

水能載「葉」，亦能覆「葉」

摘要

我們研究樹葉在水中的浮沉情形與吸斥現象，本來以為只是單純的表面張力問題，進一步的探討發現並不單純，通常我們處理沉體浮在水面上的時通常會認為是表面張力的作用，而往往忽略浮力的影響，但我們實驗結果顯示浮力的大小可達表面張力造成之作用力的數倍之多，但表面張力的作用仍相當重要，由於表面張力保持液面的完整，才能進而使沉體浮於水面上但呈現凹陷，凹陷的越深，其浮力就會越大，一但破壞其表面張力，則物體就會沉入水中。我們還研究了樹葉的吸斥現象的性質與物理原理。

壹、研究動機：

在校園中散步時，無意間看見池塘中的葉子有浮有沉，且浮在水上的葉子都聚成一堆，這時我們的心中感到疑惑，都是葉子，為什麼有些浮在水上有些卻是沉入水底？且自然界中的狀態應趨向於低能量、高亂度，為什麼是聚在一起不是散亂分布呢？這是否和我們所學到的表面張力有直接的關係呢？請教老師後發現這是一個非常值得研究的問題，因此我們決定展開一連串的實驗與分析。

貳、研究目的：

- 一、葉子的沉浮問題以及聚集現象
- 二、觀察凹凸水面所造成的各種現象
- 三、量測凹水面所能承受的最大負載重量
- 四、分析凹水面的力
- 五、測量凹水面的各數據經計算後與實際測量結果相比較、對照

參、研究設備及器材：

保麗龍板	數片	日幣 1 元硬幣	3 個	捲尺	1 個
塑膠片	1 張	人民幣一角硬幣	51 個	量角器	1 個
紙片	數張	螺旋測微器	1 個	砝碼	數個
玩具硬幣	數個	電子天秤	1 台	透明水槽	4 個
蓋玻片	5 片	水平儀	1 個	鑷子	2 個
圓規	1 個	剪刀	2 把	方格紙	數張

肆、研究過程或方法：

一、現象觀察：

- (一) 觀察池塘和湖泊中的葉子並撿新鮮的葉子和乾、濕的枯葉回來觀測：
- 1.葉片掉落→聚集→入水：池塘中的葉子會慢慢聚集成堆，一開始是浮著的狀態，一段時間後，葉子一片接著一片的沉到水裡去了。
 - 2.有些葉片天生就會沉，其他則否：把乾的枯葉放入水槽中，發現一開始有些葉子能直接沉入水中；有些葉子就算直接按入水中，仍會再次浮起來。一段時間後，葉子漸漸變濕，接著就先後沉入水中了。
 - 3.枯葉的浮沉似乎和吸水的多寡有關，因此我們決定針對葉子這種特性做模擬實驗。

二、物體的沉浮：

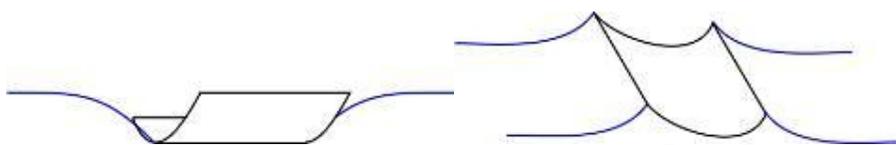
實驗一：於水面 80 公分處將紙片輕撒入水中，觀察其沉浮情形

結果：

- 1.紙片一開始都浮起來，吸水後，紙片即緩緩沉入水中。
- 2.紙片吸水時會有捲曲的現象，在水的表面形成不同的水面，有些會相吸而另一些卻會相斥。

說明：

- 1.紙片會吸水而後沉入水中的現象和葉子雷同，模擬葉子非常適合。
- 2.吸水後捲曲的紙片示意圖：



發現：

- 1.發現紙片有些會互相吸引，有些卻會互相排斥，詳細原理將於【實驗五】討論。
- 2.觀察中也發現有葉子一掉入水中就直接切入水面並沉入水底的，於是我們決定測試掉落物浮起的機率。
- 3.此時也發現了尚未吸水前，紙片邊緣與水面接觸部分的水面呈凹陷（如圖二），但不明顯，因此我們決定增加浮起物的重量，看看是否能使此現象更為顯著、更易於觀察。

實驗二：用 40 個塑膠硬幣由高處灑下，統計其「沉」和「浮」的比例。
 （塑膠硬幣密度略大於 $1 \text{ g} / \text{cm}^3$ ）

結果：

【表一】

落下高度 40cm	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	浮起比例
水平浮起數（個）	3	4	1	3	3	2.8	7%
鉛直浮起數（個）	1	5	4	8	7	5	12.5%
浮起總數（個）	4	9	5	11	10	7.8	19.5%

【表二】

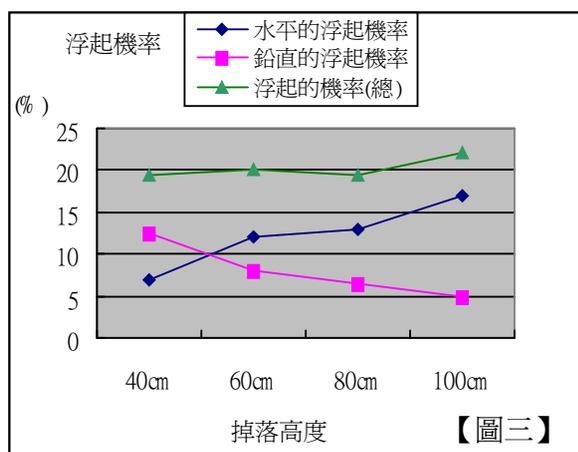
落下高度 60cm	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	浮起比例
水平浮起數（個）	7	4	6	5	2	4.8	12%
鉛直浮起數（個）	2	2	1	5	6	3.2	8%
浮起總數（個）	9	6	7	10	8	8	20%

【表三】

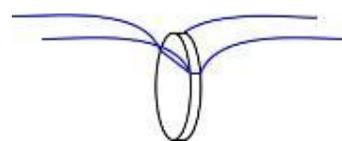
落下高度 80cm	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	浮起比例
水平浮起數（個）	8	7	4	5	2	5.2	13%
鉛直浮起數（個）	2	2	1	5	6	2.6	6.5%
浮起總數（個）	10	7	7	10	8	7.8	19.5%

【表四】

落下高度 100cm	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	浮起比例
水平浮起數（個）	8	7	6	7	6	6.8	17%
鉛直浮起數（個）	1	2	2	2	3	2	5%
浮起總數（個）	9	9	8	9	9	8.8	22%



水平浮起 【圖四】



鉛直浮起 【圖五】

發現：

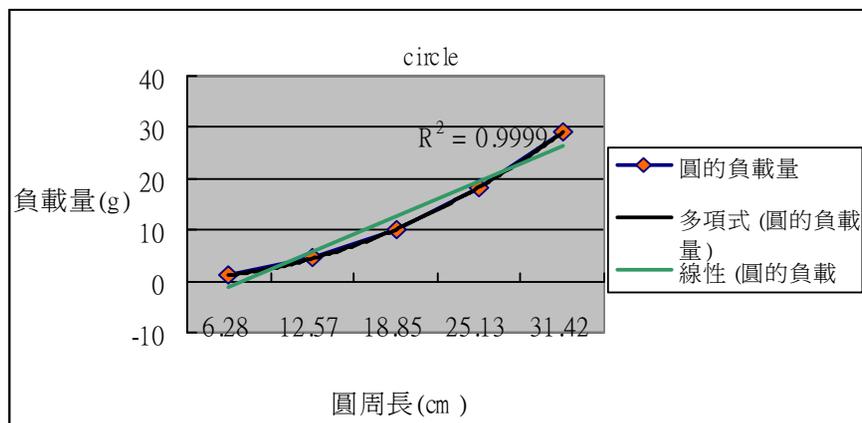
1. 浮沉的比例居然與落下高度無關，這與我們預期的結果恰好相反，我們本來認為，浮在水面上的葉子是因為落下速度較慢，落至水面上時不致完全沒入水中，以至於還有表面張力作用能支撐葉子的重量不致下沉。
2. 沒想到**落下高度越高，浮起個數不減反增**，這是令我們感到訝異的，討論後再仔細觀察，發現到由較高處落下時雖然落下的速度較快，比較容易沉入水中，但由於硬幣入水後會附著一些小氣泡，造成較大的浮力，因而再度浮出水面。
3. **較高處落下，水平浮起數愈多**；我們也可以解釋為：當落下時速度越快，所落下的深度也就越深，同時浮起時向上的速度也就越大，因而更容易浮出水面而呈現水平的狀態。

三、物體的聚集：

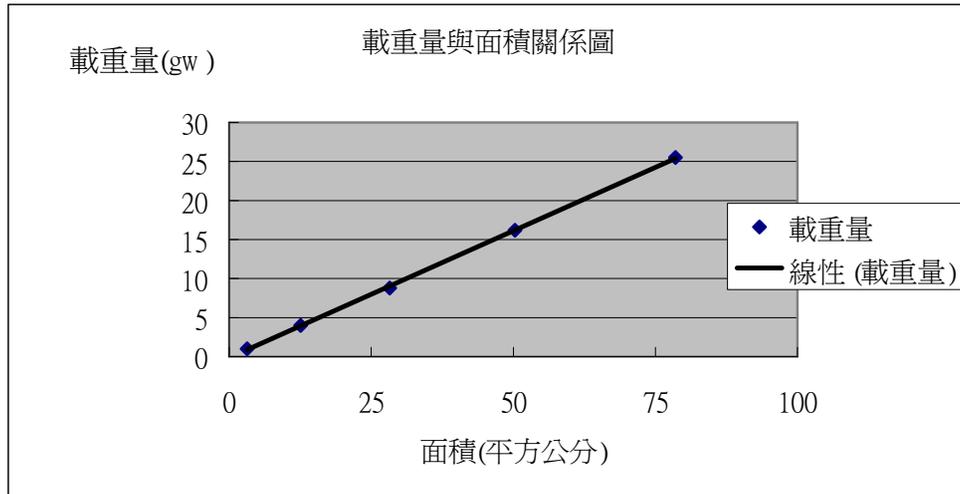
實驗三：延續【實驗一】，為了使紙片水面的凹陷程度更明顯，我們改用塑膠片剪出各種大小的圓，上加砝碼，觀察水面變化。

【表五】

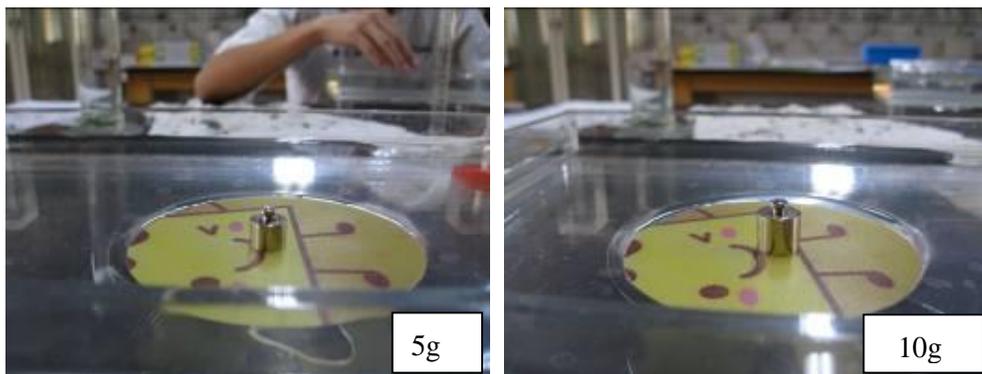
圓半徑 r (cm)	1	2	3	4	5
負重量 (g)	1	4	8.8	16.2	25.5



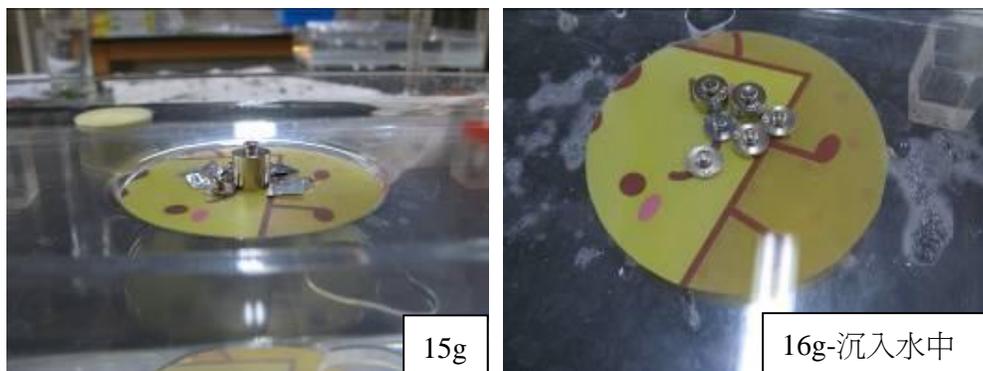
圖六 載重量與圓周長關係圖



圖七 載重量與面積關係圖



圖八



圖九

結果：

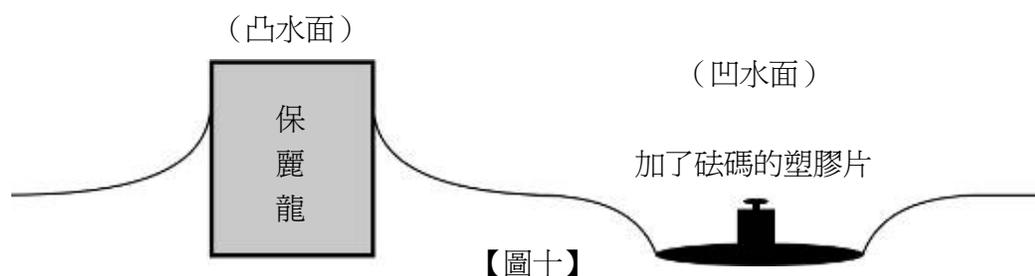
1. 加越多砝碼，塑膠片下沉的情形越明顯，最後突破水面，沉入水底。
2. 表面張力的作用力應正比於物體的周長，但由實驗結果看來並非如此(如圖六、七)。圖六可看出載重量與圓周長並非線性關係，我們嘗試改以面積對載重量做圖，可發現相當漂亮的線性關係。

發現：

1. 實驗過程中發現保麗龍接觸水面處的形狀和塑膠片接觸水面處的形狀不同(一凹一凸)，會發生吸引或排斥的現象，且和【實驗一】中吸水而捲曲的紙片有些相似，因此我們決定針對此兩種水面做更仔細的觀察【實驗四】。
2. 表面張力的作用力應正比於物體的周長，但我們發現確與面積成正比(如圖七)。
3. 我們考慮，幾何形狀的物體也有可能影響表面張力，因此設計了【實驗六】。

實驗四：1. 在塑膠片上加重物使水面凹陷的現象較明顯，觀察保麗龍及塑膠片所形成的水面的各種現象。

2. 觀察保麗龍與保麗龍間，保麗龍跟塑膠片間，塑膠片跟塑膠片間的水面形狀與運動情形



結果：

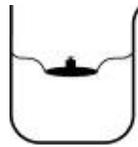
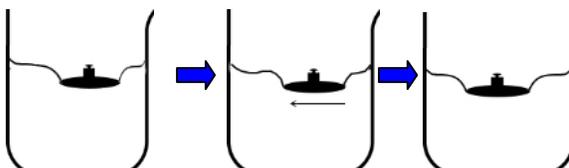
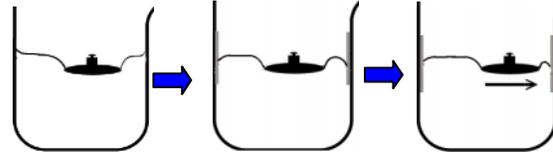
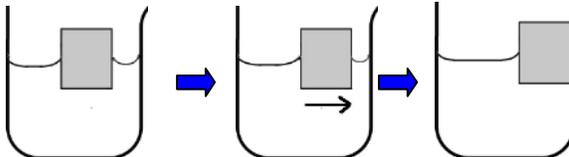
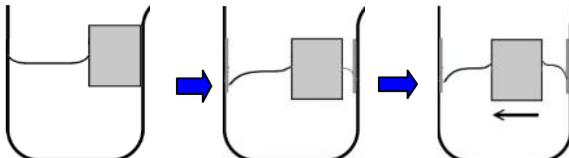
1. 如上圖十，**塑膠片凹**，**保麗龍凸**，**同性相吸**（凹對凹或凸對凸）**異性相斥**（凹對凸）

說明：

1. **塑膠片**完全在水表面上，並造成水面下陷，因此我們稱之為「**凹**」的水面。
2. **保麗龍**有一部份浸在水中，而接觸的地方則是水爬升上保麗龍的，因此我們稱之為「**凸**」的水面。
3. **同性相吸異性相斥**：凸的水面和凸的水面之間互相會吸引，凹的水面之間亦如此，但凸的水面遇到凹的水面時會產生排斥現象，因此我們設計了下一個實驗來觀察此一現象。

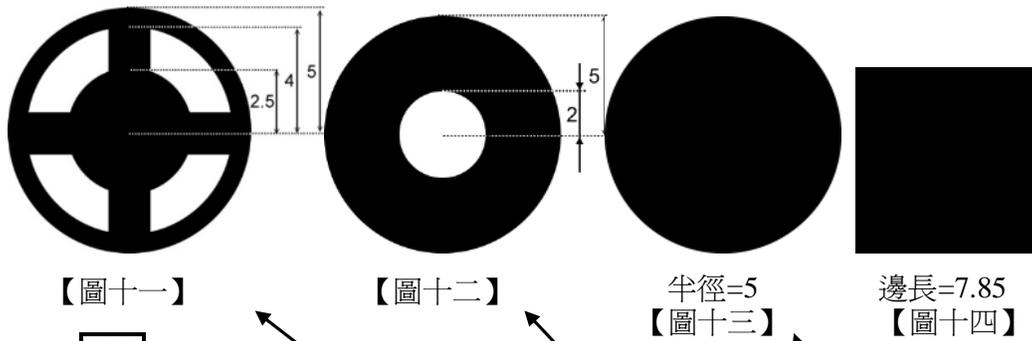
實驗五：將放有重物之塑膠片及保麗龍分別放入裝水燒杯中與燒杯邊緣塗上蠟造成燒杯和水接觸處的水面形狀變化，觀察保麗龍和塑膠片在其中的位置變化及運動情形。

結果：

	<p>實驗方法：把靜放在盛水燒杯中央的墊板加上砝碼。</p> <p>現象：墊板維持在燒杯中央。</p> <p>水面形狀：墊板：凹水面 杯緣：凸水面</p>
	<p>實驗方法：施力使墊板靠近杯緣</p> <p>現象：:墊板彈離杯緣，往中間移。</p> <p>水面形狀：墊板：凹水面 杯緣：凸水面</p>
 <p style="text-align: center;">杯緣塗蠟</p>	<p>實驗方法：把杯子的內緣塗上蠟。</p> <p>現象：墊板被右方杯緣吸引。</p> <p>水面形狀：墊板：凹水面 杯緣：由凸水面變為凹水面</p>
	<p>實驗方法：把保麗龍放入杯子中央。</p> <p>現象：杯緣吸引住保麗龍。</p> <p>水面形狀：保麗龍：凸水面 杯緣：凸水面</p>
 <p style="text-align: center;">杯緣塗蠟</p>	<p>實驗方法：把杯子的內緣塗上蠟。</p> <p>現象：:杯緣將保麗龍推開。</p> <p>水面形狀：保麗龍：凸水面 杯緣：由凸水面變為凹水面</p>

發現：如此可很明顯觀察到浮體間吸斥現象，我們進一步探討其物理原理，詳見討論三。

實驗六：延續【實驗三】的發現，我們進一步用塑膠片剪出等周長的正方形、圓形（圖十三、十四），圓形又分為有鏤空的和實心的（圖十一、十二、十三），觀察其可承受之最大砝碼重量的變化。



【圖十一】

【圖十二】

半徑=5
【圖十三】

邊長=7.85
【圖十四】

結果：

【表六】

	圖十一	圖十二	圖十三	圖十四
可承受之最大砝碼重量	17g	17.9g	25.5g	20.4g

- 1.同周長，最大負重：圓形（圖十三）大於正方形（圖十四）
- 2.同半徑，最大負重：實心圓（圖十三）大於鏤空圓（圖十一、圖十二）

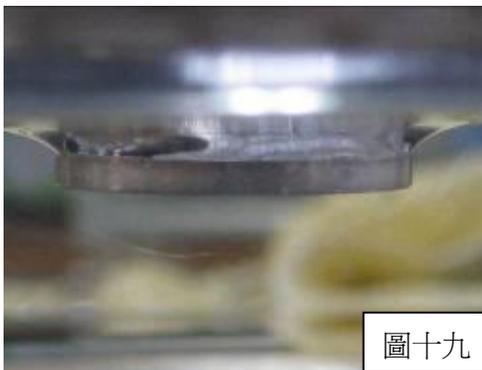
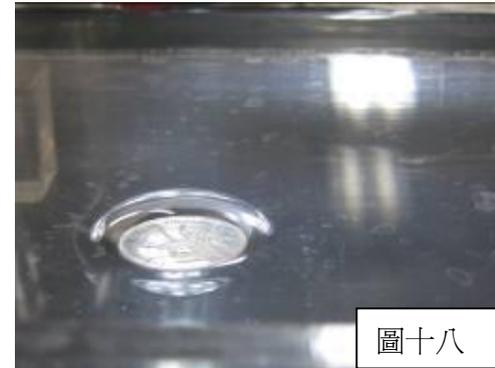
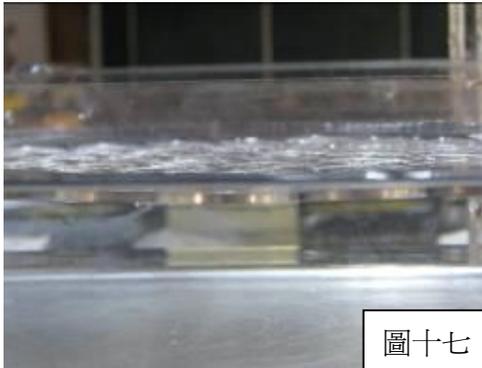
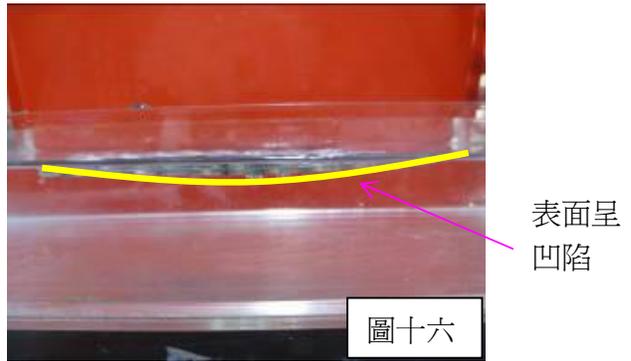
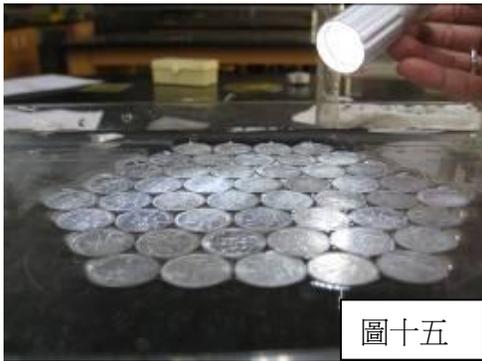
說明：

- 1.等周長的正方形和圓形（圖十三、十四），圓形塑膠片面積較大，本身重量較重，只考慮表面張力時可承受的砝碼重量加上塑膠片本身的重量應為定值，應是正方形可承受之重量較多，但結果卻是圓形可支撐比正方形要多的砝碼。
- 2.有鏤空的圓形接觸水面的邊長大於實心圓，若只考慮表面張力的作用力，由於本身重量較輕，應能承受較重的重量，但結果卻恰好相反。

發現：

- 1.由此可證明只考慮表面張力是不夠的，這個問題我們設計了【實驗八】，並成功解決這個問題。
- 2.這時我們想起，有些硬幣可以浮在水上，於是我們決定設計下一個實驗來觀察表面張力的作用力和最大負載重量之間的關係。

實驗七：將硬幣放置在水上，觀察其沉浮情形



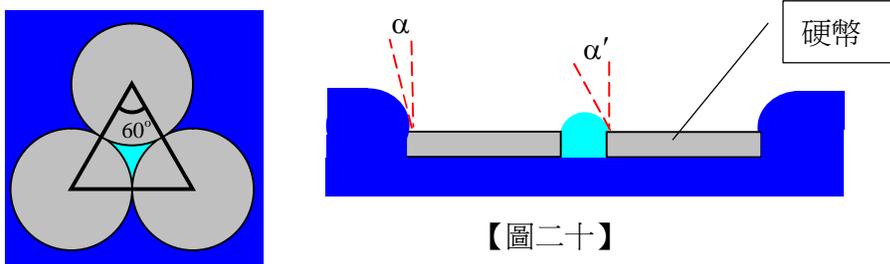
結果：

1. 只放一個硬幣接觸角就已經接近 0 度
2. 放了 51 個錢幣仍浮在水面上。

說明：

1. 只放一個硬幣時就可以明顯的觀察到水面的凹陷現象很明顯（上圖十八、十九），放置在水面上也需要一定的技巧，一不小心硬幣就會沉入水底，表示出硬幣應該已經接近表面張力所能承受重量的極限值了。
2. 因圓形硬幣能圍成的圖形皆為正三角形所組成的，又同面積下邊數愈多，總邊長愈小，所以當圍成六邊形時應為同面積下周長最小，即表面張力的作用力最小的情形，但我們放了 51 個錢幣聚成非等邊長的六

邊形卻仍不見其沉入水中(圖十五)。



發現：

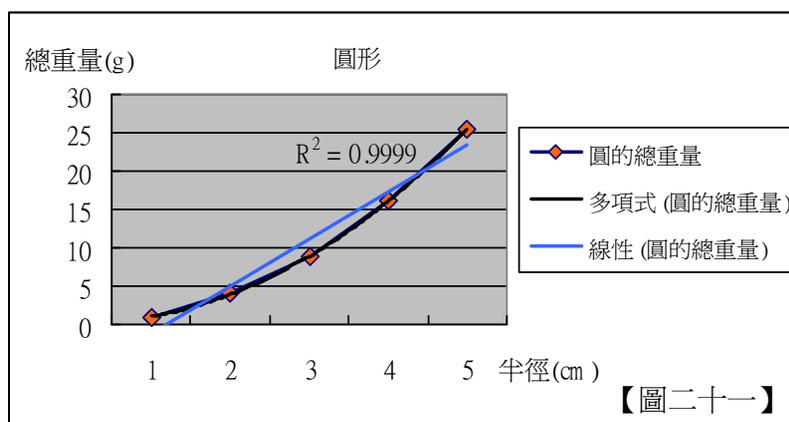
1. 硬幣聚集後內部硬幣間的水面(圖二十淡藍色部分)相較於外圍(深藍色部分)接觸角較大，表面張力對硬幣的作用力也隨之變小，但聚集了51個硬幣圍成六邊形後，卻仍然未沉，完全出乎我們的意料之外，仔細一想，隨著硬幣總重量而成長的物理量就只剩下面積了。
2. 比較好玩的現象是我們試著用手塗抹牙膏，靠近硬幣邊緣的水面，就會看到硬幣開始一個接著一個沉入水中。

實驗八：1.測試等面積不同形狀(正方形及圓形)的塑膠片所能負載的最大砝碼重量

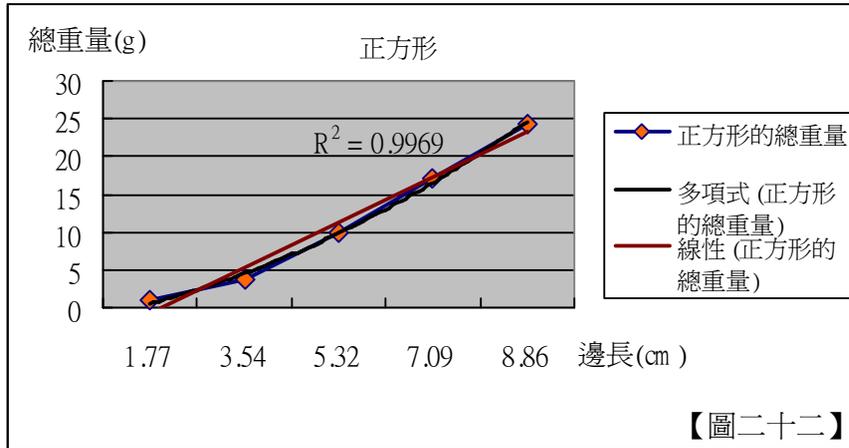
【表七】

面積(cm^2)	3.14	12.57	28.27	50.27	78.54
塑膠片重(gw)	0.13	0.54	1.2	2.17	3.49
圓周長(cm)	1π	4π	6π	8π	10π
圓的負載總重量(gw)	1	4	8.8	16.2	25.5
正方形周長(cm)	7.09	14.18	21.27	28.36	35.45
正方形的負載總重量(gw)	0.9	3.8	9.9	17.2	24.3

1.圓形：

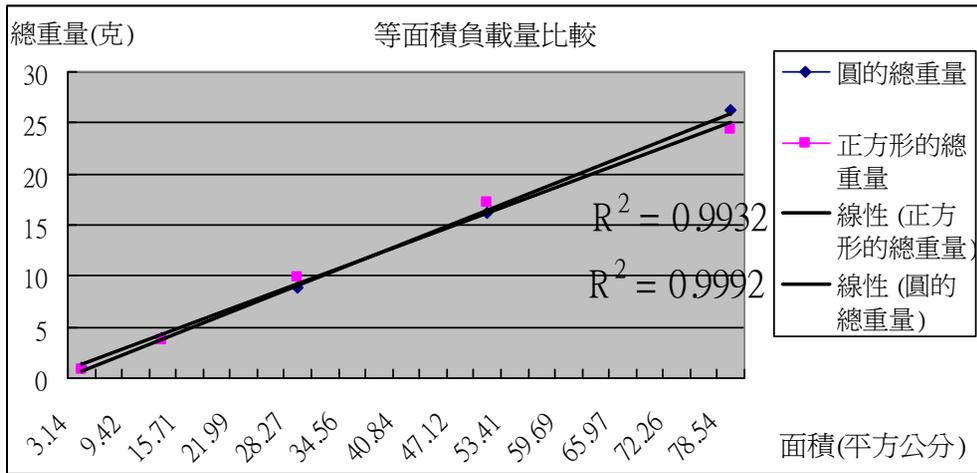


2.正方形：



【圖二十二】

3.等面積的正方形和圓形之綜和比較



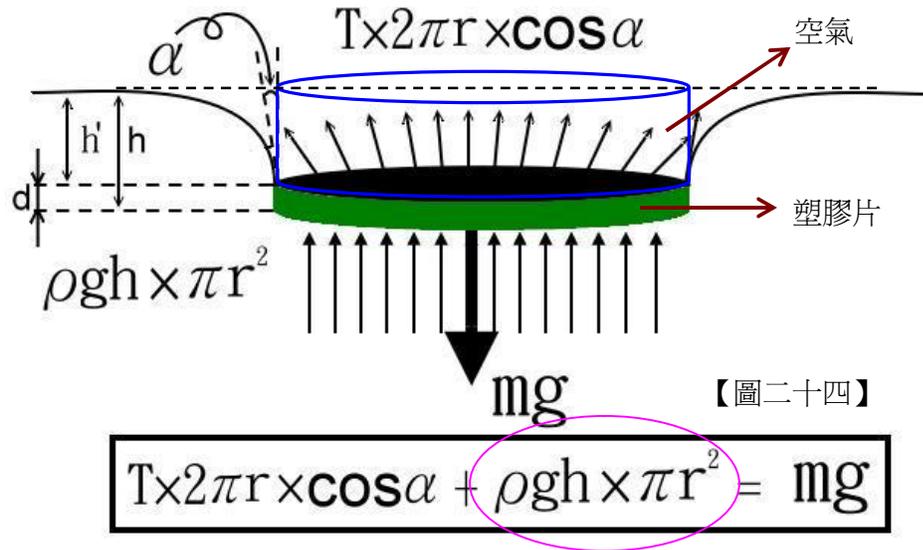
【圖二十三】

結果：

1.即使不同形狀的浮體，最大載重都與面積成正比（如圖二十三）

說明：

- 1.圓形所能負載的最大質量與等面積的正方形差不多。
- 2.無論是圓形或是正方形，其可負載的最大質量皆正比於其面積，而非表面張力影響因素的邊長。
- 3.由以上幾點我們大致分析了塑膠片的力圖：



4. 塑膠片載重較多的時候會出現上緣連結水面，下緣沉入水中的現象，因此我們等式的左方要再修正塑膠墊本身成為沉體時所造成的浮力。（即 h' 要加上塑膠片本身的厚度 d 為 h ）

發現：

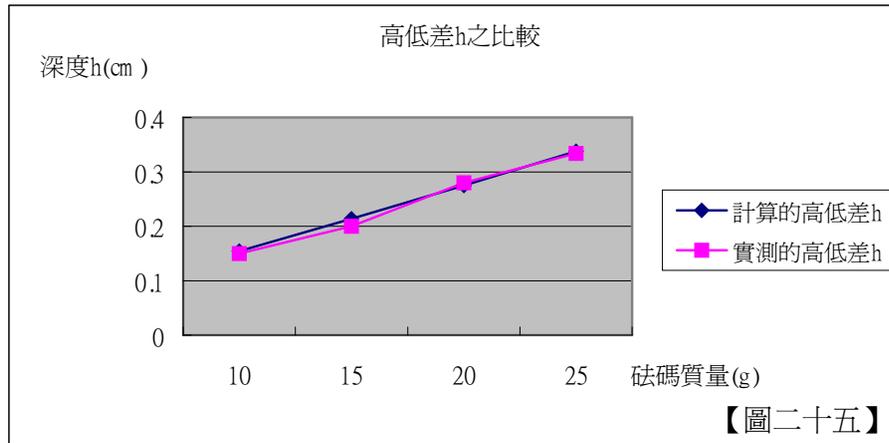
1. 在畫這圖時我們發現到，圖中的所有數據都能測得，因此我們決定把所有的數字都量出來計算並互相對照（實驗九）。
2. 我們本來預期浮力的大小應該與塑膠片的體積有關，計算結果卻出乎意料，由測出的數據反推浮力對應的體積大小，我們發現遠超過塑膠片的體積（表九），進一步討論發現居然剛好等於凹陷部分的空氣體積（如圖二十四）。

實驗九：透明水槽中放入各種承載不同重量的塑膠片，從側面拍照記錄下經過水和水槽後接觸角和沉水深度的變化，再放入塑膠片，從側面拍照並對照到之前的數據，並配合相似形計算出沉入水中的體積、沉水深度及接觸角。

結果：公式：
$$h = \frac{mg - T \times 2\pi r \times \cos\theta}{\rho g \times \pi r^2}$$

【表八】

砝碼質量 (g)	10	15	20	25
計算的高低差 h (cm)	0.154	0.214	0.275	0.338
實測的高低差 h (cm)	0.15	0.2	0.28	0.334



【表九】 塑膠片厚度 $d=0.48\text{mm}$

塑膠片質量 (g)	重物質量 (g)	總質量 m (g)	表面張力 T (dyne/cm)	接觸角 α (度)
3.49	10.00	13.49	72.80	54
圓半徑 r (cm)	表面張力的作用力 (dyne/cm)		計算的高低差 h (cm)	實測的高低差 h (cm)
5	1344.31		0.15	0.15

【表十】

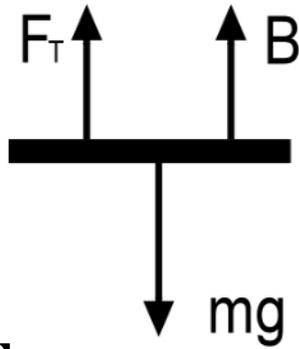
塑膠片質量 (g)	重物質量 (g)	總質量 m (g)	表面張力 T (dyne/cm)	接觸角 α (度)
3.49	15.00	18.49	72.80	44
圓半徑 r (cm)	表面張力的作用力 (dyne/cm)		計算的高低差 h (cm)	實測的高低差 h (cm)
5	1645.19		0.21	0.2

【表十一】

塑膠片質量 (g)	重物質量 (g)	總質量 m (g)	表面張力 T (dyne/cm)	接觸角 α (度)
3.49	20.00	23.49	72.80	36
圓半徑 r (cm)	表面張力的作用力 (dyne/cm)		計算的高低差 h (cm)	實測的高低差 h (cm)
5	1850.29		0.28	0.28

【表十二】

塑膠片質量 (g)	重物質量 (g)	總質量 m (g)	表面張力 T (dyne/cm)	接觸角 α (度)
3.49	25.00	28.49	72.80	32
圓半徑 r (cm)	表面張力的作用力 (dyne/cm)		計算的高低差 h (cm)	實測的高低差 h (cm)
5	1939.55		0.34	0.334



【圖二十六】

*總重量 = 砝碼重 + 塑膠片重

【表十三】

砝碼重 (g)	10	15	20	25
總重量 (g)	13.49	18.49	23.49	28.49
表面張力的作用 F_T (dyne)	1344.31	1645.18	1850.28	1939.55
浮力 B (dyne)	11875.89	16475.01	21169.91	25980.25
B/F_T	8.83	10.01	11.44	13.39

結果：

1. 由表九可發現，塑膠片的厚度僅 0.48mm，而計算所得的體積高度卻遠大於塑膠片厚度。
2. 比較其數據，我們發現居然恰好會等於塑膠片加上其上方凹陷部分的空氣體積。
3. 由上表十三可明顯看出浮力的作用比表面張力大的多。

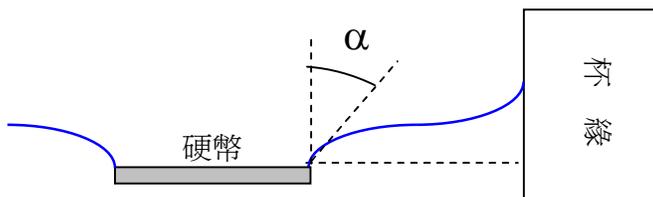
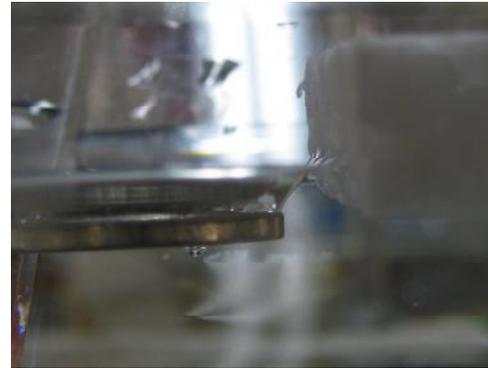
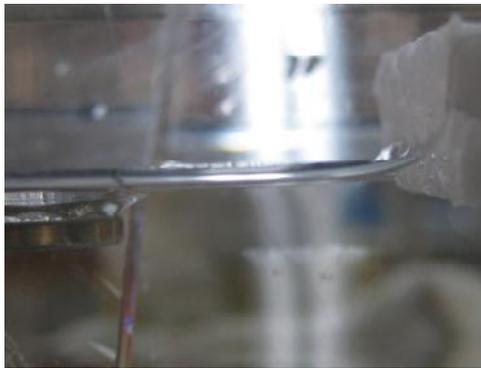
伍、研究結果：

- 一、以紙片模擬葉子發現有些紙片邊緣會形成凹、凸兩種水面，且會相吸與相斥。
- 二、以塑膠錢幣模擬葉子掉入水面而浮起的機率，約為 20%。
- 三、以塑膠片形成的凹水面與保麗龍形成的凸水面來模擬葉子在水面上形成的凹、凸水面，發現同性相吸（凹對凹或凸對凸）異性相斥（凹對凸）。
- 四、塑膠片的最大負重與並非與周長成正比，也就是說表面張力的作用力與最大負重無直接的關係。
- 五、同周長，最大負重（1）圓形大於正方形（2）實心圓大於鏤空圓。
- 六、只放一個硬幣接觸角已經接近 0° 。放了 51 個錢幣仍浮在水面上。
- 七、載重與面積成正比。
- 八、浮力為表面張力造成的作用力的數倍（8.83~13.39 倍），而表面張力造成的作用力雖然貢獻不大，但表面張力可使水面保持完整，進而使物體可些微

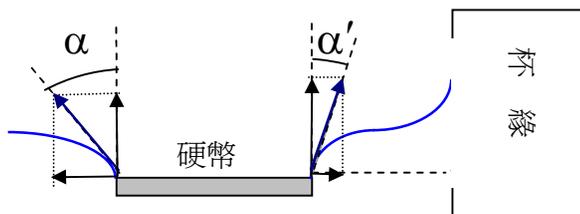
陷於水平面下而非沉入水中，使浮力增加，故表面張力的影響仍相當重要！

陸、討論：

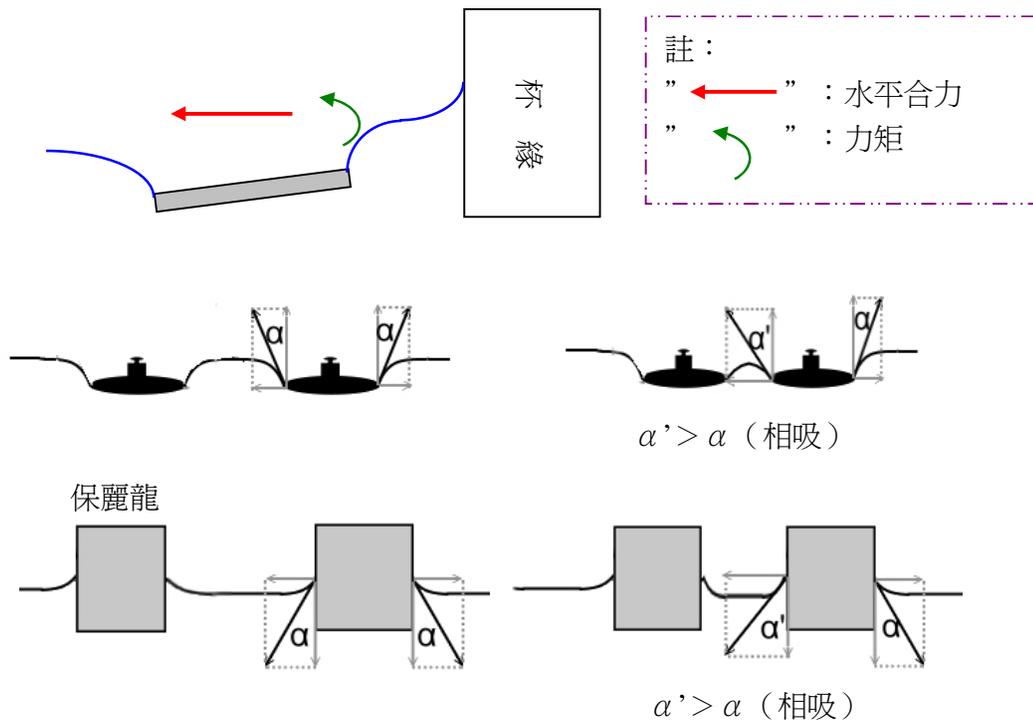
- 一、葉片有浮沉和聚集兩種現象，觀察後發現，葉片有其吸水性，在實驗室中進行【實驗一】、【實驗二】，其結果能重現了葉片掉入水中時的兩大影響因素：衝擊及吸水。因此【實驗三】開始我們即深入探討其聚集現象的主要非外力因素－表面張力。
- 二、浮在水面上的物體與水面接觸處有分「凸」的水面（保麗龍）及「凹」的水面（塑膠片），其中凸水面吸引凸水面，凹水面吸引凹水面，而凸水面碰到凹水面則會互相排斥，此現象是由於浮在水面上的兩物體間的距離改變，引起物體水面靠近中間部份的接觸角改變。凹遇凹或凸遇凸都會使接觸角變大進而造成表面張力向中心的水平分力變大，而使之互相吸引，反之，當凹水面遇凸水面，接觸角變小，而使之表面表面張力向中心的水平分力變小，而被反向的水面「拉開」而不是中間部分互相「排斥」。
- 三、針對同性相吸異性相斥的現象我們做了以下的分析並以相片佐證。



註：爲了方便說明，故在此將 α 放大做圖



註：
" ———→ "：表面張力
" ———→ "：表面張力分力



四、【實驗六】的結果顯示，等周長的圓和正方形可承受的最大砝碼重量有很大的差距，反倒是【實驗八】中等面積的圓形和正方形的最大負載量很接近，顯示面積對最大負重的影響遠大於周長，但表面張力的作用力和周長成正比，所以必有其他隨面積變化且向上的力遠大於表面張力的作用力，而我們分析力圖，發現是浮力會撐住塑膠片，而我們在【實驗九】中也實際測量了力圖中之數據，而結果也出乎意料之外的令人滿意（表八），理論數值和實測數值相當接近。

五、在【實驗十】中發現浮力大約為表面張力的作用力的十倍之多，一般表面張力的題型卻忽視浮力只考慮表面張力，因其與真實的現象有著太大的出入，只能說是為了測試學生對表面張力的了解而設計的題目，真正計算時反而應忽略表面張力不計，只計算浮力反而合理的多。

六、一開始，我們認為塑膠片可浮於水上是由於表面張力的作用力所支撐了砝碼的重量，因此最大負載量應與周長成正比，但：

（一）、【實驗三】中的最大負載重卻更像是與面積成正比。

（二）、【實驗六】中的鏤空圓（圖十一、十二）總周長是實心圓的二到三倍，可負載的最大砝碼重量卻是少於實心圓（如表六），另外圓形雖和正方形等周長（面積：圓形大於正方形）卻能支撐起比正方形多約五克的重量（如表六）。

（三）、【實驗七】中五十一個硬幣放在一起卻仍不會沉入水底。

從（一）（二）（三）中能得知最大負載重量不與邊長成正比，若依上方【圖

二十四】之力圖分析，及【實驗十】中浮力與表面張力的作用力的比例（ $B/F_T=8.83\sim 13.39$ ），表面張力的作用力相對較小，那麼一切就都解釋的通了。

七、我們發現表面張力作用力雖然貢獻不大，但表面張力使水面保持完整，進而使物體可些微陷於水平面下而非沉入水中，使浮力增加，故表面張力的影響仍相當重要！

柒、結論：

- 一、葉子的現象是：掉落→直接沉入水中或浮在水上→浮起的葉子聚集在一起→水面上一堆堆的枯葉慢慢吸水→先後沉入水中。
- 二、以塑膠錢幣模擬葉子掉入水面而浮起的機率，約為 20%。
- 三、保麗龍會形成凸水面，塑膠片會形成凹水面，燒杯杯壁屬於凸水面，但傾斜燒杯時液體向前流動的一端會形成凹水面。
- 四、同性相吸異性相斥：凸水面吸引凸水面，凹水面吸引凹水面，而凸水面碰到凹水面則會互相排斥。
- 五、塑膠片會形成凹的水面，而上面放的砝碼愈重，與水面間的接觸角越小，表面張力造成的作用力也就愈大。
- 六、支撐水面上的浮起物的力量主要來自浮力（ B ）而非表面張力造成的作用力（ F_T ）。
- 七、表面張力的作用仍相當重要，由於表面張力保持液面的完整，才能進而使沉體浮於水面上但呈現凹陷，凹陷的越深，其浮力就會越大，一但破壞其表面張力，則物體就會沉入水中。

捌、參考資料及其他：

一、中文部份：高二下物理課本

二：網路資源：

（一）單篇文章，無作者：

<http://homepage1.nifty.com/kingfisher/image18/leader-fishing/leader-float.htm>

（二）高雄市第 39 屆得獎作品：就是那個力-液面漂浮體的吸引與排斥現象
作者:林省文、江紹平、買大誠、王守仁