

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：「浮」光掠「影」-由水黽的腳下光影，探討表面張力對微小物體漂浮的重要性

一、摘要：

水面曲折會導致光線無法直線前進，表面張力的存在使水面產生弧度，造成光線偏折，產生影子和光圈，所以在水黽腳下，會有被光圈圍繞的深色影子。我們設計出三種不同尺寸的圓片，以點滴穩定加入水滴，探討圓片沉沒之前，表面張力、水面曲度和光影面積之間的關聯。結果顯示，接觸角隨著重量增加而增加，達 150 度便容易沉入水中，且以小圓片的接觸角變化最劇烈，為 $17.12^\circ/gw$ ；水底形成的光影也隨重量增加而擴大，沉沒前一刻的面積為圓片本身的 2~3 倍。最後，隨著圓片尺寸縮小，有限的體積能提供的浮力已無法支撐物重，表面張力提供的支撐力占整體物重的比例大幅增加，由大圓片的 4.69% 上升至小圓片的 26.3% 便可得知，也驗證了表面張力對微小物體浮在水面上的重要性。

二、探究題目與動機

我們這組同學都很愛玩，大家分享旅遊經驗時，同時提到日月潭，大家想到水面下一片片的黑影。照片上，水面沒有大面積的浮物遮住陽光，只有幾隻微小的水黽在水面上漂浮。我們很好奇這些小隻的昆蟲是怎麼製造出比自己身體大好幾倍的影子？光線為什麼無法到達底部？水黽的體積不大，是因為什麼原因才能漂浮的水面上呢？跟水黽的重量有關係嗎？在好奇心的驅使下，我們開始展開一系列的實驗研究。



From: 維基百科-水黽科
CC By: Aconcagua

三、探究目的與假設

理化課學到物體能浮在水面上是因受浮力的支撐且浮力=物體重量。而我們觀察：水黽僅靠腳貼在水面上便能浮起來，查詢資料後得知水黽腳上的精細結構使得他接觸水面後能獲得足夠的表面張力，使得重量=浮力+表面張力提供的支撐力。

我們假設隨著物體體積的縮小，所能提供的浮力有限，表面張力所占比重隨之提升。因此，我們用三種尺寸不同的壓克力圓片，滴入水滴增加重量，紀錄水面凹陷情形及水底影子的變化，探討影子大小和物重的關聯，更進一步驗證表面張力的重要性。

(一) 實驗圓片製作

- 1.圓片以及圓管尺寸
- 2.質心位置確認

(二) 實驗裝置設計

(三) 增加重量觀察底面影子的變化

(四) 增加重量觀察接觸角的變化

(五) 比較不同尺寸下，表面張力提供支撐力所占比重之變化

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗圓片製作

1. 圓片以及圓管尺寸

(1)準備三種尺寸的壓克力圓片及透明壓克力管，裁切圓管後，以圓管與圓片的圓心重合方式

互相黏合起來，滴水測試黏合效果並確認可承載足夠水量至沉入水中為止。

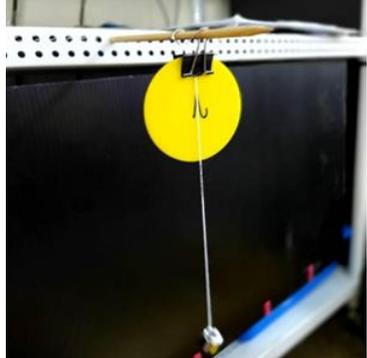
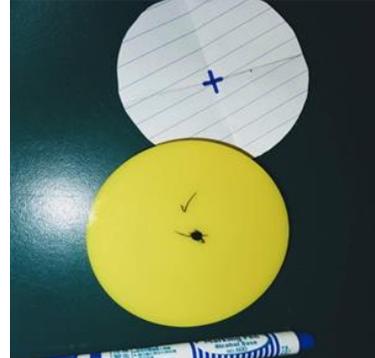
尺寸	小圓片	中圓片	大圓片
圓片直徑(cm)	3.97	6.99	7.99
圓片厚度(cm)	0.273	0.273	0.273
空心透明管外徑/內徑(cm)	2.442 / 1.961	4.029 / 3.591	4.501 / 4.021
空心透明管高度(cm)	1.088	1.231	1.367
總重量(g)	5.703	15.727	19.973

(2) 照片

		
三種尺寸的圓片，圓心處再黏上圓管	加水確認器材能夠承載足夠水量	利用磨砂機處理圓管表面

2. 質心位置確認

- (1) 發現問題：測試水量時，發現圓片總是往一個方向沉下去，我們推論是管子沒有在圓片中心點，重量偏向一邊。
- (2) 解決方法：運用重錘法來找出圓片質心位置，連接此點和圓心，再點上是熱熔膠調整質心位置至質心與圓心重合。

		
運用重錘法找出圓片質心位置	再圓片上標示出圓心和質心位置	點上熱熔膠使質心和圓心重疊

(二) 實驗裝置設計

1. 光源及錄影設置：為了拍攝及觀察圓片的影子，我們利用紙箱製作出簡易的裝置。
 - (1) 紙箱頂端切割出適當的缺口，放置魚缸，裝水模擬水面。
 - (2) 水面上方架設手電筒模擬太陽平行光，光經過圓片形成的影子成像在下面的半透明方格板上，運用格子便可計算影子大小，再於最下層擺放攝影機、紀錄影子變化。
2. 加水裝置：使用點滴(每滴 0.05g)，調整滴入速率，穩定加水在圓片上的管子內，間隔相同滴數，等待水面平穩後並擷取圖片。

3. 我們利用 GeoGebra，繪製出與影子同大的圓形計算光影面積。

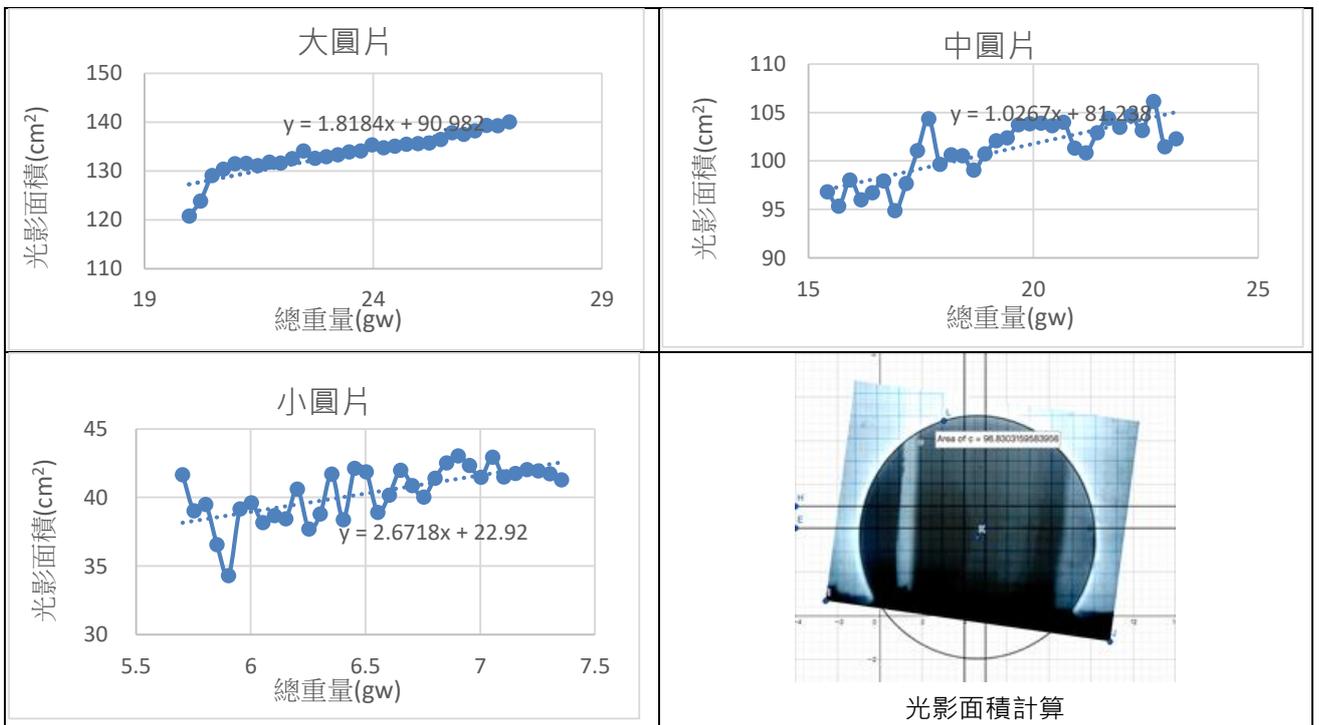


- 手電筒
- 點滴
- 水缸
- 半透明方格紙
- 手機放置處，進行錄影

(三) 增加重量觀察底面影子的變化

1. 操作過程中發現水的滴入難免造成水面波動，也可能導致圓片的飄移，因此需等待水面靜止且圓片停留在適當位置進行數據紀錄，降低誤差。

2. 作圖



尺寸	圓片直徑(cm)	圓片面積(cm ²)	下沉前最大光影面積(cm ²)	面積倍率
小	1.98	12.35	41.30	3.34
中	3.50	38.36	102.28	2.67
大	4.00	50.11	140.07	2.80

3. 隨著重量增加，三個圓片在水底形成的影子面積均有增加的趨勢，且沉沒前一刻的最大光

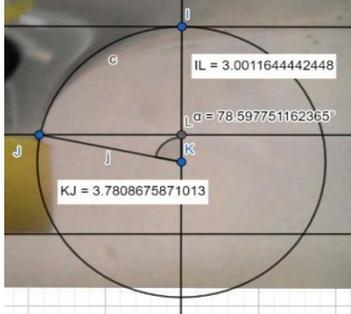
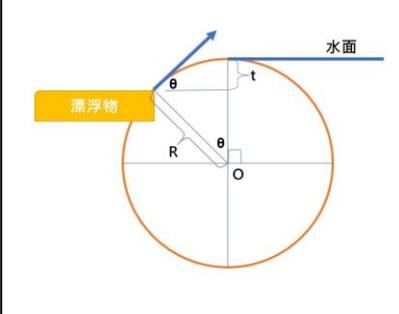
影面積為圓片本身面積的 2~3 倍。

- 我們想知道到底是什麼原因讓影子的面積會隨著重量而增加呢？因此接著進行水面凹陷程度的比較。

(四) 增加重量觀察接觸角的變化

- 架設顯微鏡於水缸旁，隨著水滴逐一滴入，拍攝下水面的弧度變化照片，進行比較。
- 我們利用 GeoGebra 來計算表面張力弧度的接觸角。

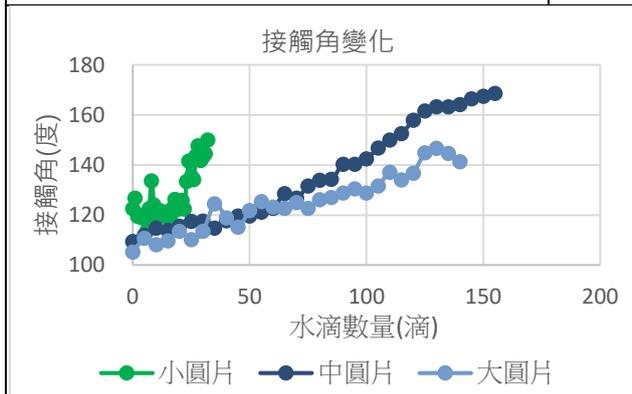
(1) 作一圓符合水面曲度，計算出接觸角 θ 以及水面至圓盤底部的深度 t 。

		
<p>利用顯微鏡拍攝下水面凹陷情形</p>	<p>利用 GeoGebra 來計算表面張力弧度的接觸角</p>	<p>接觸角分析示意圖</p>

(2) 疊合不同重量下的水面進行比較。

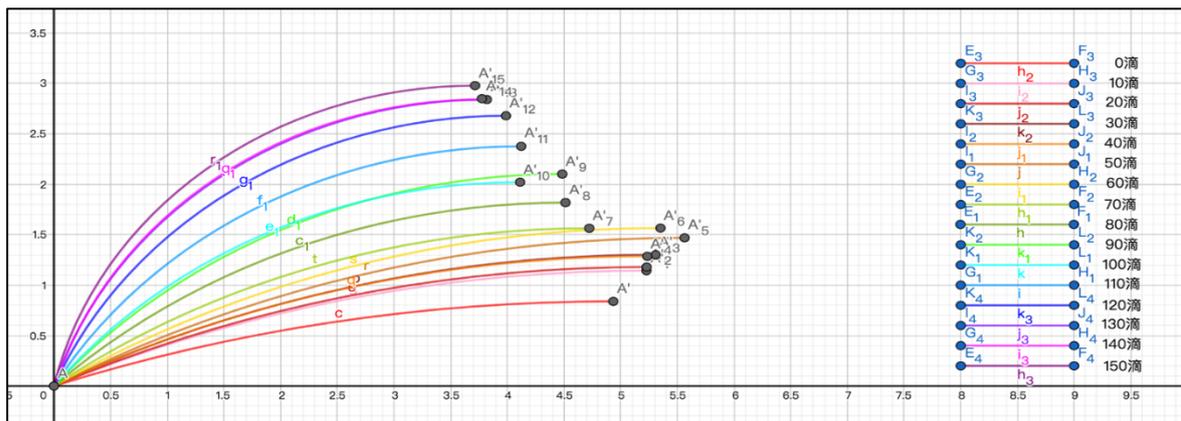
3. 數據與作圖

	小圓片	中圓片	大圓片
沉沒水中的接觸角(度)	149.94	168.60	141.24
沉沒水中的(接觸角-90)(度)	59.94	78.60	51.24
沉沒前增加的水重(gw)	1.60	7.75	7.00
沉沒前增加的接觸角(度)	27.39	59.29	36.08
沉沒前(增加的接觸角/增加的水重)	17.12	7.65	5.15



- 三個圓片都有隨著重量增加而接觸角增加的趨勢，且接觸角超過 150° 以上的時候就很有機會會沉入水中。
- 三個圓片沉沒之前，單位水重造成的接觸角變化程度為：小圓片 > 中圓片 > 大圓片，其中小圓片每多出 1gw，小圓片的接觸角會增加 17.12 度。

4. 我們以每增加 10 滴水重量形成的水面弧度進行疊合，得到下圖。可看出隨著重量增加，水面的彎曲程度增加，曲率半徑減少。



(五) 比較不同尺寸下，表面張力所占比重之變化

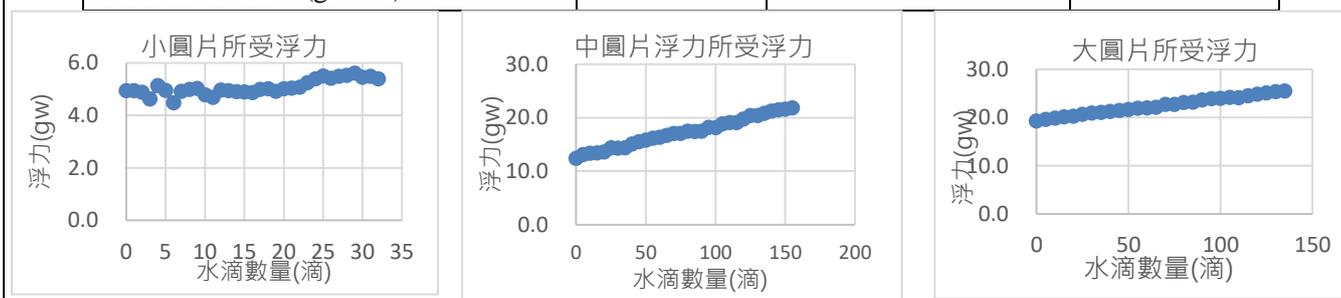
1. 取圓片面積 $A \times$ 沒入深度 $t \times$ 水的密度之乘積代表物體在水中受到的浮力，再以（物重 - 浮力）得到表面張力的垂直分量總合，進而計算出表面張力提供支撐力所占比重大小。其中，水的密度以 $18^\circ\text{C} \cdot 0.9986\text{g}/\text{cm}^3$ 帶入計算。



2. 承 1，透過物重 = 浮力 + $2\pi \times$ 表面張力 $\times \sin(\text{接觸角} - 90)$ 推算出水的表面張力大小，進而與理論值比較。

3. 數據與作圖： 20°C ，水的表面張力 = $0.074\text{gw}/\text{cm}$

各項數據	小圓片	中圓片	大圓片
沉沒前一刻的總重(gw)	7.30	23.18	26.72
沉沒前一刻的(接觸角-90)	59.94	78.60	54.60
$\sin(\text{接觸角}-90)$	0.87	0.98	0.82
下沉深度(mm)	4.37	3.00	5.09
浮力(gw)	5.38	21.85	25.47
表面張力的向上支撐力(gw)	1.92	1.32	1.25
表面張力向上支撐力的占比(%)	26.30	5.71	4.69
表面張力實驗值(gw/cm)	0.18	0.061	0.061

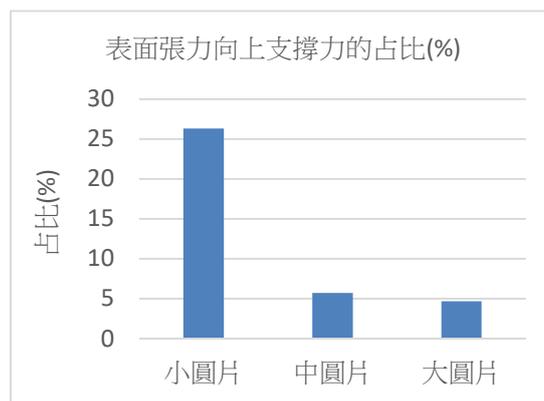


4. 結果

(1)我們以圓片底部沒入的深度來估算排開的水體積，兩側忽略不計，故會低估浮力而高估了表面張力的向上垂直支撐力。

(2)計算後，三種圓片的浮力皆隨著重量增加穩定上升。

(3)顯示隨著物件體積的縮小，所能排開的水體積減少，提供的浮力已不足以支撐物體重量。而分析表面張力向上支撐力的占比也確實由大圓片的 4.69% 上升至小圓片的 26.3%，和我們的預測相同。



五、結論與生活應用

水黽浮在水面上的表面張力會讓水面有弧度，光線經過會折射出一個光圈。我們利用圓片來模擬水黽，測量底面影子、水面弧度接觸角以及浮力和表面張力的變化，以了解表面張力對微小物體漂浮在水面的重要性，得到以下幾點結論：

1. 接觸角隨著重量增加而增加，以小圓片最為明顯，每多出 1gw，小圓片的接觸角平均增加 17.12 度，而接觸角超過 150° 以上的時候就很容易沉入水中。
2. 隨著接觸角度增加，水面彎曲程度變大，下沉深度變大，光折射的角度比較斜，影子的面積隨之增加。
3. 隨著圓片縮小，表面張力提供的支撐力占整體物重的比例也明顯增加，由大圓片的 4.69% 上升至小圓片的 26.3%。可知水黽腳上精細結構對於提升表面張力的必要性。

參考資料

1. 民國 102 年第 53 屆國中小學科展作品物理科-“深在浮中不知浮”-探討表面張力對沉體浮於之影響。作者:蔡依靜、劉育辰、趙得佑

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=206&sid=10056>

2. 民國 108 年第 59 屆國中小學科展作品物理科-“浮不起的阿黽”-探討表面張力對飄浮水黽浮沉現象之研究。作者:林禹綸、李翊安、孫郁翔、蕭益丞、黃宥靈

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=34&sid=16008>

3. June 23, 2019-“How Water Striders Bend Light To Make Shadows”-By Nature Magazine

<https://baynature.org/article/how-water-striders-bend-light/>

4. 維基百科-表面張力、浮力

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%AE%E5%8A%9B>

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%A0%E5%8A%9B>