

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

團隊合作獎

051807

探討強制渦流中浮體上升之變化

學校名稱：新北市立板橋高級中學

作者： 高二 謝文浩 高二 林雨鈞 高二 莊鳴鐸	指導老師： 曾筱嵐
---	------------------

關鍵詞：強制渦流

摘要

本研究旨在探討浮體在旋轉的液體中上升速度受到什麼因素的影響，分別以浮體半徑、質量、密度與液體轉速為不同的控制變因，觀察其產生的現象。我們透過軟體 tracker 來進行數值計算以及圖形座標化分析

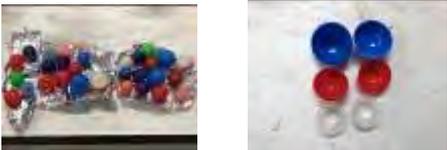
壹、研究動機

物理馬戲團 I 這本書上有一個實驗，在一個裝著靜止的水的燒杯內由燒杯底部上升到水面需要 2 秒的球，在經過轉盤旋轉後卻需要 30 多秒才會浮上水面，覺得有趣並加以設計實驗來研究在不同的條件下球的上升情形。

貳、研究目的

- 一、分析浮體在旋轉液體中上升和在靜止的液體中上升的差異，並針對其做進一步的探討。
 - (一)、固定浮體質量，改變浮體半徑。
 - (二)、固定浮體半徑，改變浮體質量。
- 二、觀測轉盤旋轉的角速度影響上升情形的程度
- 三、對於觀察到的上升情形找出原因

參、研究設備及器材

<p>pasco 轉動偵測器</p> 	<p>1 個</p>
<p>空心塑膠 pp 球(不同尺寸)</p> 	<p>半徑為 1.4、1.5、1.6cm 的小球數個</p>
<p>黏土</p> 	<p>足量</p>
<p>鐵釘</p> 	<p>1 包</p>
<p>馬達,壓克力轉盤及底座</p> 	<p>各 1 個</p>
<p>直流電源供應器</p> 	<p>2 台</p>

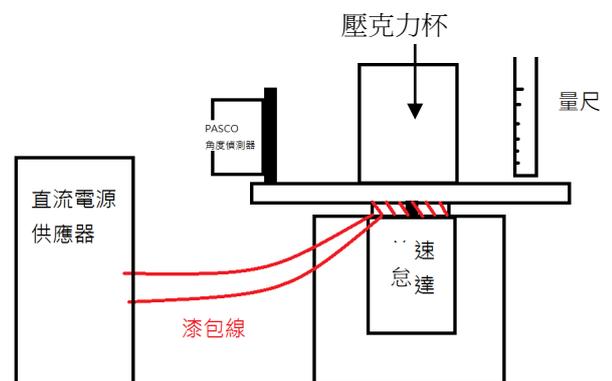
攝影機		1 架
水平儀		1 只
半徑=3.7cm、高度 20cm 的壓克力杯		1 個
電子秤		1 台
軟體程式 Tracker		1 套
三腳架		1 只
水		裝置杯子 18cm 表示處

肆、研究過程或方法

一、實驗器材製作及架設

(一)塑膠球的製成

選取三種固定規格之塑膠空心球殼，並以游標尺測定其半徑，分別為 1.4cm、1.5cm、1.6cm，並以電子秤取適量黏土及鐵製的螺絲填充至小球底部，使小球質量分別為 9g、9.5g、10g、10.25g、10.5g、10.75g、11g。



(圖一)

(二)器材架設

將燒杯置於轉盤中央並固定(如圖一)，開啟馬達測試壓克力杯、轉盤是否穩固且在壓克力杯離底部十八公分處劃記，以便每次實驗的水量相同，並架設量尺(使用水平儀測量其是否與桌面平行)。

(三)角速度測量裝置

將 PASCO 的旋轉感測器裝於支架上並讓感測器之轉輪可以貼在轉盤上方。

(四)拍攝儀器

用三角架把攝影機固定在適合的拍攝距離。

二、實驗方法及步驟

實驗一、

將球體置於靜止且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之由靜止開始上升。

使球體的半徑固定為 1.4cm，改變三種不同的球體質量 11g、10.75g、10.5g、10.25g、10g、9.5g、9g，觀察球體的上升時間。

實驗二、

將球體置於靜止且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之由靜止開始上升。

使球體的質量固定為 11g，改變三種不同的球體半徑 1.4cm、1.5cm、1.6cm，觀察球體的上升時間。

實驗三、

將球體置於轉速固定且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之開始上升。

使球體的半徑固定為 1.4cm，改變三種不同的球體質量 11g、10.75g、10.5g、10.25g、10g、9.5g、9g，觀察球體的上升時間。

並改變四種不同的轉速 8.92rad/s、10.14rad/s、11.21 rad/s、11.74rad/s，觀察小球對應的上升情況。

實驗四、

將球體置於轉速固定且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之開始上升。

使球體的質量固定為 11g，改變三種不同的球體半徑 1.4cm、1.5cm、1.6cm，觀察球體的上升時間。

並改變四種不同的轉速 8.92rad/s、10.14rad/s、11.21 rad/s、11.74rad/s，觀察小球對應的上升情況。

實驗五、

將球體置於轉速固定且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之開始上升。

觀察球體在四種不同的轉速 8.92rad/s、10.14rad/s、11.21 rad/s、11.74rad/s 下的上升時間。

並改變球體質量(使半徑固定)，重複上述實驗，觀察球體質量是否影響球體上升情形。

實驗六、

將球體置於轉速固定且內部裝有水的燒杯內，以自製的電磁鐵使球固定在壓克力杯的底部，使之開始上升。

觀察球體在四種不同的轉速 8.92rad/s、10.14rad/s、11.21 rad/s、11.74rad/s 下的上升時間。

並改變球體半徑(使質量固定)，重複上述實驗，觀察球體半徑是否影響球體上升情形。

三、上升分析

(一)透過 Tracker 軟體的追蹤，把球的中心座標(幾何中心)找出用來比對每個球 上升時的情形。

(二)重複追蹤球上升的時間，並取 10 個數據取平均得出上升時間。

伍、研究結果

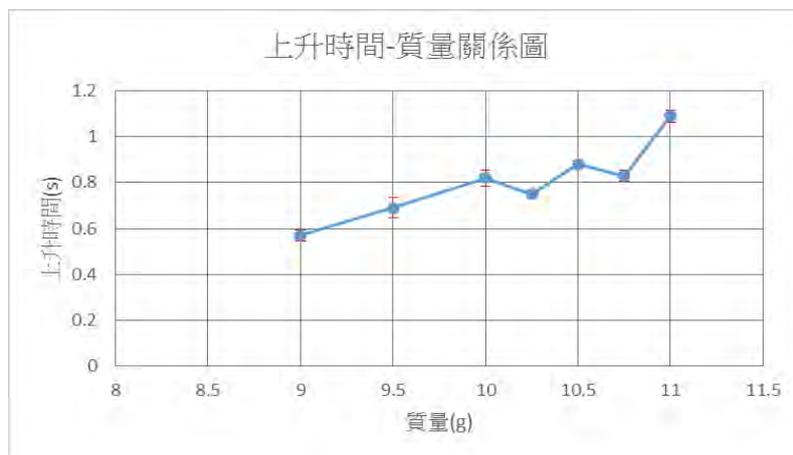
一、實驗一

以下圖表點上的紅色線為誤差線

球體半徑 1.4cm 液體靜止

球體質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11
上升時間(s)	0.57	0.69	0.82	0.75	0.88	0.83	1.09

(表一)



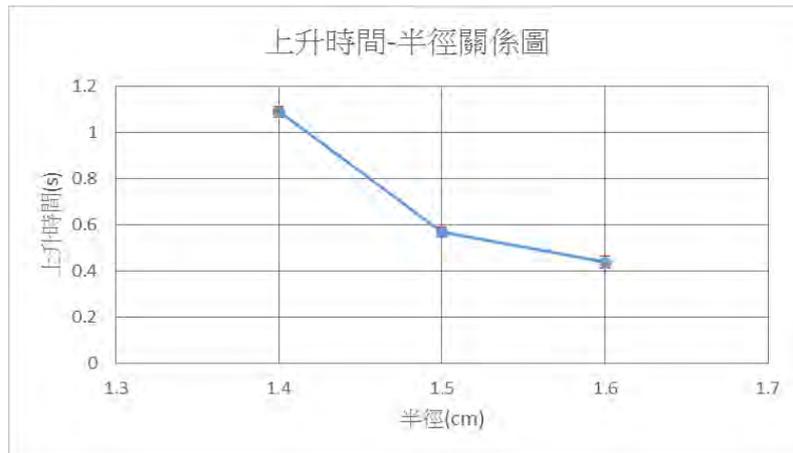
(圖二)

二、實驗二

球體質量 11g 液體靜止

球體半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	1.09	0.57	0.44

(表二)



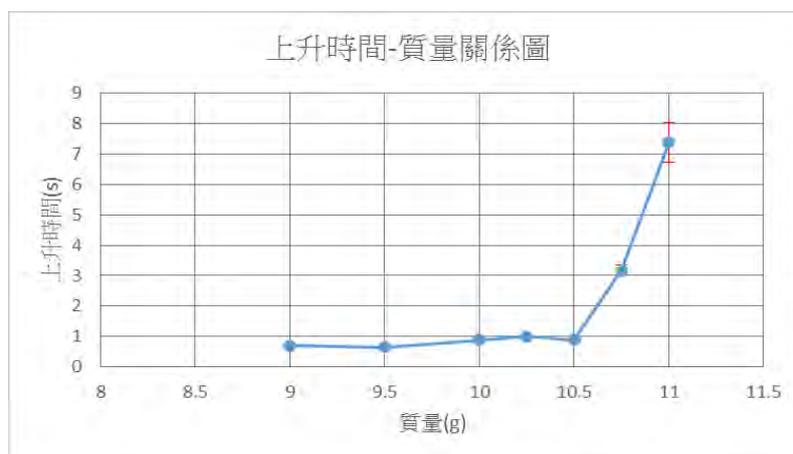
(圖三)

三、實驗三

球體半徑 1.4cm 轉盤角速度 8.92rad/s

球體質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11g
上升時間(s)	0.7	0.65	0.89	1	0.88	3.18	7.38

(表三)

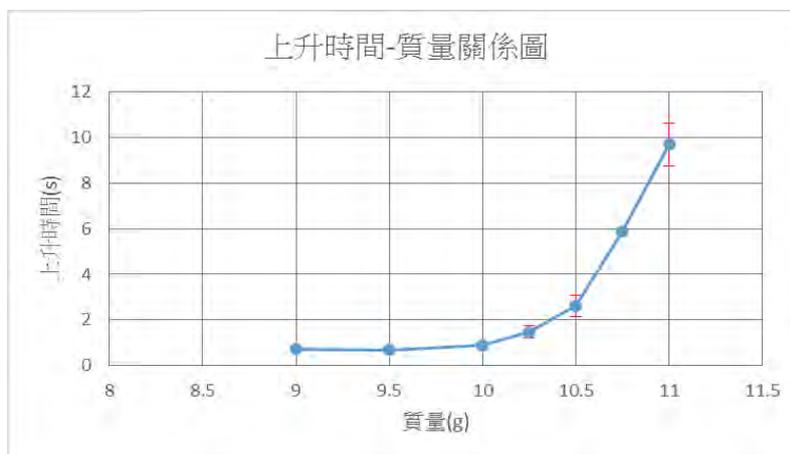


(圖四)

球體半徑 1.4cm 轉盤角速度 10.14rad/s

球體質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11
上升時間(s)	0.72	0.68	0.88	1.47	2.62	5.89	9.69

(表四)

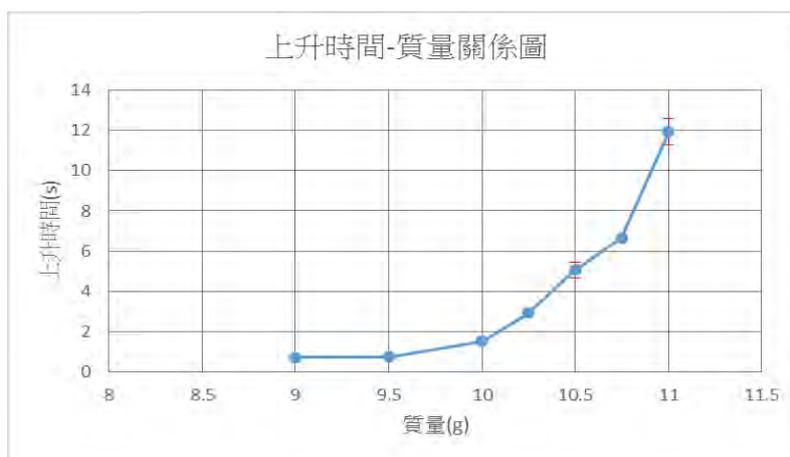


(圖五)

球體半徑 1.4cm 轉盤角速度 11.21rad/s

球體質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11
上升時間(s)	0.71	0.73	1.52	2.92	5.07	6.64	11.93

(表五)

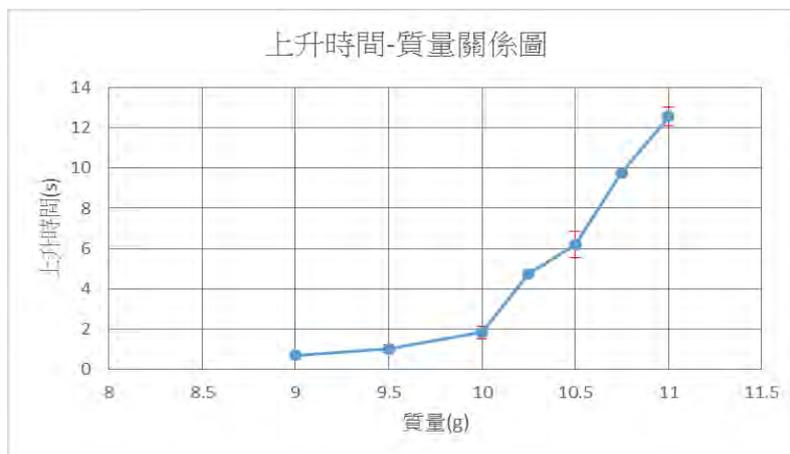


(圖六)

球體半徑 1.4cm 轉盤角速度 11.74rad/s

球體質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11
上升時間(s)	0.68	1	1.83	4.75	6.18	9.76	12.57

(表六)



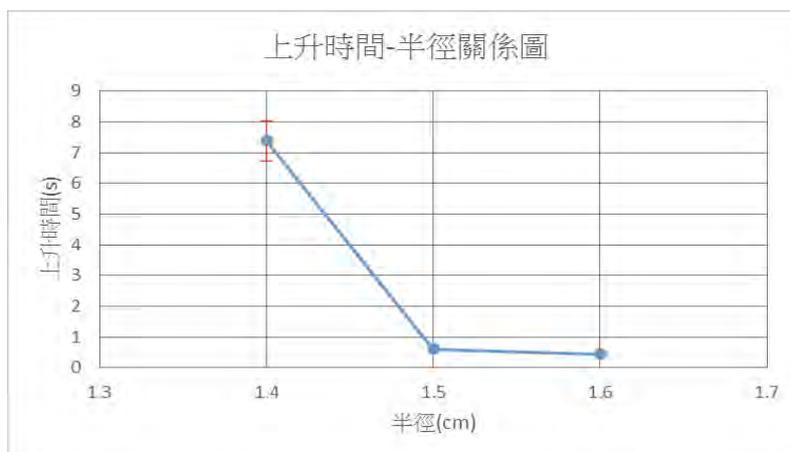
(圖七)

四、實驗四

球體質量 11g 轉盤角速度 8.92rad/s

球體半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	7.38	0.61	0.44

(表七)

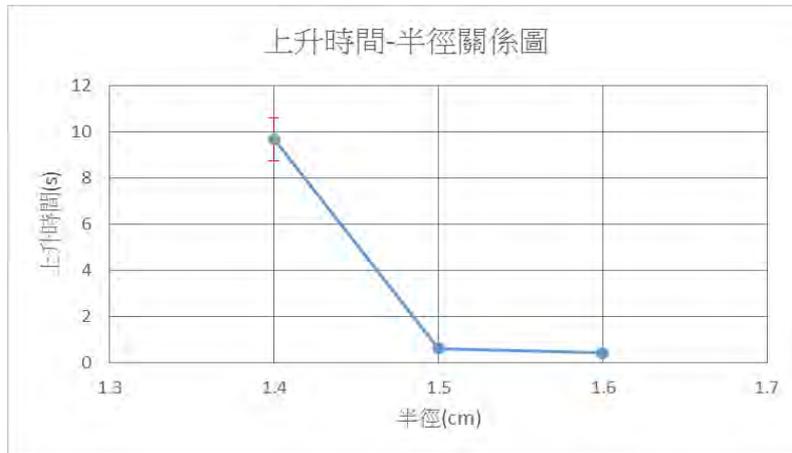


(圖八)

球體質量 11g 轉盤角速度 10.14rad/s

球體半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	9.69	0.64	0.44

(表八)

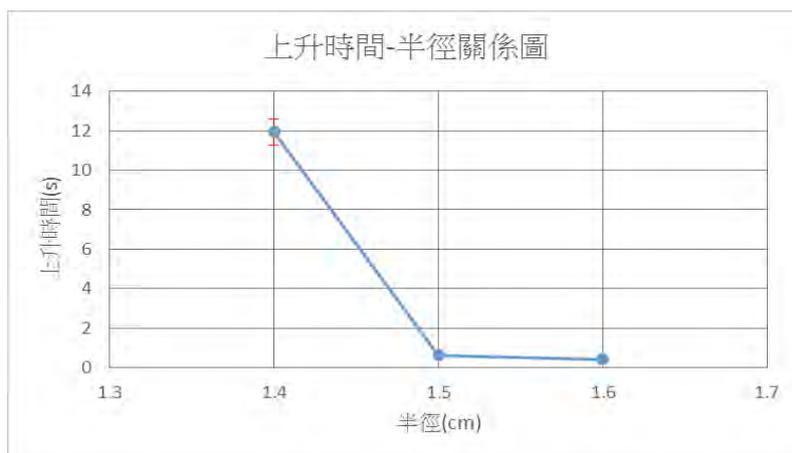


(圖九)

球體質量 11g 轉盤角速度 11.21rad/s

球體半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	11.93	0.63	0.44

(表九)

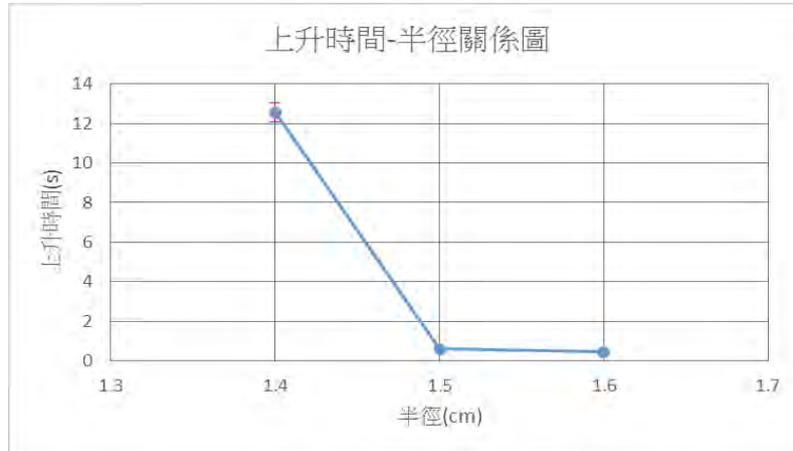


(圖十)

球體質量 11g 轉盤角速度 11.74rad/s

球體半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	12.57	0.62	0.46

(表十)



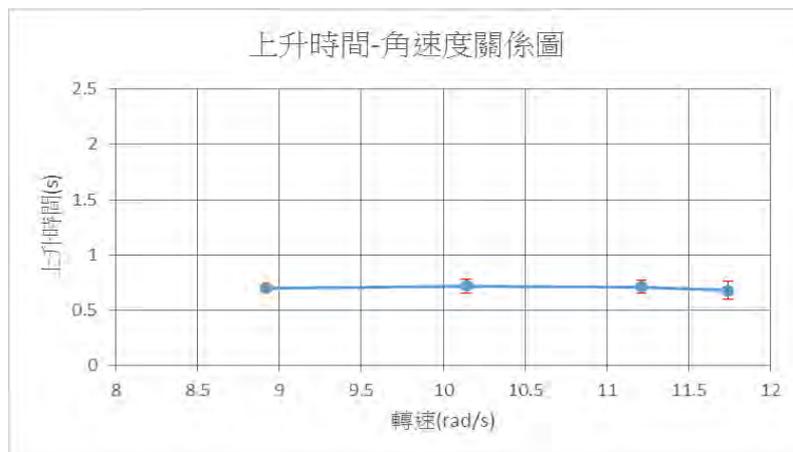
(圖十一)

五、實驗五

球體質量 9g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.7	0.72	0.71	0.68

(表十一)

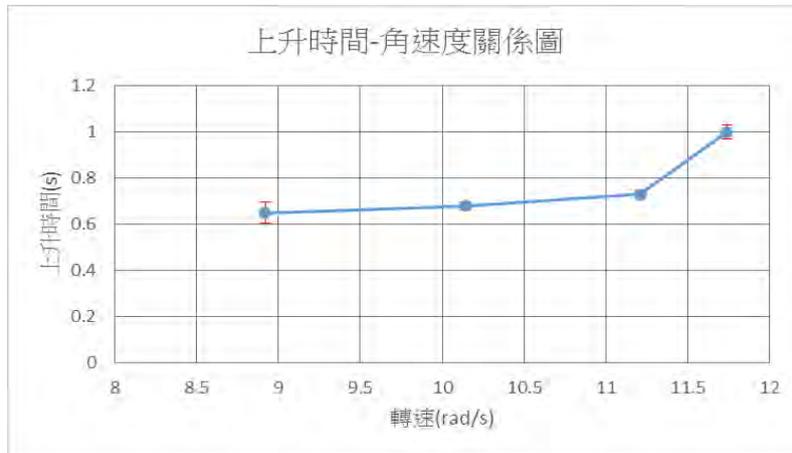


(圖十二)

球體質量 9.5g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.65	0.68	0.73	1

(表十二)

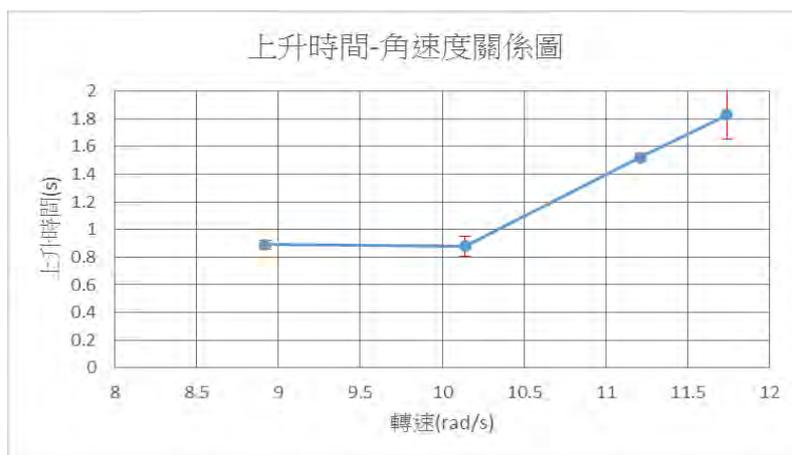


(圖十三)

球體質量 10g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.93	0.88	1.52	1.83

(表十三)

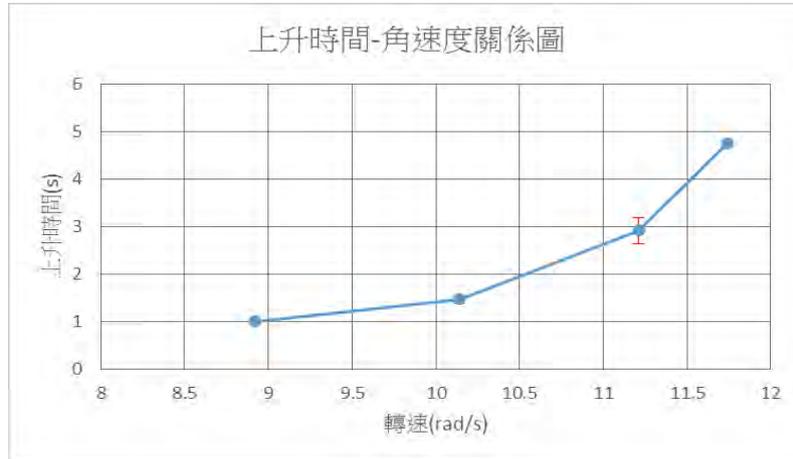


(圖十四)

球體質量 10.25g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	1	1.47	2.92	4.75

(表十四)

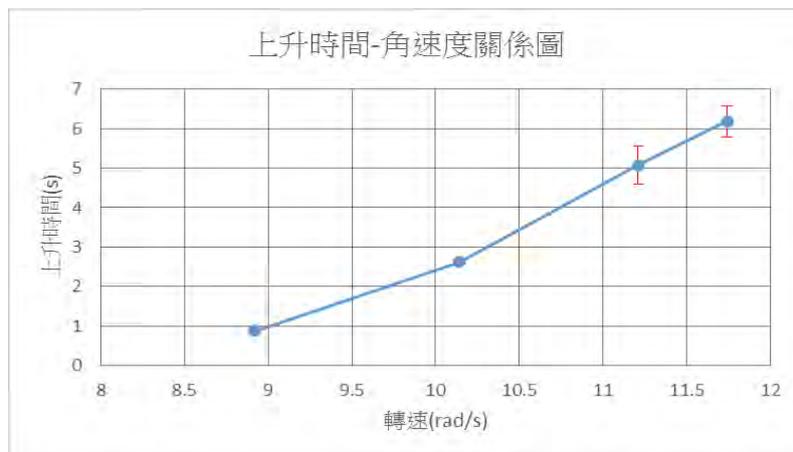


(圖十五)

球體質量 10.5g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.88	2.62	5.07	6.18

(表十五)

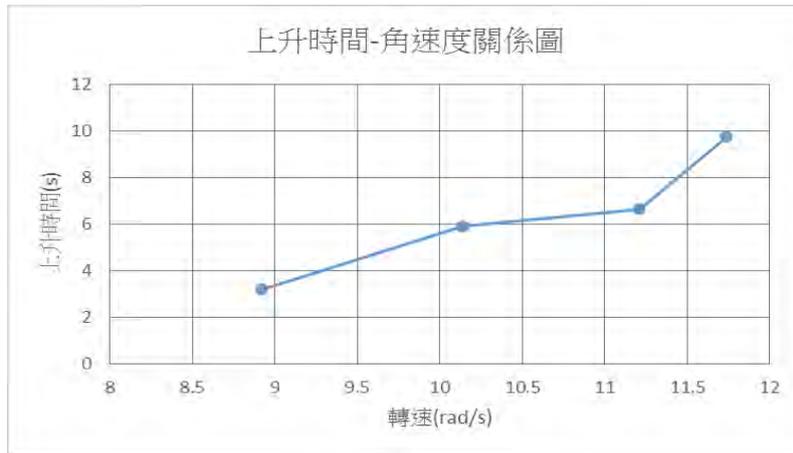


(圖十六)

球體質量 10.75g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	3.18	5.89	6.64	9.76

(表十六)

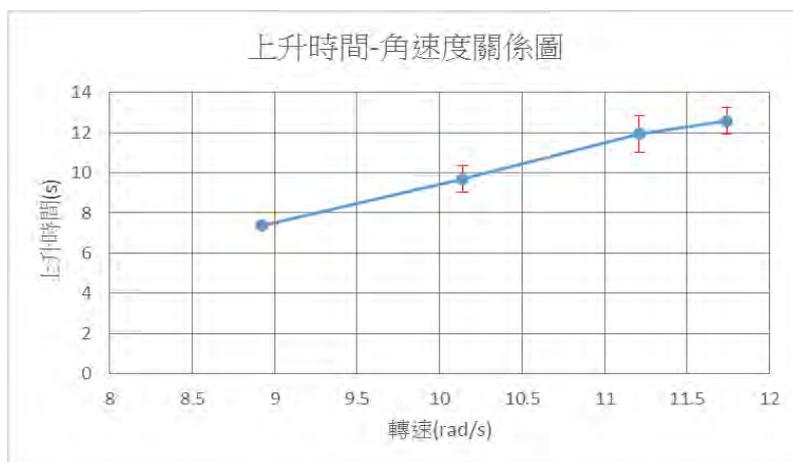


(圖十七)

球體質量 11g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	7.38	9.69	11.93	12.57

(表十七)



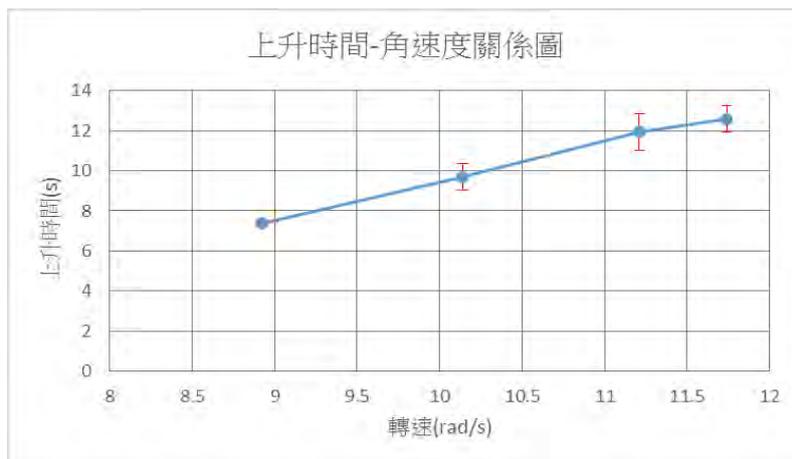
(圖十八)

六、實驗六

球體質量 11g 半徑 1.4cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	7.38	9.69	11.93	12.57

(表十八)

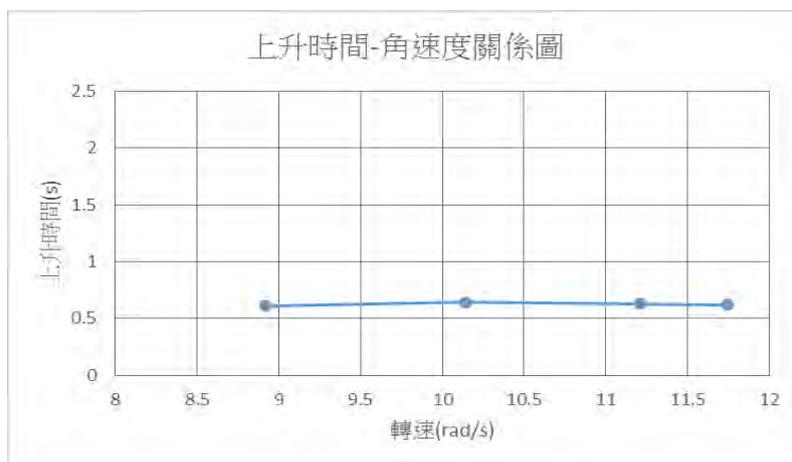


(圖十九)

球體質量 11g 半徑 1.5cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.61	0.64	0.63	0.62

(表十九)

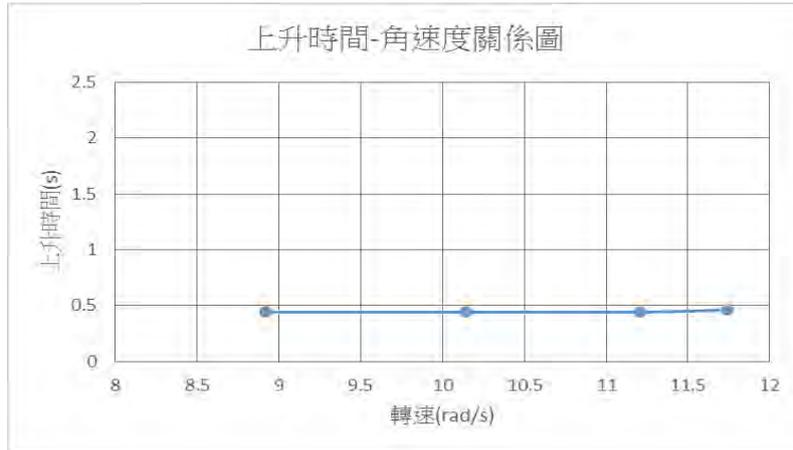


(圖二十)

球體質量 11g 半徑 1.6cm

轉盤角速度(rad/s)	8.92	10.14	11.21	11.74
上升時間(s)	0.44	0.44	0.44	0.46

(表二十)



(圖二十一)

陸、討論

一、實驗一與實驗三都是固定球體半徑，故我們將兩者放在一起比較。

(表二十一中由上至下分別式液體為靜止、角速度 8.92rad/s、10.14 rad/s、11.21 rad/s 和 11.74 rad/s 的實驗數據)

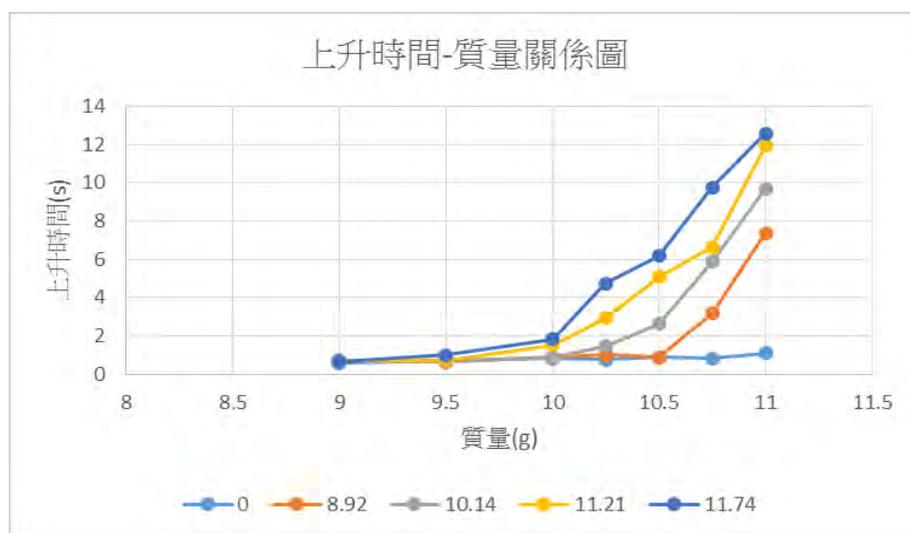
質量(g)	9	9.5	10	10.25	10.5	10.75	11
上升時間(s)	0.57	0.69	0.82	0.75	0.88	0.83	1.09
	0.7	0.65	0.89	1	0.88	3.18	7.38
	0.72	0.68	0.88	1.47	2.62	5.89	9.69
	0.71	0.73	1.52	2.92	5.07	6.64	11.93
	0.68	1	1.83	4.75	6.18	9.76	12.57

(表二十一)

我們發現球體上升的時間不論在什麼樣的角速度下都會隨著質量的提高而增加。而上升時間會隨著角速度的提升而增加。

球體質量增加但球體積固定，使得上升時浮力不變但向下重力改變，因此向上的總合力變小，造成上升時間變長。

而轉速變快則增加水流對球體的影響。因為我們是使杯子轉動帶動裡面的球體與水一起旋轉，若水的轉速大，球體要推開水向上升，需要克服更大的轉動慣量，因此要花更久的時間才能到達液面，由(圖二十二)中可以看出此趨勢。

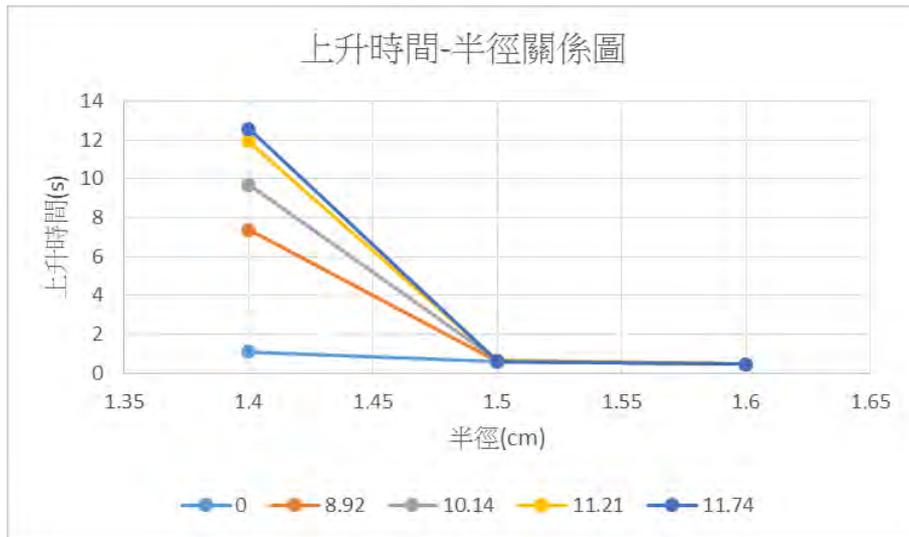


(圖二十二)

二、實驗二與實驗四中觀察到在球體等質量的情況下，半徑越大的球，上升的時間受旋轉的影響就越小。(表二十二中由上至下分別式液體為靜止、角速度 8.92 rad/s、10.14 rad/s、11.21 rad/s 和 11.74 rad/s 的實驗數據)

半徑(cm)	1.4	1.5	1.6
上升時間(s)	1.09	0.57	0.44
	7.38	0.61	0.44
	9.69	0.64	0.44
	11.93	0.63	0.44
	12.57	0.62	0.46

(表二十二)



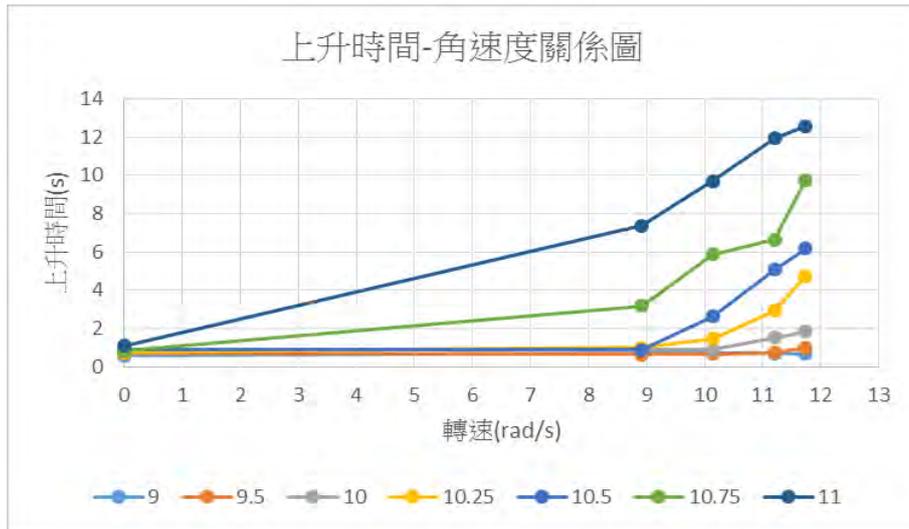
(圖二十三)

因為半徑越大的球體其浮力也越大，球體上升的加速度也越大，故球體的運動軌跡不會受到旋轉液體太大的影響，因此半徑 1.5cm 與 1.6cm 的小球的升上時間並沒有明顯差距。

三、實驗五綜合整理後製成以下表格(表二十三)

轉盤角速度 (rad/s)	0(靜止)	8.92	10.14	11.21	11.74
9g	0.57	0.7	0.72	0.71	0.68
9.5g	0.69	0.65	0.68	0.73	1
10g	0.82	0.89	0.88	1.52	1.83
10.25g	0.75	1	1.47	2.92	4.75
10.5g	0.88	0.88	2.62	5.07	6.18
10.75g	0.83	3.18	5.89	6.64	9.76
11g	1.09	7.38	9.69	11.93	12.57

(表二十三)



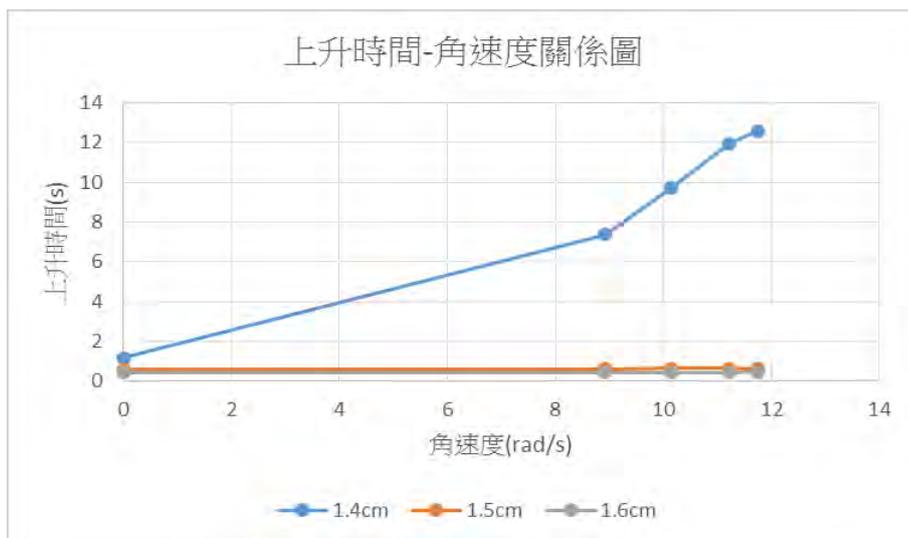
(圖二十四)

由前面實驗得知小球半徑 1.4cm 時的上升時間較能看出差距，因此，在這裡我們固定小球半徑為 1.4cm，觀察隨著角速度的上升，不同質量的小球的上升時間變化。除了質量 9g 與 9.5g 的小球的上升時間並沒有因為轉速改變有明顯差異外，其他質量的小球上升時間都有隨著轉速而增加，9g 與 9.5g 的小球因為質量小，使得向上合力大，水流對它們造成的影響力小，但質量較大的球在強制渦流作用下，其上升時間就明顯增加。

四、實驗六綜合整理後製成以下表格(表二十四)

轉盤角速度 (rad/s)	0(靜止)	8.92	10.14	11.21	11.74
1.4cm	1.155	7.383	9.694	11.929	12.579
1.5cm	0.567	0.605	0.638	0.634	0.622
1.6cm	0.44	0.442	0.438	0.442	0.459

(表二十四)



(圖二十五)

由前面實驗得知小球質量越大受到轉速影響越大，因此，在這裡我們固定小球質量為 11g，觀察隨著角速度的上升，不同半徑的小球的上升時間變化。半徑為 1.5cm、1.6cm 的小球上升時間幾乎沒有因為角速度而產生變化。

五、我們在做半徑為 1.4cm 的球體，使其在有轉速的水中上升的實驗時滴入墨水來觀察水流在球體旁邊的運動情況(圖二十六之一至圖二十六之三)。

由照片中可看出小球上升會變慢的原因是為了要推開它上方的水柱所造成。由於整個系統是處於旋轉狀態，被擠出原本位置的水分子會向外擴散做半徑更大的圓周運動，在圖二十四之三，小球的下方有一道顏色較淺的墨水，隨著小球的上升使它周圍的液體沿著它的球殼移動，因此小球受到水分子的阻力影響，使上升的合力減少。



(圖二十六之一)



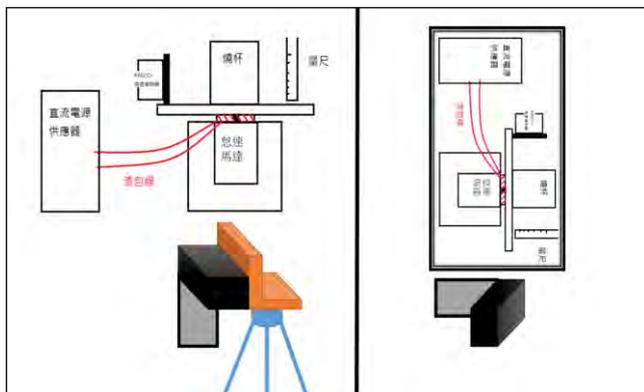
(圖二十六之二)



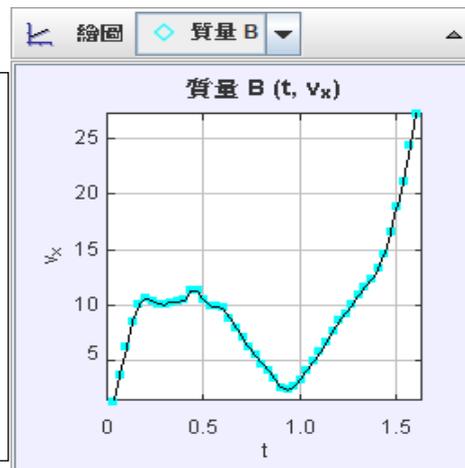
(圖二十六之三)

而且水的轉速越大，因為水分子會要維持本來的慣性，球體要推開上方水分子使它們產生移動更是困難，故隨著轉速上升，球體上升會花更多時間。

四、實驗中我們發現，當小球質量介於 10g~11g 間、且半徑為 1.4cm 的小球在轉盤角速度在某特定的大小下釋放上升時，小球在距離開始施放時間沒多久時，會先達到一個穩定的速度後減速(如圖二十八)，之後再繼續加速上升。這裡表示 X 軸上的速度是因為我們的儀器架設時，因為壓克力杯太長，故把攝影機架設成與地面垂直來拍攝小球的上升過程，再運用 Tracker 來抓取小球上時的位置。



(圖二十七)



(圖二十八)

我們認為這應該是因為小球一開始跟水的轉速差不多，但是隨著上升的時間越久，水與小球的轉速就差異更多了，水流就變成阻力了，因此小球上升會先達到一個定速度甚至減速，才又不敵浮力等向上的力量繼續推開水分子上升。

柒、結論

- 一、球體的上升會因為周遭流體的運動情形相關。
- 二、上升時間跟轉速是正相關，和半徑是負相關，和質量也是正相關。
- 三、若浮體在靜止中的上升速度原本就快的話，而旋轉的液體對它造成的影響就小。

捌、參考資料及其他

- 一、葉偉文譯，物理馬戲團 I，天下遠見出版，民國 89 年。
- 二、常雲惠譯，觀念物理 I：牛頓運動定律・動量，台北市，天下遠見出版，民國 90 年。
- 三、蔡坤憲譯，觀念物理 II：轉動力學・萬有引力，台北市，天下遠見出版，民國 90 年。
- 四、陳偉民、林金聲、江彥雄著，3D 物化遊樂場 I，台北市，天下遠見出版，民國 93 年。

【評語】 051807

新穎的實驗設計，可以觀察到液中浮體的上升變化，宜再加強變項間的定量關係式與形成機制之探討。

壹、摘要

本研究旨在探討浮體在旋轉的液體中上升速度受到什麼因素的影響，分別以浮體半徑，質量與液體轉速為不同的控制變因，觀察其產生的現象。

我們透過軟體tracker來進行數值模擬計算以及圖形座標化分析，發現了

- 一、液體的旋轉對於浮體上升有影響
- 二、在固定質量下,半徑越小的浮體受旋轉液體的影響較大

貳、研究動機

在看完物理馬戲團I這本書上的實驗後,在一個燒杯靜止上升到水面需要2秒的球,但在經過轉盤旋轉後卻需要30多秒才會浮上水面,覺得有趣並加以設計實驗來研究在不同的條件下球的上升情形

參、研究目的

- 一、分析浮體在旋轉液體中上升和在靜止的液體中上升的差異，並針對其做進一步的探討。
 - (一)、固定浮體質量，改變浮體半徑。
 - (二)、固定浮體半徑，改變浮體質量。
- 二、改變轉盤旋轉的角速度並觀察影響上升情形的程度

肆、研究設備及器材

pasco轉動偵測器		1個
空心塑膠pp球(不同尺寸)		半徑1.4cm、1.5cm、1.6cm的球各3顆
黏土		足量
鐵釘		1包
半徑=3.7cm、高度20cm的壓克力杯和水(使其在燒杯中有18cm的高度)		1個

馬達,壓克力轉盤及底座		各1個
直流電源供應器		2台
攝影機		1架
水平儀		1只
電子秤		1台
軟體程式Tracker		1套
三腳架		1只

伍、研究過程及方法

一、實驗器材製作及架設

(一)塑膠球的製作

選取三種固定規格之塑膠空心球殼，並以游標尺測定其半徑，分別為1.4cm、1.5cm、1.6cm，並以電子秤取適量黏土及鐵製的螺絲填充至小球底部，使小球質量分別為9g、9.5g、10g、10.25g、10.5g、10.75g、11g。

(二)器材架設

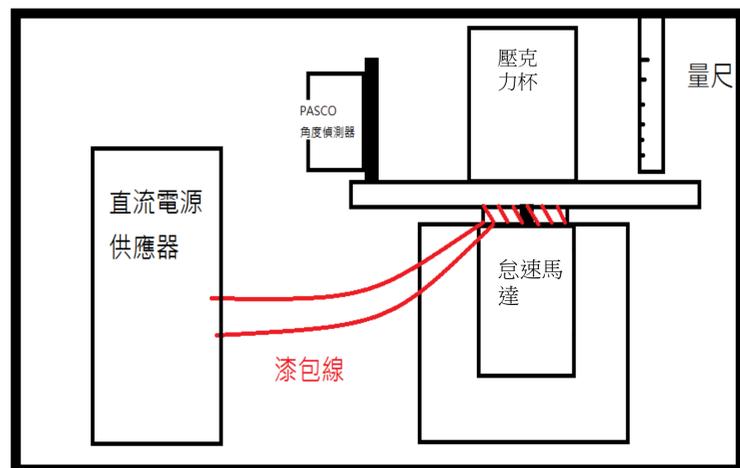
將燒杯置於轉盤中央並固定(如圖一)，開啟馬達測試壓克力杯、轉盤是否穩固且在壓克力杯離底部十公分處劃記，以便每次實驗的水量相同，並架設量尺(使用水平儀測量其是否與桌面平行)。

(三)角速度測量裝置

將PASCO的旋轉感測器裝於支架上並讓感測器之轉輪可以貼在轉盤上方。

(四)拍攝儀器

用三角架把攝影機固定在適合的拍攝距離。



(圖一)

二、實驗方法及步驟

(一)先將待觀察的小球準備好，並打開馬達讓轉盤帶動壓克力杯和其中的水一起以欲觀測轉速的旋轉。(如果是觀察小球再靜止的水中上升則無須開啟馬達)

(二)待杯中的水維持一個穩定的狀態時再把小球用位於杯底的電磁鐵吸住，然後再度等待水面回到平穩的狀態。

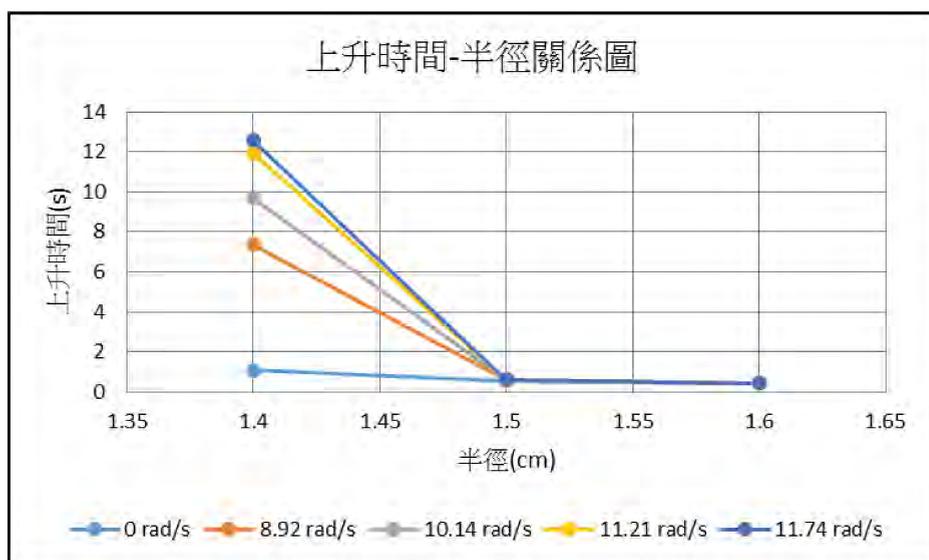
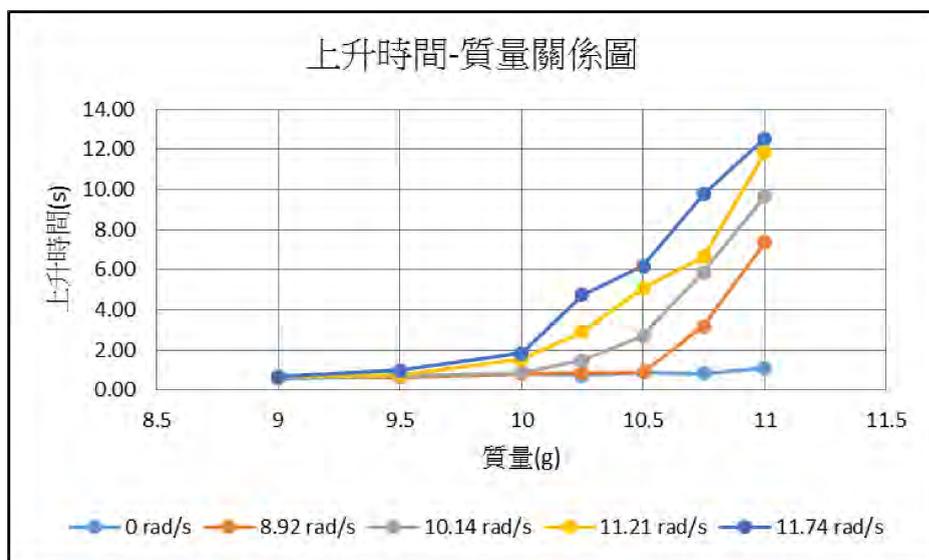
(三)等到水面平穩時，打開攝影機開始錄影並把電源供應器的開關關上，使電磁鐵失去磁力。

(四)用攝影機錄影直至小球浮出水面，錄製完畢後把檔案用程式Tracker開啟來抓取上升時間、上升路徑以及上升速度。

三、上升分析

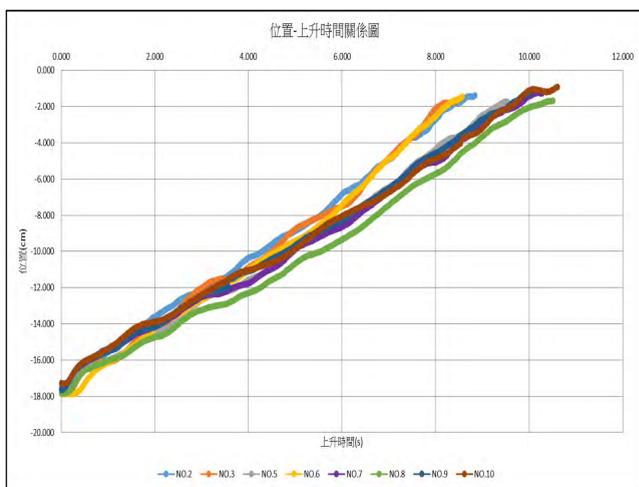
經過TRACKER軟體追蹤把球的中心座標(幾何中心)找出，並且紀錄下來，可以用來比對每個球上升時的情形。

陸、研究結果

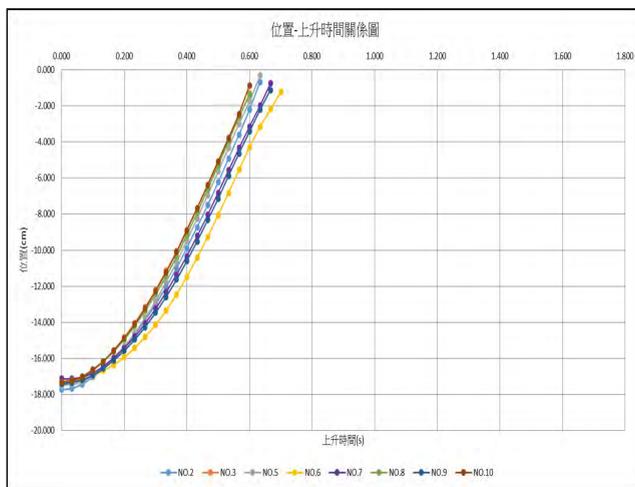


根據實驗我們以轉盤的轉速作為控制變因，然後將小球的質量和半徑分別當作操縱變因，製成上方兩表。

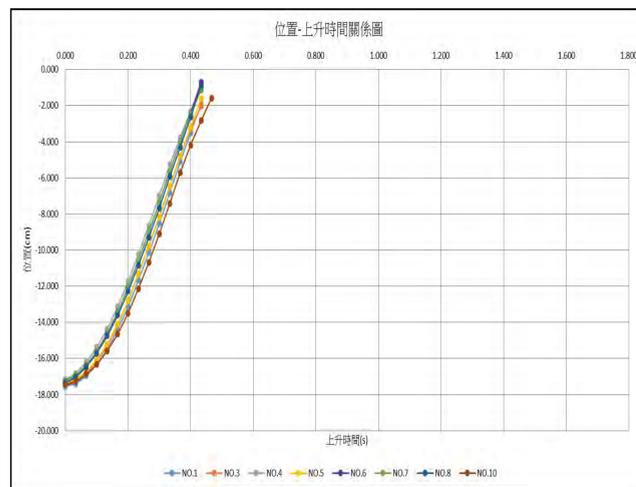
下方圖中是我們部分實驗的小球上升情形的圖每一條線代表該次實驗的小球上升的情形(已轉盤角速度為10.14 rad/s為例)



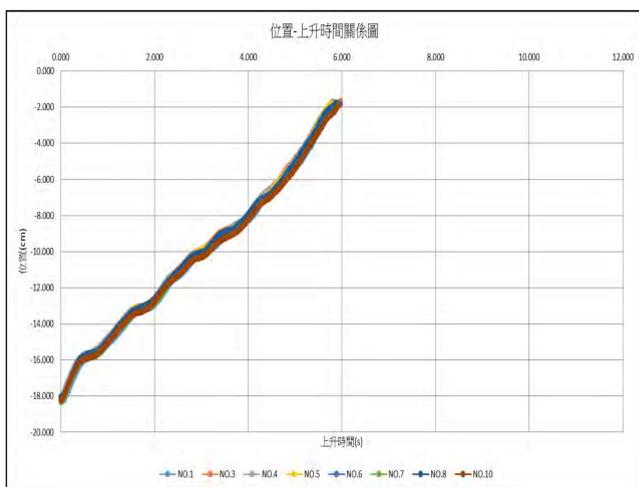
質量11g半徑1.4cm



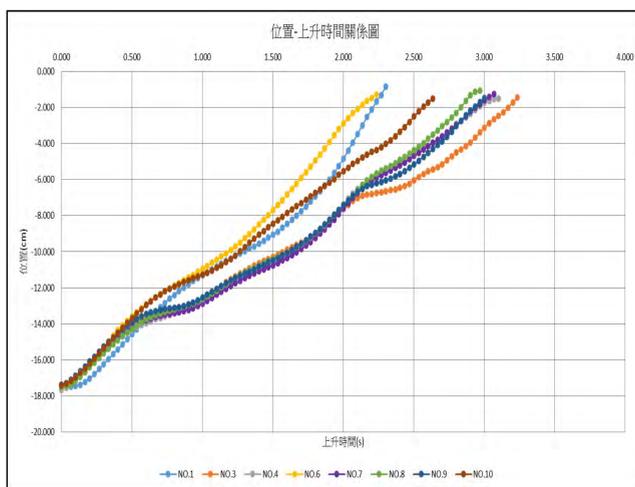
質量11g半徑1.5cm



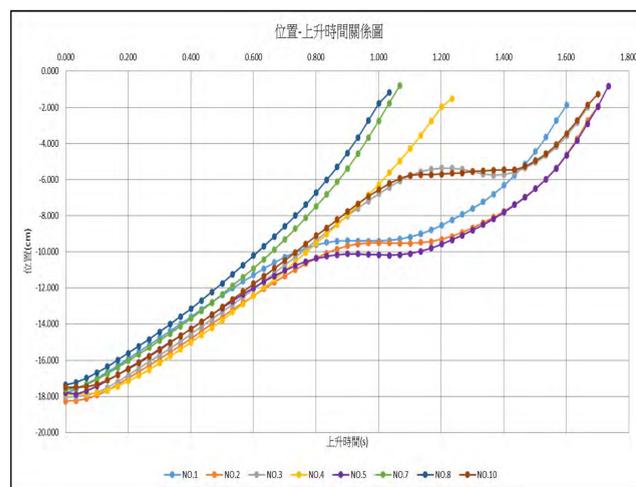
質量11g半徑1.6cm



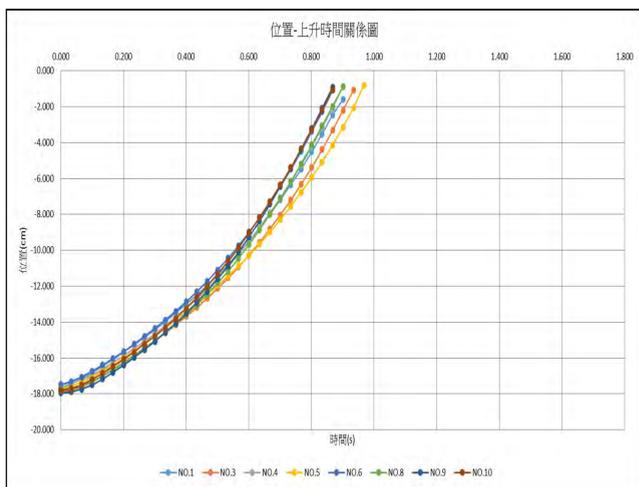
質量10.75g半徑1.4cm



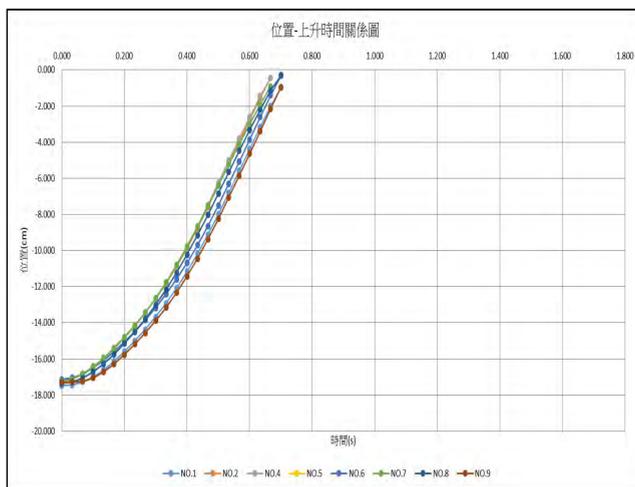
質量10.5g半徑1.4cm



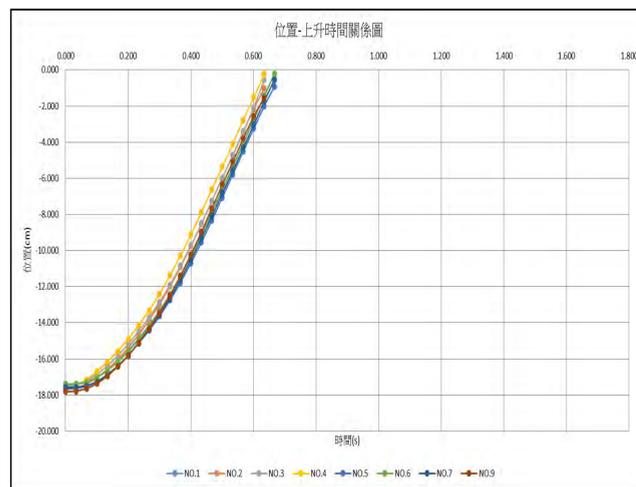
質量10.25g半徑1.4cm



質量10g半徑1.4cm

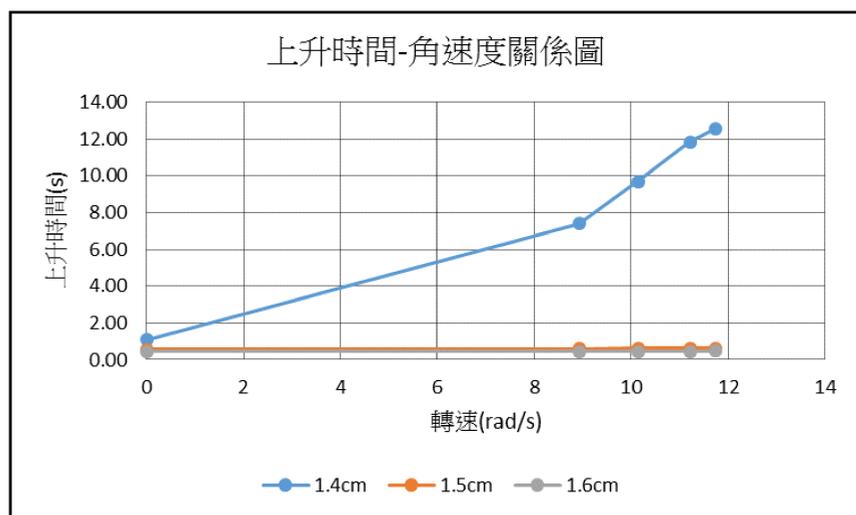
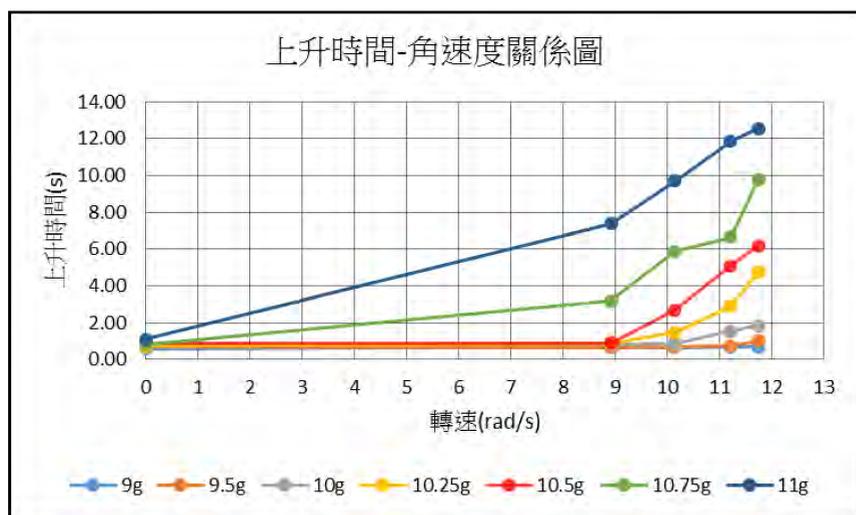


質量9.5g半徑1.4cm

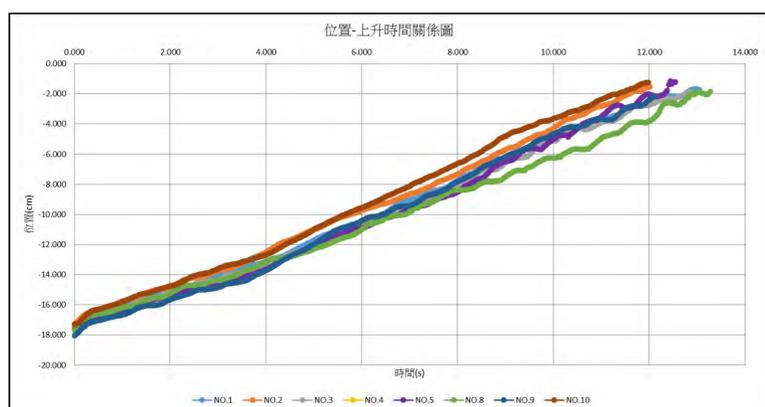


質量9g半徑1.4cm

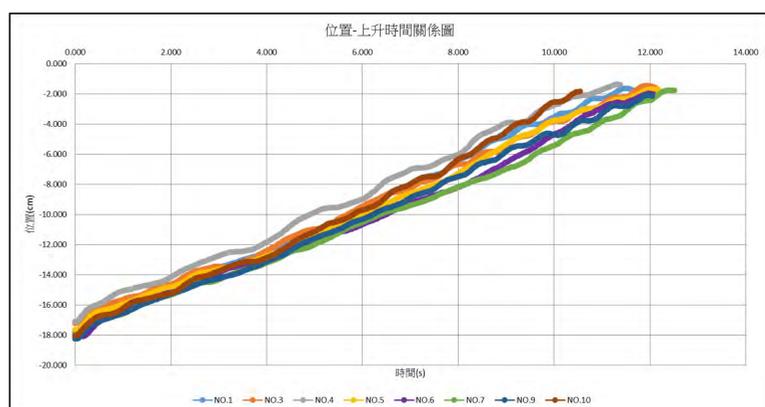
根據實驗我們以轉盤的轉速作為控制變因，然後將小球的質量和半徑分別當作操縱變因，製成下方兩表。



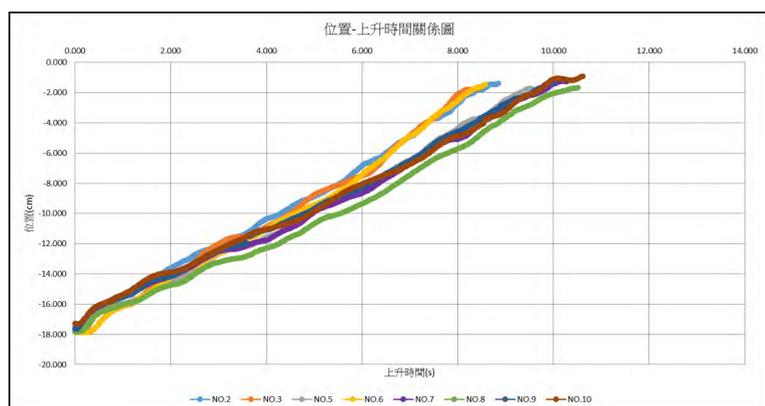
以下為質量11g半徑1.4cm的小球在不同轉速下實驗的上升情形



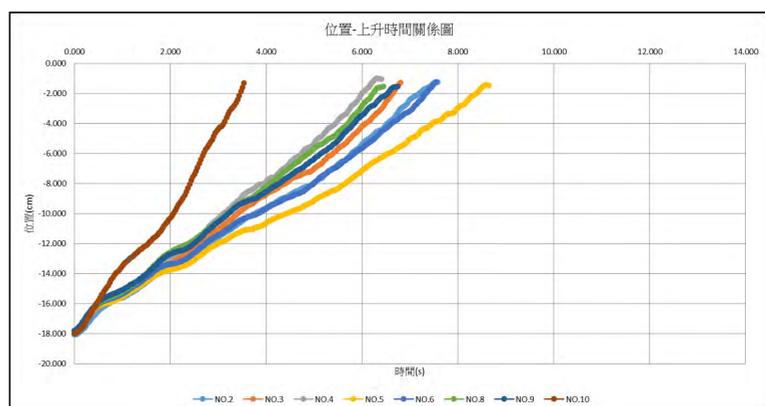
角速度11.74 rad/s



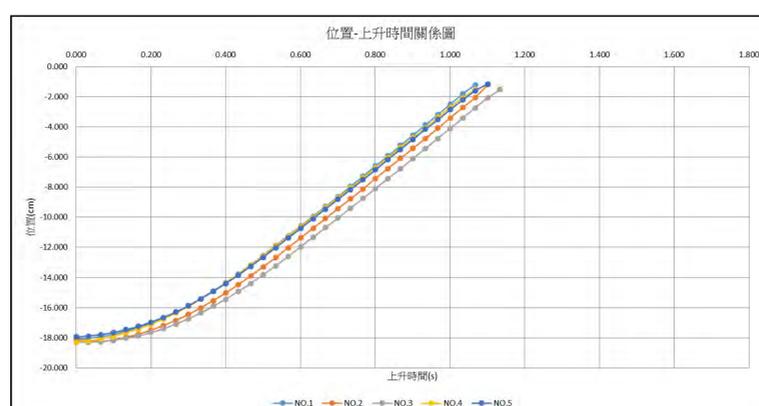
角速度11.21 rad/s



角速度10.14 rad/s



角速度8.92 rad/s



角速度0 rad/s(靜止)

柒、討論

一、實驗一與實驗三都是固定球體半徑，故我們將兩者整理成圖表放在一起比較。我們發現球體上升的時間不論在什麼樣的角速度下都會隨著質量的提高而增加。不同質量之間的差距，會隨著旋轉速度的提升而增加。

二、實驗二與實驗四都是固定球體質量，故我們將兩者整理成圖表放在一起比較。我們發現球體上升的時間不論在什麼樣的角速度下都會隨著半徑的提高而減少。不同半徑之間的差距，會隨著旋轉速度的提升而增加。因為半徑越大的球體其浮力也越大，球體上升的加速度也越大，因此球體的運動不會受到旋轉液體太大的影響。

三、隨著角速度的上升，除了質量為9g的小球其他質量的小球上升質量10g、11g的小球它們的上升時間都有上升的情形，質量11g的球，尤其是在強制渦流作用下，其上升時間是質量9g、10g小球的好幾倍。由右上方的圖可知，質量為9g的小球上升的時間沒有因為水的轉速有太大的差距。

四、我們實驗中小球的上升情況是有點極端的，從右下方的圖可以看出來。改變半徑對於小球的上升時間來說是比改變質量來的有影響。半徑為1.5cm、1.6cm的小球上升時間幾乎沒有明顯地跟著角速度變化。

捌、結論

- 一、球體的上升會跟周遭流體的情形產生變化。
- 二、上升時間跟轉速是正相關，和半徑是負相關。
- 三、若浮體在靜止中的上升速度原本就快的話，而旋轉的液體對它造成的影響就小。

玖、參考資料及其他

- 一、葉偉文譯，物理馬戲團I，天下遠見出版，民國89年。