

# 乒乓水舞

## ——乒乓球在水柱上漂浮的穩定性探討

### 高小組應用科學科第二名

彰化縣田尾國民小學

作 者：傅意芸、吳祥豪、徐念慈、葉俊宏

指導教師：陳文華

#### 一、研究動機

常在廟會或者園遊會的攤位中，看到小販用馬達升起幾道水柱，在每道水柱上，各放上一粒乒乓球，乒乓球在水柱上穩定的漂浮，供遊客用空氣槍射擊取樂，非常好玩。

乒乓球怎麼能穩定的漂浮在水柱上呢？的確讓人覺得奇妙，這個景象時常出現在我的眼前。

今年的科學研習在徵求研習題目時，我正好把這個問題提出，引起全體參加研習的同學和指導老師的興趣，於是展開了本次研習活動。

#### 二、研習目的

- (一)水柱的高低對乒乓球漂浮的穩定性有什麼影響。
- (二)水柱的角度對乒乓球漂浮的穩定性有什麼影響。
- (三)水柱的粗細對乒乓球漂浮的穩定性有什麼影響。

#### 三、研習器材

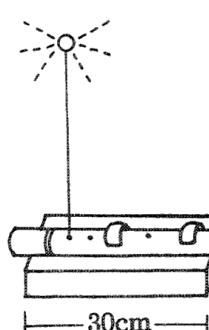
- (一)小型沈水馬達一個（最大出水量10公升／分）
- (二)原子筆製成的噴嘴
- (三)水盆
- (四)檯燈用的調光器（調整水柱高度）
- (五)傾斜檯（0—4°可調）

#### 四、研習步驟

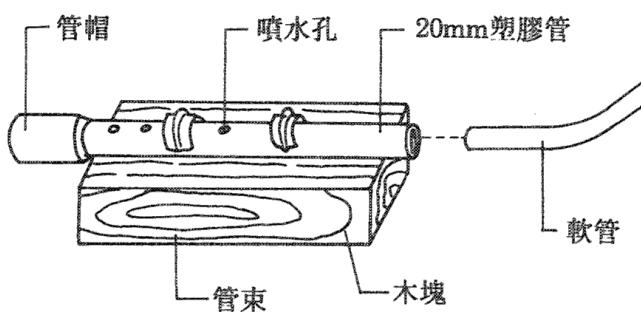
- (一)試著用水柱把乒乓球承載起來

剛開始研習時，我們對於水柱能不能順利承載起乒乓球，可說是毫無把

握，我們試著用硬塑膠管鑽上不同孔徑的圓孔當做噴水口，測試何種大小的噴孔較容易承載乒乓球。使用器材及裝置方法如附圖一、二：



圖一 裝置方法



圖二 各部份名稱

說明：圖一是預備實驗的全部裝置，三個噴水口分別是2mm、3mm、5mm。

圖二是各部分名稱及接管的方法。接管時軟管直接塞進硬管內即可。

一次只用一個噴孔，不用的噴孔，先用電氣膠布纏繞四、五圈，使它不噴水。

做實驗時，調整水龍頭出水量，來控制水柱高度。

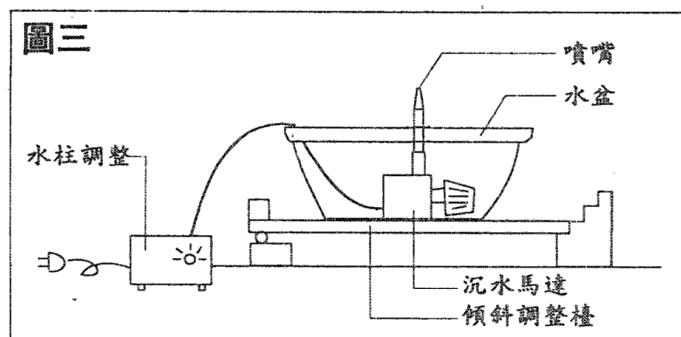
結果：1.三個噴孔噴出的水柱都能承載乒乓球，但是承載時間的長短很不一致。

2.水柱高度很難控制，尤其是同一管線其他水龍頭有人開關時，水柱高低跟著上下，我們須要的卻是穩定的水柱高度。

## (二)改進實驗器材

我們原先的實驗器材有很難改善的缺點，於是我們另外做了一套全新的裝置，用小型的沈水馬達推送水柱；噴水口用原子筆去掉筆心，鋸掉筆桿的一部分來使用。水柱高度的調整，用檯燈用的調光器改裝而成，調整馬達轉速，水柱高低自如。

全套新的實驗器材如下圖三。



### (三)一號噴嘴的實驗

我們把抽掉筆心的原子筆製成的噴頭稱為“一號噴嘴”，它的孔徑約1.5mm原子筆是S.K.B SB-3000或SB-3005型，特點是筆桿末端比較細，適合插在沉水馬達的出水口。

水柱高度定在20 40 60 80 100 120公分等六級，水柱升起後用長尺定出正確高度，用手持乒乓球在噴嘴上方約10公分處放球，用馬表計時，並觀察乒乓球漂浮的姿態做成以下記錄：

(表一)

一號噴嘴偏0°(垂直)時乒乓球穩定性實驗					
漂浮時間 水柱高度	次數 1	2	3	4	5
20公分	×	×	×	×	×
40公分	×	×	×	×	×
60公分	×	×	×	×	×
80公分	△	○	○	○	○
100公分	○	○	○	○	○
120公分	△	×	△	×	×

註：每個實驗做五次，表中符號表示

○ 30秒以上

△ 10—30秒

× 未滿10秒

#### 實驗結果

- 1.乒乓球漂浮在水柱上時，乒乓球或快或慢的旋轉著。
- 2.水柱承載乒乓球時，高度降低約30—40公分，乒乓球不但旋轉並上下移動。
- 3.水柱在80—100公分時，乒乓球漂浮最久，旋轉快速，方向穩定。
- 4.20及40公分的水柱載不起乒乓球。
- 5.60公分的水柱最多只能承載10幾秒，乒乓球的旋轉方向很亂。
- 6.120公分的水柱，末端已經有明顯散開的現象，承載乒乓球沒有80及100公分的水柱那樣好。
- 7.漂浮很穩定時，水柱沒有正好打在乒乓球的底部中心點，水柱打擊點與底

部中心點間有明顯的距離。

### 噴頭偏角的實驗

水柱垂直的實驗完成後，我們對於水柱傾斜的實驗也感到興趣，於是又做了噴嘴偏角 $1-3^\circ$ 的實驗，結果如下表二、三、四：

(表二)

一號噴嘴偏 $1^\circ$ 乒乓球穩定性實驗					
漩浮時間 水柱高度	次數	1	2	3	4
20公分		×	×	×	×
40公分		×	×	×	×
60公分		△	×	×	△
80公分		○	○	○	○
100公分		○	○	○	○
120公分		×	△	×	×

(表三)

一號噴嘴偏 $2^\circ$ 乒乓球穩定性實驗					
漩浮時間 水柱高度	次數	1	2	3	4
20公分		×	×	×	×
40公分		×	×	×	×
60公分		×	×	×	×
80公分		○	○	○	○
100公分		○	○	○	○
120公分		×	△	△	×

(表四)

一號噴嘴偏3°乒乓球穩定性實驗		1	2	3	4	5
水柱高度	次數					
20公分		×	×	×	×	×
40公分		×	×	×	×	×
60公分		△	×	△	×	×
80公分		○	○	○	○	○
100公分		△	○	○	○	△
120公分		×	×	×	×	×

實驗結果：

- 1.表二、表三、表四與表一的結果非常相似，也是水柱高度在80—100公分時，乒乓球的穩定性最好。
- 2.其他水柱高度也都和表一一樣的不穩定。

我們發現：

些微的噴嘴偏角（1—3°）對於乒乓球濺浮的穩定性沒有明顯的影響。

#### (四)二號噴嘴的實驗

如果我們把噴嘴加大，乒乓球濺浮的穩定性又如何呢？

我們把一號噴嘴前端鋸掉2公分，噴嘴的孔徑變成4mm左右，我們稱它做二號噴嘴。

以下就是二號噴嘴的實驗記錄：

(表五)

二號噴嘴偏0°(垂直)時乒乓球穩定性實驗		1	2	3	4	5
水柱高度	次數					
20公分		○	×	○	○	○
40公分		○	×	○	○	×
60公分		×	×	×	×	×
80公分		×	×	×	×	×

註：表中符號表示

- 30秒以上
- △ 10—30秒
- × 未滿10秒

### 實驗結果

- 1.二號噴嘴噴出的水量較大，20及40公分高的水柱都能使乒乓球漩浮，但乒乓球旋轉的速度較一號噴嘴慢。
- 2.80公分的水柱強大得可以把乒乓球擊出，所以100公分及120公分的實驗我們就沒有做了。
- 3.一個特殊的現象：在20及40公分的水柱上漩浮的乒乓球，漩浮的時間不是很長就是很短，我們發現剛放球時如果乒乓球很快的找到自己的旋轉方向，就能長時間的漩浮；如果幾秒鐘之內旋轉的方向仍然混亂，突然間就會掉下來。

我們發現：

漩浮中的乒乓球，如果能向任何一個方向穩定的旋轉，它在水柱上停留的時間就會更久；相反的如果不時變換旋轉方向，就容易掉下來。

### 噴嘴偏角的實驗

我們也做了二號噴嘴偏角 $1-3^\circ$ 的實驗，結果和表五大致相同，乒乓球漩浮不是很穩定，實驗記錄在附錄一（表六—表八）。

因此我們做了以下的假設：噴嘴孔徑加大，乒乓球不會漩浮得更穩定。

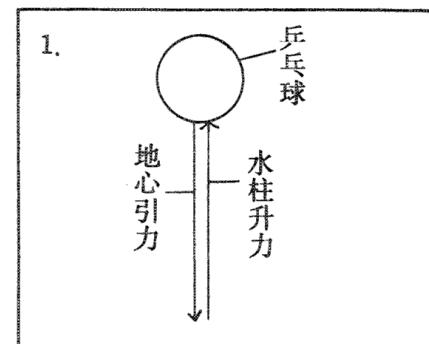
### (五)驗證假設

我們再把原子筆筆桿的前段全拆下來，噴嘴孔徑又加大為6mm左右，我們稱它為三號噴嘴，三號噴嘴實驗記錄在附錄二（表九—表十二）。三號噴嘴的實驗證實了我們的假設，噴嘴孔徑加大乒乓球不會漩浮得更穩定。

### (六)漩浮模型

為什麼乒乓球在快速旋轉以及旋轉方向穩定時，就能漩浮得很好呢？我們試著提出以下的漩浮模型加以說明。

- 1.上升水柱的力量，將乒乓球舉入空中，直到水柱升力與地心引力平衡，乒乓球就在這個高度“準備”漩浮。
- 2.水柱偏離中心點的連續打擊，使



乒乓球順著一定方向旋轉。

(萬一水柱正好打擊在乒乓球的中心點，乒乓球不能旋轉，濺浮將會失敗。這點恰好說明為何較粗的水柱不會比較細的水柱將乒乓球濺浮得更好，因為較粗的水柱擊中乒乓球中心點的機會較大)。

3.快速旋轉時，乒乓球四方產生向外拉扯的離心力，使乒乓球穩定的在水柱上方某個位置旋轉，不易偏離(就像快速旋轉的陀螺一樣不會隨便移動位置)。如果有突發的原因，乒乓球要脫離水柱，尚有水的附著力，可以穩住乒乓球。

4.當上述所有的力平衡時，乒乓球就能長時間穩定濺浮。

## 五、討 論(略)

## 六、結 論

(一)噴嘴孔徑1.5mm，水柱高度80—100公分，水柱垂直或略微傾斜，乒乓球能穩定的濺浮水柱上。

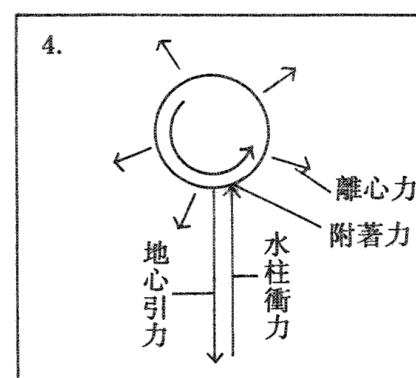
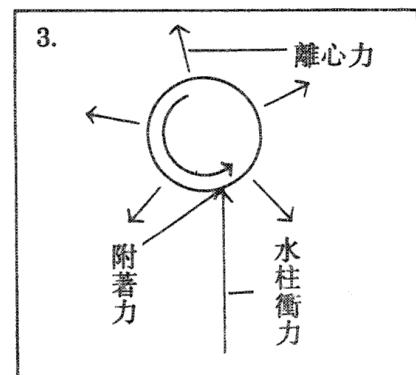
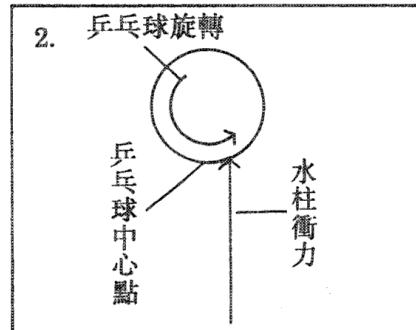
(二)噴嘴孔徑加大為4mm，水柱高度20—40公分，水柱垂直或略微傾斜，乒乓球也能濺浮水柱上，穩定性比上一種差一些。

(三)乒乓球穩定濺浮的要件：水柱大小應可載起乒乓球，而不致於將乒乓球擊出，並且應造成乒乓球快速旋轉。

(四)較粗的水柱(4mm, 6mm)，對於乒乓球濺浮的穩定性，比較細的水柱(1.5mm)差。

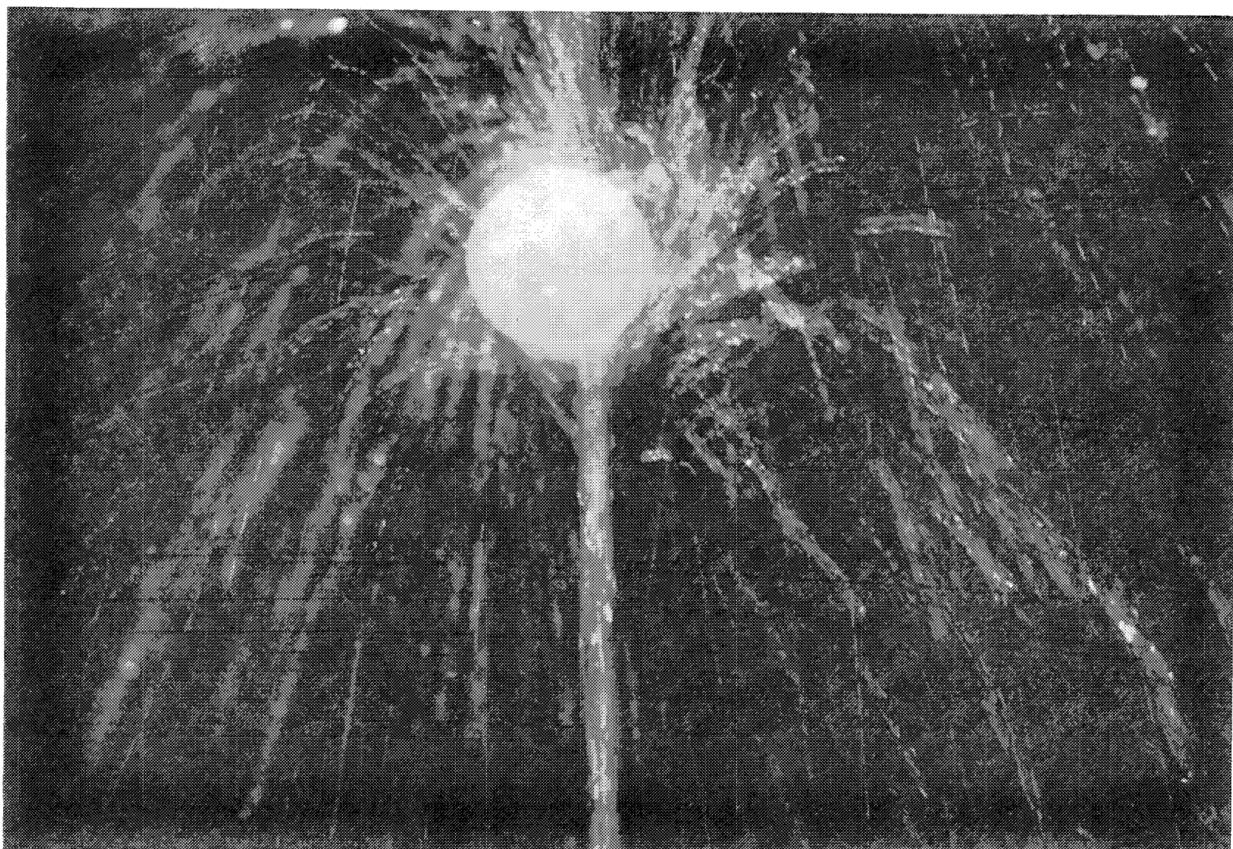
(五)噴嘴偏角1—3°，對於乒乓球濺浮的穩定性，影響很小。

(六)濺浮模型可以解釋以上各濺浮狀況，但仍須更精密的實驗，才能確認模型成立。



## 七、參考資料

國立編譯館，1994，自然科學第九冊，力與運動，39—43頁。  
《全文完畢》



## 評語

本作品在觀察探討乒乓球在水柱上漂浮現象。除了趣味性，實驗本身為一複雜的流體力學現象，此實驗可延伸，作進一步探討。實驗系統的器材（除馬達外）製作簡易，使學生有實際動手建立一個適合其程度的系統的經驗，實宜多予鼓勵。觀察步驟合理，改進實驗系統以求進一步觀察的態度與方法佳。記錄合理，但可以再多加改進，可依學生，升上較高年級，再多予以數據分析處理的訓練。現有初步分析合宜，整個作品就小學生而言，完整性佳，參與學生表達能力佳、反應好。建議持續探討，作更系統性的觀察。