

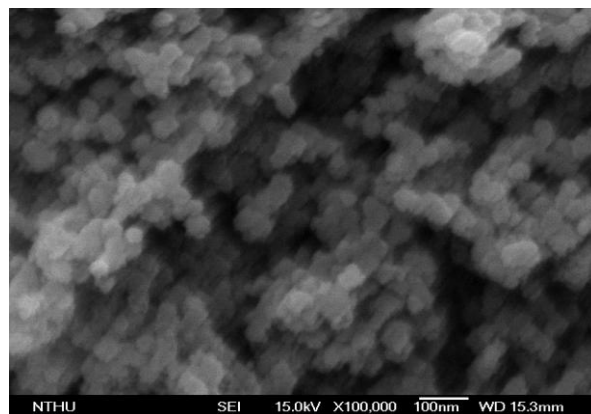
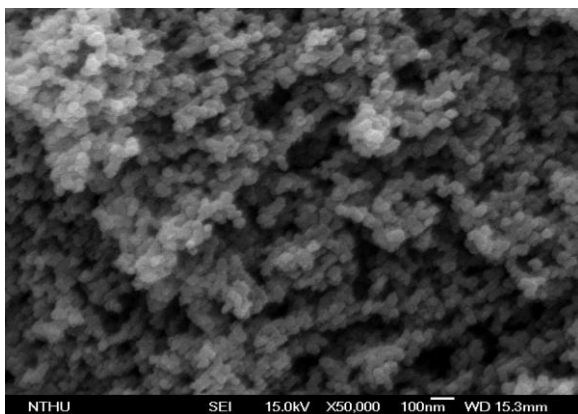
## 蓮葉效應--奈米碳黑

水珠滑過蓮葉表面、形成近乎完美的球狀、無法在蓮葉上久留。灰塵對水的親和力也比對蓮葉的親和力還大，因此只要下雨，蓮葉上的灰塵便隨著雨水全部沖刷掉。蓮葉出淤泥而不染的特質，在中國人的心中是純潔的代名詞。在佛教的經典中也處處可見。

1997年德國波昂大學的巴斯洛得教授(Wilhelm Barthlott)，發現蓮葉的疏水性及自潔性，因此創了『蓮葉效應』(Lotus effect)，並申請此商標的專利權。

蓮葉表面是蠟質，在物理結構上含有尺寸大約5~15微米細微突起與100~200奈米纖毛結構，這些細微的結構使蓮葉表面變得粗糙。水珠在突起物的頂端，並受到下方空間內的空氣的支撐，而水與表面之間的接觸面積也因這些突起物而大幅減少。以致於水的內聚力大於水與表面的附著力，使水在蓮葉表的接觸角變成約160度，因此水在蓮葉表面滾動自如且不會沾濕蓮葉表面，這是蓮葉超疏水性形成原因。同樣灰塵掉落在蓮葉表面時，也因蓮葉表面細微突起與奈米纖毛結構，而使接觸點很少，當下雨時，灰塵與水的附著力就會大於灰塵與表面的附著力，於是灰塵便隨著水珠一同脫離表。

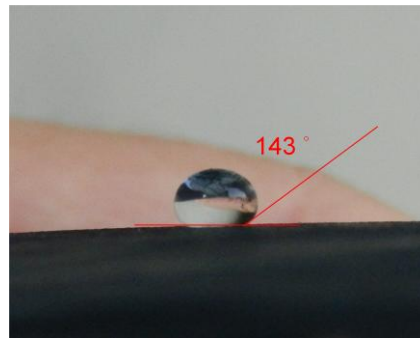
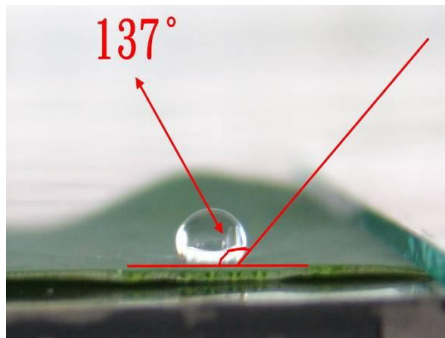
在學校中要採取蓮葉並不容易，蓮葉離水約2小時就開始枯萎，蓮葉也有季節性，所以改用碳黑來代替蓮葉，也讓學生理解大自然中有很多類似蓮葉的物質。碳黑是未燃燒完全的碳顆粒，在我們日常生活隨處都有，只是顆粒太小我們沒有查覺。早期人們生活以燃燒木材為主，鍋子底部會有一層黑色物質很難用水清洗，人們會先用硬物刮除再清洗，若沾在手上，手不好清洗乾淨。在SEM下觀察到碳黑顆粒大約在30~100奈米之間(如下圖)，使得燒木材的鍋子底部變得很粗糙，和蓮葉表面類似，因此水在碳黑表面也是滾動自如如有超疏水性。



火源為蠟燭 (鍾志輝老師於清華大學拍攝)

接觸角愈大表示疏水性愈好，角度愈小表示親水性愈好，一般接觸角小於30度為親水性，大於90度為疏水性(防水性)，大於150度為超疏水性。接觸角的測量有儀器可測量，在中學較難有此設備，我們可以利用腳架將像機固定好在桌邊，鏡頭水平對準水珠與接觸面拍攝，將拍攝好的相片放在電腦，利用電腦軟

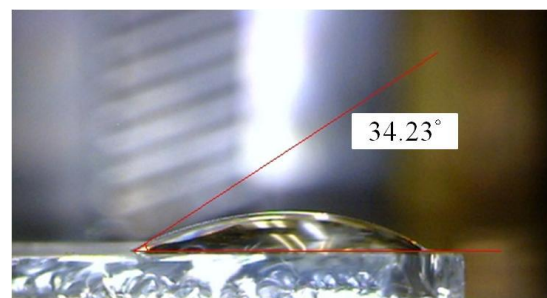
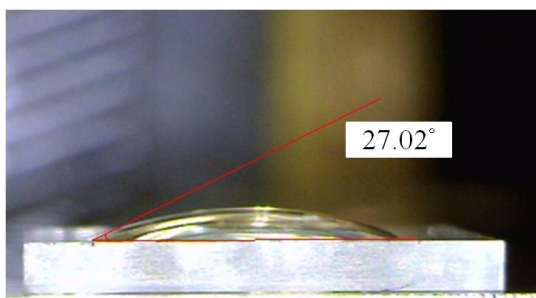
體在水珠與表面接觸畫一條水平線，再由水珠與表面接觸最邊緣的點為起點畫一條水珠的切線，兩條線的夾角即為接觸角(如下圖所示)。以此方法測出的結果不是很準確，但可以讓學生了解接觸角的意義，而且可用比較方式讓學生理解。



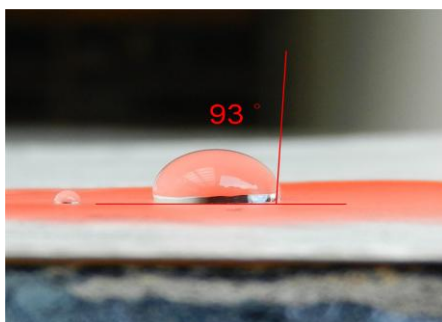
(以一般像機拍攝，用電腦劃線量角度，所呈現接觸角較奈米書籍中所提為小在此僅以同一拍攝方法來比較在各不同接觸面上所呈現的接觸角不同)

蓮葉表面接觸角測量出來比儀器測量小許多，因為我們較無法將蓮葉完全平貼在桌上，所以測出角度較小。但由兩者比較，可以讓學生理解碳黑也是超疏水性。

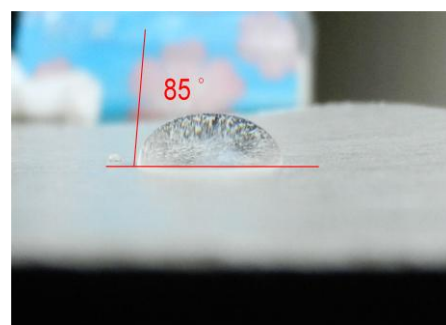
水在玻璃表面的接觸角約為 30 度(如下兩圖)



水珠在蠟油上與紙盒蓋(紙上的一層蠟)的接觸角約為 90 度



蠟油



紙盒蓋

利用麵粉撒在碳黑表面當成灰塵在蓮葉表面，當水流過時會將麵粉帶走。讓學生了解自潔性。如果在碳黑表面一直讓水流過，會發現水珠會沖走碳黑，在桌面的水會有黑色出現，這表示碳黑也會被水沖走，因為碳黑是利用蠟燭燻上去的，附著力不是很強，容易被水沖走，蓮葉是植物生長出來的，所以表面的細微突起與奈米纖毛結構不會被水沖走，若受到破壞也會自行修補。

閃光燈的光能，照射到碳黑會引起燃燒並發出聲音，這是能量轉換的好教材。因為碳黑顆粒很小，又是黑色物質(註 1)，當足夠的光能入射時，吸收足夠的能量引起碳黑燃燒，使周圍空氣瞬間膨脹而發出聲音。若閃光燈改為外接式(射出光強度較強)，同時會有更多的碳黑同時燃燒，所以聲音大很多，同時也會看到白煙出現。此白煙為蠟油因碳黑燃燒而引起燃燒的產物-水蒸氣遇冷凝結成小水滴(註 2)。(此實驗的碳黑來源為蠟燭，在收集碳黑的過程中有些蠟油會附著在其上)。使用木炭在白紙上劃上痕跡，使用閃光燈照射時發出聲音較碳黑小，因為木炭顆粒大小不均勻，小顆粒較少(註 3)，閃光燈照射能引起小顆粒燃燒同時發出聲音，但大顆粒無法燃燒，所以燃燒情形不如碳黑劇烈。使用鉛筆在白紙上劃上痕跡，使用閃光照射時發出聲音較木炭痕跡小，因鉛筆主要成分為石墨，而石墨為碳的平面結構，當鉛筆劃在白紙上時，出現小顆粒更少(註 3)，因此閃光燈照射引起燃燒情形不如木炭痕跡。

閃光燈照射時也會有反射光出現，因為照射光在同一距離照射時，我們可視為入射光的能量相等，碳黑吸收最多入射光能而燃燒，所以反射光最弱。鉛筆痕跡吸收最少的入射光能而燃燒，所以反射光最強。木炭痕跡介於二者之間。這是能量守恆與能量轉換很好的教材。

**註 1：**

第 50 屆中小學科學覽，國中組生活與應用科學，作品名稱："碳"討「C」望。榮獲佳作獎。其中有探討碳黑與一般黑色物質對熱輻射的比較，結果發現碳黑熱輻射能力較強。

**註 2：實驗證明白煙為水蒸氣**

器材：玻璃培養皿一個，紙杯一個，蠟燭，氯化亞鈷試紙，閃光燈。

步驟：

1. 將紙杯底用蠟燭燻黑，剪下放入培養皿中(如圖一)
2. 將氯化亞鈷試紙剪一半貼在培養皿蓋子的內部(如圖二)
3. 用閃光燈由培養皿上方持續閃光使碳黑燃燒產生白煙(如圖三)

結果：氯化亞鈷試紙由粉紅色變為藍色，證明白煙為燃燒產物-水蒸氣遇冷凝結成小水滴(如圖四)。

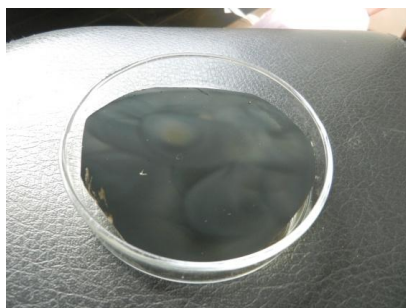


圖 1



圖 2



圖 3

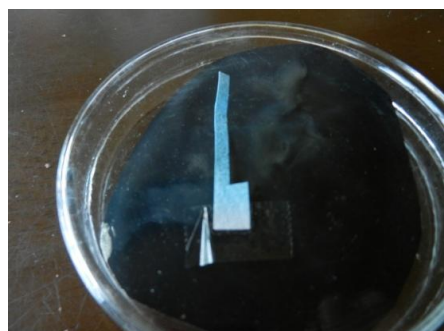


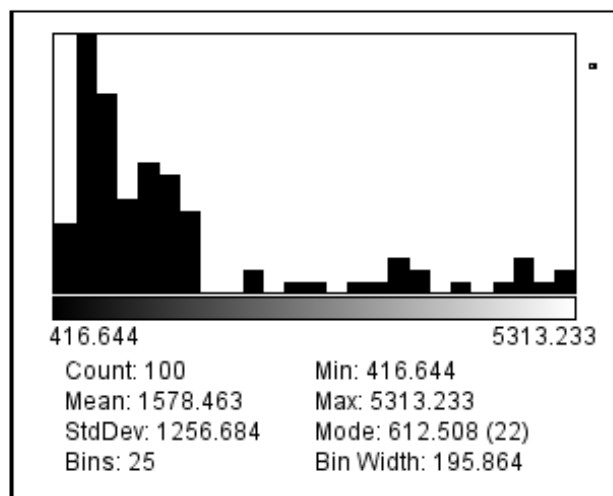
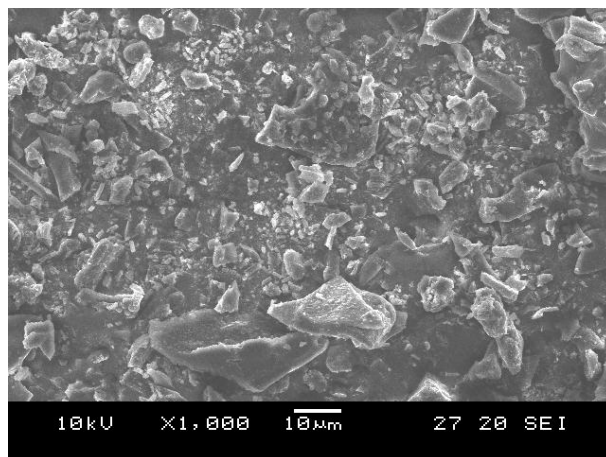
圖 4

註 3：

用 SEM 掃描木炭痕跡與鉛筆痕跡並計算顆粒數

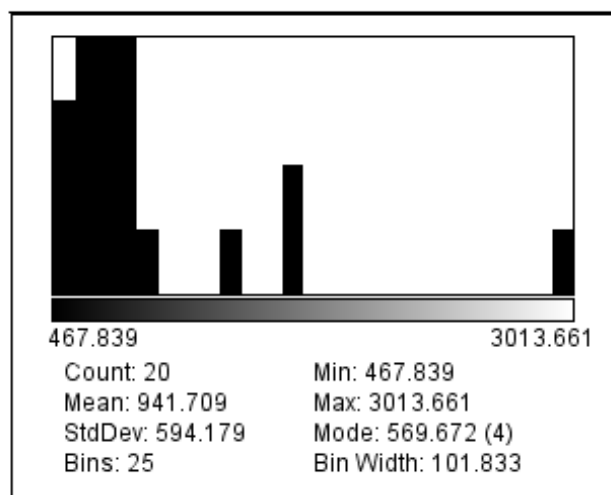
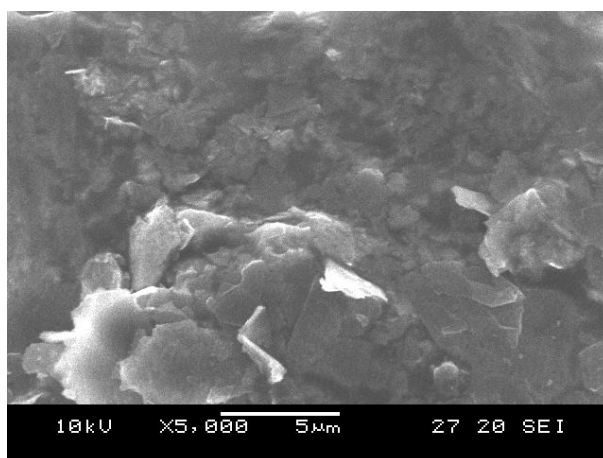
木炭痕跡

粒徑 (nm)	個數
416.6	6
612.5	22
808.4	17
1004.2	8
1200.1	11
1396.0	10
1591.8	7
1787.7	0
1983.6	0
2179.4	2
2375.3	0
2571.1	1
2767.0	1
2962.9	0
3158.7	1
3354.6	1
3550.5	3
3746.3	2
3942.2	0
4138.1	1
4333.9	0
4529.8	1
4725.6	3
4921.5	1
5117.4	2



## 鉛筆痕跡

粒徑 (nm)	個數
467.8	3
569.7	4
671.5	4
773.3	4
875.2	1
977.0	0
1078.8	0
1180.7	0
1282.5	1
1384.3	0
1486.2	0
1588.0	2
1689.8	0
1791.7	0
1893.5	0
1995.3	0
2097.2	0
2199.0	0
2300.8	0
2402.7	0
2504.5	0
2606.3	0
2708.2	0
2810.0	0
2911.8	1



由以上兩者顆粒數可以了解，木炭痕跡小顆粒數比鉛筆痕跡小顆粒數大很多，所以木炭痕跡較鉛筆痕跡燃燒劇烈，吸收較多光能使反射光較弱。

(感謝大同大學材料工程學系博士班魏翊軒協助)

### 實驗建議：

本實驗可以請學生將吃完早餐的紙盒用衛生紙擦拭乾淨即可用，也請學生從家中帶來蠟燭，裝水容器在教室中學生的水壺或茶杯即可，鉛筆在學生的書包中可取得。

老師準備木炭一塊，麵粉少量，滴管(最好每人1支)，數位像機的閃光燈(手機的閃光燈能量不足)及外接式閃光燈。

使用蠟燭燻紙盒時，應注意紙盒中水量約為紙盒的 $1/3\sim 1/2$ ，燻黑時盡量保持紙盒水平，避免水集中在一側而燭火在另一側，紙盒因而起火燃燒。燻黑時紙盒底部最好在燭火的內焰，收集碳黑較快。

實驗(四)建議由教師示範給學生看，讓全班學生聚焦在教師的手上。筆者經驗：1.全班學生會很驚訝而專心在觀察與探討。2.讓學生帶像機來學校較不方便。

## 學生學習手冊參考答案：

### 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與滾動情形

觀察記錄：

水珠在碳黑表面的情形	水珠在紙盒蓋上的情形
形成一顆圓圓的水珠	水珠形狀類似半個橢圓形
水珠在碳黑表面滾動的情形	水珠在紙盒蓋上滾動的情形
滾動自如	不易滾動

問題與討論：

1. 步驟 2 中紙盒為何要裝水？

答：避免紙盒燃燒

2. 步驟 2 中燻好的紙盒為何要翻面，放置在桌上？

答：燻上的碳黑，附著力不足，若不翻面放在桌上，會有部分碳黑留在桌面，在紙盒底的碳黑量減少而影響實驗。

3. 水珠在碳黑與紙盒蓋上，何者較圓？何者較易滾動？

答：水珠在碳黑表面上較圓較易滾動。

### 實驗 (二)

#### 水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

實驗記錄

	碳黑	蠟油	玻璃片
接觸角	約 140 度	約 85 度	約 30 度

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？

答：接觸角大小為碳黑>蠟油>玻璃。接觸角愈大，水珠愈容易滾動。



### 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

觀察記錄

當水滴通過麵粉時的情形	水珠會將麵粉帶走
-------------	----------

問題與討論：

1. 為何水珠通過麵粉時，會將麵粉帶走？

答：因為碳黑顆粒小有類似蓮葉表面結構，因此碳黑表面也有蓮葉效應中的自潔性。

### 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

觀察記錄：

表(一)使用數位像機閃光燈

表面物質	觀察結果	增加閃光燈距離觀察結果
碳黑	類似拍手聲且大聲	距離增加聲音變小
木炭	類似拍手聲比碳黑小聲	距離增加聲音變小
鉛筆	類似拍手聲比木炭小聲	距離增加聲音變小

表(二)使用外接式的閃光燈(閃光強度比像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	類似拍手聲且很大聲，閃光燈照射處有白煙出現，同時看到反光	距離增加聲音變小，白煙變少，反光減少
木炭	類似拍手聲比碳黑小聲，沒有看到白煙，反光比碳黑強	距離增加聲音變小，沒有看到白煙，反光減少
鉛筆	類似拍手聲比木炭小聲，沒有看到白煙，反光比木炭強 會刺眼	距離增加聲音變小，沒有看到白煙，反光減少，較不刺眼

### 問題與討論：

1. 數位像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？

答：碳黑最大聲，鉛筆痕跡最小聲。因為閃光照射到小顆粒的碳會引起燃燒而發出聲音，碳黑顆粒最小且均勻，可以同時引起最多碳顆粒燃燒，所以最大聲。鉛筆痕跡中小顆粒的碳數最少，所以燃燒程度最小發出的聲音最小聲。

2. 數位像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？

答：光照射到表面的強度與距離平方成反比，入射光的強度不同，小顆粒碳燃燒的量不同，發出聲音大小也不同。距離愈小，聲音愈大。

3. 改用外接式的閃光燈(閃光強度比像機內建的閃光燈強度強)，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？

答：碳黑最大聲，鉛筆痕跡最小聲

4. 改用外接式的閃光燈，照射碳黑表面為何會出現白煙？

答：用蠟燭燻收集碳黑，同時有少量蠟油附著在碳黑上，當閃光強度很強時會引起很多的碳粒燃燒，使得附著在碳黑的蠟也燃燒產生水蒸氣遇冷凝結成小水滴形成白煙。

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？

答：鉛筆痕跡最強，碳黑最弱。因為在同一距離的入射光強度是相同的，碳黑燃燒最劇烈，被吸收的光能最多，反射光最弱。鉛筆痕跡燃燒程度最小，被吸收的光能最少，反射光最強。

## 習作參考答案：

### 一、 選擇題

1. 水珠在碳黑表面滾動情形類似在蓮葉表面，我們可以說碳黑表面有 (A) 超疏水性 (B) 疏水性 (C) 超親水性 (D) 親水性

答：(A)

2. 水珠在蓮葉表面滾動不會破壞蓮葉表面，但水珠在碳黑表面滾動會將碳黑帶走，為什麼？ (A) 因為蓮葉表面較硬 (B) 因為蓮葉表面有蠟質 (C) 因為碳黑在紙盒上的附著力較弱 (D) 因為碳黑是蠟燭燃燒的產物，蠟燭與天然蠟的附著力不同

答：(C)

3. 水珠在碳黑表面滾動時，可以將麵粉帶走，我們可以說碳黑表面有 (A) 自潔性 (B) 疏水性 (C) 親水性 (D) 內聚力大於附著力 (E) 表面張力

答：(A)

4. 水珠接觸角愈大的理由為何？ (A) 超疏水性 (B) 超親水性 (C) 水珠與接觸表面的接觸面積愈小 (D) 水珠愈小，接觸角愈小 (E) 附著力大於內聚力

答：(C)

5. 閃光燈照射在碳黑、木炭痕跡、鉛筆痕跡時，為何照射在碳黑表面產生的聲音最大？ (A) 碳黑顆粒最小，最多碳顆粒同時燃燒 (B) 碳黑最黑，能吸收較多的光能 (C) 碳黑顆粒最小，排列最整齊 (D) 碳黑顆粒最小，排列最緊密

答：(A)

6. 閃光燈照射在碳黑、木炭痕跡、鉛筆痕跡時，為何照射在鉛筆表面產生的反射光最強？ (A) 鉛筆含有鉛，最容易反射 (B) 同能量的光能射向鉛筆痕跡，因被吸收燃燒的能量最少，沒被吸收的能量反射回來最多 (C) 石墨是鉛筆的成分，是碳的平面結構，當光射向石墨時，表面光滑所以較易反射 (D) 鉛筆的顏色較碳黑及木炭淡，所以不易吸收入射光而反射

答：(B)

7. 閃光燈照射在碳黑表面時，閃光燈與碳黑的距離愈大，產生的聲音愈小，(例如距離 3 公分與 4 公分，聲音強度降很多)，為什麼？ (A) 因為距離愈大，入射光愈不容易集中 (B) 因為光的波長很短，差 1 公分對光而言已經相差約 2000 個波 (C) 入射光能與照射面的距離平方成反比，入射光能差很多，所以產生的聲音差很多 (D) 距離愈大，手拿閃光燈較不易垂直照射

答：(C)

### 二、 題組

宋周敦頤在〈愛蓮說〉中寫著：「水陸草木之花，可愛者甚蕃。……吾獨愛蓮之出汙泥而不染，濯清漣而不妖，中通外直，不蔓不枝……」。由於蓮葉表面總是能保持潔淨不染，因此自古以來，蓮花被中國文人形容為花中君子；在佛教中又

常以蓮葉圖案及其出汗泥不染的特性做為精神及聖潔象徵。而蓮葉是怎麼做到「出淤泥而不染」的呢？

再者目前市面上有許多應用此蓮葉的結構，仿生出很多實用產品，常見的有自潔磁磚、自潔玻璃。也有在馬桶上塗上一層此材料，使表面形成完全不會附著髒污的保護層。

早期農村的灶燒材，鍋子底部會燒成一層黑黑的碳黑，又如國中學生露營野炊時也有同樣的現象，負責清洗的同學會發現沖洗時的水滴，會在碳黑層表面形成水珠或滾走，若不小心手接觸碳黑，手也不易清洗乾淨。

近來也有使用像機去拍碳黑表面時，發現閃光燈的脈衝光照射到碳黑表面會引起爆鳴聲甚且產生黑煙。同樣的使用鉛筆塗在紙上或木炭塗在紙上，以閃光燈照射時也會發出爆鳴聲及反射的光。經測量爆鳴聲的大小，發現碳黑生的聲音最大，木炭次之，鉛筆最小聲。反射光的強度為鉛筆最強，木炭次之，碳黑最小

根據以上文章回答下列問題：

1. 蓮葉表面已知為蠟質的奈米結構，所以有超疏水性，其超疏水的主要原因為何？ (A)因為蠟質不親水，所以水不附著其上 (B)因為蠟質奈米結構使水與表面接觸面積很小，水的內聚力大於附著力，所以水不附著其上 (C)因為蠟質奈米結構柔軟似毛有撥水性，將水撥離表面 (D)因為蠟質奈米結構表面非常平滑，使水無法產生附著力，所以水無法附著其上 (E)只要是奈米結構一定有疏水性

答：(B)

2. 蓮葉表面已知有奈米結構，所以有自潔性，其自潔的原理為何？ (A)因為蠟質表面附著力很小，所以一般物質無法附著其上，當水流過即可將蓮葉表面物質帶走 (B)因為蠟質奈米結構使一般物質與表面接觸面積很小，當水流過時與水的附著力大於與蓮葉表面的附著力，所以被水帶走 (C)因為蠟質奈米結構柔軟似毛有撥水性，將水及一般物質撥離表面 (D)因為蠟質奈米結構表面非常平滑，使水及一般物質無法產生附著力，當水流過時與水的附著力大於與蓮葉表面的附著力，所以被水帶走 (E)只要是奈米結構一定有自潔性

答：(B)

3. 水在蓮葉表面的接觸角(角 AOB)很大，以下何圖正確？



答：(C)

4. 上文中的碳黑有類似蓮葉表面的效應，以下推論何者正確？ (A)碳黑對水的親和力很差，水無法附著其上 (B)碳黑結構排列整齊，以致於水無法和碳黑結合，所以水無法附著其上 (C)碳黑顆粒是奈米級，水無法附著其上 (D) 碳黑在鍋底的附力不佳，所以水無法附著其上

答：(C)

5. 上文中碳黑、木炭塗在紙上、鉛筆塗在紙上三者有閃光燈的照射下，其拍手聲與反射光強度相反，關於此現象的推論何者正確？ (A) 因為碳黑顆粒最小吸收最多的閃光，引起燃燒最旺所以發出聲音最大，反射回來的光最少 (B) 因為鉛筆中含有石墨表面平滑，最容易使光反射 (C) 鉛筆因含有鉛，最容易使光反射 (D) 因為碳黑為奈米結構，光進入後不易反射出來 (E) 木炭顆粒比碳黑大，木炭顆粒之間的空隙較碳黑大，光進入較容易反射出來
- 答：(A)

### 參考資料

學蜘蛛人趴趴走 佛布茲(Peter Forbes)著，張雨青譯 遠流出版

奈米新世界 <http://nano.nstm.gov.tw/02nature/nature03.asp>

奈米,不是啥稀米 天下文化出版