

# 嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：生活與應用科技科－環保與民生

組別：國中組

作品名稱：蛋蛋魔術秀

- 探討不同條件下蛋被水流拉起速度的影響

關鍵詞：對流、白努力定律、浮力

編號：

## 摘要

在物理馬戲團中，看到雞蛋在水龍頭的水流沖擊下，會往上移動。首先，先用扭蛋模擬雞蛋，改變重量，發現扭蛋密度變大，上升的速度會變慢。而改變出水量，發現水量太小，扭蛋不容易上升；但水量過大，流水又會將正在上升的扭蛋往下衝擊，使其不易突出水面。接著改變出水口到水面的距離，當距離太近，扭蛋會不停被水流吸住又下衝；距離越遠，則扭蛋上升的速度愈快。再來探討水瓶直徑與扭蛋體積的影響，發現兩者只有在適當比率下，才會使扭蛋上浮，當水瓶直徑過大或扭蛋體積太小，扭蛋都會在水面下繞瓶壁打轉。最後探討生雞蛋、生鴨蛋、鹹蛋和皮蛋，結果發現密度最小的生鴨蛋上升的速度最快。而利用 BB 彈觀察水的流動，推測水的對流會造成蛋上升。

## 壹、研究動機

我們之所以會做這個實驗目的是想要藉由這一次的科展，去探討生活中有關科學的一些常識，並深入的去討論其中會影響實驗結果的因素。例如在這次的實驗裡，我們主要討論的是關於蛋在不同水流以及不同的容器中，經過水流的衝擊，蛋是否會跟我們從書(物理馬戲團)上讀到的一樣，真的會因為水流的衝擊，而像中了魔法似的被水流給拉起來，又或者是因為水流流速的因素，而去影響蛋在水流衝擊之下，而被水流拉起來的快慢，以及把蛋放在不同的容器當中，是否會去影響到蛋被水流拉起的快慢。當然，我們也想經由這次的科展當中去學習如何製作一個像樣的實驗，以及如何去探討一件事情的真相，是如何求證的

## 貳、研究目的

- 一、組裝實驗器材
- 二、探討不同密度的球體對上升速度的影響
- 三、探討不同水流流量對球體上升速度的影響
- 四、探討不同出水口距離對球體上升速度的影響
- 五、探討不同水瓶深度對球體上升速度的影響
- 六、探討不同直徑的水瓶對球體上升速度的影響
- 七、探討不同大小的球對上升速度的影響
- 八、探討不同種類的蛋對上升速度的影響
- 九、探討雞蛋的上升機制

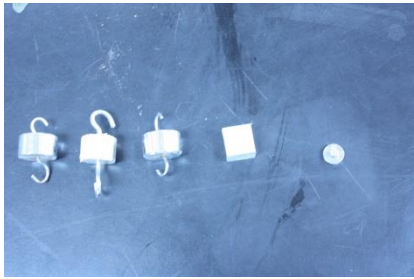
### 參、研究設備及器材



水瓶



扭蛋殼



砝碼



游標卡尺



水管



生鴨蛋、鹹蛋、皮蛋(上排)  
雞蛋(下排)



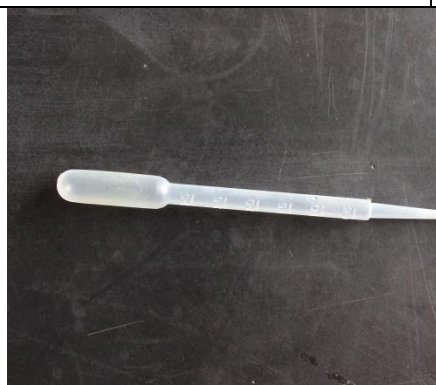
100ml、200ml 量筒



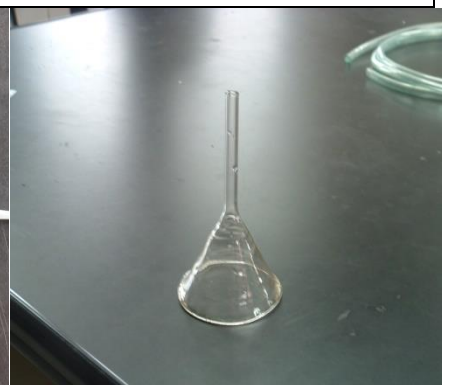
架子



長尺



滴管



漏斗

## 肆、研究過程、結果與討論

### 一、準備實驗

根據物理馬戲團的描述，把雞蛋放在水龍頭下，一旦沖水，雞蛋就會浮起來。我們先嘗試冰了幾天的雞蛋，讓雞蛋的密度變小，能浮在上面上，再經由水龍頭沖水，看是否能像書上所寫的一樣浮起來，我們先將雞蛋放在水面上，並且用水沖，但是原本預期雞蛋會神奇的像水龍頭的方向騰空浮起，但是發現並沒有如此。

接著我們改用新鮮雞蛋，用手拿著，再將水龍頭打開沖水，結果手一放開，雞蛋就沉到水面下了。不死心的我們，又嘗試了各種方法。在一次嘗試中，我們將雞蛋放在裝滿水的燒杯中，接著開始沖水，結果發現，雞蛋竟然會隨著上升的水位而一直浮起，這件事引起我們的興趣，難道將雞蛋放在水裡，經過水流的作用，雞蛋就能浮起，浮起的條件和雞蛋的密度、水流的快慢和其他的因素有什麼關聯性？這讓我們開始設計一系列實驗，想探討這個現象。



圖一 將雞蛋放在水龍頭下沖水



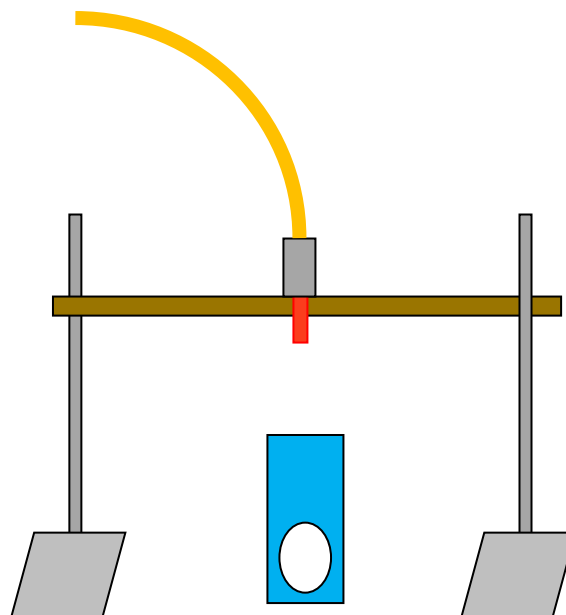
圖二 雞蛋成功被流水吸引上來

## 二、組裝實驗器材

1. 首先我們先將水龍頭與水管一端連結。
2. 在水管的另一端裝上 PVC 管，並接上軟木塞與銅管。
3. 將兩個鐵架與鐵環組裝好，放置在水槽旁，並將長尺放在鐵環上，並利用水平儀確認木尺為水平。
4. 最後將出水口放在木尺上，並把水瓶放在水槽內，再用另一把木尺測量出水口到水瓶頂部的垂直距離。



圖三 測量水平儀使木尺水平



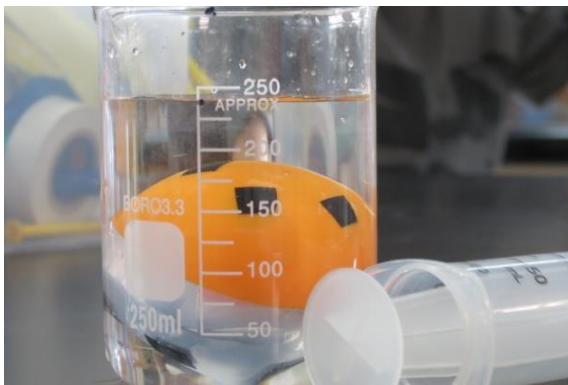
圖四 實驗裝置示意圖

### 三、實驗一：探討不同密度的球體對上升速度的影響

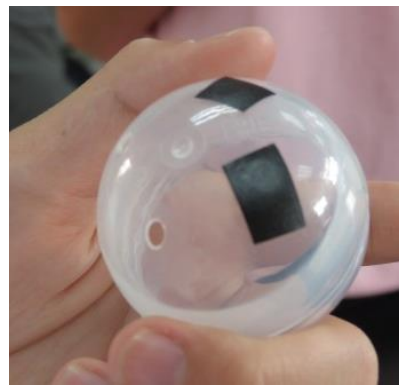
想探討雞蛋被水吸引而浮起的情況，但是我們卻沒有那麼多差異大的雞蛋，所以討論後，選擇用扭蛋來模擬雞蛋，這樣就可以改變我們要的條件。上網查了新鮮雞蛋的密度大約介於  $1.07 \text{ g/cm}^3$  到  $1.09 \text{ g/cm}^3$  之間，因此我們用排水法量出扭蛋的體積為  $72.5 \text{ ml}$ ，再將重物裝在扭蛋內，配出不同密度的扭蛋來進行實驗。

#### (一) 實驗過程

1. 我們先用絕緣膠帶，將扭蛋的四個缺口黏住，以防水跑進扭蛋。
2. 將扭蛋裝重物使重量到達  $76.9 \text{ g}$ 。
3. 將扭蛋放到瓶子(直徑  $65.00 \text{ mm}$ ，高度  $17.0 \text{ cm}$ )，再將瓶子裝滿水。
4. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $30.0 \text{ cm}$ 。
5. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
6. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
7. 並重複步驟 5~步驟 6 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間。
8. 將扭蛋的重量調為  $78.9 \text{ g}$ ，並重複步驟 2~步驟 7。
9. 依序將扭蛋的重量調為  $80.9 \text{ g}$ 、 $82.9 \text{ g}$ 、 $84.9 \text{ g}$  和  $86.9 \text{ g}$ ，並重複步驟 2~步驟 7。



圖五 利用排水法測量扭蛋的體積



圖六 用絕緣膠帶避免漏水



圖七 測量扭蛋及重物的質量

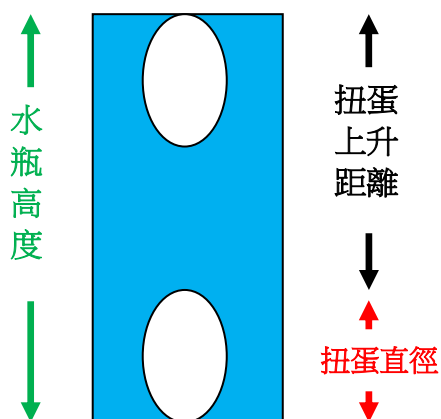


圖八 實驗記錄中

## (二) 實驗結果與討論

我們將實驗的條件及測量出的數值記錄在表格一中，扭蛋由開始上升到剛好抵達水面的時間，我們可以利用播放軟體 MPC-HC 進行格放來求出，而扭蛋真正的上升距離則為水瓶高度扣掉扭蛋的直徑，利用平均速度的公式就可以算出扭蛋在不同密度下的速度。

$$\text{扭蛋上升平均速度} = \frac{\text{水瓶高度} - \text{扭蛋直徑}}{\text{上升平均時間}}$$



圖九 扭蛋上升距離關係



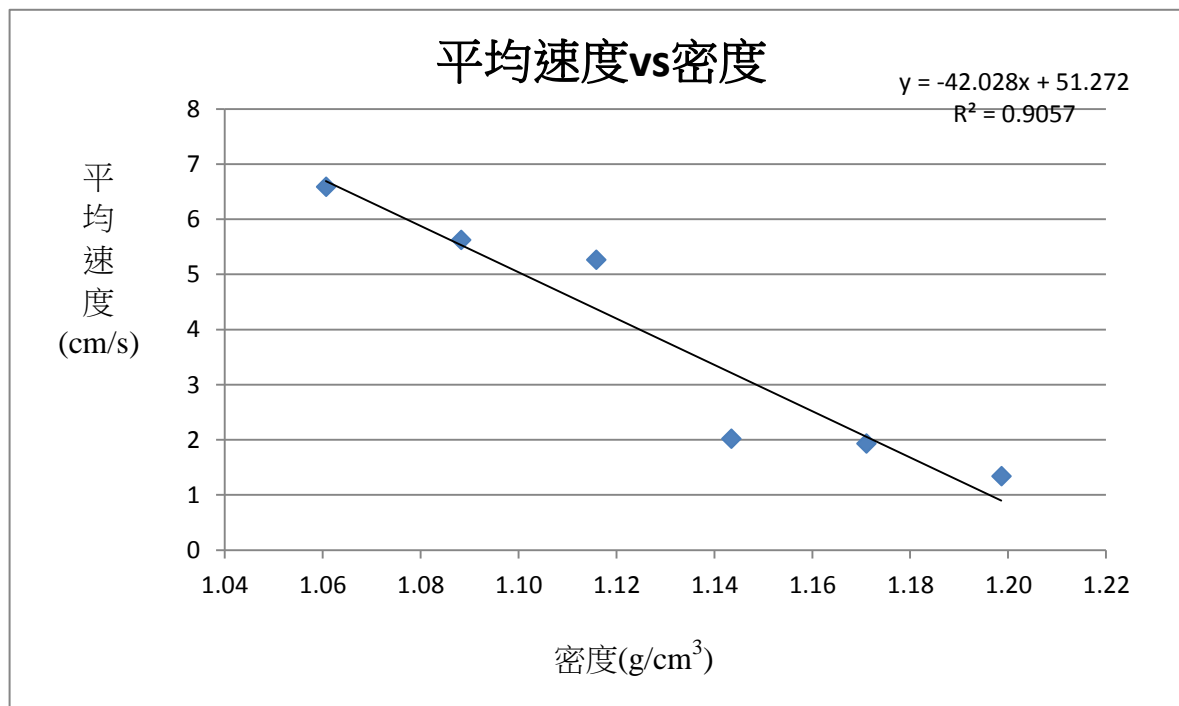
圖十 扭蛋被流水拉向上

表一 密度與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = 30.0 cm，流量 = 153 ml/s			
扭蛋體積 = 72.5 cm <sup>3</sup> ，扭蛋直徑 = 5.10 cm			
水瓶直徑 = 6.50 cm，水瓶高度 = 17.0 cm			
重量(g)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	扭蛋上升的時間(s)	扭蛋上升平均速度(cm/s)
76.9	1.06	1.81	6.59
78.9	1.09	2.12	5.63
80.9	1.12	2.26	5.26
82.9	1.14	5.89	2.02
84.9	1.17	6.16	1.93
86.9	1.20	8.88	1.34



我們將表一的數據利用 excel 畫出密度與扭蛋浮起速度的關係圖，可以發現隨著扭蛋的密度變大，扭蛋上升的速度也變慢。

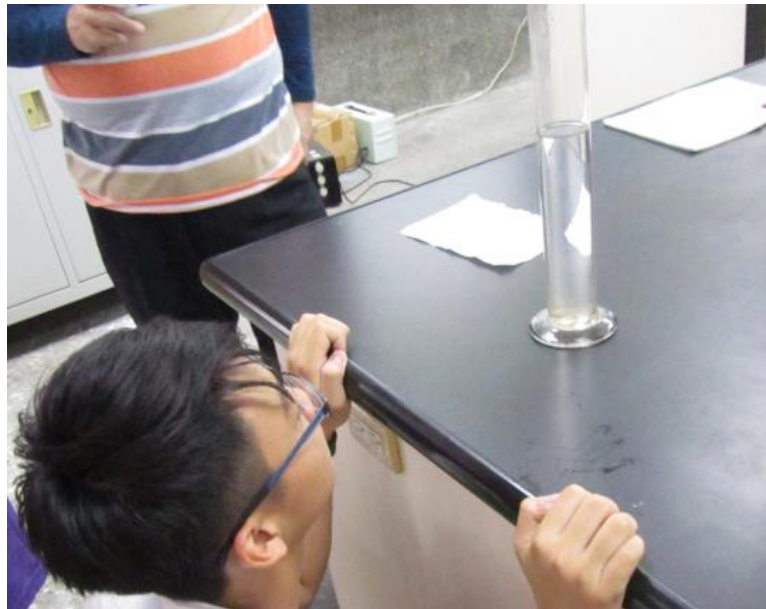


圖十一 平均速度 vs 密度的關係圖

#### 四、實驗二：探討不同水流流量對球體上升速度的影響

##### (一) 實驗過程

1. 將扭蛋調為密度  $1.09 \text{ g/cm}^3$ 。
2. 將扭蛋放到瓶子(直徑  $65.00 \text{ mm}$ ，高度  $17.0 \text{ cm}$ )，再將瓶子裝滿水。
3. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $30.0 \text{ cm}$ 。
4. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
5. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
6. 並重複步驟 2~步驟 5 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間。
7. 調整水龍頭出水量，並重複步驟 2~步驟 6，共改變不同出水量 5 次。



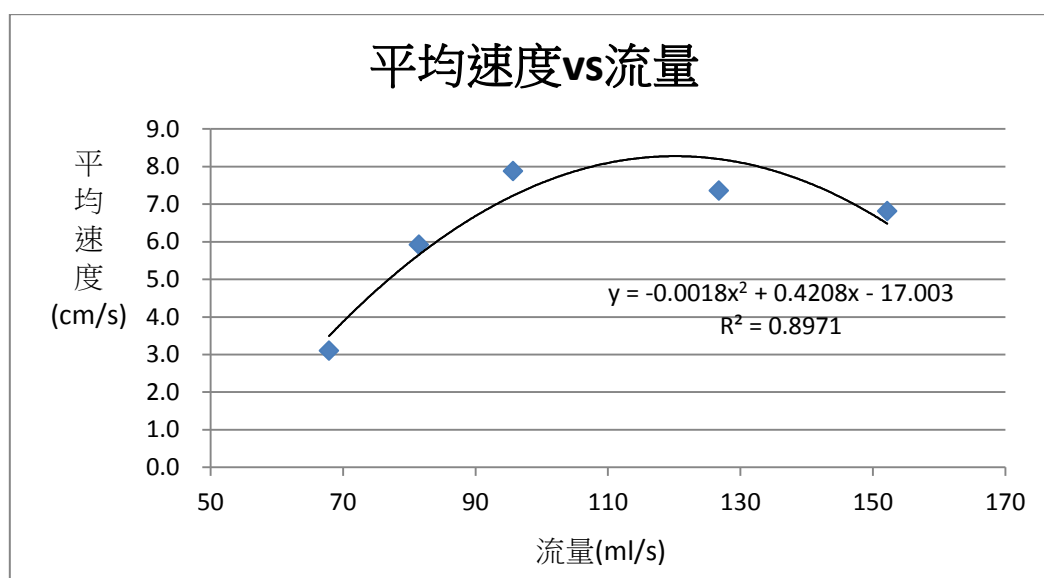
圖十二 利用量筒測量出水量

## (二) 實驗結果與討論

我們將實驗的條件及測量出的數值記錄在表二中，並算出扭蛋的上升速度，再畫出平均速度與流量的關係圖，但由圖十三可以發現，並不是水量愈大，扭蛋愈容易被拉向上，而是有一個最佳水量，可以使扭蛋最快到達水面上。我們有測試過，當水量很小時，水流將扭蛋拉上去的力量不夠，所以無法將扭蛋拉到水面；隨者水量增加，好像水流拉扭蛋的力量增加了，所以扭蛋上升的速度變快了；但水流過大(超過 95.7 ml/s)後，除了水流那股拉扭蛋的力量外，水流下向的衝擊力量也會使扭蛋不容易衝出水面，因此造成扭蛋上升速度反而下降。

表二 水量與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = 30.0 cm 扭蛋密度 = 1.09 g/cm <sup>3</sup> ，扭蛋直徑 = 5.10 cm 水瓶直徑 = 6.50 cm，水瓶高度 = 17.0 cm		
水量(ml/s)	扭蛋上升的時間(s)	扭蛋上升平均速度(cm/s)
67.9	3.84	3.10
81.5	2.01	5.92
95.7	1.51	7.88
126.8	1.62	7.36
152.2	1.75	6.81



圖十三 平均速度 vs 流量的關係圖

## 五、實驗三：探討不同出水口距離對球體上升速度的影響

### (一) 實驗過程

1. 將扭蛋調為密度  $1.09 \text{ g/cm}^3$ 。
2. 將扭蛋放到瓶子(直徑  $65.00 \text{ mm}$ ，高度  $17.0 \text{ cm}$ )，再將瓶子裝滿水。
3. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $40.0 \text{ cm}$ 。
4. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
5. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
6. 並重複步驟 2~步驟 5 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間
7. 調整出水口到瓶子頂的高度為  $30.0 \text{ cm}$ ，並重複步驟 2~步驟 6。
8. 重複步驟 7，但依序更改出水口到瓶子頂的高度為  $20.0 \text{ cm}$ 、 $10.0 \text{ cm}$  及  $1.0 \text{ cm}$ 。



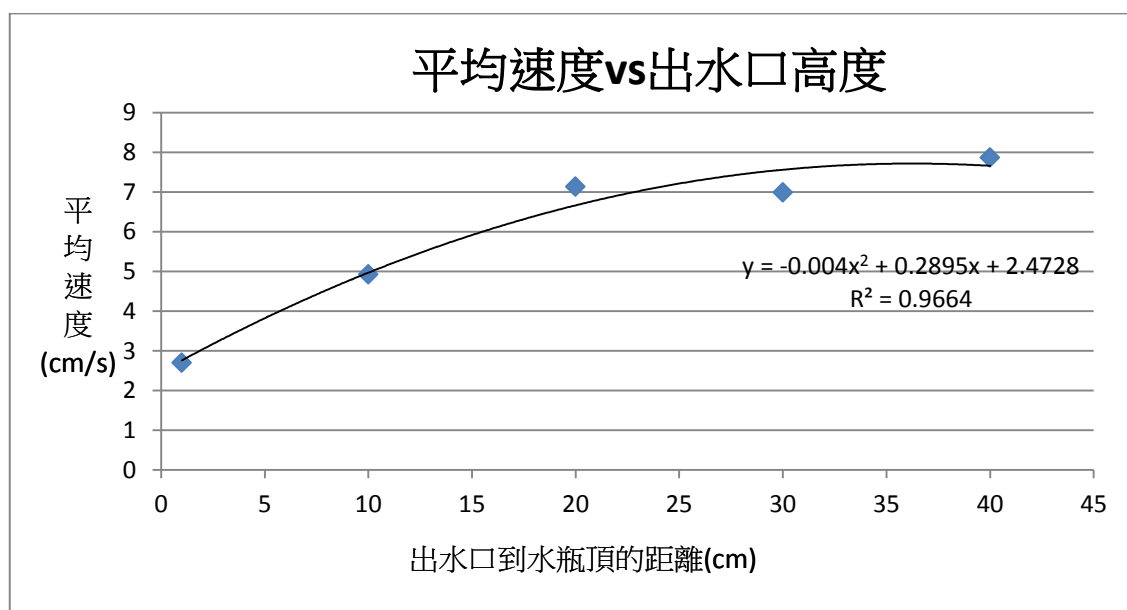
圖十四 調整出水口到瓶子頂的高度

## (二) 實驗結果與討論

我們將實驗的條件及測量出的數值記錄在表三中，並算出扭蛋的上升速度，再畫出平均速度與流量的關係圖，原本設想這個結果可能和實驗二(探討不同水流流量對球體上升速度的影響)會差不多，因為我們認為，高度愈高，水流愈快，這和實驗二的水量變多應該是同一件事，但實驗結果發現，並非如此。和同學、老師討論後，覺得實驗二的水量改變，同時改變了水量和流速；但是實驗三的出水口高度改變，只改變水的流速(因為高度越高，水的流速將會變快)，但是並沒有增加水量。

表三 出水口距離與扭蛋上升速度的關係

流量 = 110 ml/s 扭蛋密度 = 1.09 g/cm <sup>3</sup> ，扭蛋直徑 = 5.10 cm 水瓶直徑 = 6.50 cm，水瓶高度 = 17.0 cm		
出水口到水瓶頂的距離 (cm)	扭蛋上升的時間 (s)	扭蛋上升平均速度 (cm/s)
1.0	3.67	2.70
10.0	2.01	4.92
20.0	1.39	7.14
30.0	1.42	6.99
40.0	1.26	7.87



圖十五 平均速度 vs 出水口距離的關係圖

由圖可以發現，當出水口與水瓶頂的距離越大，則扭蛋的上升速度的確會變大，只是當出水口距離超過 20.0 cm 後，扭蛋上升速度開始增加不明顯。實驗中，我們也觀察到，當出水口距離極小(1.0 cm)，可以發現扭蛋一旦離開水面，反而會被水面上的水柱吸引，接下來又被水柱沖往下，再繼續被吸住，扭蛋會反覆進行這個現象，而扭蛋旁邊的水則形成類似皇冠的形狀，實在有趣。



圖十六 出水口距離為 1.0m 時，扭蛋被水柱吸引

這個現象我們與老師討論後，決定用白努力定律來解釋。當水流往下衝往扭蛋時，流水進入水面後，流速會開始遞減，接近水面的水流速會比下面快。而水流速度  $v$  較大，壓力便會較小，因此產生使扭蛋往上的力量。因此，接近水面的地方壓力便會減少得較多，水面和水底之間的壓力差異增大，雞蛋受到向上的力也會增加，所以便浮起來了

白努力方程式

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{constant}$$

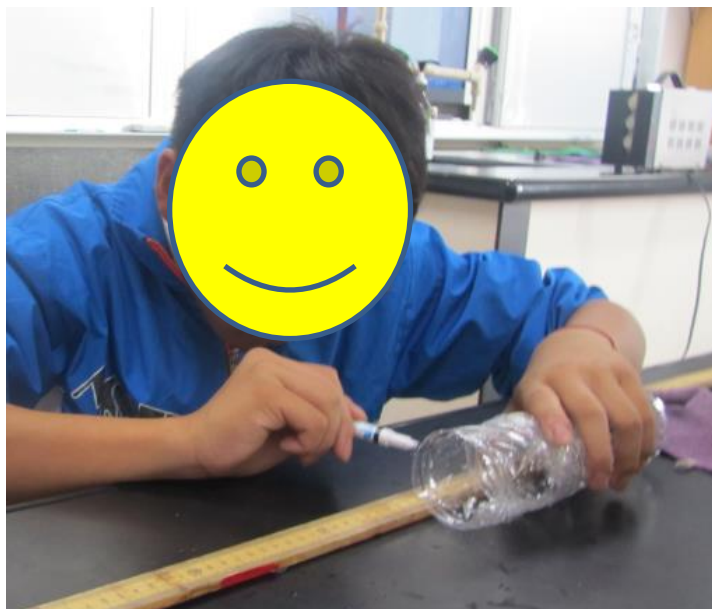
其中： $v$ (流體速度)、 $g$ (重力加速度)、 $h$ (流體處於的高度)

$P$ (流體所受的壓力)、 $\rho$ (流體質量密度)

## 六、實驗四：探討不同水瓶深度對球體上升速度的影響

### (一) 實驗過程

1. 將扭蛋調為密度  $1.09 \text{ g/cm}^3$ 。
2. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $30.0 \text{ cm}$ 。
3. 將扭蛋放到瓶子(直徑  $65.00 \text{ mm}$ ，高度  $22.0 \text{ cm}$ )，再將瓶子裝滿水。
4. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
5. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
6. 並重複步驟 2~步驟 5 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間
7. 調整出水瓶高度為  $19.0 \text{ cm}$ ，並重複步驟 3~步驟 6。
8. 重複步驟 7，但依序更改出水口到瓶子頂的高度為  $17.0 \text{ cm}$ 、 $15.0 \text{ cm}$ 、 $13.0 \text{ cm}$  及  $11.0 \text{ cm}$ 。



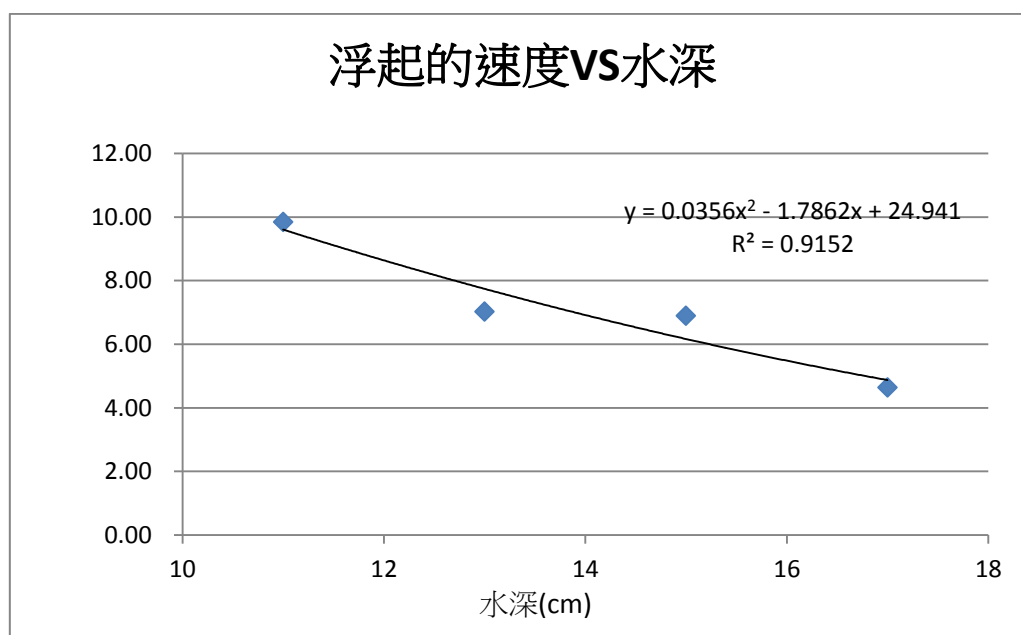
圖十七 製作不同高度的水瓶

## (二) 實驗結果與討論

一開始，第一個水瓶高度為 22.0cm，發現水太深，扭蛋根本無法上升，因為之前使用 17.0 的水瓶高度能成功，因此繼續嘗試 19.0 cm 的水瓶高度，依舊無法成功。後來改用 17cm 上下差距 2cm，分別是(11、13、15、17、19)，接著進入實驗，發現瓶子越短，扭蛋上升到水面所花的時間越短，一旦瓶子太長，則扭蛋可能會無法上升，推測應該是水流進到水面後，因為距離過長導致流速變慢，導致扭蛋失去上升的力。

表四 水瓶高度與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = 30.0 cm，流量 = 150 ml/s 扭蛋密度 = 1.09 g/cm <sup>3</sup> ，扭蛋直徑 = 5.10 cm 水瓶直徑 = 6.50 cm		
水瓶高度(cm)	扭蛋上升的時間(s)	扭蛋上升平均速度(cm/s)
11.0	0.60	9.84
13.0	1.13	7.02
15.0	1.42	6.99
17.0	2.57	4.63
19.0	無法上升到水面	無法上升到水面



圖十八 平均速度 vs 水深的關係圖



## 七、實驗五：探討不同直徑的水瓶對球體上升速度的影響

### (一)實驗過程

1. 將  $72.5\text{cm}^3$ 、密度  $1.09\text{ g/cm}^3$  的扭蛋放裝滿水的水瓶(直徑  $6.50\text{ cm}$ ，高度  $15.0\text{ cm}$ )。
2. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $30.0\text{ cm}$ 。
3. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
4. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
5. 並重複步驟 1~步驟 4 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間
6. 重複步驟 1~步驟 5，但依序更改水瓶直徑為  $7.25\text{ cm}$  及  $7.72\text{ cm}$ 。



圖十九 三種不同直徑的水瓶



圖二十 量取水瓶直徑

## (二) 實驗結果與討論

由表五可以發現，當水瓶直徑較小，則扭蛋上升平均速度也明顯較快。當水瓶的直徑變大(水瓶直徑=7.25 cm)，則水流沖到水瓶內時，會將瓶子內的扭蛋衝到貼近瓶壁，而使扭蛋離開水柱，造成扭蛋上升速度下降，當水瓶直徑過大(水瓶直徑=7.72 cm)，瓶子內的扭蛋會一直繞著瓶壁打轉，使扭蛋幾乎無法上升到水面。我們發現並非水流沖下後，扭蛋就會升起，水瓶截面積越大，則扭蛋浮起需要的時間越長，甚至浮不出水面，會在水裡不斷盤旋。

表五 水瓶高度與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = 30.0 cm，流量 = 110 ml/s 扭蛋密度 = 1.09 g/cm <sup>3</sup> ，扭蛋直徑 = 5.10 cm 水瓶高度 = 15.0 cm		
水瓶直徑(cm)	扭蛋上升的時間(s)	扭蛋上升平均速度(cm/s)
6.50	1.44	6.99
7.25	7.74	1.28
7.72	無法上升到水面	無法上升到水面

## 八、實驗六：探討不同大小的球對上升速度的影響

### (一) 實驗過程

1. 將  $72.5\text{cm}^3$  的扭蛋調為密度  $1.09\text{ g/cm}^3$ 。
2. 固定出水口到瓶子頂的高度為  $30.0\text{ cm}$ 。
3. 將扭蛋放到瓶子(直徑  $65.00\text{ mm}$ ，高度  $15.0\text{ cm}$ )，再將瓶子裝滿水。
4. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
5. 將裝有扭蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
6. 並重複步驟 2~步驟 5 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間
7. 重複步驟 1~步驟 6，但改成密度  $1.09\text{ g/cm}^3$ 、 $167.0\text{cm}^3$  的扭蛋。

### (二) 實驗結果與討論

小扭蛋(體積  $72.5\text{ cm}^3$ )在直徑較大的水瓶中，沖水後無法上升。但是大扭蛋(體積  $167.0\text{ cm}^3$ )在同樣直徑的水瓶卻上升，觀察後發現，相對於大直徑水瓶而言，小扭蛋直徑較小，沖水後會被沖向水瓶壁，造成扭蛋在水面下來回打轉。大扭蛋與水瓶直徑相差則不大，水柱容易衝在扭蛋中心，所以受到拉力而上升。

表六 水瓶高度與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = $30.0\text{ cm}$ ，流量 = $110\text{ ml/s}$ 扭蛋密度 = $1.09\text{ g/cm}^3$ 水瓶直徑 = $6.50\text{ cm}$ ，高度 $15.0\text{ cm}$			
扭蛋體積 ( $\text{cm}^3$ )	扭蛋直徑 ( $\text{cm}$ )	扭蛋上升的時間 ( $\text{s}$ )	扭蛋上升平均速度 ( $\text{cm/s}$ )
167.0	7.20	1.86	4.20
72.5	5.10	無法上升到水面	無法上升到水面

## 九、實驗七：探討不同種類的蛋對上升速度的影響

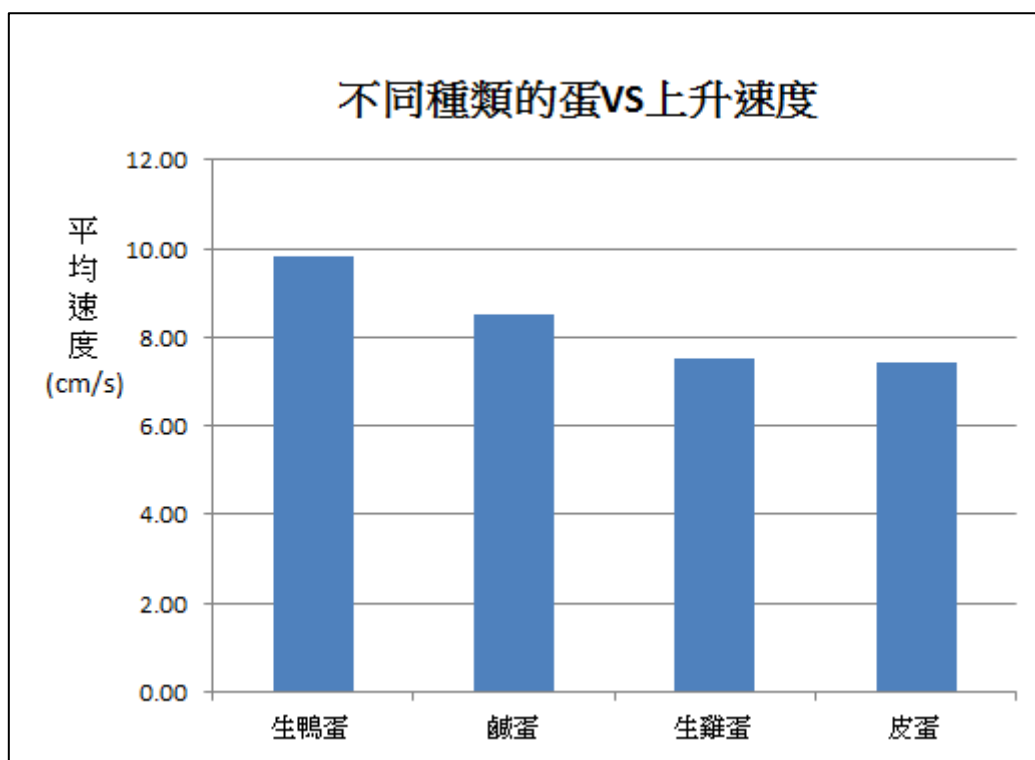
### (一) 實驗過程

1. 測量生鴨蛋的重量及體積，並算出其密度。
2. 測量生鴨蛋的長度及寬度。
3. 固定出水口到瓶子頂的高度為 30.0 cm。
4. 將生鴨蛋放到瓶子(直徑 65.00 mm，高度 15.0 cm)，再將瓶子裝滿水。
5. 打開水龍頭，測量 5 秒的出水量，並用量筒測量水量，紀錄於表。
6. 將裝有生鴨蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
7. 並重複步驟 1~步驟 5 共實驗 5 次，利用影片求浮起的時間，並算出平均時間
8. 重複步驟 1~步驟 6，但依序更改為鹹蛋、皮蛋及生雞蛋。

### (二) 實驗結果與討論

表七 水瓶高度與扭蛋上升速度的關係

出水口到水瓶頂的高度 = 30.0 cm，流量 = 97 ml/s 水瓶直徑 = 6.50 cm，高度 15.0 cm							
蛋的種類	質量 (g)	體積 (cm <sup>3</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	長度 (cm)	寬度 (cm)	長寬比 (長度/寬度)	蛋的上升平均速度 (cm/s)
生鴨蛋	75.0	72.5	1.03	6.10	4.65	1.31	9.81
鹹蛋	77.4	72.5	1.07	6.01	4.71	1.28	8.53
生雞蛋	65.8	60.0	1.10	5.81	4.50	1.29	7.51
皮蛋	68.2	60.0	1.14	6.05	4.03	1.50	7.43



圖二十一 不同種類的蛋與平均速度

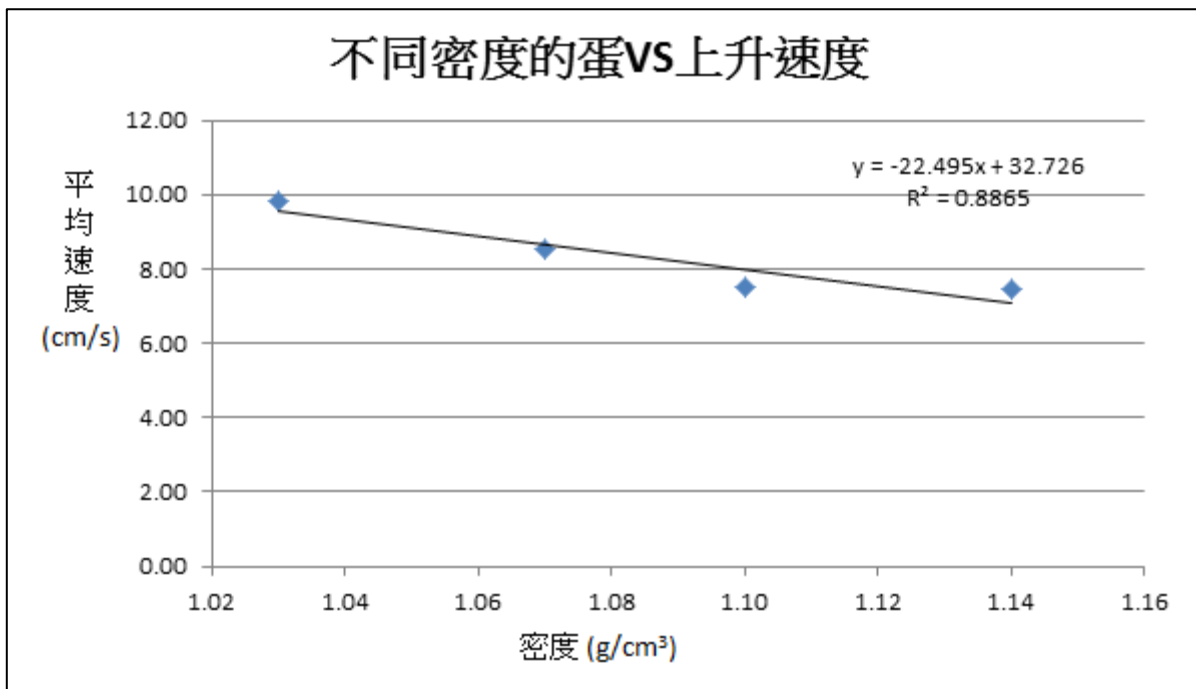
由不同種類的蛋進行實驗，在同樣實驗環境下，發現上升的速度依序為：生鴨蛋 > 鹹蛋 > 生雞蛋 > 皮蛋。

表八 四種蛋的差異性

	生鴨蛋	鹹蛋	生雞蛋	皮蛋
蛋的上升平均速度(cm/s)	9.81	8.53	7.51	7.43
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.03	1.07	1.10	1.14
長寬比	1.31	1.28	1.29	1.50

而這四種蛋，密度大小依序為，生鴨蛋 < 鹹蛋 < 生雞蛋 < 皮蛋，而上升速度的關係是生鴨蛋 > 鹹蛋 > 生雞蛋 > 皮蛋，可以發現密度與上升速度的關係剛好相反，這個結果與實驗一(探討不同密度的球體對上升速度的影響)的結果相符。

我們原本還想探討長寬比與上升速度的關係。但已結果而言，生鴨蛋、鹹蛋、生雞蛋的長寬比差不多，皮蛋則較為瘦長，但似乎對上升速度的影響不明顯。



圖二十二 不同密度的蛋與平均速度

## 十、實驗八：探討雞蛋的上升機制

我們想知道到底讓雞蛋上升的力量來源是什麼？討論後，覺得應該是水流的因素所造成。因此我們嘗試在水中加入物質幫助觀察水流的方向，總共嘗試了蒜粉、碳粉及 BB 彈來進行實驗觀察。

### (一) 實驗過程

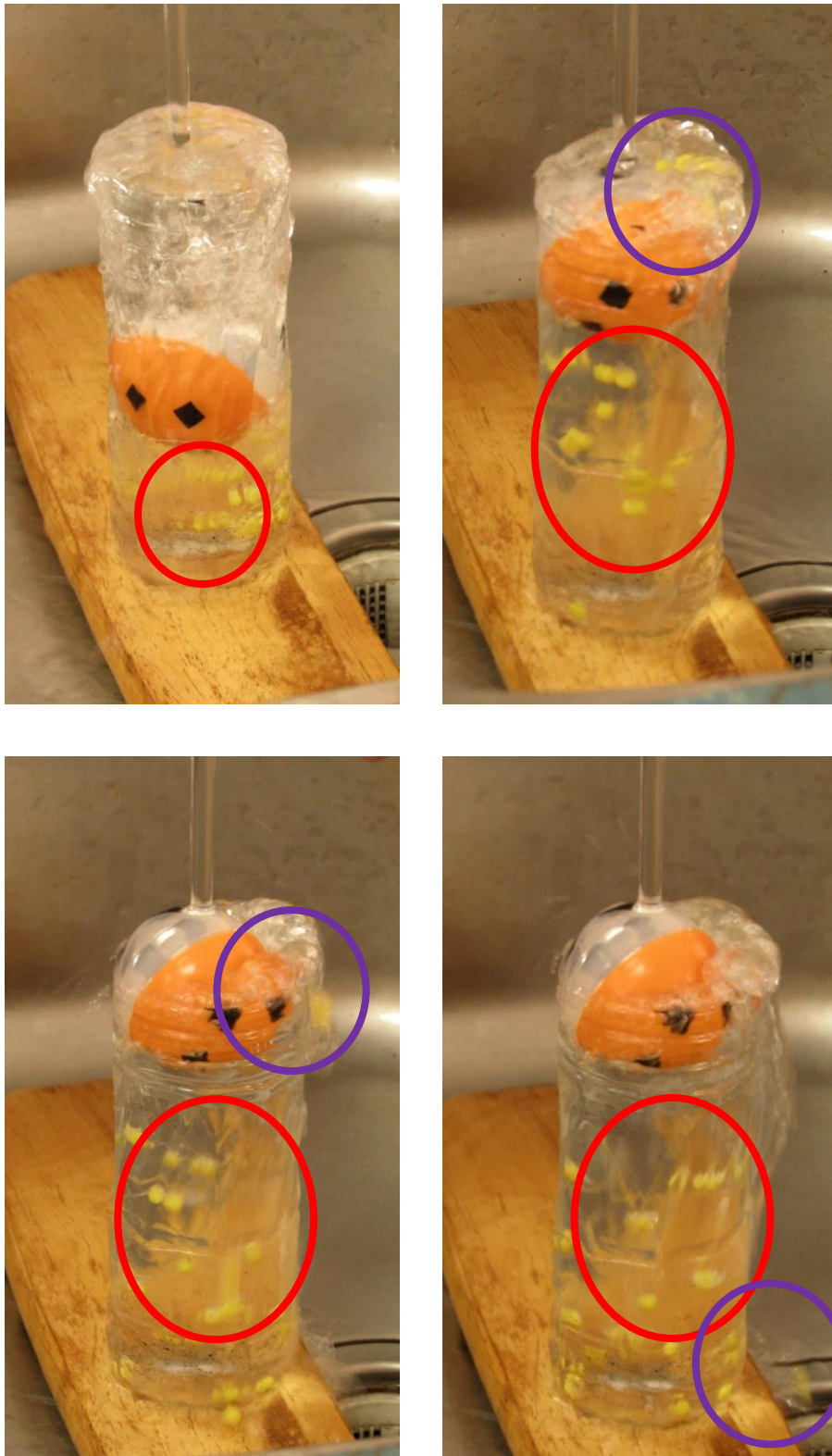
1. 固定出水口到瓶子頂的高度為 30.0 cm。
2. 將生雞蛋放到瓶子(直徑 65.00 mm，高度 15.0 cm)，再將瓶子裝滿水。
3. 在水中撒上蒜粉，以利觀察。
4. 將裝有生雞蛋的瓶子移到水柱下方，並用攝影機拍攝紀錄
5. 重複步驟 1~步驟 4，但水中撒的物質更改為碳粉及 BB 彈。

### (二) 實驗結果與討論



圖二十三 利用蒜粉及碳粉觀察水的對流

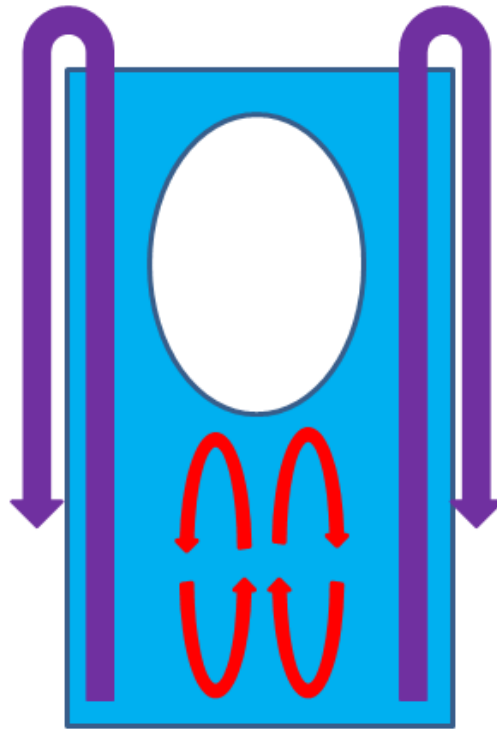
由上圖可以發現，加入蒜粉後，因為顏色偏白，所以一旦水開始流動，不容易觀察到其流動的變化，但是可以發現不停有蒜粉流出水瓶外；利用碳粉來觀察，雖然顏色比較明顯，但是因為顆粒較小，只看到開始實驗後，黑色逐漸變淡。



圖二十四 利用 BB 彈觀察水的對流

由 BB 彈來觀察水流，可以發現扭蛋在上升的過程中，BB 彈都會跟著扭蛋而上升；但是當扭蛋到了水面後，大部分的 BB 彈會繼續在扭蛋下方繼續上下流動(如上圖的紅色框框內)，推測，這也就是為何雞蛋會上浮的原因。而扭蛋到達水面，觀察到僅有極少部分的 BB 彈會離開水瓶流出去。





圖二十五 實驗中水的對流示意圖

由 BB 彈的實驗，我們討論後推測，當水龍頭的水流向水瓶，大部分的水只是在瓶壁外圍處流動，也不停流進流出(如上圖紫色箭頭所示)；而流水衝下來的力道，會讓部分的水會在蛋下方產生對流的現象(如上圖紅色箭頭所示)，使蛋能夠上升浮起來，就算蛋到了水面，此部分的水仍不停對流，讓蛋能維持在水面而不下沉。

蛋所受到的力量有重力(向下)、水的衝擊力(向下)、浮力(向上)以及對流產生的升力(向上)，因此我們列出力的關係。

(1) 蛋上升時： $\text{重力} + \text{水的衝擊力} < \text{浮力} + \text{對流產生的升力}$

(2) 蛋浮到水面時： $\text{重力} + \text{水的衝擊力} = \text{浮力} + \text{對流產生的升力}$

(註：因為蛋有部分浮出水面，因此浮力變小)

(3) 當出水口與水面距離極短時，蛋浮到水面：

$\text{重力} + \text{水的衝擊力} = \text{浮力} + \text{對流產生的升力} + \text{白努力產生的升力}$

(註：所以實驗三中，頁面第 13 頁中，蛋才會被水流吸引往出水口方向，但因為離開水面愈多，浮力變得越小，蛋又會掉下來)

## 伍、結論

- 一、由實驗一可知，扭蛋的密度愈大，扭蛋上升的速度也變慢。
- 二、由實驗二可知，水量過小，扭蛋不易上升；但水量過大，上升中的扭蛋又會被水沖往下。
- 三、由實驗三可知，出水口高度愈高，扭蛋上升愈快。
- 四、由實驗四可知，水瓶瓶身越短，扭蛋愈容易上升；但水瓶瓶身過長，則扭蛋無法上升。
- 五、由實驗五可知，水瓶直徑過大，則扭蛋會打轉而無法浮到水面。
- 六、由實驗六可知，扭蛋直徑太小，則扭蛋會打轉而無法浮到水面。
- 七、由實驗七可知，受水衝擊下，密度最小的生鴨蛋浮起到水面的速度最快。
- 八、由實驗八可知，讓蛋上升所需的力量，主要是對流所產生的升力。

## 陸、參考文獻

- 一. 郭重吉等編著(民國 107 年)，自然與生活科技二上 1-3 密度，南一出版。
- 二. 郭重吉等編著(民國 107 年)，自然與生活科技二上 2-2 水溶液，南一出版。
- 三. 維基百科。白努利定律。民 108 年 11 月 15 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>