噴嘴距離但凹洞使得球一直在改變旋轉方向，

當水柱擊到凹洞時球便會掉落。

(2)破洞個數愈多球愈不穩，但離吹口距離卻愈近，破洞個數愈少球較穩定，但離吹口距離就愈遠，這和結論（八）有明顯的不同，這是因為破洞會進水，使球變重令球不能再和水柱升力等平衡所至，而球之破洞大小從表中看來影響並不大。

(表二十一)

圖形															
	凹洞直徑				破洞的個數 (直徑固定0.5cm)						固定個數(4個)				
度	1.5 cm	2 cm	2.5 cm	3 cm	1 個	2 個	3 個	4 個	5 個	6 個	0.3 cm	0.4 cm	0.5 cm	0.8 cm	1.5 cm
紀錄	▽ (常改)	▽ (常改)	▽ (常改)	▽ (常改)	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽ (常改)	▽ (常改)	▽ (常改)	▽ (常改)
穩定程度	▲	▲	▲	▲	●	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×
吹口距離	37 cm	27 cm	37 cm	39 cm	36 cm	30 cm	20-0 cm	20-0 cm	10-0 cm	8-0 cm	大約 20 cm	20-0 cm	23-0 cm	20-0 cm	20-0 cm
有無掉落	×	×	×	×	×	×	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽
備註	因破洞會進水使乒乓球變重。穩定程度中，“×”表非常不穩定，“▲”表尚穩定；“●”表穩定。														

(六)深入的研究——嘗試證明柏努力定律(二)

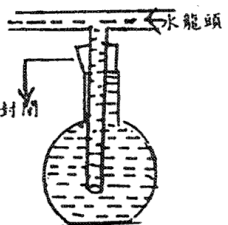
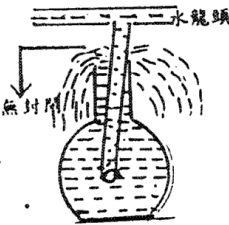
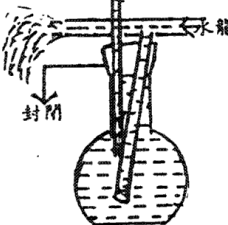
我們比照深入研究三時令我們瘋狂的「簡易噴霧器」的想法，嘗試為這些做一說明，底下是我們的實驗。

1. 實驗設計

- (1)取一透明塑膠軟管和玻璃管做成 T 字形。
- (2)取一軟木塞鑽兩個孔。
- (3)將圓底燒瓶裝滿紅墨水。

- (4)配置如下圖表。
 (5)將一端置於水龍頭下打開水龍頭。
 (6)觀察並記錄結果。
 2.實驗結果，見表二十二。

(表二十二)

		
<p>可看見密閉燒瓶中之紅墨水，上升至一半即不再上升。</p>	<p>可看見沒封口的紅墨水從瓶口中流出。</p>	<p>多加一隻玻璃管，紅墨水成功的在往外噴出而另一隻管中水則上升至與大氣壓力平衡。</p>

結論(七)

當液體流動時，它的壓力和靜止時不同，流動的液體流速愈快，流體內壓力愈小；相反的，流速愈慢，壓力愈大。

(七)理論的應用——柏努力定律之學習步道

在做完這些實驗和討論後，老師要求我們把實驗結果公開給全校的同學一起分享，並且要求我們設計一些應用柏努力定律的小遊戲，以便讓低中年級的小學弟小學妹也能分享我們的喜悅，爲了讓我們能夠大展所學，老師特地向學校提出：自然科學週一理論的實際與應用的活動，我們精心設計了以下八個攤位，夾雜在我們全六年級自然科學期末發表的其它攤位之中，共邀各路英雄好漢一展身手，當這個消息經由低年級同學的學長傳開後，連續兩天都有記者先生和小姐來採訪我們，並在隔天的報紙上爲我們的努力留下見證。

1.請當和事佬

玩法(1)取兩個畫上怒容滿面的汽球相

距十公分平行排列。

(2)告訴參賽者說，這兩個人吵架了，請想辦法讓他們和好。

(3)限定只能用嘴巴相勸。

(4)若參賽者無法完成即建議他們朝兩汽球中間吹氣。

(5)請完成遊戲後寫出看到的現象和可能之原因。

2.幽靈飛碟

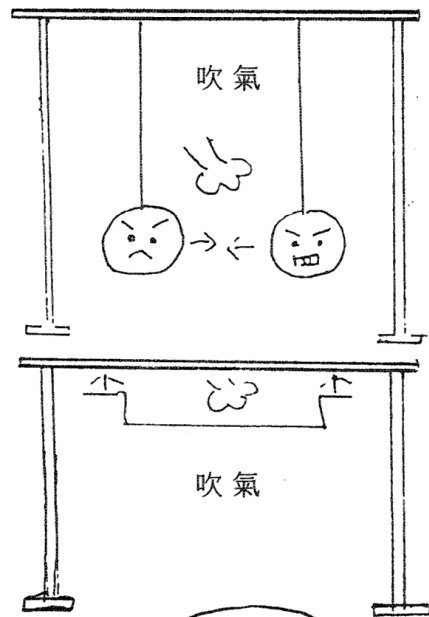
玩法(1)取一厚紙片做出口形。

(2)將口形紙片托放在如右圖之書本底下。

(3)限定只能用嘴而使口形紙片不掉落支持5秒鐘。

(4)若參賽者無法完成即建議他們用嘴朝書和口形中吹氣。

(5)寫出觀察到之現象並解釋。



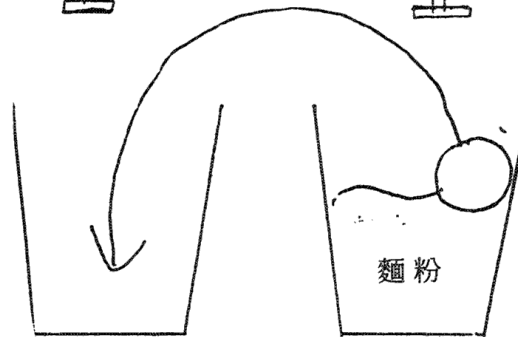
3.霸王別姬

玩法(1)取二杯子將其中一杯裝半滿的麵粉。

(2)將乒乓球放入裝麵粉的杯中。

(3)遊戲者用嘴將球吹出並使球順勢飛進另一杯中。

(4)寫出觀察到之現象並解釋。



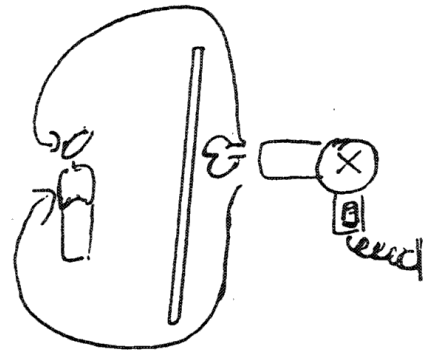
4.回眸一笑的燭燄

玩法(1)取一蠟燭點火置放一紙張前10公分處。

(2)用吹風機在紙張另一頭朝紙用力吹。

(3)猜一猜：燭火的方向朝哪呢？

(4)寫出觀察到之現象並解釋。



5.水霧大戰

玩法(1)準備吸管剪刀和一小燒杯。

(2)自製簡易噴霧器，把吸管做成T字形。

(3)將燒杯裝滿水並把T字形的吸管置於杯內。

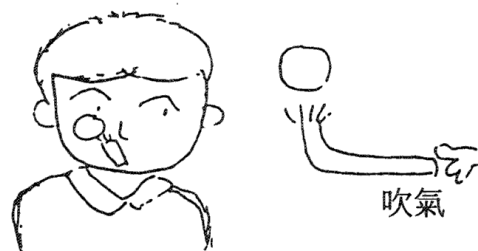
(4)從吸管一端用力的吹，努力的吹。



- (5)兩人一組捉對廝殺。
- (6)寫出觀察到之現象並解釋。

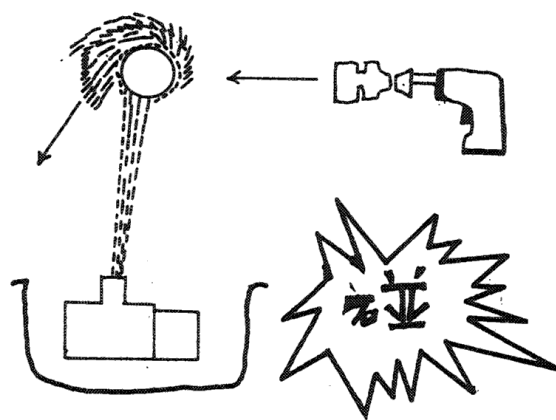
6.金鋼戰士

- 玩法(1)關主先用吹風機把乒乓球垂直吹起既而傾斜之。
- (2)教導參賽者用吸管作成如右形式模仿吹風機。
 - (3)放上乒乓球並用力吹氣。
 - (4)比賽看誰能使乒乓球傾斜角度最大。
 - (5)提示參賽者氣流愈強乒乓球可愈傾斜。
 - (6)寫出觀察到之現象並解釋。



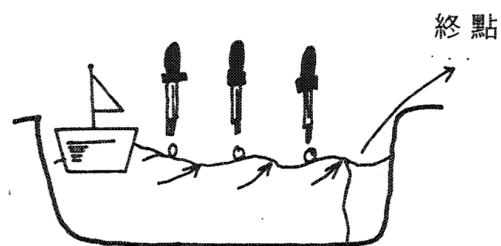
7.乒乓舞孃——英雄救美

- 玩法(1)用五年級時老師教我們做的簡易空氣槍當工具。
- (2)瞄準射擊由噴水器撐起的乒乓球。
 - (3)若是由低年級的小朋友參賽則把空氣槍改為水槍。
 - (4)比賽看誰能最快最準。
 - (5)寫出觀察到之現象並解釋。
 - (6)簡易空氣槍的器材是：電子點火槍、軟木塞，養樂多罐，和變性酒精少許。



8.泛舟大賽

- 玩法(1)取一水盆並裝滿水。
- (2)放上小船。
 - (3)用滴管吸取水並在小船前用力擠出。
 - (4)比賽看誰的船最快到達細線所在終點。
 - (5)寫出觀察到之現象並解釋。



五、結 論

- (一)吹風機為何能把乒乓球吹起而不掉落？其理由參見結論(一)
- (二)噴水器為何能把乒乓球撐起而不掉落，其理由參見結論(十)
- (三)吹風機氣流的強弱，球的大小與重量，空氣柱傾斜的角度，吹口的大小和形狀，外力的加入和球的完整性都會影響乒乓球的飄浮和穩定，而氣流的溫度卻因變因不夠完美而持保留的看法。（詳見實驗四至實驗十）
- (四)水注的強弱、球的大小與重量，噴嘴口的大小和球的完整性都會影響乒乓球的飄浮和穩定，而水的溫度和水柱的傾斜角度卻對球的飄浮和穩定無太大的關係。（詳見實驗十五至實驗二十）
- (五)從以上的實驗中我們可以歸納出乒乓球飄浮在吹風機和噴水器上之共同理由如下：（詳見結論九和結論十七）
 - 當氣體流動時，它的壓力和靜止時不同，流動的氣體流速愈快，氣體內壓力愈小；相反的，流速愈慢，壓力愈大。
 - 當液體流動時，它的壓力和靜止時不同，流動的液體流速愈快，液體內壓力愈小；相反的，流速愈慢，壓力愈大。
- (六)日常生活中運用到柏努力定律的例子相當多，例如：燒花用的噴霧器，各式車輛的外形，各式船舶、潛水艇、抽水馬桶、飛機、電扇、吸塵器，可見科學的應用就在我們的日常生活中。
- (七)這次配合我們的研究成果設計出來的十八個闖關遊戲相當受到全校同學的歡迎，我們認為：科學不是背誦出來的而是實驗出來的，而頭腦是用來思考的不是用來填壓的。這次的研習將會成為我們迎向國中生涯利器。

六、參考資料

中華民國第三十五屆中小學科學展覽優勝作品專輯 國立科學教育館
科學的寶庫（上） 國語週刊雜誌社
自力科學研習 國立科學教育館
國小自然 國立科學教育館
小牛頓文庫 科學遊戲（一、二） 牛頓出版社

評 語

- 1.用簡單的吹風機來設計上升氣流，並且測試各種角度及距離，對乒乓球在上升氣流飄浮力、旋轉及穩度的各種實驗數據非常完整。雖然還未有流體力學

之概念，但已顯示其科學歸納之原理的能力。

2.實驗的過程及記錄完整，表達能力佳。