

嘉義市第 38 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：珠珠轉轉樂

－探討不同條件下對溶液中珠子上升速度的影響

關鍵詞：轉速、溶液、速度

編號：

摘要

在賣場中，因為看到洗碗精中的氣泡上升，想知道若將瓶子旋轉，則氣泡的運動狀態將如何改變？

首先，將會上浮的木珠放入水瓶中，利用電鑽當作動力來轉動水瓶，發現木珠會因為轉變快而使上升速度變慢，而且上升過程為等速度運動。因此推測旋轉將產生額外的力，阻止木珠上升。

將洗碗精改變不同濃度，發現濃度變小，則旋轉水瓶而使木珠速度變慢的狀況會愈來愈不明顯。而瓶子直徑越小，旋轉後木珠上升速度越慢。

一旦將木珠進行刻花處理，破壞木珠表面，則因為旋轉而產生的力將減弱，甚至不會因為旋轉水瓶而使木珠上升速度變慢。最後發現，不管珠子向上或向下運動，只要是在高濃度洗碗精中，旋轉與珠子速度將符合 2 次方多項式的關係。

壹、研究動機

在一間大賣場中，婦女們來買他們的必需品—洗碗精，而在一旁的我們好奇的拿起一瓶包裝新穎的洗碗精，翻過來看見一顆豆大的氣泡逐漸上升，於是腦中突然出現個想法:如果氣泡在上升的過程中將瓶子快速旋轉，那麼氣泡上升的速度是會變快還是變快呢?俗話說:「坐而言不如起而行。」因此我們馬上展開了行動，果真百聞不如一見，球的速度真的有比原本的速度慢。這個結果引起我們的研究精神想要進而一探究竟，後來我們在大賣場中繼續以透明瓶子所裝的洗衣精、洗髮精以及沐浴乳.....等黏稠溶液來翻轉觀察是否這些黏稠溶液和洗碗精一樣有同樣的效果。沒想到這些溶液和洗碗精一樣有同樣的結果，於是我們便思索這些問題，並且設計了一連串的實驗以不同種類的球當作氣泡，套入不同的變因，希望可以發現更多的奇特之處。

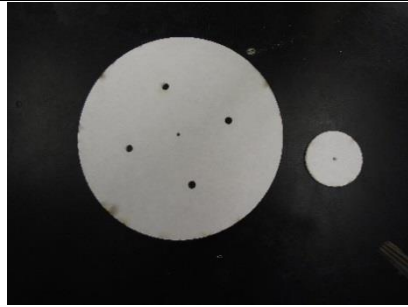
貳、研究目的

- 一、 組裝旋轉平台
- 二、 探討不同垂直位置對珠子上升速度的影響
- 三、 探討不同轉速對珠子上升速度的影響
- 四、 探討不同濃度的洗碗精對珠子上升速度的影響
- 五、 探討不同大小直徑的瓶子對珠子上升速度的影響
- 六、 探討珠子表面不同時對珠子上升速度的影響
- 七、 探討不同珠子時對移動速度的影響

參、研究設備及器材



電鑽



壓克力板



不同大小的瓶子



固定台



木球



打蠟盤



洗碗精



軟木塞



鋸子



三秒膠



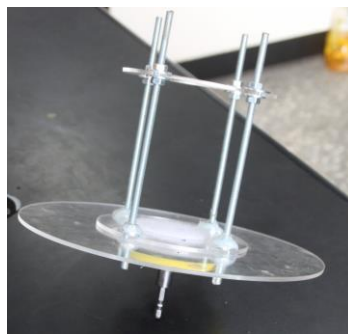
壓克力快速黏劑



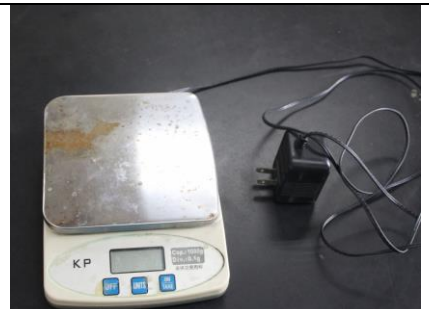
螺絲、螺帽與墊片



C型夾



旋轉平台



電子天平

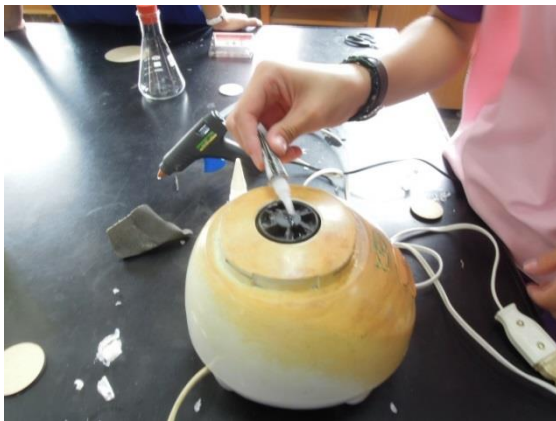
參、研究過程、結果與討論

一、準備實驗：組裝實驗器材

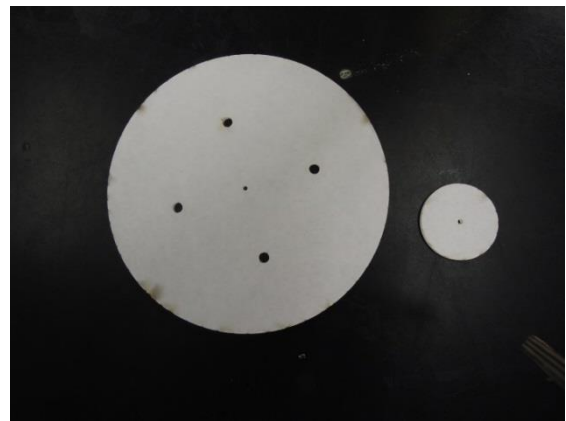
我們要探討為何木珠在上升過程中，只要瓶身有旋轉的情況下，木珠為何要花更多時間才能抵達頂部？所以在正式開始進行實驗前，與老師討論過後，決定先製作能穩定旋轉的平台，以方便進行實驗的操作與討論。而我們總共完成兩個旋轉平台，第一代旋轉平台最後因為壓克力圓片會因為旋轉而脫離果汁機，所以才繼續研發第二代旋轉平台，但也因為製作第一代旋轉平台而有許多想法才能產出第二代旋轉平台，以下就分別介紹兩代旋轉平台的設計。

(一)第一代旋轉平台

1. 首先我們先利用廢棄果汁機的機身為提供旋轉的主機。
2. 再來利用雷射切割機製作出大小不同的兩個壓克力圓盤，小圓盤連接大圓盤及果汁機。
3. 大圓盤上則挖四個洞，裝上木棍以防止旋轉時物體被甩出。



圖一 用三秒膠黏上圓形壓克力片



圖二 大小壓克力圓盤



圖三 大圓盤上裝上木棍

(二)第二代旋轉平台

由於第一代旋轉平台容易因旋轉而導致物體分離的現象，所以我們找到了能裝在電鑽上的打蠟盤，因為是專門用在電鑽上，所以就能克服這個問題。

1. 將木桌桌面鋸出圓洞，並將電鑽放在桌面下，並將打蠟盤裝進電鑽中。
2. 再來利用雷射切割機製作出大小不同的兩個壓克力圓盤，上盤挖空以利放置瓶子，下盤連接打蠟盤，並利用螺絲條固定上下兩盤。
3. 在連接上下兩盤的 4 條螺絲條的其中一條放置記號，以方便之後計算轉速。



圖四 將電鑽當成轉動來源



圖五 製作旋轉時，放置水平的裝置



圖六 將打蠟盤黏在壓克力平台上



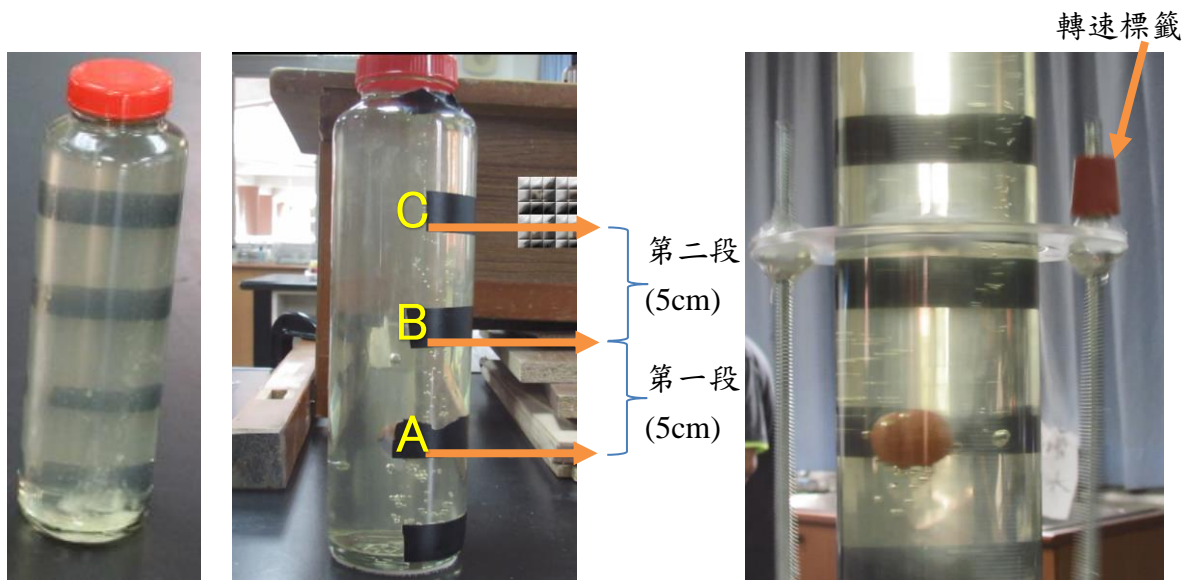
圖七 實驗轉動裝置完成圖

二、實驗一：探討不同垂直位置對珠子上升速度的影響

在這個實驗中我們想探討在不同的垂直位置，小木球的上升速度會不會改變，也就是在不同的垂直位置，木珠的垂直上升的速度是否相同，我們將瓶子的中間分成第一段與第二段，分析木珠在不同轉速下，在第一段與第二段的上升速度。

(一) 實驗過程

1. 將水瓶每隔 5 cm，貼上膠帶，並在旋轉平台上以軟木塞固定一個轉速標籤。
2. 將木珠放到水瓶中，並將洗碗精倒入水瓶後裝滿。
3. 將裝有洗碗精和木珠的水瓶直接倒放，使木珠浮到最上方。
4. 按下電鑽開關，等待平台轉速穩定後，將裝有洗碗精和木珠的水瓶正立放在旋轉平台上。
5. 用攝影機拍攝木珠上浮情況，並分析影片，讀出木珠由 A 浮到 B 點時間記為 Δt_1 、木珠由 B 浮到 C 點時間記為 Δt_2 ，並且分析影片中的轉速標籤，旋轉 10 圈所花的時間(Δt_3)。
6. 改變不同轉速，重複步驟 3-5，我們進行了 6 種不同的轉速。

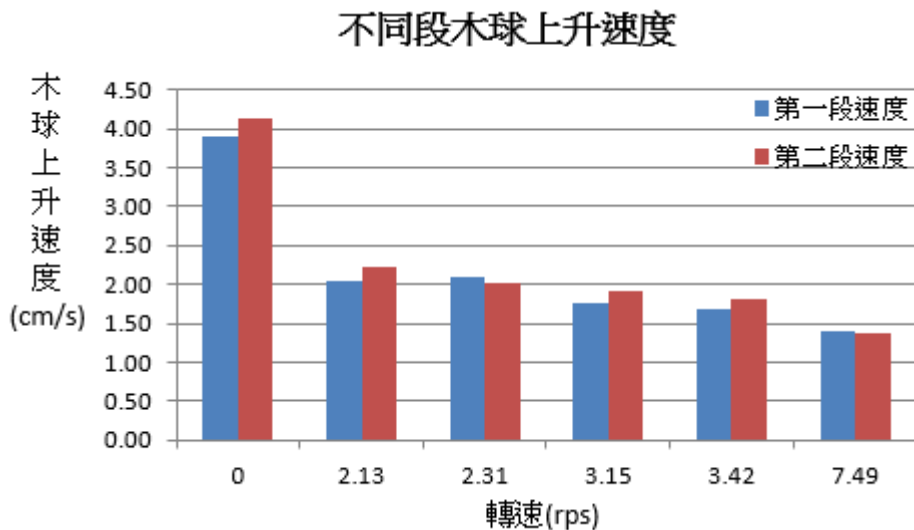


圖八 將瓶子每隔 5 cm 貼上膠帶，並分析紀錄 A、B、C 三點的時間

(二) 實驗結果與討論

表 不同轉速時與上升速度的關係

項次	Δt_3 (s)	轉速 (rps)	Δt_1 (s)	Δt_2 (s)	第一段速度 (cm/s)	第二段速度 (cm/s)
1	不轉動	0	1.281	1.212	3.90	4.13
2	4.703	2.13	2.461	2.253	2.03	2.22
3	4.331	2.31	2.377	2.462	2.10	2.03
4	3.171	3.15	2.837	2.628	1.76	1.90
5	2.920	3.42	2.960	2.752	1.69	1.82
6	1.335	7.49	3.555	3.629	1.41	1.38

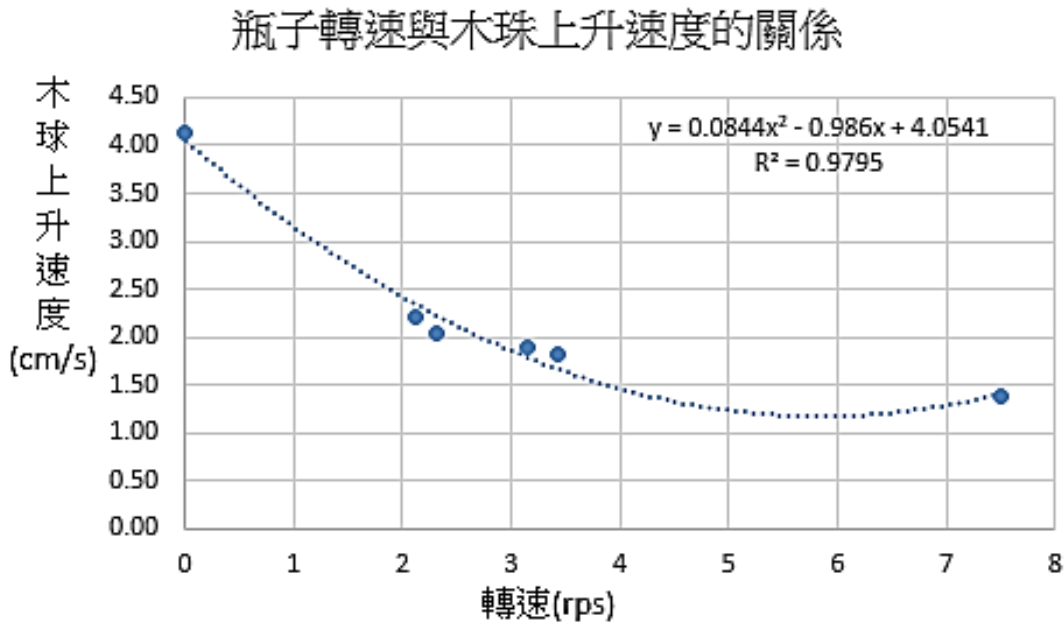


圖九 不同區段時，木球上升速度與轉速的關係圖

由以上實驗我們可以得知，即使在不同轉速的情況下，第一段與第二段的上升速度很接近，也就是木珠在上浮的過程中幾乎是等速度上浮。代表一開始木球受到力量所以往上移動，但後來受到向下的力量增加，而使得所受合力為零，所以才變為等速度運動。因此後續實驗，我們只取第一段來進行上升速度分析。

三、實驗二：探討不同轉速對珠子上升速度的影響

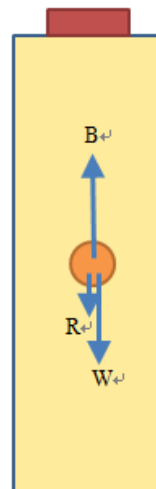
接下來我們想要了解不同轉速的情況下，木珠上浮的速度是否受到影響，我們直接分析實驗一的資料，製成圖表如下：



圖十 不同轉速與上升速度的關係圖

以上結果可以知道，瓶子不轉動時，木珠上升速度較快，開始旋轉後，即使轉速不快，木珠上升速度下降很多，接近一半；轉速加快後，木珠上升速度更慢。我們分析木珠的受力，木珠在垂直方向上受三個力的作用，分別是向上的浮力(B)、向下的重力(W)與向下的阻力(R)。

其中重力(W)與質量成正比，如果木珠質量不變，重力不變。而根據阿基米德浮力原理，浮力(B)等於木珠體積乘上液體密度，在不同轉速的實驗中，木珠體積不變且液體密度不變，所以浮力不變。



圖十一 浮力、重力與阻力關係圖

依照國中學到的計算公式

$$W = mg \quad (m : \text{質量}, g : \text{重力加速度} = 9.8\text{m/s}^2)$$

$$B = V_{\text{液面下}} \times D_{\text{液}} \quad (V_{\text{液面下}} : \text{物體在液面下體積}, D_{\text{液}} = \text{液體密度})$$

因為木珠等速度運動，跟據牛頓第一運動定律，合力為零。

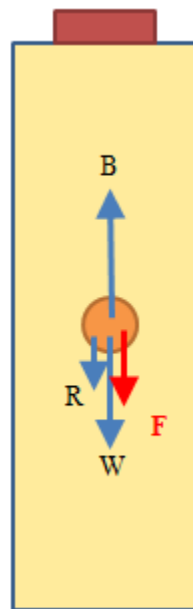
$$B = W + R$$

$R = W - B$ ，因為 W 與 B 都不變，所以理論上 R 應該是固定值

但是流體阻力會與物體在流體中的運動速度有關，速度越快時阻力應該會越大，但在隨者轉速增加，木珠的上升速度變小了，代表阻力變小，所以我們認為瓶子轉動，造成出現一個額外向下的力 F ，上面合力為零的公式應該改寫成

$$B = W + R + F$$

其中 F 是與轉速有關的力，方向應該向下，因為當瓶子轉速快時，木珠上升速度變慢，代表阻力變小，此時因為浮力與重力不變， F 會變大。因此，邊旋轉邊上升的木珠，因為轉速變大，造成 F (與轉速有關，向下的力) 會越大，木珠很快達到力平衡，很快到達終端速度 (等速度運動)，才会有旋轉上升的物體，上浮時間變長的現象出現。



圖十二 浮力、重力、阻力與 F 的關係圖

四、實驗三：探討不同濃度的洗碗精對珠子上升速度的影響

接下來我們想要探討這個力與洗碗精的濃度有甚麼關係，所以我們改變洗碗精的濃度，將洗碗精稀釋成 95%、85%和 75%，重複以下的實驗過程，記錄並分析在不同濃度下，不同瓶子轉速的木珠上升速度。



圖十三 稀釋洗碗精

(一) 實驗過程

1. 將木珠放到水瓶中，並將稀釋好的洗碗精倒入水瓶後裝滿。
2. 將裝有洗碗精和木珠的水瓶直接倒放，使木珠浮到最上方。
3. 按下電鑽開關，等待平台轉速穩定後，將裝有洗碗精和木珠的水瓶正立放在旋轉平台上。
4. 攝影機拍攝木珠上浮情況，並分析影片，讀出木珠由 A 浮到 B 點時間記為 Δt_1 、木珠由 B 浮到 C 點時間記為 Δt_2 ，並且分析影片中的轉速標籤，旋轉 10 圈所花的時間(Δt_3)。
5. 改換不同濃度洗碗精溶液，重複步驟 2-4，我們進行了 6 種不同的轉速。
6. 由 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 、算出不同濃度下的轉速與木珠上升速度，並畫出關係曲線

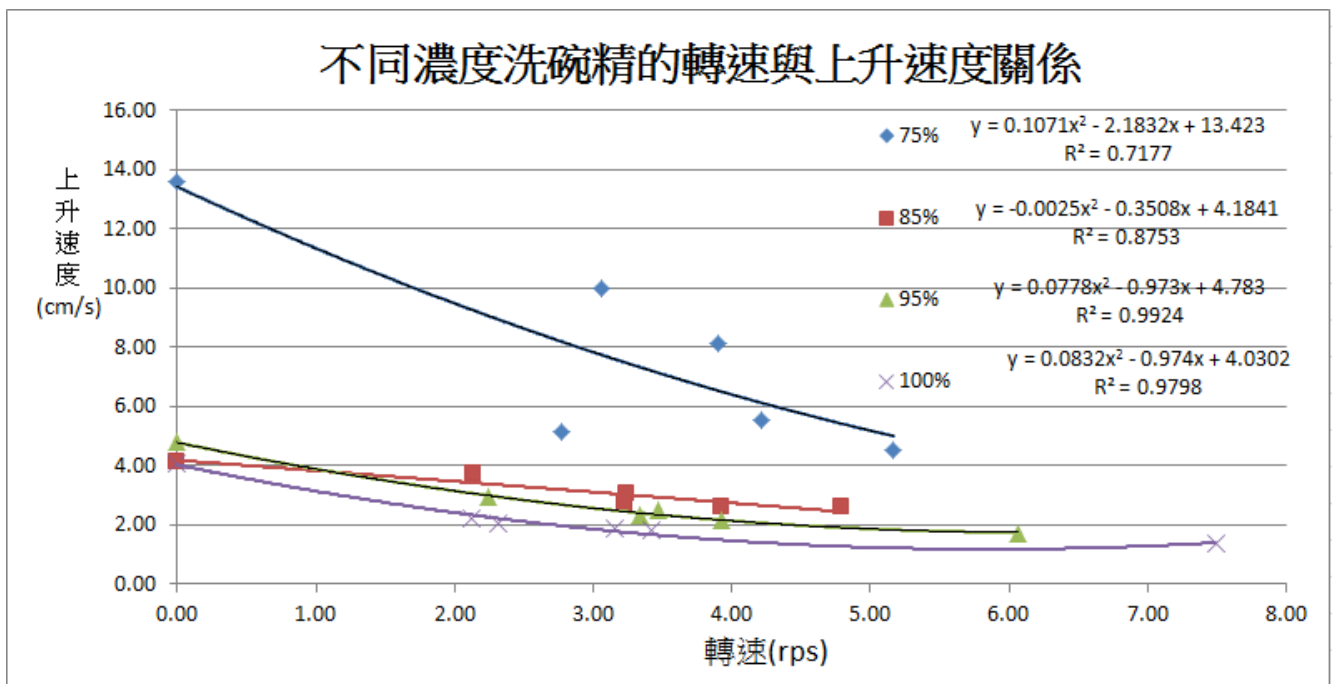
(二) 實驗結果與討論

將實驗數據整理如下表，詳細數據請參考附件

表 不同洗碗精濃度時，轉速與上升速度的關係

75%		85%		95%		100%	
轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)	轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)	轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)	轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)
0.00	13.62	0.00	6.72	0.00	4.58	0.00	4.10
3.06	9.98	3.93	2.61	2.24	2.92	2.13	2.22
3.90	8.15	3.24	3.05	3.93	2.16	2.31	2.03
4.22	5.55	2.14	3.76	3.47	2.52	3.15	1.90
2.77	5.17	3.23	2.72	3.34	2.30	3.42	1.82
5.17	4.55	4.79	2.61	6.07	1.73	7.49	1.38

利用以上數據作圖如下：



圖十四 不同濃度洗碗精中，木球上升速度與轉速的關係圖

由圖我們可以發現，洗碗精濃度越低時，木珠的上升速度越快，而且隨這瓶子的轉速增加，上升速度的下降比例接近，例如瓶子轉速為 4~5rps 時，不管那一種濃度，上升速度都下降約 50~60%。

另外我們將濃度稀釋到 65%時，發現木珠上升速度太快，剛一倒立瓶身，木珠很快上浮過第二階段，所以濃度只做到 75%。

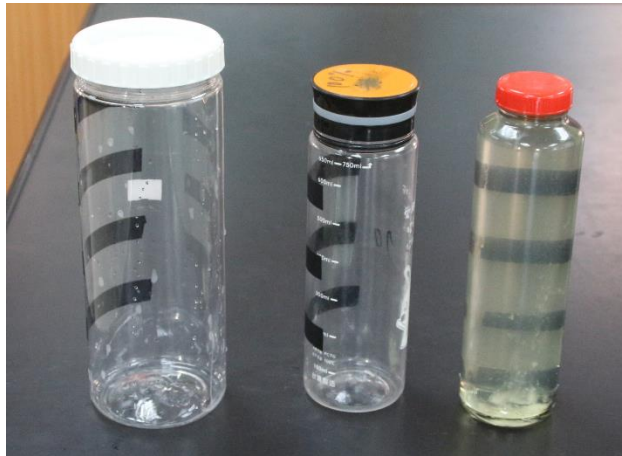
我們觀察不同濃度時，轉速與上升速度的關係，發現都能用 2 次多項式找出他們的趨勢關係。但是，隨著洗碗精濃度的下降，趨勢線的 R^2 也降低；以實驗所使用的洗碗精而言，當濃度在 95%以上，都能利用下列公式算出轉速與上升速度的關係。

高濃度洗碗精時，轉速 ω 與上升速度 v 可以列式為： $v = A\omega^2 + B\omega + C$

(其中 C 為不旋轉時的上升速度)

五、實驗四：探討不同大小直徑的瓶子對珠子上升速度的影響

我們討論後認為當木珠上浮時，上方的液體會向下流動，如果瓶身較細或木珠較大，液體流動的通道就會變小，或許也會改變木珠上升的速度，所以我們準備了另外兩個不同大小的瓶子，並依照瓶身直徑更換旋轉平台的支撐架，然後進行不同轉速下，木珠上浮的實驗，一樣進行 6 個不同轉速，並錄影分析數據



圖十五 不同直徑的水瓶

(一) 實驗過程

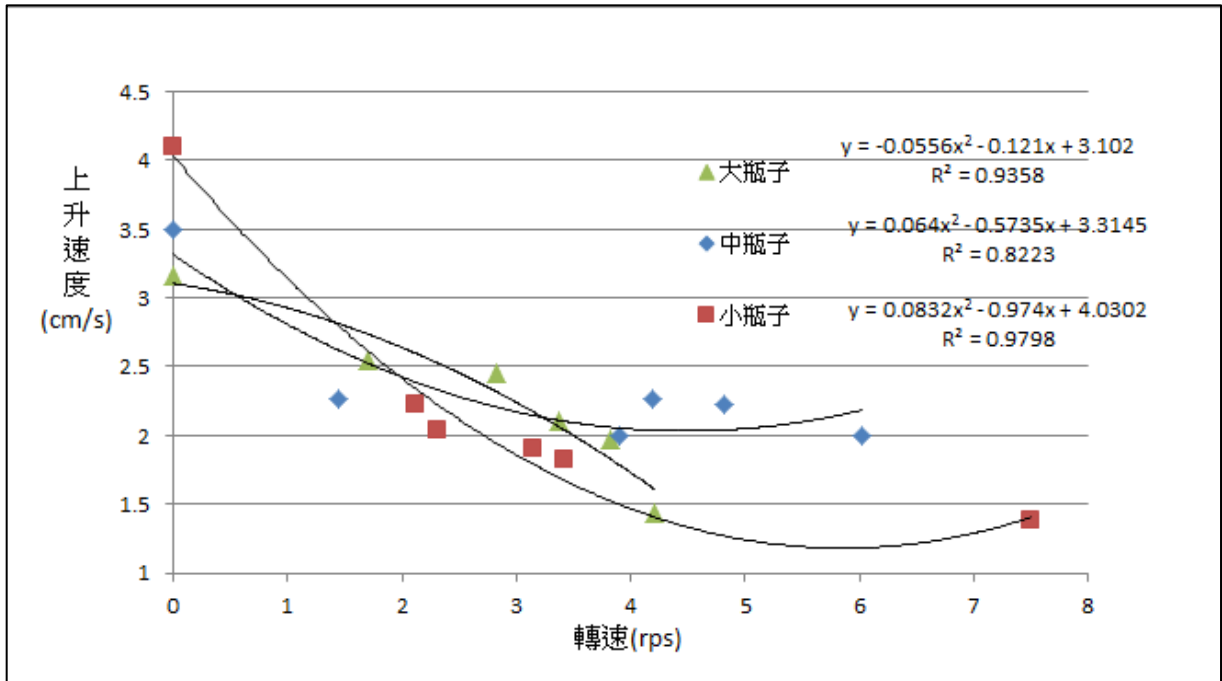
1. 將木珠放到水瓶中，並將洗碗精倒入水瓶後裝滿。
2. 將裝有洗碗精和木珠的水瓶直接倒放，使木珠浮到最上方。
3. 按下電鑽開關，等待平台轉速穩定後，將裝有洗碗精和木珠的水瓶正立放在旋轉平台上。
4. 攝影機拍攝木珠上浮情況，並分析影片，讀出木珠由 A 浮到 B 點時間記為 Δt_1 、木珠由 B 浮到 C 點時間記為 Δt_2 ，並且分析影片中的轉速標籤，旋轉 5 圈所花的時間(Δt_3)。
5. 改換不同直徑的水瓶，重複步驟 2-5，我們進行了 6 種不同的轉速。
6. 由 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 、算出不同濃度下的轉速與木珠上升速度，並畫出關係曲線

(二) 實驗結果與討論

將實驗數據整理如下表，詳細數據請參考附件

表 不同直徑水瓶時，轉速與上升速度的關係

大水瓶(直徑=89.8 mm)		中水瓶(直徑=68.8 mm)		小水瓶(直徑=63.0 mm)	
轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)	轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)	轉速 (rps)	上升速度 (cm/s)
0.00	3.2	0.00	3.5	0.00	4.10
2.82	2.4	1.44	2.3	2.13	2.22
3.82	2.0	6.02	2.0	2.31	2.03
1.69	2.5	3.90	2.0	3.15	1.90
3.37	2.1	4.82	2.2	3.42	1.82
4.21	1.4	4.19	2.3	7.49	1.38



圖十六 不同大小的水瓶中，木球上升速度與轉速的關係圖

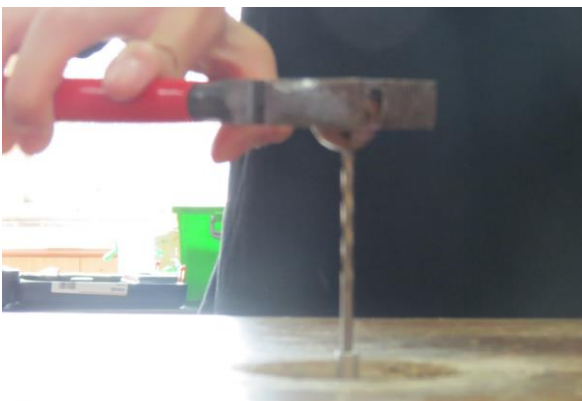
由上圖可以發現，大、中、小瓶子都符合 2 次方的多項式，也會隨著轉速增加而使小木球的上升速度減小，也與我們推測木珠在高濃度洗碗精旋轉下的情況類似。一開始在還沒旋轉前，木珠在小瓶子的移動速度最快，其次是中瓶子，最後是大瓶子。但由實驗數據發現，一旦開始旋轉後，反而變成小瓶子中的木珠降速最大，可以推測，在口徑愈小的瓶子中，木珠減速的力量應該愈大。

六、實驗五：探討珠子表面不同時對珠子上升速度的影響

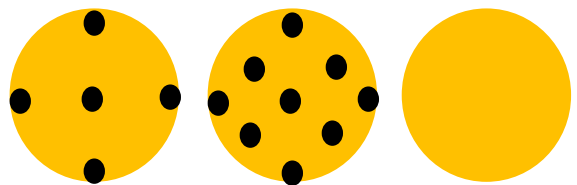
當瓶身旋轉時，內部的洗碗精會被瓶壁帶動，跟著旋轉，造成洗碗精與木珠表面的相對速度增大，我們討論後覺得，如果木珠表面有像高爾夫球表面一樣的凹凸狀況，或許這也會影響到這個上浮速度減慢的情況，所以接下來我們在木珠表面以電鑽製造小凹洞，依不同的凹洞數量分成半滿與全滿，加上無洞的三種條件進行實驗。

(一) 實驗過程

1. 將珠子放到水瓶中，並將稀釋好的洗碗精倒入水瓶後裝滿。
2. 將裝有洗碗精和木珠的水瓶直接倒放，使木珠浮到最上方。
3. 按下電鑽開關，等待平台轉速穩定後，將裝有洗碗精和木珠的水瓶正立放在旋轉平台上。
4. 攝影機拍攝木珠上浮情況，並分析影片，讀出木珠由 A 浮到 B 點時間記為 Δt_1 、木珠由 B 浮到 C 點時間記為 Δt_2 ，並且分析影片中的轉速標籤，旋轉 10 圈所花的時間(Δt_3)。
5. 改換半滿及全滿木珠，重複步驟 2-5，我們進行了 6 種不同的轉速。
6. 由 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 、算出不同表面處理時，轉速與木珠上升速度，並畫出關係曲線



圖十七 利用電鑽將木珠表面挖洞



圖十八 半滿(左)、全滿(中)和無洞(右)的木珠

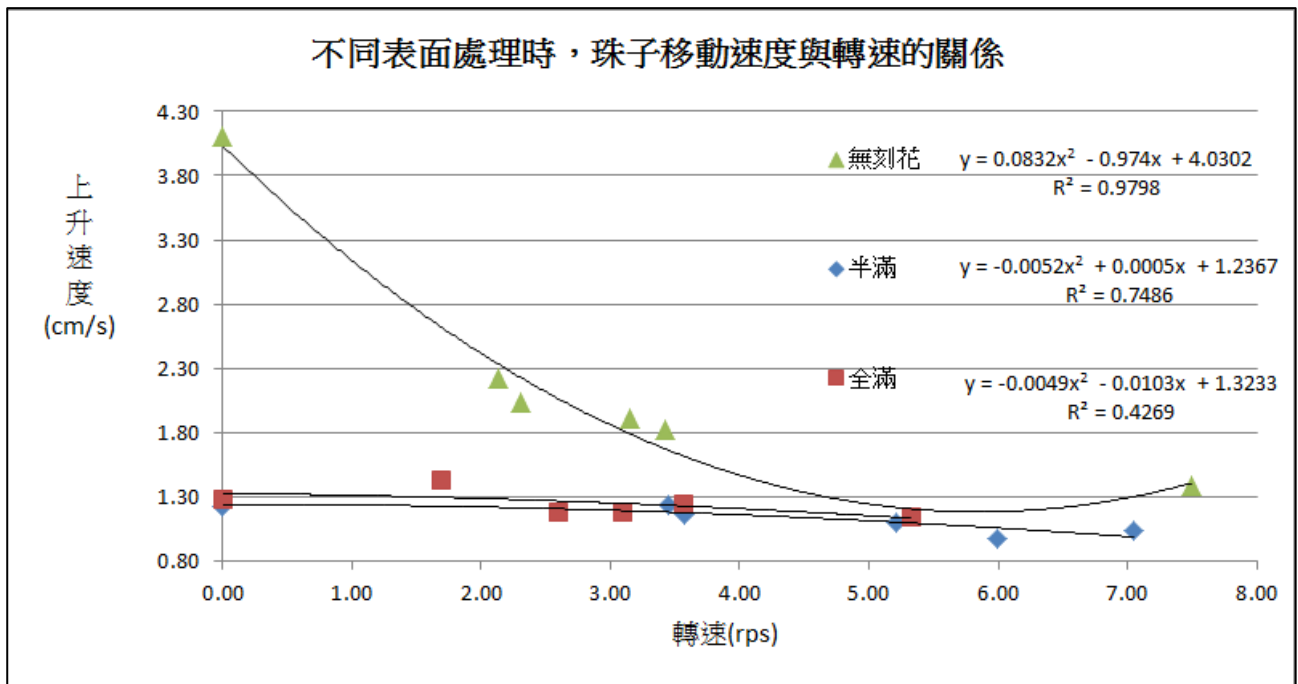
(二) 實驗結果與討論

將實驗數據整理如下表，詳細數據請參考附件

表 不同木珠表面處理時，轉速與上升速度的關係

全滿(14)		半滿(6)		無刻花	
轉速(rps)	上升速度 (cm/s)	轉速(rps)	上升速度 (cm/s)	轉速(rps)	上升速度 (cm/s)
0.00	1.29	0.00	1.23	0.00	4.10
2.59	1.19	5.21	1.10	2.13	2.22
3.09	1.18	3.45	1.24	2.31	2.03
5.33	1.14	7.05	1.04	3.15	1.90
3.56	1.25	3.58	1.16	3.42	1.82
1.68	1.43	5.99	0.96	7.49	1.38

利用以上數據作圖如下：



圖十九 不同木珠表面木球上升速度與轉速的關係圖

由以上圖表，我們可以發現，當我們將木珠表面挖出圓洞後，隨著挖洞的數量愈多，造成木珠上升速度與轉速的關係愈來愈不符合這個 2 次方多項式的趨勢線。經過刻花處理木珠的趨勢線，更像是水平線，上升速度與轉速的關係變得不明顯。推測，是否因為木珠表面經過刻花處理後，產生其他額外的力量，導致木珠上升速度變得更慢；或者，處理過後的木珠，會破壞因轉速而產生的力量。

七、實驗六：探討不同珠子對移動速度的影響

接下來我們想要了解不同大小的珠子對於移動速度的影響，所以我們準備了兩種不同大小的珠子來進行實驗。



圖二十 小木珠(左)、大黃球(中)及實驗情況(右)

(一) 實驗過程

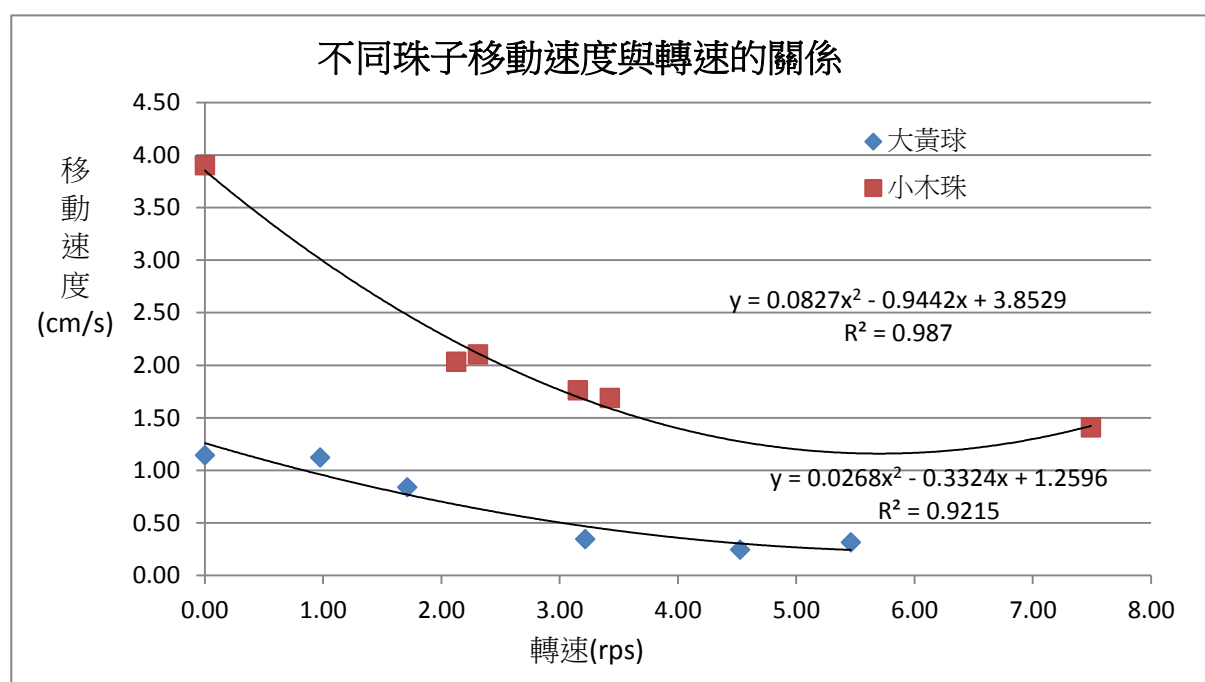
1. 將珠子放到水瓶中，並將稀釋好的洗碗精倒入水瓶後裝滿。
2. 將裝有洗碗精和木珠的水瓶直接倒放，使木珠浮到最上方。
3. 按下電鑽開關，等待平台轉速穩定後，將裝有洗碗精和木珠的水瓶正立放在旋轉平台上。
4. 攝影機拍攝木珠上浮情況，並分析影片，讀出木珠由 A 浮到 B 點時間記為 Δt_1 、木珠由 B 浮到 C 點時間記為 Δt_2 ，並且分析影片中的轉速標籤，旋轉 10 圈所花的時間(Δt_3)。
5. 改換不同珠子，重複步驟 2-5，我們進行了 6 種不同的轉速。
6. 由 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 、算出不同珠子的轉速與珠子移動速度，並畫出關係曲線

(二) 實驗結果與討論

將實驗數據整理如下表，詳細數據請參考附件。小木珠因為密度較小，所以是向上移動，但大黃球因為密度大於洗碗精，因此是直接往下掉。

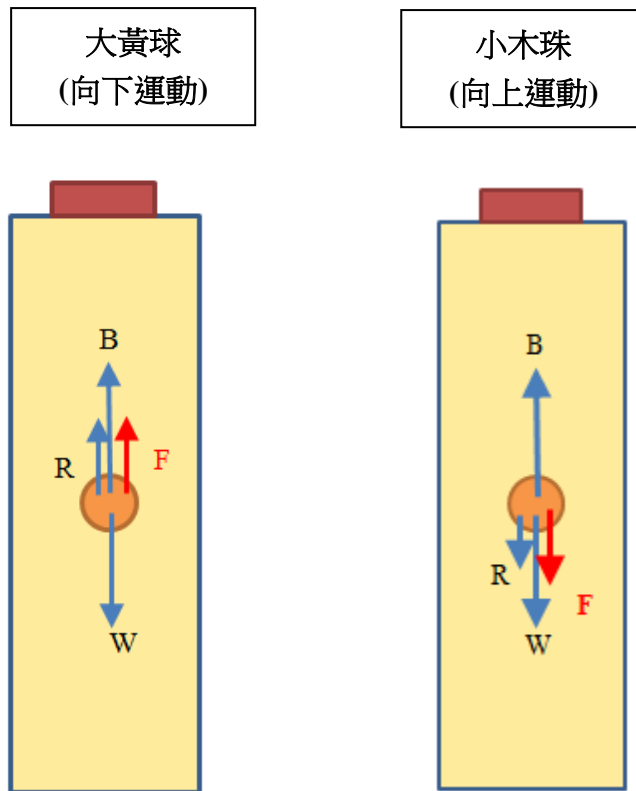
表 不同珠子時，轉速與移動速度的關係

大黃球 (質量 6 g、體積 4 cm ³ 、密度 1.5 g/cm ³)		小木珠 (質量 2 g、體積 2 cm ³ 、密度 1.0 g/cm ³)	
轉速(rps)	下降速度(cm/s)	轉速(rps)	上升速度(cm/s)
0.00	1.14	0	4.13
0.97	1.12	2.13	2.22
1.71	0.84	2.31	2.03
3.22	0.34	3.15	1.90
5.46	0.32	3.42	1.82
4.53	0.24	7.49	1.38



圖二十一 不同珠子移動速度與轉速的關係

由以上圖表可以得知，大黃球與小木球都有旋轉時移動速度減慢的情況，且大黃珠移動的速度小於小木珠，大黃珠也符合 2 次方的多項式。代表不管圓球是向上或向下運動，只要在高濃度洗碗精中進行旋轉，則轉速與移動速度將以 2 次方多項式的關係變化。



圖二十二 不同珠子時，F 的方向

我們討論後，推測旋轉而產生的力 F，會因為珠子運動方向不同，而方向改變。但是只要珠子移動時有旋轉，就會產生這個使珠子變慢的力 F。而這個力，卻會因為表面被破壞，而可能減弱(根據實驗五的結果推測)。

伍、結論

- 一、由實驗一可知，小木珠在上升過程中維持等速度運動。
- 二、由實驗二可知，轉速增加，木珠的上升速度會變小，轉速與上升速度的關係符合 2 次方多項式；並推測隨著轉速增加，木珠將額外產生一下的力量。
- 三、由實驗三可知，洗碗精濃度越低時，木珠的上升速度越快。
- 四、由實驗四可知，不同直徑的水瓶都會因為轉速增加，而使木珠上升速度變慢，但直徑越小的瓶子的木珠減速更明顯。
- 五、由實驗五可知，經過刻花處理木珠的趨勢線，更像是水平線，上升速度與轉速的關係變得不明顯。
- 六、由實驗六可知，不管圓球是向上或向下運動，只要在高濃度洗碗精中進行旋轉，則轉速與移動速度將以 2 次方多項式的關係變化。

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 2-2 水溶液，南一出版。
- 二. 張祐嘉、范哲維、蘇郁恩(2016)。「黏」綿不絕—液體黏滯性對物質沉降影響探討。中華民國第 56 屆中小學科展說明書