

嘉義市第 38 屆中小學科展覽會

作品說明書

科 別:物理科

組 別:國中組

作品名稱:讓水滴跳起舞—水滴的彈跳現象

關 鍵 詞:疏水性、水滴、彈跳旋轉

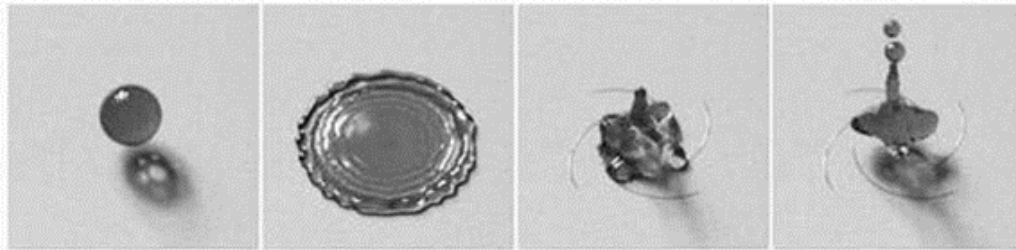
編 號:

摘要

如果水滴撞擊了物體表面，如玻璃，會像黏在上面一樣，需要強大的衝擊才能彈起。但水撞到奈米結構表面，如：荷葉，卻不用劇烈衝擊也能彈起，有時也能旋轉。利用 3D 印表機製作出基底，基底上有個種不通的圖案刻紋，在平面上塗上類似奈米結構的疏水物「碳氟化合物」，在圖案刻紋裡塗上黏性物質如膠水，根據基底黏性物質的圖案不同，能使水滴產生相對應的變化，且各種圖案亦能使水滴的旋轉速度改變。

壹、研究動機

許多的植物的葉片擁有奈米表面，一旦將水滴滴在葉片上，所有的水滴會統一往低處或結構被破壞的表面，也不會留下一滴水在軌跡上。而且衝擊到葉片的話，能夠彈跳和旋轉。在一次的偶然機會下，我們發現可以用許多方法控制水滴的彈跳變化。例如基底的材質，液滴的不同，圖案的變化成了水滴彈跳的變因。對此感到興趣，我們開始著手實驗。



(圖一)

貳、研究目的

1. 實驗水滴會在何種情況下彈起，並探討水彈跳旋轉之原因
 - (1) 實驗一: 在沒有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴有無旋轉
 - (2) 實驗二: 在含有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴有無旋轉
2. 改變基底圖紋，觀察水底彈起的旋轉變化
 - (1) 實驗三: 增加或減少黏性圖案的刻紋條數(刻紋條是圖案中凹陷的圖條，如圖一有四個刻紋條)
3. 以不同的液滴進行實驗
 - (1) 實驗四: 密度較水小液滴，如: 酒精、油
 - (2) 實驗五: 密度較水大液滴，如: 醋、牛奶
4. 嘗試控制水滴回彈高度及每秒轉速
 - (1) 實驗六: 利用隔水加熱法改變基底溫度

參、研究設備及器材



(圖二):基底



(圖三):用於有刻紋面之疏水物



(圖四):用於無刻紋面之疏水物



(圖五):各式滴具



(圖五):各種液滴



(圖六):燒杯



(圖七): 滴定管架

肆、研究過程或方法

一、製作基底

利用 123D Design 製作出基底的圖形，導入 skyware 後，再將資料傳送到 3D 印表機印製

二、實驗過程 (以滴管出口高度 35 40 45 50 公分，與基底平面呈垂直進行各種實驗)

1. 在無圖案的基底上進行實驗，再改成有圖案之基底進行。
2. 在不同圖案的基底上進行實驗，確認水滴彈跳的變化。
3. 改以密度較大或較小之液低進行滴定，來觀察對水滴彈跳的影響。
4. 將滴管出口高度限制在 40 公分，並用酒精燈以隔水加熱法加熱基底至 30 40 50 度，來確認可否導致水滴的旋轉加速。(以手機的攝影機拍攝以上實驗)

三、分析數據

1. 將以上實驗拍出的水滴彈跳狀況上傳至 Tracker 後，放慢速度並分析水滴的撞擊點和彈跳高度。
2. 將數據導入 excel 分析並計算函數算式和點狀圖。

四、研究原理

1. 疏水性: 疏水性指的是一個分子與水互相排斥的物理性質。這種分子稱為疏水物。(我們使用的碳氟化合物也是一種疏水物) 疏水性分子偏向於非極性，並因此較會溶解在中性和非極性溶液 (如有機溶劑)。疏水性分子在水裡通常會聚成一團，而水在疏水性溶液的表面時則會形成一個很大的接觸角而成水滴狀。

伍、研究結果與討論

1.實驗水滴會在何種情況下彈起，並探討水彈跳旋轉之原因

實驗一: 在沒有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴的彈跳及旋轉情形

操縱變因:滴管出水口高度

應變變因(一):碰撞後水滴回彈高度

	30 公分	35 公分	40 公分	45 公分	50 公分
第一次	0.84 公分	0.95 公分	1.10 公分	1.18 公分	1.22 公分
第二次	0.80 公分	0.97 公分	1.05 公分	1.17 公分	1.25 公分
第三次	0.79 公分	0.94 公分	1.07 公分	1.11 公分	1.21 公分
第四次	0.83 公分	0.92 公分	1.08 公分	1.15 公分	1.23 公分
平均高度	0.81 公分	0.95 公分	1.08 公分	1.15 公分	1.23 公分

表格一:無基底圖案時出水口高度與水滴回彈高度變化數據

應變變因(二):碰撞後水滴旋轉圈數(圈/秒)

	30 公分	35 公分	40 公分	45 公分	50 公分
第一次	2.5 圈	2.4 圈	2.5 圈	2.1 圈	1.8 圈
第二次	2.3 圈	2.1 圈	2.3 圈	2.3 圈	2.5 圈
第三次	3.0 圈	2.0 圈	2.1 圈	2.0 圈	1.9 圈
第四次	2.0 圈	2.1 圈	2.2 圈	1.9 圈	2.3 圈
平均圈數	2.2 圈	2.2 圈	2.3 圈	2.1 圈	2.1 圈

表格二:無基底圖案時出水口高度與水滴旋轉圈數變化數據

實驗二:在含有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴的彈跳及旋轉情形

操縱變因:滴管出水口高度

應變變因(一):碰撞後水滴回彈高度

	30 公分	35 公分	40 公分	45 公分	50 公分
第一次	0.72 公分	0.85 公分	0.96 公分	1.04 公分	1.11 公分
第二次	0.75 公分	0.86 公分	0.95 公分	1.03 公分	1.12 公分
第三次	0.73 公分	0.84 公分	0.94 公分	1.03 公分	1.10 公分
第四次	0.71 公分	0.86 公分	0.95 公分	1.05 公分	1.13 公分
平均高度	0.73 公分	0.85 公分	0.95 公分	1.04 公分	1.11 公分

表格三:有基底圖案時出水口高度與水滴回彈高度變化數據

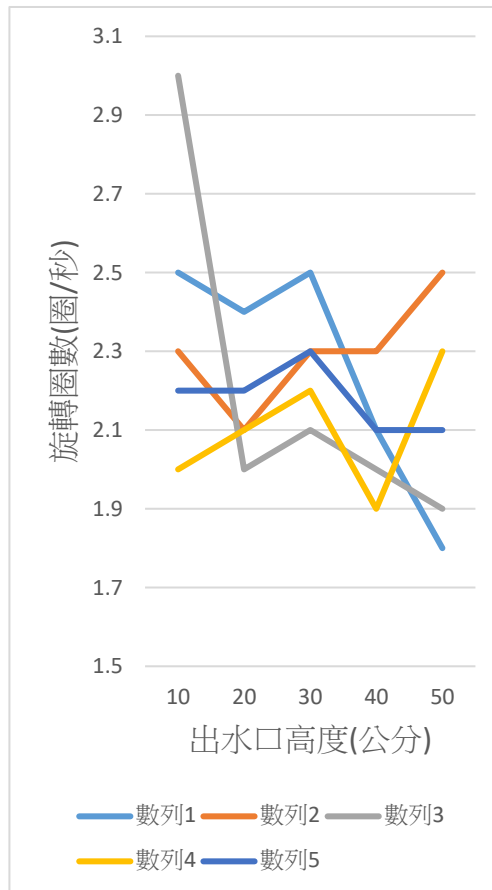
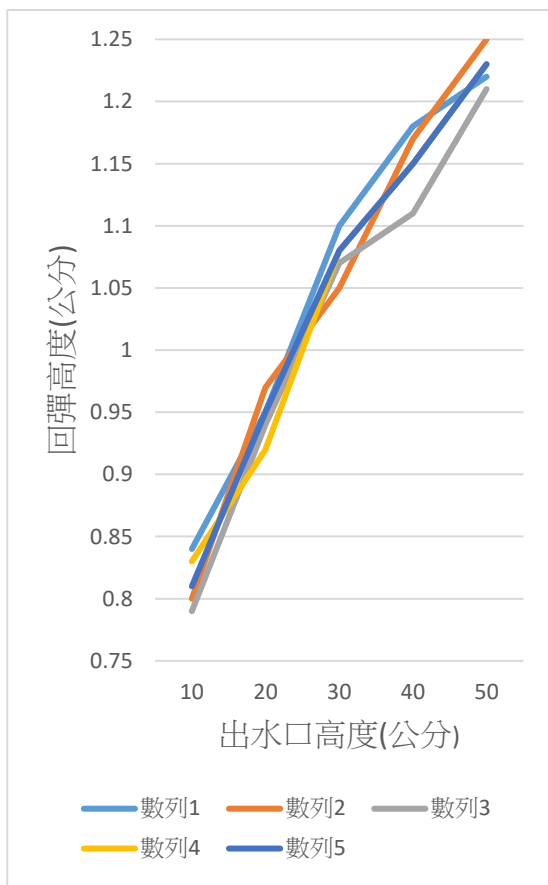
應變變因(二):碰撞後水滴旋轉圈數(圈/秒)

	30 公分	35 公分	40 公分	45 公分	50 公分
第一次	35 圈	39.4 圈	47.0 圈	51.6 圈	56.4 圈
第二次	33.8 圈	40.2 圈	45.6 圈	52.4 圈	55.5 圈
第三次	33.9 圈	39.7 圈	45.9 圈	51.8 圈	56.1 圈
第四次	34.5 圈	41.2 圈	46.3 圈	52.1 圈	55.9 圈
平均圈數	34.3 圈	40.1 圈	46.2 圈	52.0 圈	56.0 圈

表格四:有基底圖案時出水口高度與水滴旋轉圈數變化圖數據

分析數據變化圖:

實驗一



數列 1:第一次實驗

數列 2:第二次實驗

數列 3:第三次實驗

數列 4:第四次實驗

數列 5:平均值

(圖十二):出水口高度與水滴回彈高度變化關係圖

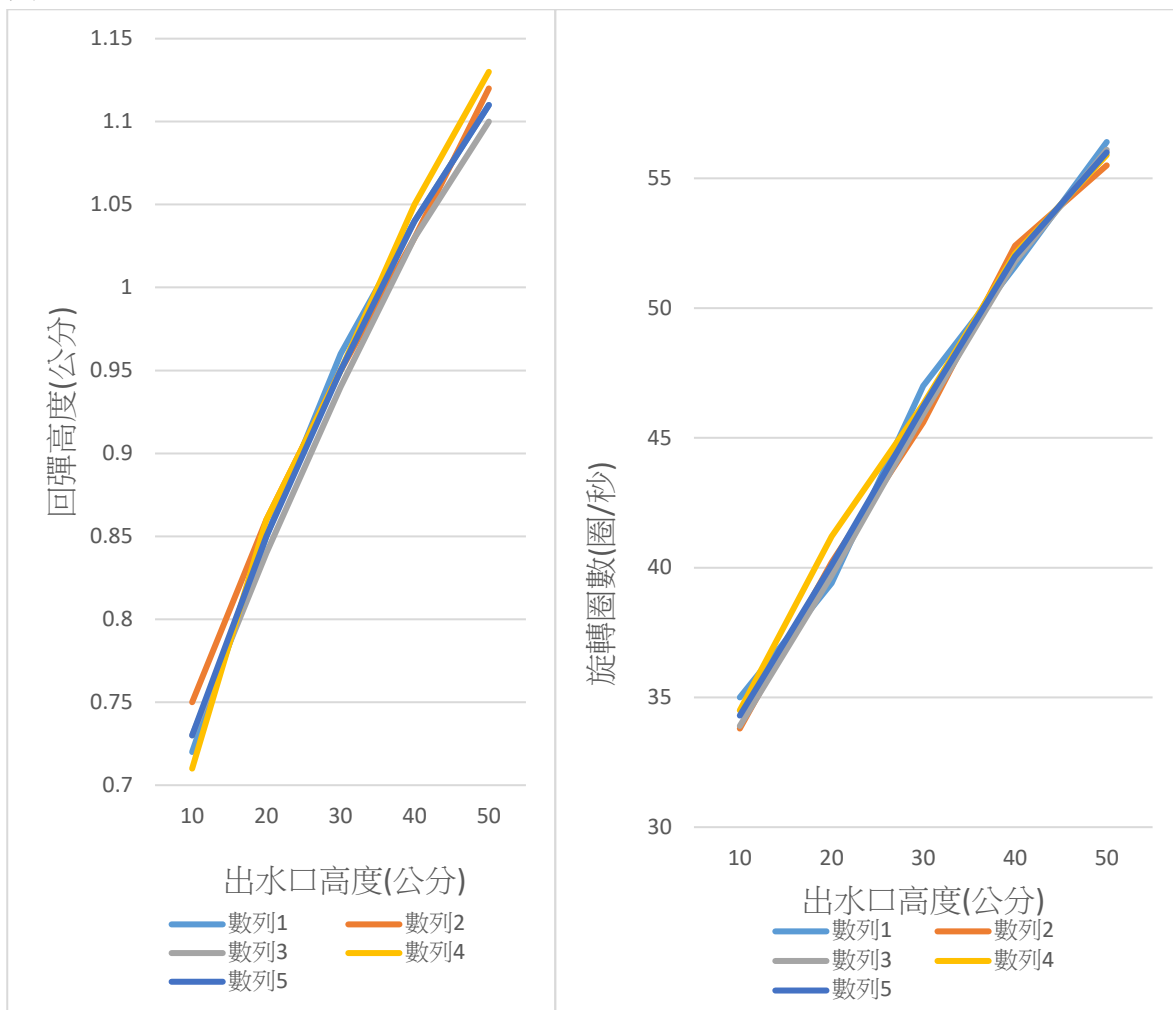
(圖十三)出水口高度與水滴旋轉圈數變化關係圖

(1)在無圖案實驗中，水滴衝撞後回彈之高度，與出水口的高度成正比，如圖(十二)所示，從自由落體的觀點來看，出水口高度愈高，回彈高度應愈高，但刺處似乎應高度差太小而此無效果。

(2)如圖(十三)所示，在無圖案的情況下，水滴的旋轉次數並不隨出水口高度增加而增長，

因此我們得知，水滴的旋轉是和黏性圖案有關連的。

實驗二



(圖十四)出水口高度與水滴回彈高度變化關係圖

(圖十五)出水口高度與水滴旋轉圈數變化關係圖

(1)在有圖案實驗中，水滴的回彈高度依舊與出水口高度成正比，如圖(十四)所示，但我們同時也發現，與無圖案比較，此實驗水滴的回彈高度較低。

(2)如圖(十五)所示，水滴的旋轉圈數在有圖案的情況下，旋轉圈數與水滴出水口高度成正比，我們也確定水滴的旋轉是因回彈時水滴受到黏性圖案干擾而形成的。

實驗一、二結果:

- 1.在無圖案的基底進行實驗，回彈效果佳，但旋轉情況在不同高度時皆相近且不明顯。
- 2.在含有圖案的基底進行實驗，回彈效果普通，旋轉圈數明顯上升。
- 3.將實驗一與實驗二進行比較，發現回彈高度一比二更高，我們判斷是因其將這些能量消耗在旋轉狀態。

2.改變基底圖紋，觀察水底彈起的旋轉變化

實驗三:增加或減少黏性圖案的刻紋條數，觀察水滴的回彈及旋轉情形

操縱變因:刻紋條數

應變變因(一):碰撞後水滴回彈高度

	四條	三條	五條	六條	七條
第一次	0.72 公分	0.79 公分	0.69 公分	0.62 公分	0.58 公分
第二次	0.75 公分	0.80 公分	0.71 公分	0.61 公分	0.55 公分
第三次	0.73 公分	0.78 公分	0.68 公分	0.61 公分	0.57 公分
第四次	0.71 公分	0.77 公分	0.70 公分	0.63 公分	0.55 公分
平均高度	0.73 公分	0.79 公分	0.70 公分	0.62 公分	0.56 公分

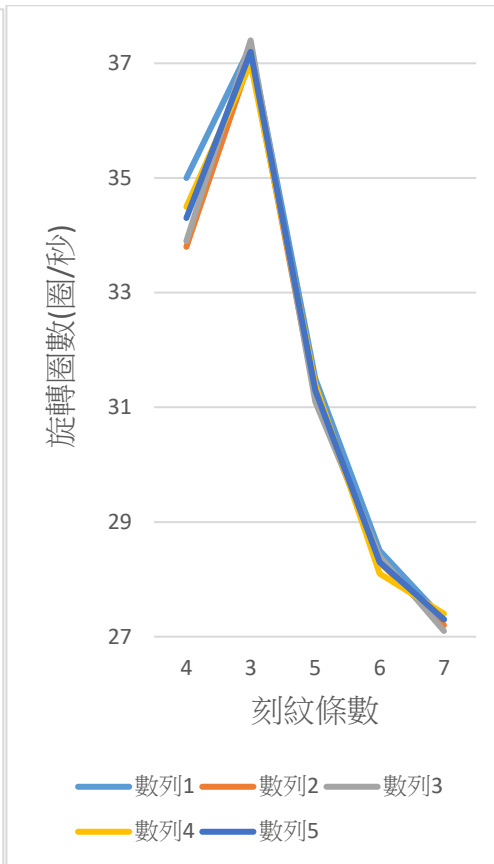
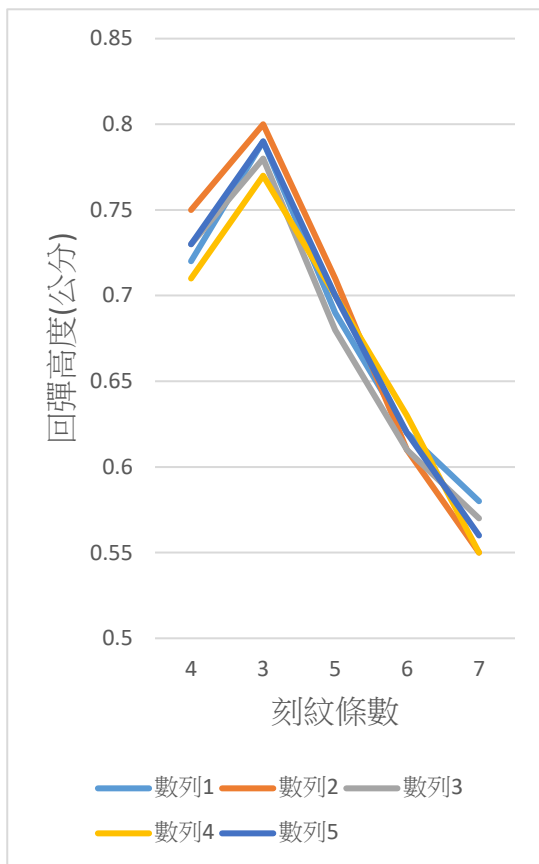
表格五:基底刻紋條數與水滴回彈高度變化數據

應變變因(二):碰撞後水滴旋轉圈數(圈/秒)

	四條	三條	五條	六條	七條
第一次	35 圈	37.3 圈	31.5 圈	28.5 圈	27.3 圈
第二次	33.8 圈	37.1 圈	31.2 圈	28.3 圈	27.2 圈
第三次	33.9 圈	37.4 圈	31.1 圈	28.4 圈	27.1 圈
第四次	34.5 圈	37.0 圈	31.4 圈	28.1 圈	27.4 圈
平均圈數	34.3 圈	37.2 圈	31.3 圈	28.3 圈	27.3 圈

表格六:基底刻紋條數與水滴旋轉圈數變化數據

分析數據變化圖



數列 1:第一次實驗

數列 2:第二次實驗

數列 3:第三次實驗

數列 4 第四次實驗

數列 5:平均值

(圖十六)基底的刻紋條數與水滴回彈高度關係圖

(圖十七)基底刻紋條數與水滴旋轉圈數關係圖

(1)如圖(十六)、(十七)，水滴的回彈及旋轉和刻紋條數成反比。也就是刻紋越多，回彈高度及旋轉圈數會越少。我們推測是因撞擊到基底時，水滴受到較多的黏性物質干擾，需要較多的能量才能回彈及旋轉

(2)每增加一條刻紋時，刻紋的直徑必須變得更小，才不會使刻紋全部亂在一起，所以黏性物質的量差會變小，所以兩次比較差距會變小。

實驗三結果:

1.減少刻紋條數，水滴碰撞後的回彈高度和旋轉圈數將會增加。

2.增加刻紋條數，水滴碰撞後的回彈高度和旋轉圈數將會減少，但增加越多刻紋條數時，其回彈高度和旋轉圈數的差距將會逐漸變小。

3.以不同的液滴進行實驗

實驗四:使用密度較水大之液滴進行實驗

操縱變因:使用密度比水小之液滴進行實驗並與水對照

應變變因(一):碰撞後液滴回彈高度

	水	醋	全脂牛奶
第一次	0.72 公分	0.78 公分	0.96 公分
第二次	0.75 公分	0.81 公分	0.98 公分
第三次	0.73 公分	0.79 公分	0.99 公分
第四次	0.71 公分	0.82 公分	0.95 公分
平均高度	0.73 公分	0.80 公分	0.97 公分

表格七:密度較水大之液滴與水滴回彈高度變化數據

應變變因(二):碰撞後液滴旋轉圈數(圈/秒)

	水	醋	全脂牛奶
第一次	35 圈	35.5 圈	36.7 圈
第二次	33.8 圈	36.1 圈	36.8 圈
第三次	33.9 圈	35.8 圈	36.5 圈
第四次	34.5 圈	35.9 圈	36.9 圈
平均圈數	34.3 圈	35.8 圈	36.7 圈

表格八:密度較水大之液滴與水滴旋轉圈數變化數據

實驗五:使用密度比水小之液滴進行實驗

操縱變因:使用密度比水大之液滴進行實驗並與水對照

應變變因(一):碰撞後水液滴回彈高度

	水	酒精	油
第一次	0.72 公分	0.67 公分	0.62 公分
第二次	0.75 公分	0.66 公分	0.61 公分
第三次	0.73 公分	0.69 公分	0.63 公分
第四次	0.71 公分	0.68 公分	0.61 公分
平均高度	0.73 公分	0.67 公分	0.62 公分

表格九:密度較水小之液滴與水滴回彈高度變化數據

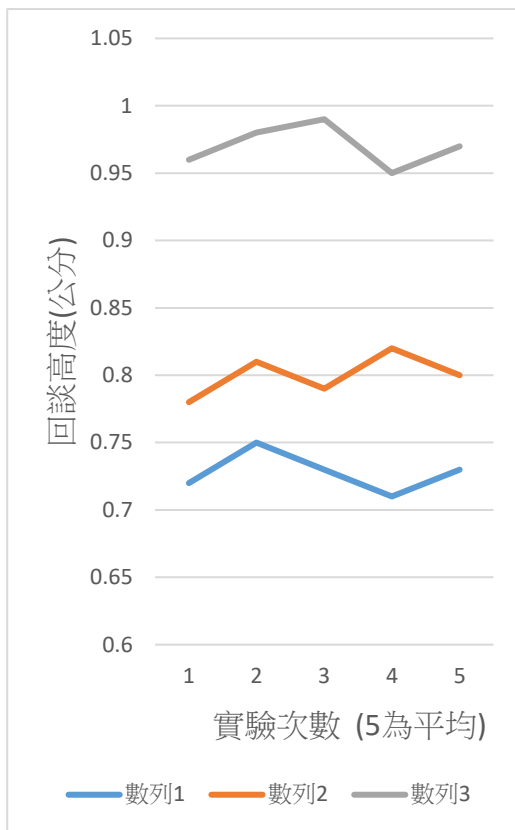
應變變因(二):碰撞後水滴回旋轉圈數(圈/秒)

	水	酒精	油
第一次	35 圈	30.5 圈	26.2 圈
第二次	33.8 圈	30.2 圈	25.9 圈
第三次	33.9 圈	30.4 圈	26.4 圈
第四次	34.5 圈	30.1 圈	26.1 圈
平均高度	34.3 圈	30.3 圈	26.2 圈

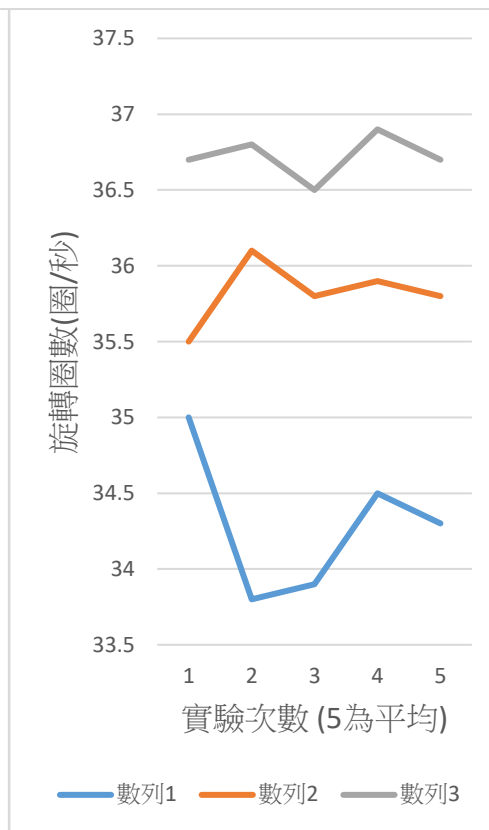
表格十:密度較水小之液滴與水滴旋轉圈數變化數據

分析數據變化圖

實驗四:



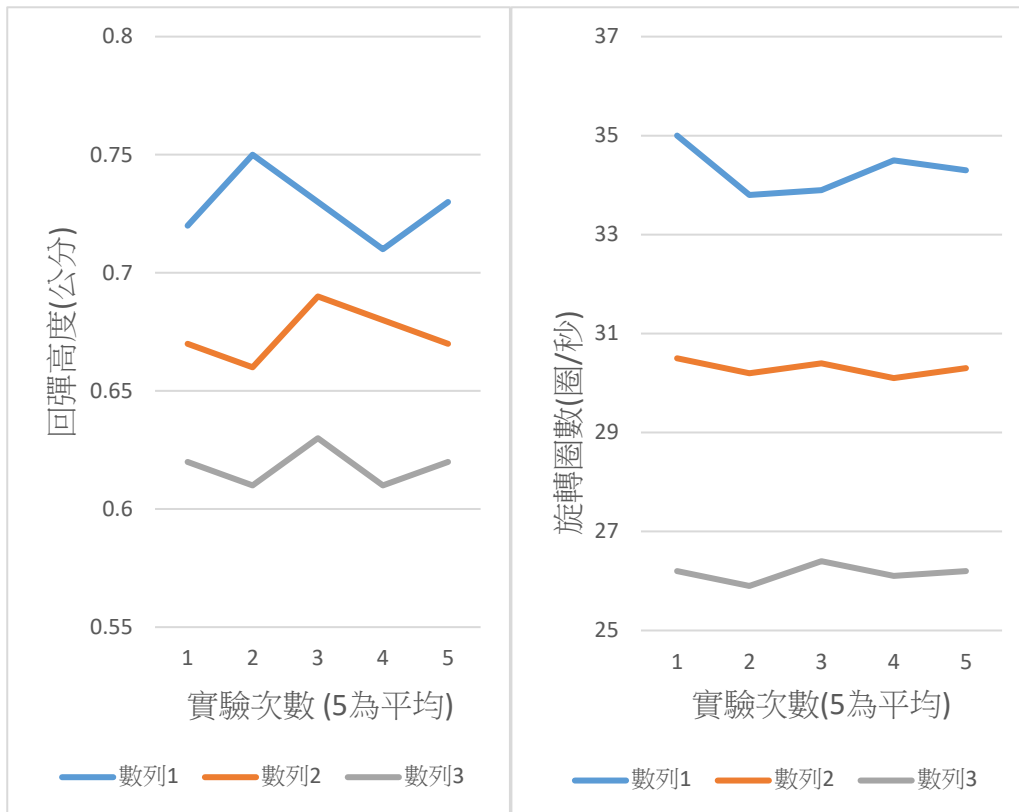
(圖十八)密度較水大之液滴造成水滴回彈高度變化關係圖



數列 1:水
 數列 2:醋
 數列 3:全脂牛奶

(圖十九)密度較水大之液滴造成水滴旋轉圈數變化關係圖

實驗五:



(圖二十)密度較水小之液滴造成水滴回彈高度變化關係圖

(圖二十一)密度較水小之液滴造成水滴旋轉圈數變化關係圖

(1)使用密度較水大之液滴進行實驗，分析後如圖(十九)、(二十)，會發現碰撞後液滴的回彈高度和旋轉圈數是和液滴的密度成正比，且密度差距越大，回彈高度和旋轉圈數的差距也會變大。

(2)同理，密度越小之液滴，其撞擊後回彈之高度與旋轉圈數也會越低。

(3)我們發現，雖然牛奶密度較大，但一般牛奶摻雜的物質比較多，所以有時差距較大，由十又較小，且不同種類牛奶(如全脂、低脂牛奶)所導致的結果也不同。

實驗結果:

1.使用密度較水大之液滴進行實驗，雖然衝撞力量較水大，使回彈時高度較高和旋轉速度較快，但是密度越大也越難使其回彈和旋轉，所以能量大部分因此抵消，差距微乎其微。

2.同理，用密度較水小之液滴時，其回彈高度和旋轉速度與水相比都稍微變低。

4.嘗試控制水滴回彈高度及每秒轉速

實驗六:利用隔水加熱法改變基底溫度，嘗試控制水滴回彈高度與每秒轉速

操縱變因:基底溫度(攝氏)

應變變因(一):碰撞後水滴回彈高度

	30 度	40 度	50 度	60 度	70 度
第一次	0.72 公分	0.74 公分	0.82 公分	0.95 公分	1.13 公分
第二次	0.75 公分	0.79 公分	0.83 公分	0.93 公分	1.15 公分
第三次	0.73 公分	0.76 公分	0.85 公分	0.94 公分	1.16 公分
第四次	0.71 公分	0.78 公分	0.8 公分	0.91 公分	1.12 公分
平均高度	0.73 公分	0.77 公分	0.84 公分	0.93 公分	1.14 公分

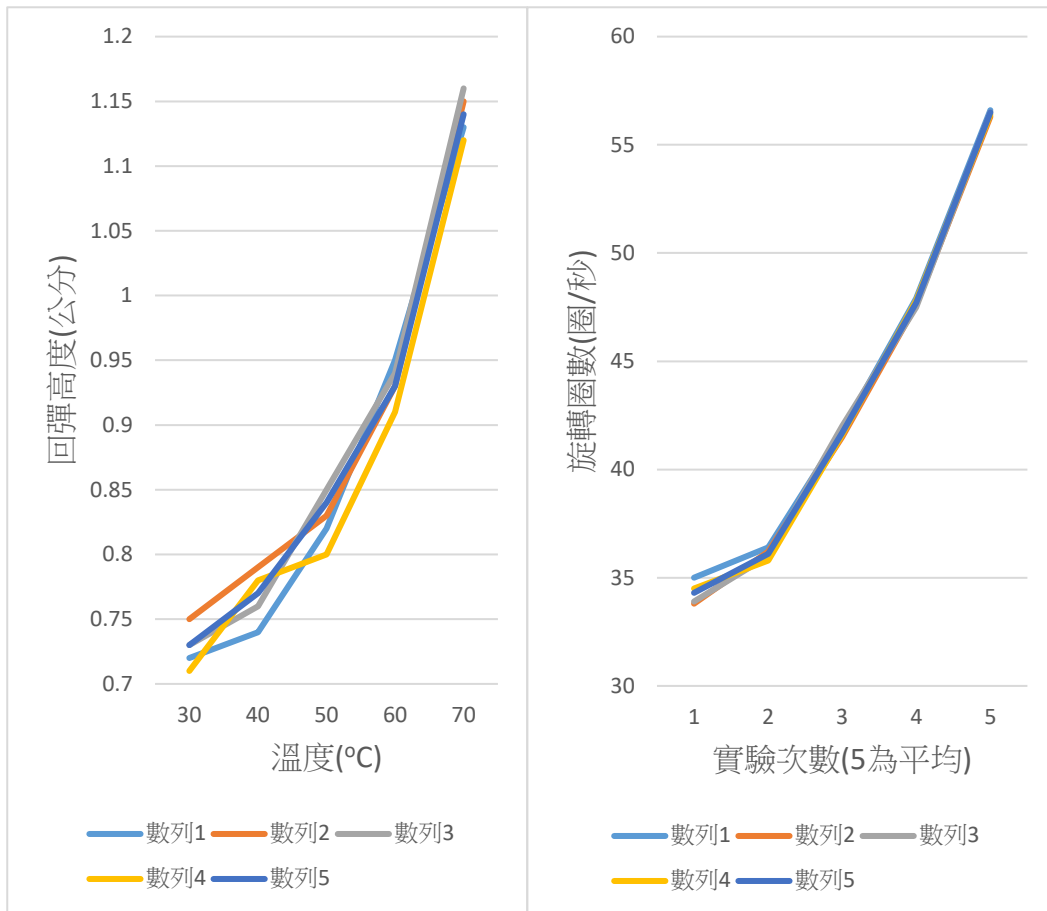
表格十一:基底溫度與水滴回彈高度變化數據

應變變因(二):碰撞後水滴旋轉圈數(圈/秒)

	30 度	40 度	50 度	60 度	70 度
第一次	35 圈	36.4 圈	41.8 圈	47.9 圈	56.6 圈
第二次	33.8 圈	36.2 圈	41.5 圈	47.6 圈	56.3 圈
第三次	33.9 圈	36.0 圈	42.0 圈	47.5 圈	56.5 圈
第四次	34.5 圈	35.8 圈	41.6 圈	47.8 圈	56.4 圈
平均圈數	34.3 圈	36.1 圈	41.7 圈	47.7 圈	56.5 圈

表格十二:基底溫度與水滴旋轉圈數變化數據

分析數據變化圖



(圖二十二)基底溫度與水滴回彈高度變化關係圖

(圖二十三)基底溫度與水滴旋轉圈數變化關係圖

- (1)如圖(二十二)、(二十三)，使用隔水加熱法加熱基底後，因水滴撞擊基底，除了原本撞擊後給予的能量，接觸基底，基底也會給予水滴能量，使其回彈高度和旋轉圈數增加，因此改變基底溫度是可以操控水滴的彈跳情況的。
- (2)當溫度達到 50 度以上時，我們發現水滴的彈跳與旋轉在每增加 10 度後，差距都逐漸拉大。

實驗結果

- 1.觀察實驗結果，得知回彈高度及旋轉圈數確實可用溫度控制，且溫度與回彈高度及旋轉圈數成正比
- 2.將基底的溫度升高會使水滴撞擊時水會增加蒸發量(極少)，因此當溫度達 50 度以上時水滴地回彈高度和旋轉圈數會因質量減少而差距微小的拉大。

陸:實驗結論及應用

根據以上實驗之結果，我們得知了許多水滴撞擊基底後的回彈和旋轉情形，結論如下:

實驗一: 在沒有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴的彈跳及旋轉情形

(1)在無圖案的基底進行實驗，我們推測其回彈高度是所有實驗中最高的，因為沒有其他變因進行干擾，且出水口越高，回彈高度也越高。

(2)實驗結果中的旋轉圈數，其數值接近於 0，因此我們將其視為實驗誤差。

實驗二:在含有黏性圖案的基底實驗，漸漸加大衝擊力，確認水滴的彈跳及旋轉情形

(1)在有圖案的基底進行實驗，回彈高度普通，其回彈高度亦會隨出水口高度增加而增加。

(2)與實驗一相比，實驗二較可確定旋轉圈數的原因，其轉圈數也會隨出水口高度增加而增加。

實驗一、二綜合結論:

(1)拿此兩次實驗做比較，發現實驗一的水滴回彈高度確實比實驗二要來的高，但旋轉圈數的差距更加巨大。

(2)確認液滴在回彈時會旋轉是因接觸基底後，是因受到黏性物質的干擾而形成的。

實驗三:增加或減少黏性圖案的刻紋條數，觀察水滴的回彈及旋轉情形

(1)減少刻紋條數，因為受到較少黏性物質干擾，較容易回彈，因此水滴碰撞後的回彈高度和旋轉圈數將會增加。

(2)增加刻紋條數，刻紋的直徑會比原本的直徑更細，所以黏性物質增加的量差會變少，因此回彈高度雖會減少，但幅度會逐漸減少。

實驗四:使用密度較水大之液滴進行實驗

(1)使用密度較水大之液滴進行實驗，其回彈高度和旋轉圈數會比水多，且密度差距越大，數據也差越多

實驗五:使用密度比水小之液滴進行實驗

使用密度較水小之液滴進行實驗，其回彈高度和旋轉圈數會比水少，竊密度差距越小，數據差距也將越小

實驗四、五綜合結論:

使用密度較水大之液滴，其回彈高度和旋轉圈數較高的原因是因是同體積的液滴。密度越大則重量越重，撞擊基底的力量也較大，但同時要使其回彈所需的能量也比水多，所以差距並不會太大，而密度較水小之液滴亦同理。

實驗六:利用隔水加熱法改變基底溫度，嘗試控制水滴回彈高度與每秒轉速

(1)基底溫度越高，水滴的回彈高度和旋轉圈數會增加，因此我們得知確實可用溫度控制實驗的結果。

(2)當基底溫度超過 50 度時，在水滴接觸基底的短暫時間裡，導致水產生微量的蒸發，所以在 50 度以上，我們可以較清楚的看到水滴的回彈高度和旋轉高度都比前一次的增長要多，而我們也將其視為實驗誤差

應用:

在生活中，有許多物品需要防水，所以只要在物品上刻上許多本次實驗的圖案，能夠使物品本身的壽命維持更久。如:電器用品外殼，重要的文書資料，防水衣物，以及現在防疫最重要的用品:口罩，在此類物品表面刻上此圖案，能夠更有效的防水，防飛沫。

柒:參考資料

題目來源:<https://kknews.cc/zh-tw/science/3vjy9g.html>(水滴的華爾茲!)

參考文獻:<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01584717/document>(Superpropulsion of Droplets and Soft Elastic Solids)