

花蓮縣第 60 屆國民中小學科學展覽會  
作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：湖面上的科學~~水上葉子間的力

關鍵詞：

喜瑞士(Cheerios effect)現象、表面張力、樹葉

編號：

(由教育處統一編列)

## 目 錄

1. 摘要	1
2. 壹、研究動機	1
3. 貳、研究目的	1
4. 參、研究設備及器材	1
5. 肆、研究方法	3
6. 伍、實驗過程、結果與討論	6
7. 陸、結論	15
8. 柒、參考資料	17

## 摘要

本實驗欲探討影響水面上葉子之間相吸、相斥力的大小的因素，設計實驗一到實驗三，使用3D 列印模擬不同形狀、角度之葉子，錄下其在水面上移動的情形並使用電腦程式 tracker 分析計算，記錄之。實驗證明，葉片的角度、形狀、放置方式均會影響葉子的移動方向及加速度。且正面與正面，或反面與反面的葉子之間，葉緣與葉緣、葉尖與葉尖會互相吸引；反之，葉緣與葉尖卻產生排斥力量。葉子正反排列，發現恰好與上述的結論相反。同樣，我們也有做力的大小的比較。

## 壹、研究動機

在教室前的池塘，大大小小的葉子總是聚集在一起，引起了我們的好奇心，撿了兩片葉子，隨意的丟入水中，葉子卻排斥開來了。我們開始思考導致這現象的可能性，想到第一個假設是水的流動，但在水盆中實驗，發現沒有流動的水上，葉子仍然會排斥或吸引。之後發現葉子會改變水面的彎曲形狀，知道這一點後，我們猜想，葉子正反或是葉片方向會造成葉子相吸或排斥的不同，用簡單的實驗驗證了猜想，便想進一步的了解此現象，所有情況下，一個變因的改變，會不會導致斥力，引力大小不同？

## 貳、研究目的

- 一、探討葉子的正反面對水面上葉子移動加速度的影響。
- 二、探討葉子的形狀對（橢圓、正圓形）水面上葉子移動加速度的影響。
- 三、探討葉子的方向（葉緣、葉尖）對水面上葉子移動加速度的影響。
- 四、探討葉子的角度（0 度、15 度、30 度）對水面上葉子移動加速度的影響。

## 參、研究設備及器材

- 一、容器：壓克力透明水箱
- 二、器材：3D 印表機、模擬的各種葉子、手機
- 三、程式：Tracker (速度及加速度分析)



手機



真實葉片



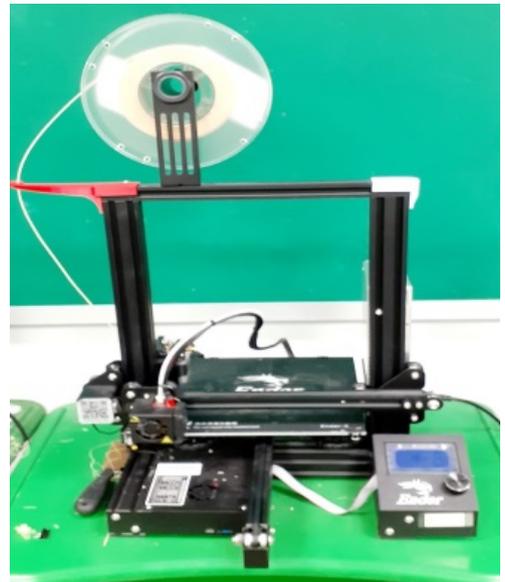
Tracker



模擬的各種葉子



壓克力透明水箱



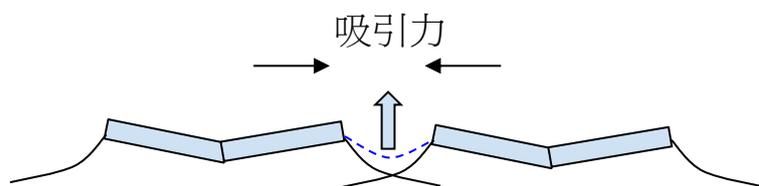
3D 印表機

## 肆. 研究方法

### 一、實驗原理：

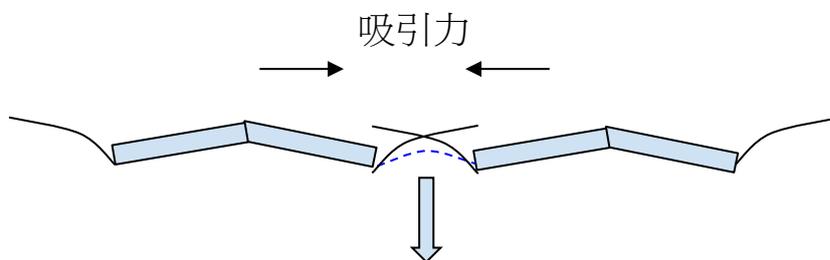
在自然界，許多昆蟲如水黽可以透過水的表面張力在水面的移動而不下沉，而水面上的葉子也正是因為水表面張力的原因而懸浮於水面上。再者，根據喜瑞士(Cheerios effect)現象，物體懸浮於水面上的彎曲可以產生吸引力或是排斥力，由於水分子互相吸引的緣故，表面的面積會受到內部水分子的吸引而趨向最小化的趨勢，此作用便造成兩葉子在水面會因為結構不同的關係而受到截然不同方向與大小的力量。

1. 吸引力：若葉子正面朝上，水面的彎曲呈現凹向上的情形，兩葉緣之間水面因為彎曲程度增加，而表面張力趨向面積最小化的緣故（使兩葉子之間的水面上升），對葉子產生吸引力量。



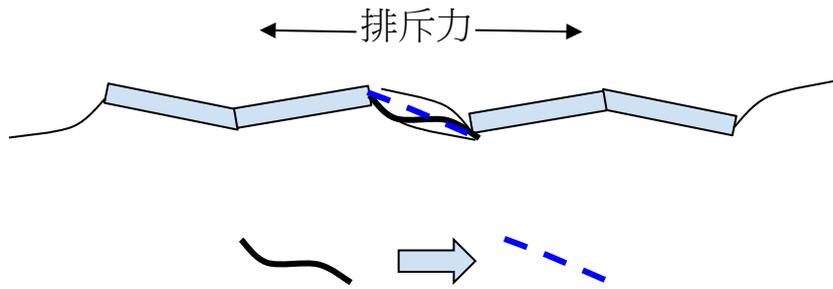
圖一. 正面-正面放置與水面的彎曲

然而，若將兩片葉子正面朝下，水面與葉子之間呈現凹向下情形，造成兩葉源間的水面上升，表面張力促使使兩葉子之間的水面下降，故產生吸引力。



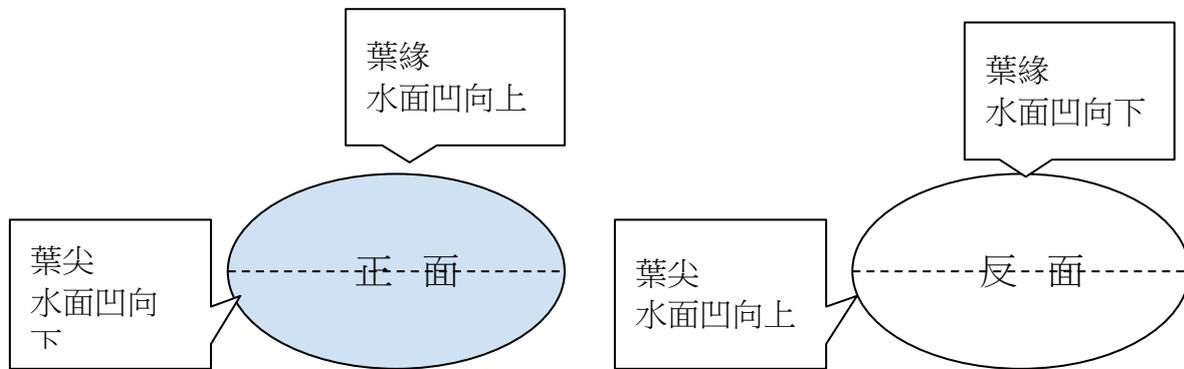
圖二. 反面-反面放置與水面的彎曲

2. 排斥力：當兩片葉子邊緣的水面彎曲情形恰好相反（凹向上-凹向下），造成葉子之間的水面面積增加，表面張力趨向面積最小化如同將彎曲的黑線張開為藍色的虛線。所以產生了排斥的效果。



圖三. 正面-反面放置與水面的彎曲

通常葉子的葉緣與葉尖彎曲的方向恰好相反，所以造成水表面彎曲的情況也是相反的，本實驗將研究葉子的彎曲角度，葉子的形狀與葉子的部位產生不同力量的大小與方向。葉子不同的部位也會產生不同的水面彎曲結果，由於自然界的葉子大多成曲面形狀，如下圖所示



圖四. 正面-反面放置與水面的彎曲 俯視圖



圖五. 真實葉片於水面上

由圖五.可以觀察到真實的葉片放置於水面上，會因為液面彎曲的原因，產生與水面之間的彎曲有所改變。圖五 是一個正面朝上的葉子，所以參考圖四，葉緣的水面呈現凹向上，而葉尖的水面呈現凹向下。

二、實驗架構：



圖 六. 研究架構圖

三、研究流程：我們根據研究的目的，設計了以下幾個實驗：

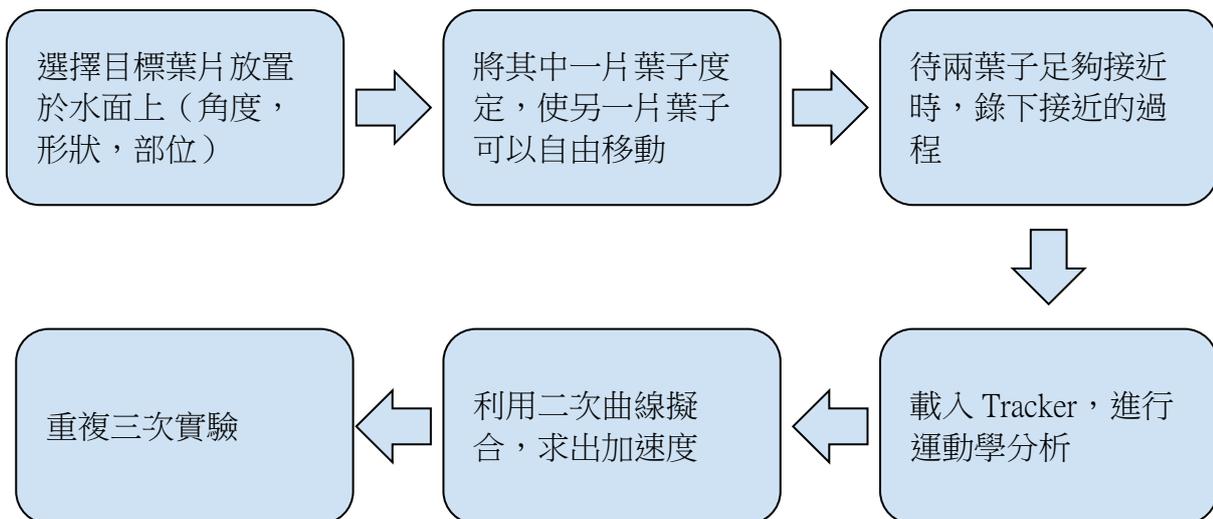


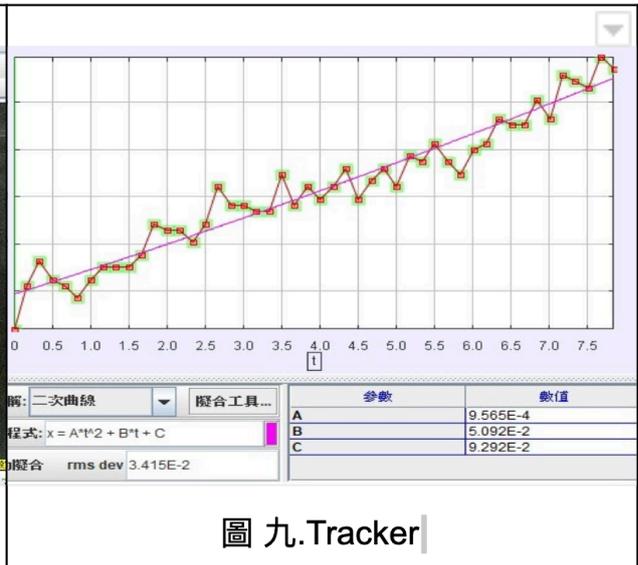
圖 七. 研究流程圖

## 伍、實驗過程、結果與討論

### 一、實驗一：正面-正面葉子在水面上的運動行為



圖八.實驗拍攝



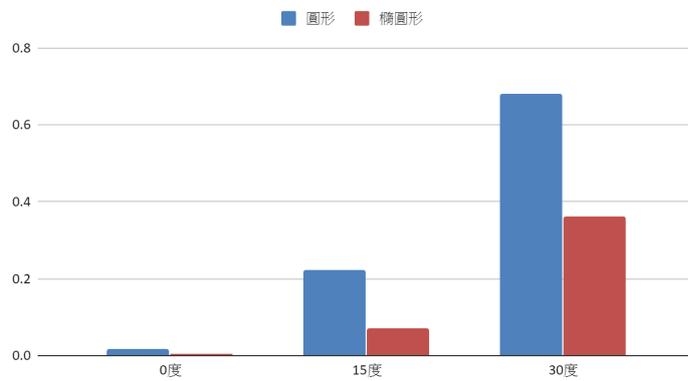
圖九.Tracker

#### 1. 實驗步驟：

- (1) 將葉子放置水面上，並固定其一（正面-正面朝上放置）。
- (2) 選擇角度 0 度-0 度
- (3) 將兩片葉子以葉尖對葉尖的方向靠近，觀察並錄下兩者的運動狀態改變。
- (4) 將影片傳入 Tracker，分析擬合加速度，重複三次實驗。
- (5) 更改為葉緣對葉緣的排列。
- (6) 重複(3)實驗。
- (7) 更改為葉尖對葉緣的排列。
- (8) 選擇角度 15 度-15 度。
- (9) 重複 (3) - (7) 實驗步驟。
- (10) 選擇角度 30 度-30 度。
- (11) 重複 (3) - (7) 實驗步驟。

## 2. 實驗結果

圓形和橢圓形 葉尖-葉尖 正面-正面

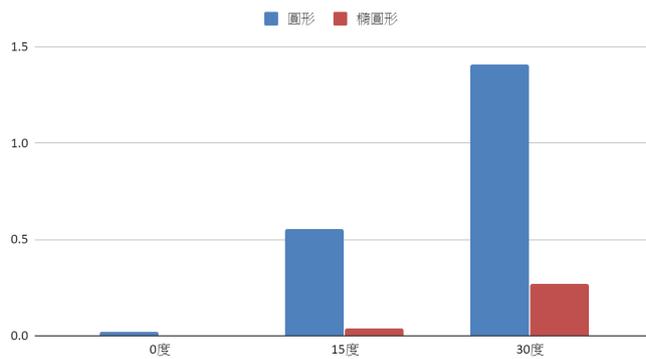


圖十. 正正尖尖吸引力

表一.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.00573333333
15度	0.2233333333	0.0713333333
30度	0.68	0.3626666667
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.01544840876
15度	0.01443375673	0.0713333333
30度	0.04242640687	0.08663332692

圓形和橢圓形 葉緣-葉緣 正面-正面

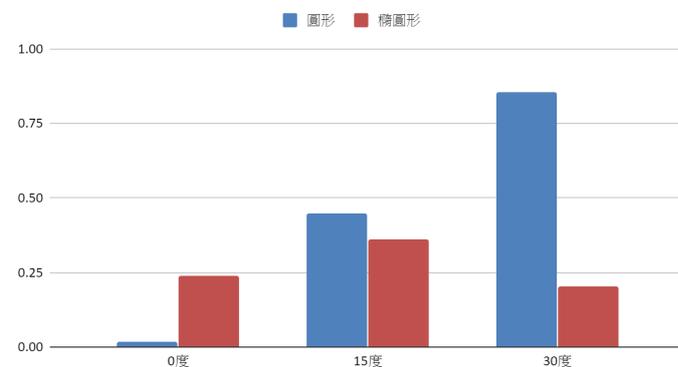


圖十一. 正正緣緣吸引力

表二.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.004
15度	0.5533333333	0.038
30度	1.4066666667	0.2666666667
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.00499299509
15度	0.08020806277	0.01058300524
30度	0.1934769581	0.03214550254

圓形和橢圓形 葉尖-葉緣 正面-正面



圖十二. 正正尖緣排斥力

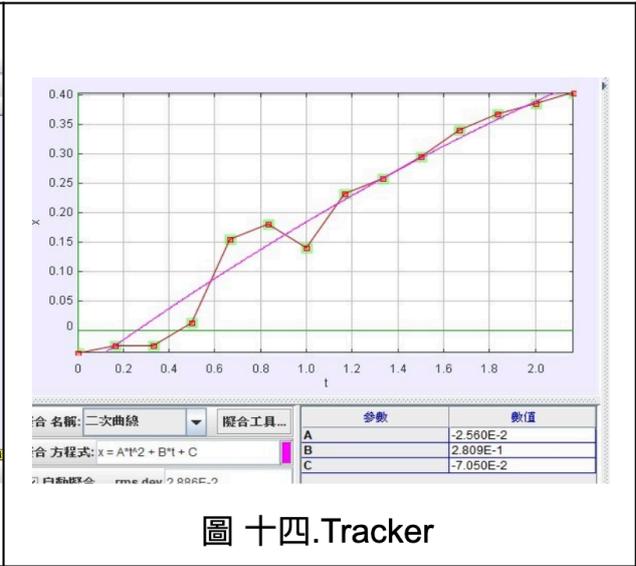
表三.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.2373333333
15度	0.4466666667	0.3606666667
30度	0.8533333333	0.2046666667
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.1572429119
15度	0.06027713773	0.251078341
30度	0.2136195996	0.05200320503

### 3. 實驗討論

- (1) 本實驗雖然考慮不同的形狀與角度，但我們維持每個葉片皆具有相同的質量，所以透過 Tracker 分析的加速度可表示為物體所受的外力。
- (2) 根據實驗，發現葉子正面與正面的放置時，葉緣與葉緣具有吸引力，葉尖與葉尖之間具有吸引力；而葉緣與葉尖之間是屬於排斥力。此現象可由實驗原理中，液體表面張力的原理解釋。
- (3) 根據圖十，可以觀察到當葉子的角度愈大，則兩片葉子之間的吸引力量則愈強（0 度 < 15 度 < 30 度）。
- (4) 根據圖十，葉尖與葉尖的放置，橢圓形與圓形的比較，可以發現圓形的葉子，受到的吸引力較橢圓形受到的吸引力強，推測是因為圓形的葉片，對水面彎曲的影響較大，所以喜瑞士效應亦較強。
- (5) 根據圖十，0 度的葉子，無論形狀為何，吸引力相當小，可以推測是液體表面彎曲程度不明顯的關係所導致，若液面彎曲不明顯，則作用力的有效距離將大幅的縮減。
- (6) 根據表一，與圖十，發現 0 度的葉片，相對於平均值，誤差相當大，推測是 0 度的葉片，液體表面彎曲程度不明顯的關係所導致。
- (7) 見表二，0 度葉緣-葉緣放置的實驗中，誤差大於平均值，是因為三次重複實驗中，時而產生吸引力，時而產生排斥力，可能的原因是物體於水表面移動時的拖曳力量大於吸引力，所以產生反方向的加速度所致。
- (8) 比較圖十與圖十一，發現葉子（葉緣與葉緣）之間的吸引力遠大於（葉尖與葉尖）的吸引力，因為葉緣的長度較葉尖的長度還長，造成液體彎曲的區域較大，所以液體表面張力所產生的恢復力量較強。
- (9) 根據圖十二，葉尖與葉緣放置的葉片中，橢圓形的葉片於 15 度時的排斥力量最強。

## 二、實驗二：反面-反面葉子在水面上的運動行為

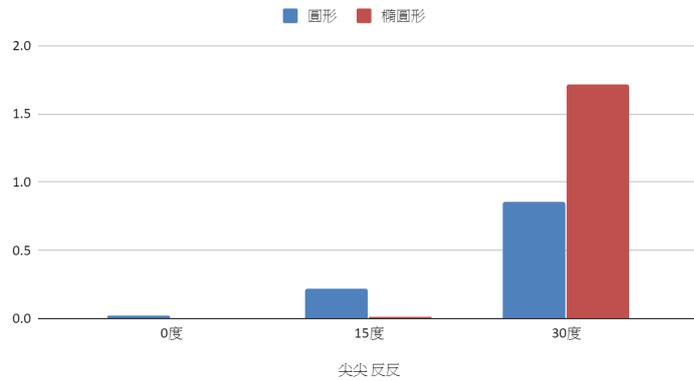


### 1. 實驗步驟：

- (1) 將葉子放置水面上，並固定其一（反面-反面朝上放置）。
- (2) 選擇角度 0 度-0 度
- (3) 將兩片葉子以葉尖對葉尖的方向靠近，觀察並錄下兩者的運動狀態改變。
- (4) 將影片傳入 Tracker，分析擬合加速度，重複三次實驗。
- (5) 更改為葉緣對葉緣的排列。
- (6) 重複(3)實驗。
- (7) 更改為葉尖對葉緣的排列。
- (8) 選擇角度 15 度-15 度。
- (9) 重複 (3) - (7) 實驗步驟。
- (10) 選擇角度 30 度-30 度。
- (11) 重複 (3) - (7) 實驗步驟。

## 2. 實驗結果

圓形和橢圓形 葉尖-葉尖 反面-反面

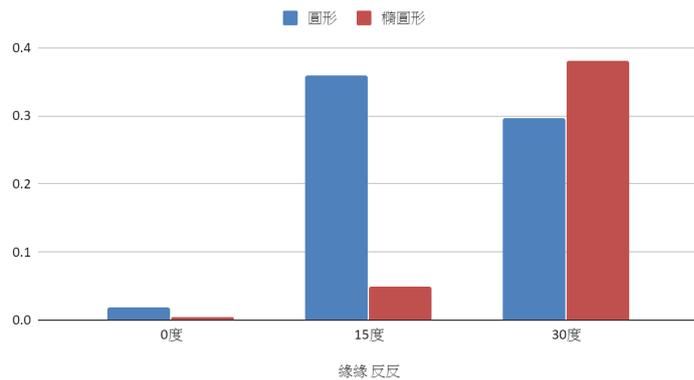


圖十五. 反反尖尖吸引力

表四.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.00573333333
15度	0.168	0.08
30度	0.3733333333	0.556
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.01544840876
15度	0.02271563338	0.01014889157
30度	0.06506407099	0.3061241578

圓形和橢圓形 葉緣-葉緣 反面-反面

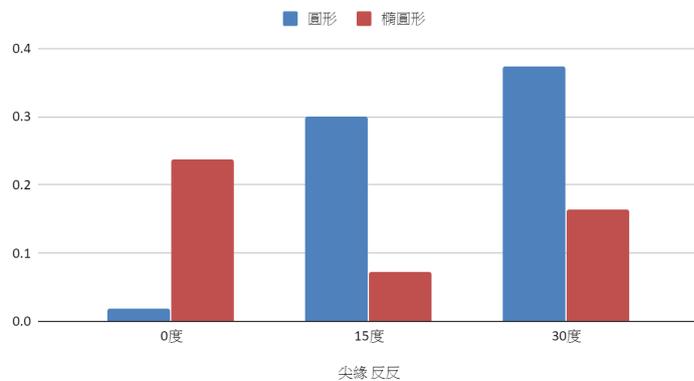


圖十六. 反反緣緣吸引力

表五.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.004
15度	0.36	0.05
30度	0.296	0.38
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.00499299509
15度	0.06557438524	0.00264575131
30度	0.07464583043	0.01

圓形和橢圓形 葉尖-葉緣 反面-反面



圖十七. 反反尖緣排斥力

表六.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.2373333333
15度	0.5126666667	0.0318
30度	1.7266666667	0.5866666667
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912155	0.1572429119
15度	0.2718461575	0.02016705234
30度	0.4680099714	0.06658328118

### 3. 實驗討論

- (1) 根據實驗，發現葉子反面與反面的放置時，葉緣與葉緣具有吸引力，葉尖與葉尖之間具有吸引力；而葉緣與葉尖之間是屬於排斥力。此現象可由實驗原理中，液體表面張力的原理解釋。
- (2) 根據圖十五，可以觀察到當葉子的角度愈大，則兩片葉子之間的吸引力量則愈強（0 度<15 度<30 度）。
- (3) 根據圖十五，葉尖與葉尖的放置，0 度與 15 度時，橢圓形與圓形的比較，可以發現圓形的葉子，受到的吸引力較橢圓形受到的吸引力強，推測是因為圓形的葉片，對水面彎曲的影響較大，所以喜瑞士效應亦較強。
- (4) 根據圖十五，葉尖與葉尖的放置，30 度時，橢圓形葉片受到的吸引力較圓形受到的吸引力強，此實驗結果與實驗一正面-正面放置時的結果相反，但近一步的檢視表四實驗標準差達到平均值的 70%，可知橢圓形的葉片在葉尖與葉尖的吸引過程具有相當大的不確定性，再與 0、15 度的結果相比較，發現前兩者的吸引力皆相當小，所以我們預測 30 度角的引力亦相當小。
- (5) 根據圖十六的結果，意外的發現 15 度角的圓形葉片，葉緣-葉緣吸引力大於其餘兩個角度。推測是因為 30 度角反面朝上放置時，兩端浸入水面的體積較多，造成移動過程中的阻力較大，吸引力較小。而橢圓形的葉子並無相關的現象發生。
- (6) 見表五，0 度葉緣-葉緣放置的實驗中，誤差大於平均值，是因為三次重複實驗中，時而產生吸引力，時而產生排斥力，可能的原因是物體於水表面移動時的拖曳力量大於吸引力，所以產生反方向的加速度所致。
- (7) 比較圖十五與圖十六，發現除了圓形 15 度的葉子外，葉子（葉尖與葉尖）之間的吸引力大於（葉緣與葉緣）的吸引力，因為與 30 度角的葉片比較，浸入水中的體積較少，推測因此移動時受到水的拖曳力影響較少的原因。
- (8) 根據圖十七，葉尖與葉緣放置的葉片中，圓形的葉片於 30 度時的排斥力量最強。

### 三、實驗三：正面-反面葉子在水面上的運動行為

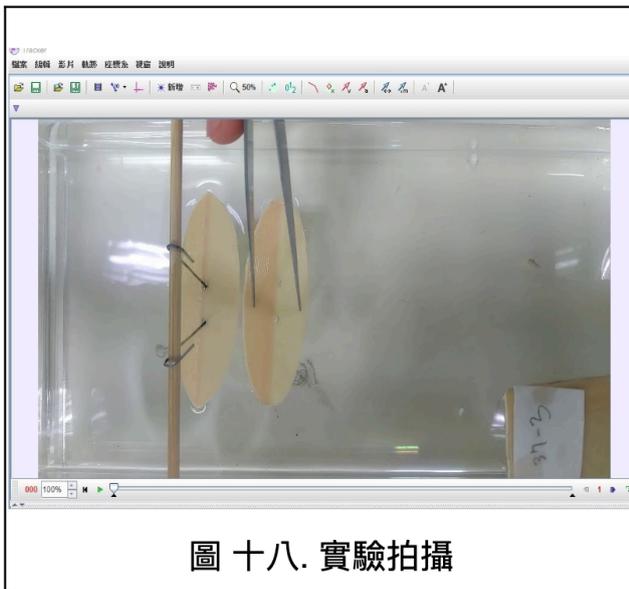


圖 十八. 實驗拍攝

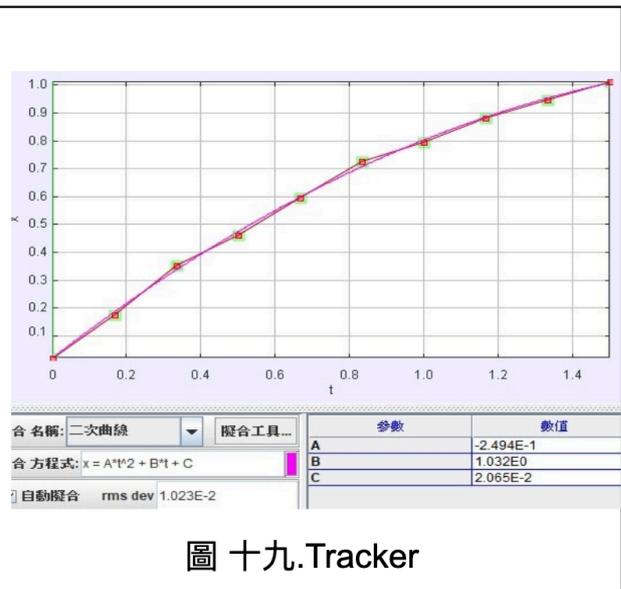
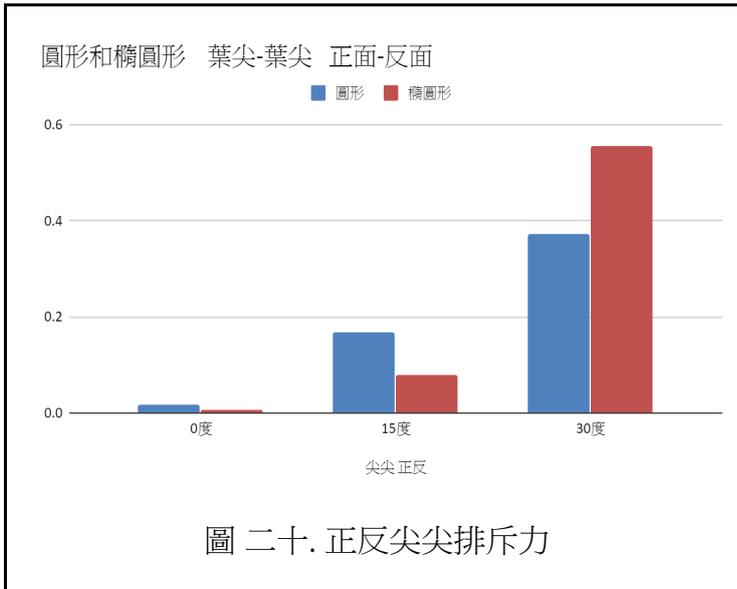


圖 十九.Tracker

#### 1. 實驗步驟：

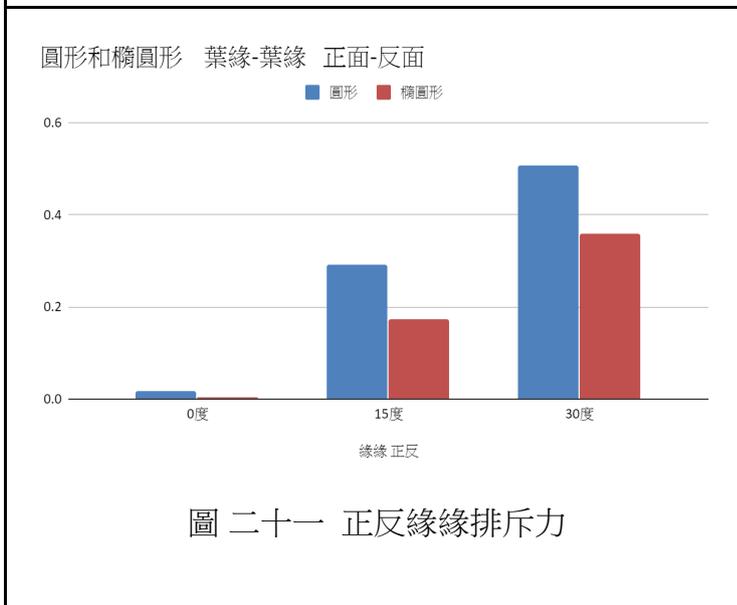
- (1) 將葉子放置水面上，並固定其一（正面-反面朝上放置）。
- (2) 選擇角度 0 度-0 度
- (3) 將兩片葉子以葉尖對葉尖的方向靠近，觀察並錄下兩者的運動狀態改變。
- (4) 將影片傳入 Tracker，分析擬合加速度，重複三次實驗。
- (5) 更改為葉緣對葉緣的排列。
- (6) 重複(3).實驗。
- (7) 更改為葉尖對葉緣的排列。
- (8) 選擇角度 15 度-15 度。
- (9) 重複 (3) - (7) 實驗步驟。

## 2. 實驗結果



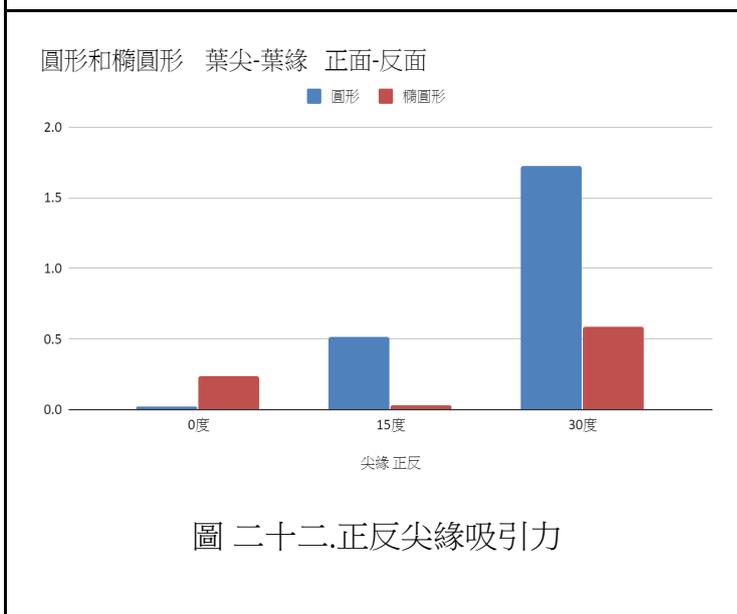
表七.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.00573333333
15度	0.2199566667	0.01653333333
30度	0.854	1.72
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912158	0.01544840876
15度	0.1212730449	0.00513939036
30度	0.6699619392	0.08660254038



表八.

加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.004
15度	0.36	0.05
30度	0.296	0.38
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912158	0.00499299509
15度	0.06557438524	0.00264575131
30度	0.07464583043	0.01



表九.

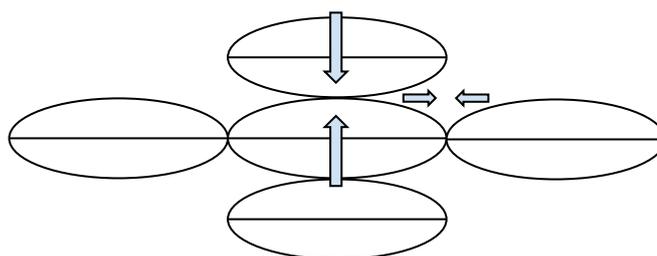
加速度(cm/s <sup>2</sup> )	圓形	橢圓形
0度	0.01803333333	0.2373333333
15度	0.3	0.072
30度	0.3733333333	0.1646666667
誤差	圓形	橢圓形
0度	0.00868912158	0.1572429119
15度	0.04358898944	0.03157530681
30度	0.1154700538	0.09327557737

### 3. 實驗討論

- (1) 本實驗雖然考慮不同的形狀與角度，但我們維持每個葉片皆具有相同的質量，所以透過 Tracker 分析的加速度可表示為物體所受的外力。
- (2) 根據實驗，發現葉子正面與反面的放置時，葉緣與葉緣具有排斥力，葉尖與葉尖之間具有排斥力；而葉緣與葉尖之間是屬於吸引力。此現象可由實驗原理中，液體表面張力的原理解釋。
- (3) 根據圖二十，可以觀察到當葉子的角度愈大，則兩片葉子之間的排斥力量則愈強（0 度<15 度<30 度）。
- (4) 根據圖二十，葉尖與葉尖的放置，0 度與 15 度時，橢圓形與圓形的比較，可以發現圓形的葉子，受到的排斥力較橢圓形受到的排斥力強，推測是因為圓形的葉片，對水面彎曲的影響較大，所以喜瑞士效應亦較強。
- (5) 根據圖二十，葉尖與葉尖的放置，30 度時，橢圓形葉片受到的排斥力較圓形受到的吸引力強，推測是因為圓形的葉片，與水面的接觸面積較大，阻力較強，所以移動的速度較慢。
- (6) 根據圖二十，0 度的葉子，無論形狀為何，排斥力相當小，可以推測是液體表面彎曲程度不明顯的關係所導致，若液面彎曲不明顯，則作用力的有效距離將大幅的縮減。
- (7) 根據表七，與圖二十，發現 0 度的葉片，相對於平均值，誤差相當大，推測是 0 度的葉片，液體表面彎曲程度不明顯的關係所導致。
- (8) 見表八，0 度葉緣-葉緣放置的實驗中，誤差大於平均值，是因為三次重複實驗中，時而產生吸引力，時而產生排斥力，可能的原因是物體於水表面移動時的拖曳力量大於吸引力，所以產生反方向的加速度所致。
- (9) 值得強調的是，根據圖二十二，葉尖與葉緣放置的葉片中，兩葉子之間會呈現吸引力，與實驗一與實驗二相反，由於正面葉尖與反面葉緣下的水面彎曲恰好都屬於凹向下，所以根據實驗原理的敘述，可以得知是吸引力量，這正解釋了為何可以在自然界的水面上觀察到正反葉子的吸引往往都是葉尖與葉緣的接觸。30 度時的吸引力量雖然最強，但是需要考慮到實驗的標準差。

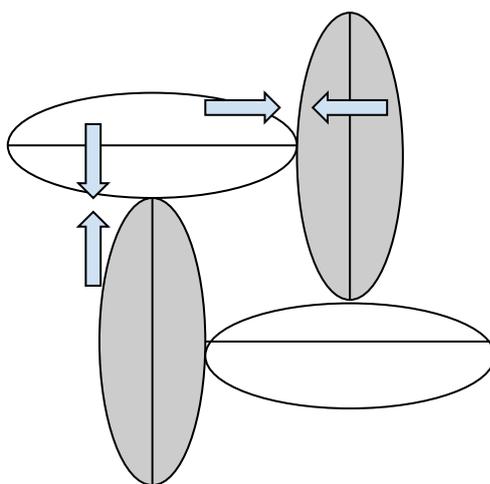
## 陸、結論

1. 根據我們的實驗研究，發現葉子在水表面上，具有群聚的效應。但是葉子之間的排列是有一定的規則。我們發現正面與正面，或反面與反面的葉子之間，葉緣與葉緣、葉尖與葉尖會互相吸引；反之，葉緣與葉尖卻產生排斥力量。然而根據實驗，葉緣與葉緣的吸引力量較強，葉尖與葉尖的吸引力量較弱，所以葉尖與葉尖相對的排列方式在自然界中並不常見，容易受到外界的干擾如風吹下雨，或是被其他葉緣吸引破壞掉原有的結構。



圖二十三. 葉子正面排列的群組

2. 然而，將葉子正反排列，發現恰好與上述的結論相反。葉緣與葉緣，葉尖與葉尖互相排斥；而葉緣與葉尖將互相吸引。所以我們在水面上的葉子群聚，可以發現往往有相反面的葉子仍然可以穩定的在群組中，原因就是喜瑞士現象可以產生不同的吸引力效應。



圖二十四. 葉子正反面排列的群組

3. 歸納定性的實驗結果，我們製作圖表來解釋不同部位的葉子之間的作用力

表十

作用力	正面-葉緣	正面-葉尖	反面-葉緣	反面-葉尖
正面-葉緣	吸引力	排斥力	排斥力	吸引力
正面-葉尖	排斥力	吸引力	吸引力	排斥力
反面-葉緣	排斥力	吸引力	吸引力	排斥力
反面-葉尖	吸引力	排斥力	排斥力	吸引力

4. 本實驗未測量目標於水表面上移動所受到的水拖曳力，雖然實驗操作的過程中，目標移動的速度相當小，但拖曳力將影響我們所測量的喜瑞士效應的加速度量值。
5. 根據實驗，發現葉子形狀愈趨近於圓形，則吸引力量愈強。所以我們可以推測水面上的葉子群聚，以趨近於圓形的葉片群聚效果愈好。愈是趨向橢圓形狀的葉子則愈可能單獨存在於水面上。
6. 根據實驗，發現無曲率的葉片(0度)，喜瑞士現象最差，因為水面並無顯著的彎曲，兩葉片之間的吸引力距離愈短，愈薄弱；而30度的葉片，喜瑞士現象最強，水面有顯著的彎曲。
7. 由於葉子之間的吸引力與排斥力是來自於水的表面張力，與水的彎曲程度相關。所以可推測作用力 $F$ 勢必與葉子的間距 $d$ 相關  $F(d)$ ，然而本實驗假設在葉子足夠近時，受到定力 $F$ 的作用，所以可以由擬合的位置隨時間的變化

$$d(t) = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 + d_0$$

求得加速度值 $a$ 。在未來的研究，我們可以進一步的使用高速攝影機來進行實驗，如此一來便可以推算出加速度的變化以求得力隨距離的變化關係。

8. 在未來的研究，我們將要討論葉子群聚的動態研究，我們將加上水波起波器，觀察葉子的群聚，在外在條件的干擾之下，群聚的現象是否會被破壞。探討在何種組成的架構之下，群聚的效果會最好，最穩定。

## 柒、參考文獻

1. 南一（2018）·國中自然理化·臺北市：南一出版社
2. 喜瑞士現象 取自  
維基百科 [https://en.wikipedia.org/wiki/Cheerios\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Cheerios_effect)
3. Tracker 影像分析軟體 操作手冊 取自  
<https://physlets.org/tracker/>
4. 2012 IYPT reference KIT： number 7 “Drawing pins”