

蓮葉效應--奈米碳黑

台灣早期的農村生活中每天煮飯、燒水都使用灶（如圖 1），以木材為燃料，鍋子底部都有一層黑黑的物質（如圖 2），稱為碳黑。

現在學生在國二大露營時以木炭為燃料也會有同樣的問題，煮完的鍋子底部也是黑黑的一層。負責清洗的同學會發現當水滴到鍋底的黑色物質時水會滾走，鍋底不會溼，覺得很難清洗，而且當手摸到碳黑時連手都難清洗乾淨（如圖 3）。

以上的例子是未燃燒完全的碳顆粒也就是碳黑，和蓮葉效應很類似，我們以下面的實驗來探討碳黑是否有超疏水性及自潔性。



圖 1



圖 2



圖 3

實驗 (一)

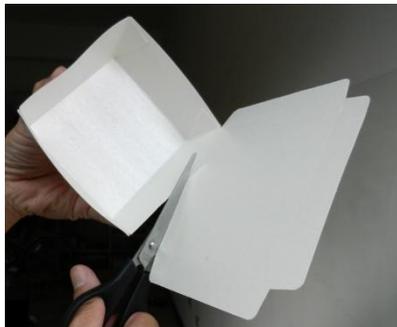
物質表面的疏水性

目的：探討水珠在碳黑表面及紙盒蓋的疏水性

實驗器材：紙盒 1 個、蠟燭 1 支、滴管 1 支、水及裝水容器

實驗步驟：

1. 將紙盒的蓋子用剪刀剪下來，將點燃的蠟燭滴些蠟油固定蠟燭在剪下來的紙盒蓋子上。



2. 將紙盒裝水置放於點火的蠟燭上方，開始燻黑紙盒底，越黑越好。將燻

好的紙盒翻面放置。



3. 使用滴管將水滴，滴於紙盒燻黑處與剪下的紙盒蓋上。
4. 觀察水滴在兩處的情形，並記錄在下表中。
5. 讓水珠在兩處滾動觀察兩者有何不同，並記錄在下表中。

觀察記錄：

水珠在碳黑表面的情形	水珠在紙盒蓋上的情形
水珠在碳黑表面滾動的情形	水珠在紙盒蓋上滾動的情形

問題與討論：

1. 步驟 2 中紙盒為何要裝水？
2. 步驟 2 中燻好的紙盒為何要翻面，放置在桌上？
3. 水珠在碳黑與紙盒蓋上，何者較圓？何者較易滾動？

由以上實驗過程，我們可觀察到，當水滴滴在碳黑表面時，水珠形成一顆圓球且在碳黑表面滾動自如，紙盒底部不會溼。當水滴滴在紙盒蓋時，水珠形成類似半橢圓，且不易在紙盒蓋上滾動。由上面的實驗觀察發現水珠愈容易滾動，其水珠形狀愈圓，與表面的接觸面積愈少。水珠愈不易滾動，其水珠形狀愈不圓，與表面的接觸面積愈多。

接觸角為水珠接觸到固體表面時形成的角(如圖四)，角 AOB 即為接觸角。當接觸角愈大表示與接觸面的接觸面積愈小，愈不容易附著在接觸面上，形成疏水性。當接觸角愈小表示與接觸面的接觸面積愈大，愈容易附著在接觸面，形成親水性。以下實驗將來探討水在不同物質表面的接觸角。

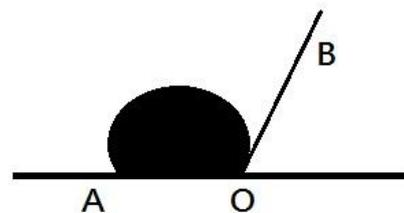


圖 4

實驗 (二)

水珠在物質表面的接觸角

目的：探討水珠在碳黑、蠟油及玻璃表面的接觸角比較

實驗器材：單眼相機、角架、量角器

實驗步驟：

1. 將實驗(一)中，燻黑紙盒底部滴一滴水珠，放在桌子邊緣。
2. 架設相機使相機鏡頭水平對準水珠與紙盒底部的接觸面拍攝（如右架設示意圖）。
3. 將拍好的照片，由電腦軟體繪圖以量角器量出接觸角大小，並記錄在下表中。
4. 將蠟油滴在紙盒上約 3~4 平方公分，同上步驟量出水與蠟油的接觸角大小，並記錄在下表中。
5. 將水滴在玻璃片上，同上步驟量出水與玻璃片的接觸角大小，並記錄在下表中。



水在物質表面的接觸角

	碳黑	蠟油	玻璃片
接觸角			

問題與討論：

1. 碳黑、蠟油、玻璃片的接觸角大小順序？是否接觸角愈大，水珠在表面愈容易滾動？

以上實驗會發現水珠在碳黑上的接觸角約在 140 度以上，所以形成超疏水性。水珠在蠟油上接觸角約為 95 度。水與玻璃片的接觸角約為 30 度。接下來實驗我們來探討碳黑表面是否有如蓮葉表面有自潔性呢？

實驗 (三)

水在碳黑表面的自潔性

目的：探討碳黑表面的自潔性

實驗器材：麵粉

實驗步驟：

1. 將實驗(一)中，紙盒底燻黑處撒上麵粉並將紙盒拿傾斜。

2. 用滴管將水滴入，觀察水滴通過麵粉時的情形，並記錄在下表中。

觀察記錄

當水滴通過麵粉時的情形	
-------------	--

問題與討論：

1. 為何水珠通過麵粉時，會將麵粉帶走？

當水滴通過麵粉時，會發現水將麵粉帶走(如下圖 5)，留下一條一條的水流過的痕跡，這情況與蓮葉表面的自潔性相似。

碳黑在掃描式電子顯微鏡觀察下結構為 30~100 奈米的顆粒，這些細微的結構使碳黑表面變得粗糙。使得水珠與碳黑接觸面積很小 (如下圖 6)，水的內聚力大於附著力，且粗糙結構中的孔隙充滿空氣也提供水珠浮力，因此表面稍有傾斜水珠很難停留在碳黑之上，水珠即滾走，因此碳黑也有蓮葉效應中的超疏水性。

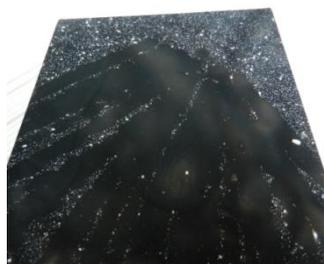


圖 5

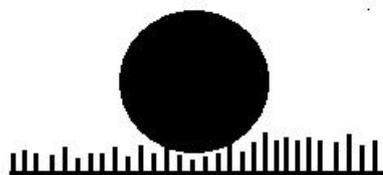


圖 6

同樣道理，當灰塵附著於碳黑表面上時，因為碳黑表面的粗糙結構，使灰塵和碳黑的接觸面積減少，因此減少了灰塵和碳黑間的吸附力量。而當水珠滾過時，由於灰塵和水珠間的接觸面積大，灰塵粒子和水珠間有較強的吸附力，所以很容易就被水珠帶走，因此碳黑也有蓮葉效應中的自潔性。

蓮花這種自潔的功能，不需人工清洗就可保持表面的清潔，我們可以將這種原理，運用在如建築物的外牆，或是汽車的烤漆等表面上，不但可減少清潔用水之污染，還可隨時保持這些表面的清潔。

事實上，在生活中有許多動植物的表面都有蓮葉效應，原因為此類的動植物表面結構粗糙程度已達奈米級。如鯨魚及海豚的皮膚擁有奈米尺寸的孔洞，也有自潔的功能，不但可以防止有害微生物的附著，還可減少游行所產生的摩擦力。另外，像昆蟲在飛行時，必須保持翅膀的平衡，如果有一點點的灰塵沾上，都會造成飛行上的問題。因此，有些翅膀較長的昆蟲，其翅膀上也有奈米尺寸的結構，具有自潔的效果。

實驗 (四)

光能與碳黑的交互作用

目的：能量守恆，光能轉換成熱能與聲能

實驗器材：數位相機、外接式閃光燈(閃光強度比相機內建的閃光燈強度強)、鉛筆、木炭、白紙

實驗步驟：

1. 點燃蠟燭再將實驗(三)中的紙盒底燻黑。
2. 將數位相機閃光燈打開距離紙盒底燻黑處 2 公分，按下快門使閃光照射碳黑 (如圖 7)，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 1 中。
3. 增加數位相機閃光燈與紙盒底燻黑處的距離，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 1 中。



圖 7

4. 用木炭塗抹在白紙上 (如圖 8)，將數位相機閃光燈打開距離木炭痕跡 2 公分，按下快門使閃光照射木炭痕跡 (如圖 9)，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 1 中。



圖 8



圖 9

5. 增加數位相機閃光燈與木炭痕跡的距離，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 1 中。
6. 用鉛筆塗抹在白紙上 (如圖 10)，將數位相機閃光燈打開距離鉛筆痕跡 2 公分，按下快門使閃光照射鉛筆痕跡 (如圖 11)，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 1 中。

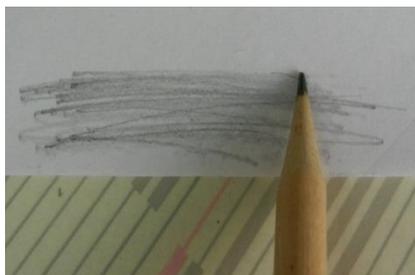


圖 10



圖 11

7. 增加數位相機閃光燈與鉛筆痕跡的距離，仔細聽及觀察，並記錄所聽

到的聲音及觀察的結果於表 1 中。

8. 改用外接式的閃光燈距離 2 公分，照射碳黑、木炭痕跡及鉛筆痕跡，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 2 中。
9. 承步驟 7，增加外接式的閃光燈距離，照射碳黑、木炭痕跡及鉛筆痕跡，仔細聽及觀察，並記錄所聽到的聲音及觀察的結果於表 2 中。

觀察記錄：

表 1.使用數位相機閃光燈

表面物質	觀察結果	增加閃光燈距離觀察結果
碳黑		
木炭		
鉛筆		

表 2.使用外接式的閃光燈(閃光強度比相機內建的閃光燈強度強)

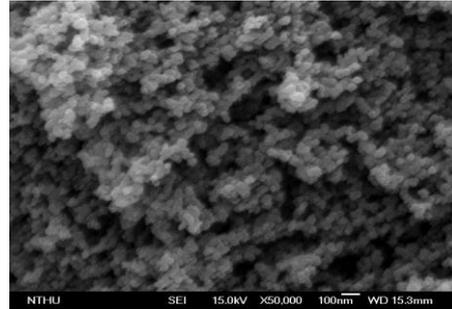
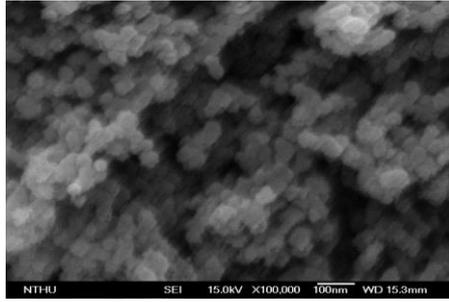
表面物質	觀察結果	增加閃光燈距離觀察結果
碳黑		
木炭		
鉛筆		

問題與討論：

1. 數位相機閃光燈照射在碳黑、木炭痕跡、鉛筆痕跡表面發生拍手擊掌聲音，何者最大聲，何者最小聲？為什麼會有聲音大小的差異？
2. 數位相機閃光燈照射在碳黑、木炭痕跡、鉛筆痕跡表面距離不同，為何拍手的擊掌聲音大小不同？
3. 改用外接式的閃光燈，照射碳黑、木炭痕跡及鉛筆痕跡表面發生拍手擊掌聲音，何者最大聲，何者最小聲？
4. 改用外接式的閃光燈，照射碳黑表面為何會出現白煙？
5. 閃光燈照射碳黑、木炭痕跡及鉛筆痕跡表面會產生反射光，何者最強？何者最弱？為什麼會有反射光強弱的差異？

由實驗四步驟 1~6 觀察結果發現，當閃光燈照射到碳黑，會產生較大的類似拍手聲，木炭次之，鉛筆痕跡最小聲。同時會觀察到反射光的強度大小為：鉛筆痕跡最強，木炭次之，碳黑最弱。使用外接式閃光燈(閃光強度比相機內建的閃光燈強度強)，觀察的結果會更明顯。同時觀察到當碳黑表面在外接式閃光燈照射下發出的聲音很大，有白煙出現，仔細觀察表面有類似被燒的痕跡。鉛筆痕跡在外接式閃光燈照射下，反射光很強，眼睛觀察時會覺得很刺眼。

在掃描式電子顯微鏡 (SEM) 下觀察碳黑顆粒大小約在 30~100 奈米之間(如下二圖)，木炭的顆粒比碳黑大很多，鉛筆的主要成分為石墨，石墨為碳的平面



結構。當閃光照射到碳黑時，光能使碳黑顆粒迅速燃燒，引起周圍空氣膨脹而發出類似拍手聲，閃光愈強同時有更多的碳黑顆粒燃燒，所以發出較大的聲音，出現較多的白煙，也可看到碳黑被燒的痕跡。石墨結構體為平面，光不易使石墨燃燒，但鉛筆劃在白紙上時會有一些小顆粒的碳出現，閃光會使這些小顆粒碳燃燒，所以聲音最小聲。木炭顆粒大小不均，小顆粒碳數介在二者之間，所以閃光照射所產生的聲音也介在二者之間。

閃光燈照射的距離會影響光照射在物質表面光能的強度。距離愈大，強度愈小與距離平方成反比。所以距離愈大，入射光愈弱，聲音愈小，距離愈小，入射光愈強，聲音愈大。

光是能量的一種，當同一距離照射時所放出光的能量可視為相同，閃光照射在碳黑時，被吸收而使碳黑燃燒的能量多，反射的光就較少。照射在石墨時，被吸收而使小顆粒碳燃燒的能量少，反射光就較強。所以當閃光照射在石墨時，反射回來的光很強，很刺眼，燃燒產生的聲音較小。當閃光照射碳黑時，反射回來的光較弱，燃燒產生的聲音很大聲。木炭介在二者之間。