

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 物理科

第一名

最佳創意獎

040114

碳黑受閃光產生爆鳴聲之研究

學校名稱：高雄縣立路竹高級中學

作者： 高一 方昱迪 高一 蘇芳儀 高一 高子婷 高一 林孜育	指導老師： 鍾志輝 戴嘉亨
---	-----------------------------

關鍵詞：碳黑

碳黑受閃光產生爆鳴聲之研究

摘 要

利用蠟燭在紙杯底部燻出碳黑，經數位相機拍攝後產生爆鳴聲，為了解爆鳴聲產生的原因，於是引發研究的動機。

要探討的問題有三，首先了解是否為相機的閃光引發聲音且碳黑受閃光後是否產生電荷，接著研究碳黑受閃光產生電量與爆鳴聲分貝值之關係，最後分析光頻率、光照度、拍攝面積大小與碳粒徑等因素對電量有何影響？

研究結果：

- 一、爆鳴聲的確是由閃光所引起，如需測量有無電場與溼度高低是影響電量測量的關鍵因素。
- 二、碳黑量愈多，電子傳遞路徑會縮短導電性增高，且爆鳴聲的分貝值與產生的電量接近線性關係，可用分貝值來替代產生電量。
- 三、波長較短的可見光可形成較多的電荷；照度愈大、接受照射面積愈大與碳的粒徑愈小，均能產生較多的電量。

壹、研究動機

在一次校內舉辦的奈米科學營活動中，老師讓我們做了一系列的「蓮葉效應」(LOTUS EFFECT) 實驗，其中有一項實驗是利用燃燒的蠟燭在紙杯底部燻出一層碳黑，利用滴管滴水後可在碳黑層上觀察到水滴呈現圓球狀。

由於產生的水滴很漂亮，在好奇心的驅使下拿起數位相機拍照，當閃光燈亮起的剎那間聽到了一聲“啪”，嘗試了好幾次都出現同樣的情形，於是請教老師，老師並沒有給明確的答案，但他告訴我們這個現象相當有趣，可否進一步深入了解為何會產生聲音？因此我們想了解爆鳴聲產生的原因，以及有哪些因素會影響聲音，因而引發研究的動機。

貳、研究目的

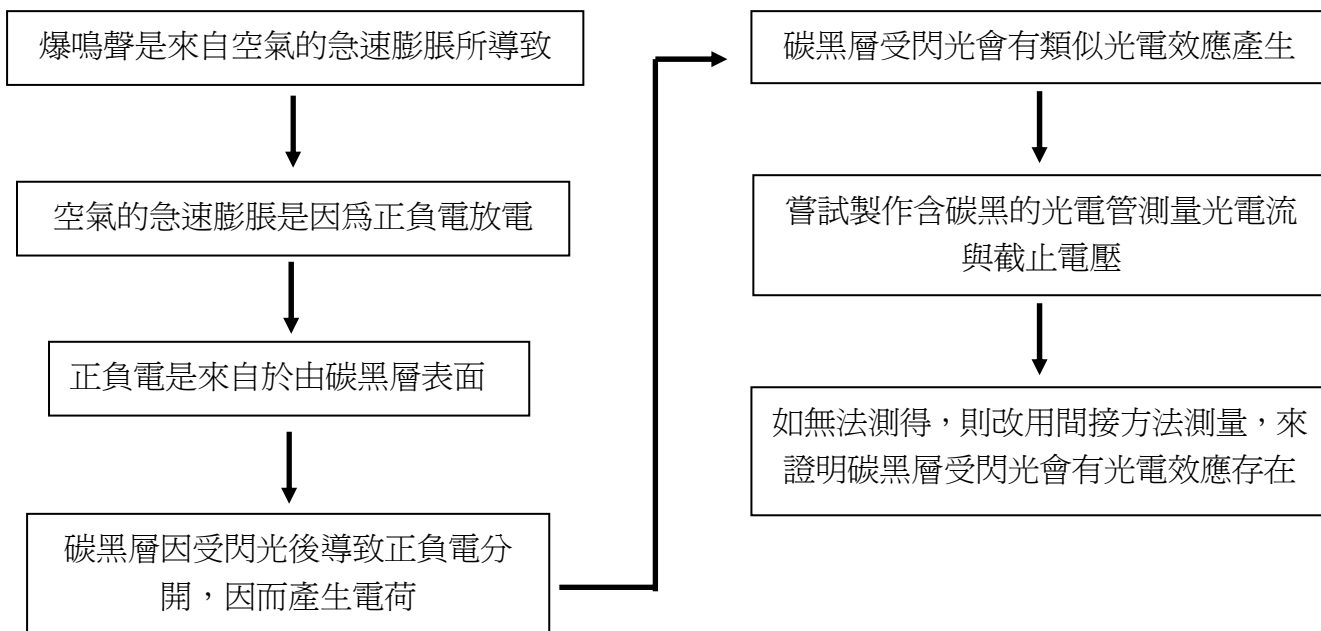
本研究欲探討的問題如下：

- (一) 研究閃光是否引發聲音。
- (二) 製作含碳黑光電管並測量光電流。
- (三) 研究碳黑導電性與受閃光後是否產生電荷。
- (四) 研究碳黑受閃光產生電量與爆鳴聲分貝值之關係。
- (五) 了解光頻率、照度對電量產生的影響。
- (六) 了解拍攝面積大小對電量產生的影響。
- (七) 了解碳粒徑對電量產生的影響。

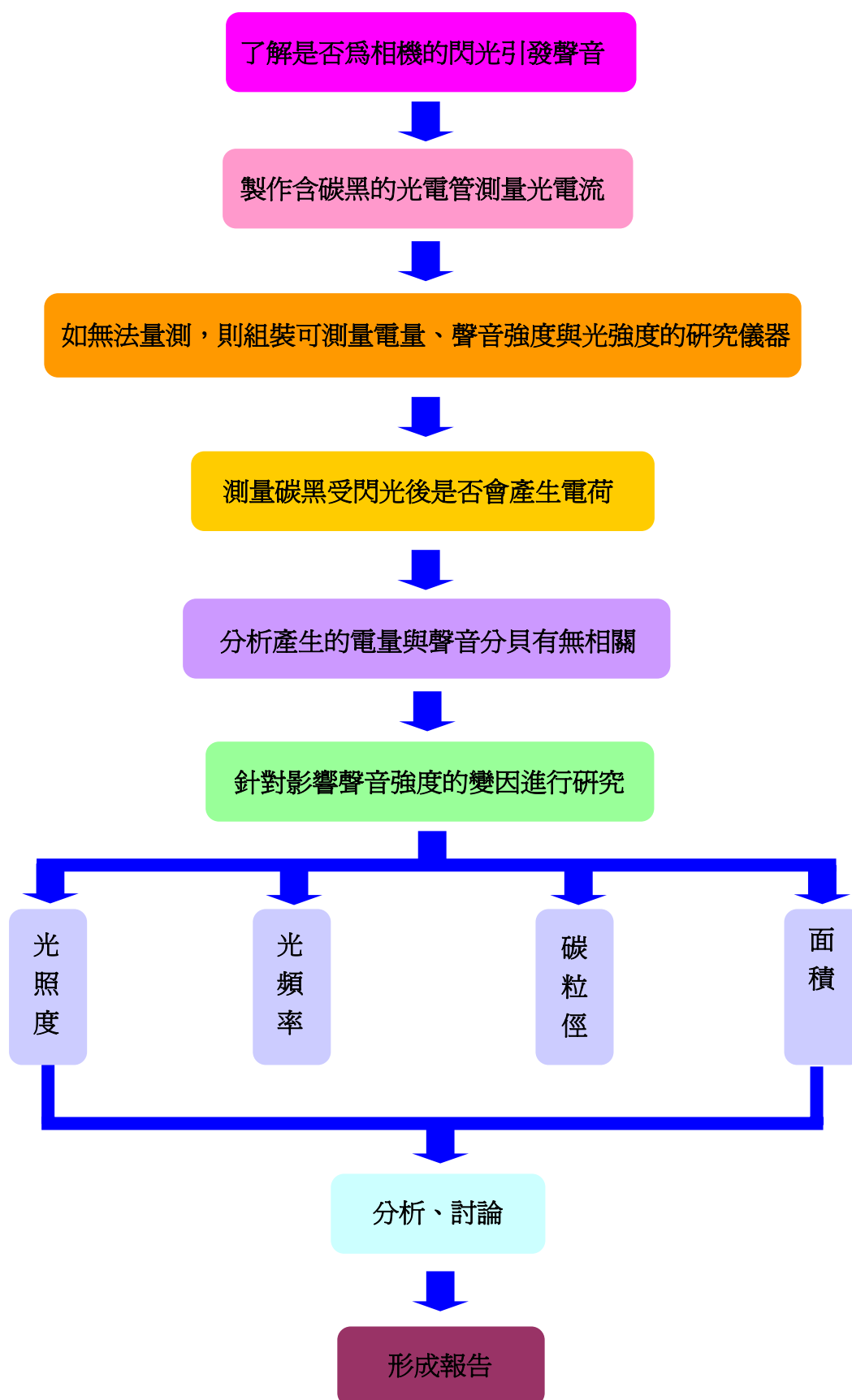
叁、研究方法、流程與文獻探討

3-1 研究方法

當閃光照射碳黑時會有爆鳴聲，因此我們有以下的推論與假設。



3-2 研究流程



3-3 文獻探討

3-3-1 碳黑(Carbon black)

碳黑是一種無氣味、不可溶的黑色粉末，它是碳元素的粉末形式，一般為以重油或煤焦油在高溫缺氧下不完全燃燒所形成的產物。

碳黑、石墨及鑽石均屬於碳氫化合物結構。鑽石屬於 sp^3 鍵結，電子不能自由的傳遞，熔點高，硬度極安定性甚大，無導電性（圖1所示）。石墨屬於 sp^2 鍵結，電子可以上下、左右的傳遞，形成導電通路（圖2所示）。碳黑由六角環形成的層狀結構，每3-4 層為一單位，構成碳黑最小結構（圖3所示）。

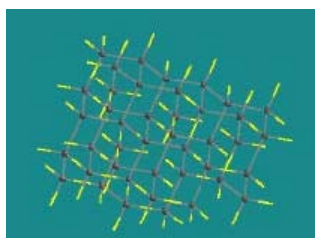


圖 1 鑽石

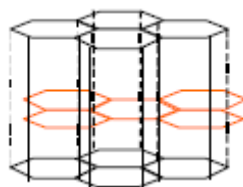


圖 2 石墨

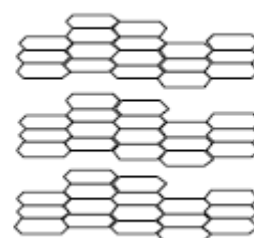


圖 3 碳黑

碳黑詳細的形成機制尚不明瞭，但大致形成過程如圖4所示。碳黑的原料為碳氫化合物，在高溫下經熱分解縮合反應，生成多環芳香族碳氫化合物，再生成初期的碳核，碳核互相碰撞形成基本顆粒，經過集結後形成凝結體。

碳黑依大小可分為(a)基本顆粒(primary particle), (b)凝結體(aggregate), (c)凝結塊(agglomerate)三種程度。凝結體與凝結塊的區別為，凝結體：由數個基本粒子以面對面的接觸方式凝結而成，結合力較強且結構較為緊密，明顯地減少粒子的總表面積，較難分散。凝結塊：由數個基本粒子以角對角或邊對邊形成，結合力較弱且結構較為鬆散，較容易打散。

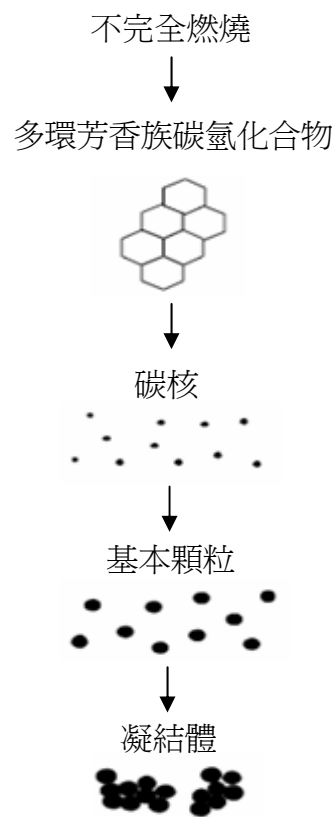


圖 4 碳黑的形成過程

若由多數的基本顆粒組成的凝結體，稱作複雜構造(high structure)。反之，若只有少數基本顆粒組成的凝結體，稱作簡單構造(low structure)，如圖5所示。

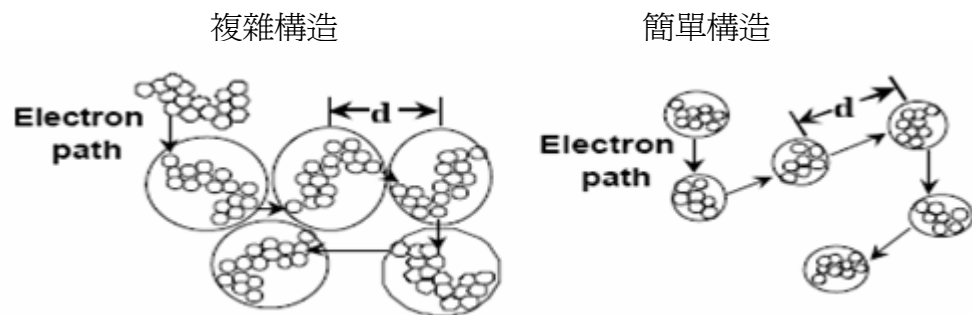


圖 5 複雜結構與簡單結構

以下為複雜構造與簡單構造一些特性比較

構造	導電效果	分散情形
複雜構造 (high structure)	電子傳遞的路徑短，導電的效果愈好	凝結體彼此間的中心距離較遠，故吸引力較弱，所以容易分散。
簡單構造 (low structure)	電子傳遞的路徑長，導電效果愈差	中心距離較近，故吸引力較強，所以較難分散。

炭黑的主要用途是在橡膠產品，主要是輪胎和其它汽車產品上，及許多其它橡膠產品譬如軟管、墊圈和上漆的織品。少量炭黑被使用在墨水、油漆、塑料裡和在乾電池製造上。

3-3-2 電負性

諾貝爾化學獎得主鮑林，於 1932 年首先提出了用以描述原子核對電子吸引能力的電負性概念，電負性綜合考慮了電離能和電子親合能，它以一組數值的相對大小表示元素原子在分子中對成鍵電子的吸引能力，稱為相對電負性，簡稱電負性。元素電負性數值越大，原子在形成化學鍵時對成鍵電子的吸引力越強。

同一週期從左至右，有效核電荷遞增，原子半徑遞減，對電子的吸引能力漸強，因而電負性值遞增；同族元素從上到下，隨著原子半徑的增大，元素電負性值遞減。過渡元素的電負性值無明顯規律。就總體而言，週期表右上方的典型非金屬元素都有較大電負性數值，電負性概念還可以用來判斷化合物中元素的正負化合價和化學鍵的類型，**元素的電負性愈大，吸引電子的傾向愈大，非金屬性也愈強。**

碳的電負性值為 2.55，在週期表中屬於較高者（如圖 6 所示），代表碳原子核對電子吸引能力相當的強，亦即碳原子的電子一但被游離後，會因為很強的吸引力使得電子迅速重回。

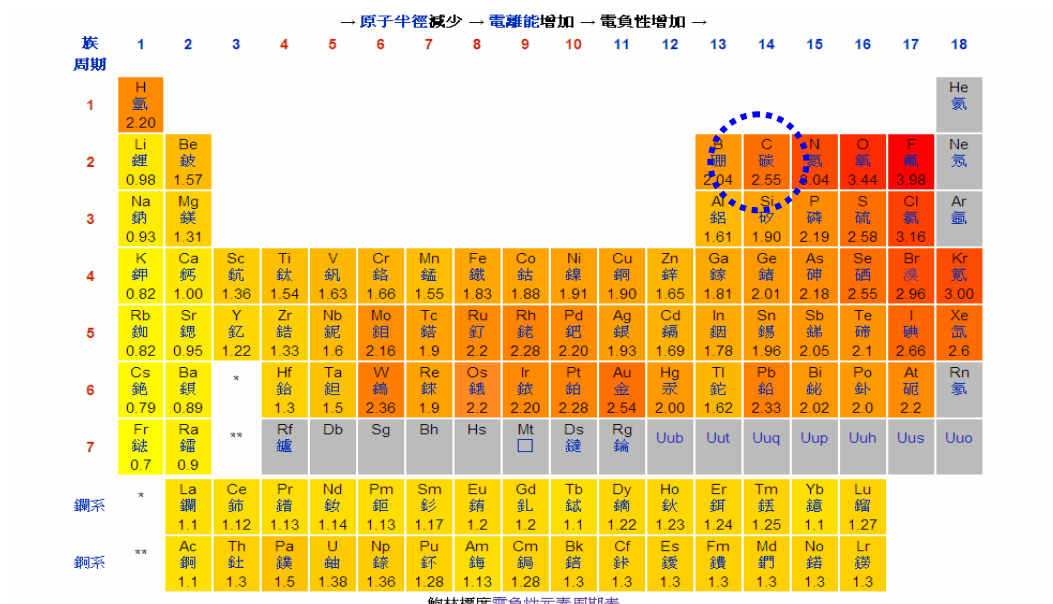





圖 6 電負性大小的鮑林標度表

肆、研究設備與藥品

含碳黑光電管·····	1台
數位相機·····	1台
介電質實驗儀（LEYBOLD HERAEUS）·····	1台
電源供應器·····	1台
防潮箱·····	1台
照度計·····	1台
分貝計·····	1台
筆記型電腦·····	1台
三用電錶·····	1台
溼度計·····	1個
蠟燭·····	1根
木炭條·····	1枝
碳粉·····	1盒
鋁箔紙·····	1盒
玻璃紙（紅、黃、綠、藍）·····	各一張

介電質實驗儀	電量指示表	含碳黑光電管
		
防潮箱	分貝計	照度計
		

伍、研究過程、結果與討論

一、階段一：研究閃光是否引發聲音

(一)步驟：

- 1.由於是數位相機引發爆鳴聲，因此我們想要了解到底是否為閃光所引起。
- 2.實驗的環境是在一間隔音設備良好的空間中，分別將數位相機的閃光開啓與關閉，對準碳黑拍攝（同一高度），分別測量分貝值五次再取平均值。

(二)結果：

表 1 有無閃光分貝值比較

	閃光開啓	閃光關閉	背景分貝值
分貝值五次平均 (dB)	44.6	35.8	35.3
耳朵感覺	有明顯爆鳴聲	無爆鳴聲	

(三)分析與討論：

- 1.由表1可看出閃光關閉後的分貝值與背景值相差不大，因此得知在無閃光的情形下無法產生爆鳴聲。
- 2.在閃光開啓時的分貝值與背景值相差甚大，因此可以確定的爆鳴聲是由閃光引起。

二、 階段二：製作含碳黑光電管並測量光電流

(一)目的：

在階段一了解到閃光的確會引發聲音，再加上我們原始的推論認為碳黑受閃光後可能會有光電效應產生，因此為了直接證明，所以製作含有碳黑的光電管。

(二)步驟：

- 1.光電管構圖如圖7所示。
- 2.鋼製尖端與鋼製鐵絲網相當靠近，並在鋼製鐵絲網燻上碳黑，最後抽真空再封口。
- 3.製作過程中圖 8 為燻碳黑，圖 9 為抽真空。

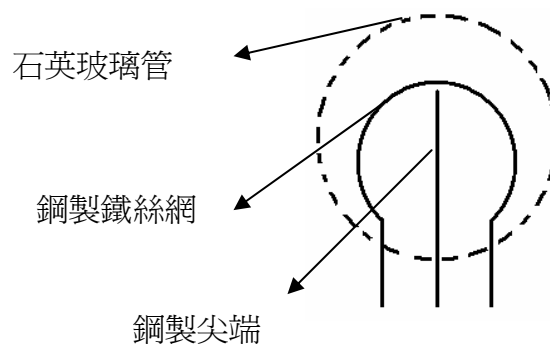


圖 7 光電管示意圖



圖 8 光電管燻碳黑



圖 9 光電管抽真空

- 4.圖 10 為真空管整體圖，圖 11 為碳黑側面圖。



圖 10 光電管整體圖



圖 11 光電管側面圖

- 5.製作好後，測量光電流與截止電壓。

(三)結果與分析：

- 1.使用鋼製鐵絲網的的旨在於加大受光表面積，另外鋼製尖端與鋼製鐵絲網相當靠近在使光電流能較容易產生。
- 2.經過測量後，我們量不到光電流，原因有可能是：
 - (1) 使用鋼製材料當電極，導電性不如銅來的佳。
 - (2) 鋼製尖端有燻到碳黑，而碳黑的導電性不佳，因此有可能使微弱的光電流無法通過。
 - (3) 光電管為一球體，當閃光到達時容易被折射到他處，因此到達碳黑的光量可能不足。
- 3.由於光電管是商請交大電子物理系的技佐幫忙製作，因過程繁雜，所以我們礙於器材不易取得與製作困難，故轉而改以間接的方式來探究碳黑受閃光是否會產生電荷？

三、 階段三：研究碳黑導電性與受閃光後是否產生電荷

(一) 步驟：

- 1.改變6次不同燻烤時間，將杯子底部燻出碳黑，再利用三用電表測量電阻。
- 2.利用介電質實驗儀並事先歸零，再調整測量範圍鈕，測量碳黑受閃光後之電量是否有變化。
- 3.測量五次取平均值（固定距離與同一測試面）。

(二) 結果：

表 2 不同燻烤時間產生碳黑的電阻值

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次
燻烤時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
電阻 (歐姆)	1.92M	152.3K	124.6K	89.3K	56.7K	12.3K

表 3 碳黑受閃光後之電量

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
電量 (庫侖)	0	0	0	0	0	0

(三) 分析與討論

- 1.從表 2 可瞭解到，當碳黑燻的時間愈久，碳黑量會愈多，會形成複雜構造，電子傳遞路徑縮短，因此導電性增高。
- 2.由表 3 發現碳黑受閃光後有爆鳴聲但卻量不到電量，這個結果讓我們感到相當沮喪，原本的推論是碳黑受閃光後應該會產生電荷。
- 3.因此我們認為有以下兩種可能性（1）有電量，但當閃光照射時電荷瞬間產生，但正負電荷又很快速結合（經查詢資料得知，當電子與電洞產生後會於皮秒內結合）以致於無法量得（2）有電量，但因溼度的關係導致電荷很快被水汽導走，因此無法量得，故以下的實驗是根據前面兩項推論來進行。

(四) 推論一：有電量，但當閃光照射時，所產生的正負電荷很快速結合

1. 原因：

(1) 我們推論當閃光照射時電荷瞬間產生，但正負電荷於皮秒 (10^{-12}) 內結合，以致儀器無法測得，所以首要目標要把正負電荷分開。

(2) 爲了將正負電荷分開，我們採用給予電場，希望在電場的作用下能將正負電荷拉開，進而能察覺有電荷的產生。

2. 步驟：

(1) 使用一小片鋁箔紙，將中央燻黑，根據導線中電壓與電場之關係式 $V=EL$ ，使用電源供應器提供電壓則會形成電場。

(2) 使用分貝計與介電質實驗儀分別測量分貝值與電量，實驗過程如圖 12。



圖 12 電場中的碳黑

3. 結果：

(1) 兩端通有電壓的碳黑，測量分貝值如表 4 與圖 13 所示，可發現碳黑在電場中的分貝值會隨電壓升高而下降。

(2) 這代表碳黑受閃光時有產生正負電荷，且部分電荷因電場存在的關係而分別往兩端移動，使得放電的電荷數減少，因此爆鳴聲的分貝值才會下降，且電壓愈高（電場愈大）分貝值降的更低，此現象與我們的推測是吻合。

表 4 碳黑於不同電壓中的分貝值

電壓值 測量次數	0 伏特	10 伏特	20 伏特	30 伏特
1	45.3	44.2	43.1	40.6
2	47.5	46.7	42.5	39.3
3	46.2	44.7	41.8	40.1
4	47.6	46.1	42.3	39.2
5	45.5	44.6	42.1	39.6
平均值 (分貝)	46.4	45.3	42.4	39.7

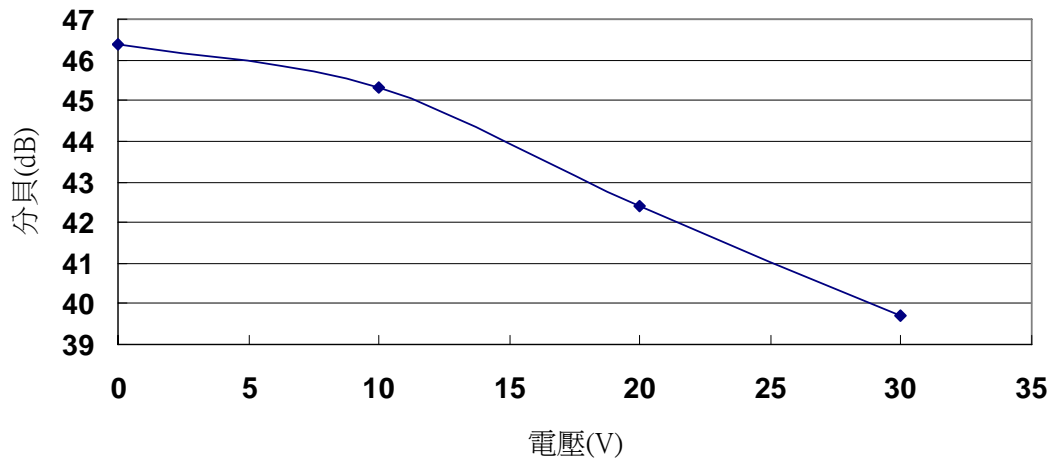


圖 13 碳黑於不同電壓中分貝值下降圖

(2) 碳黑於電場中受閃光後之電量如表 5，發現仍然測不到電量，因此我們轉向第二個推論。

表 5 碳黑於電場中受閃光後之電量

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
電量 (庫侖)	0	0	0	0	0	0

(五) 推論二：有電量，但因溼度的關係導致電荷很快被水汽導走

1. 原因：

由於碳黑於電場中受閃光後的分貝值有下降，雖測不到電量但我們可以確定的是有產生電荷，只是有可能是濕度導致電量過低無法量得。

2. 步驟：

- (1) 將鋁箔紙上的碳黑放入防潮箱內，電源供應器與介電質實驗儀置於外部，最後把防潮箱門縫處加以密封。
- (2) 改變不同的溼度，從內部拍攝，固定距離，每個測量電量五次取平均值。

3. 結果：

表 6 不同溼度下電場中的碳黑測得的電量

溼度	70%	65%	60%	55%	50%
電量 (庫侖)	0	0	0	8×10^{-11}	1.7×10^{-10}

4. 結果：

- (1) 由於未做實驗前的濕度約為 70%，因此我們就從此溼度為基準點，逐步往下降，每隔 5% 做一次，最後的溼度為 50%。
- (2) 從表 6 可看出當溼度降至 50 幾度時開始可查覺電荷的產生，代表溼度的確是影響電量測量的關鍵因素。
- (3) 由於改變溼度而能測得電量，此結果驗證了碳黑層因受閃光後導致產生電荷的推論，也證明因溼度高導致電荷很快被水汽導走的推論是正確的。
- (4) 一開始使用介電質實驗儀並無法量得電量，直到將測量範圍鈕調整到 10^{-9} 時才能量測出來，由此可見本實驗所產生的電量相當低，如果是使用一般靈敏度較普通的儀器可能無法量得。

四、階段四：研究碳黑受閃光產生電荷量與爆鳴聲分貝之關係。

(一) 步驟：

- 1.為了解碳黑受閃光後所產生電荷量與爆鳴聲分貝值是否有關聯性，故針對同一碳黑層，改變 5 次不同距離給與閃光。
- 2.溼度控制在 50%，給予電壓 30 伏特，將分貝計放在同一位置測量分貝值五次，取平均值。

(二) 結果：

表 7 電量與分貝值

實驗位置	第一位置	第二位置	第三位置	第四位置	第五位置
電量平均(庫侖)	3.6×10^{-10}	2.7×10^{-10}	1.7×10^{-10}	1.1×10^{-10}	5×10^{-11}
分貝平均值(dB)	46.1	43.4	41.1	39.6	37.1

(三) 分析與討論：

- 1.將表 7 轉換成圖形(如圖 14 所示)，可發現分貝值與所產生的電量非常接近一次線性關係，亦即代表分貝值與電量相關性相當高的關係，換言之，當我們需要比較電量之大小時，可以利用分貝值來替代。
- 2.原本防潮箱溼度要控制在 50%是相當容易的，但由測量時需要將測量導線從門縫處進入箱內，雖有做密封補強，但有時也會產生漏洞，導致溼度非常不容易控制，因此於往後的實驗我們改採測量分貝值來代替電量之測量。

電量與分貝關係圖

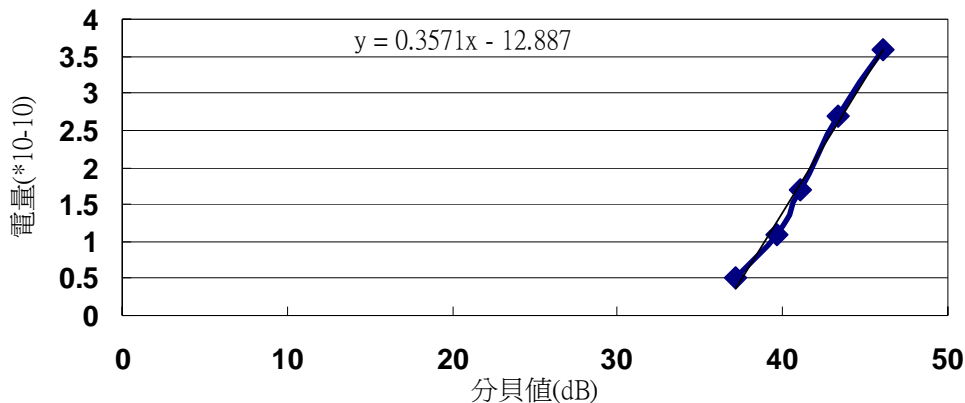


圖 14 電量與分貝值

五、階段五：了解光頻率與光照度對電荷產生的影響。

(一) 步驟：

1.由階段三的研究發現可以採用分貝值來代替電量之測量，因此我們設計了一個簡易的實驗裝置，如圖 15 所示，利用空箱子上方鑽出一孔，可使數位相機的光線進入，側面也鑽一孔可使分貝計的感測端進入，另一端可以開啓，放入所要測量的碳黑。



圖 15 測量裝置

2.改變光頻：利用有顏色的玻璃紙（紅、黃、綠、藍），分別貼於鏡頭處，以改變閃光的頻率，對同一碳黑層，固定距離給與閃光，測量電量五次，取平均值。

3.改變照度：不加玻璃紙，對同一碳黑層，改變距離（3cm、6cm、9cm、12cm、15cm）給與閃光，利用照度計測量照度且將分貝計放在同一位置測量分貝值五次取平均值。

(二) 結果：

1.改變光頻：表 8 不同顏色玻璃紙與分貝值

玻璃紙顏色	紅	黃	綠	藍	無玻璃紙
分貝 (dB)	38.8	39.7	41.1	46.5	53.1

2.改變照度：表 9 不同照度與分貝值

距離 (cm)	3	6	9	12	15
照度 (lux)	2664	1652	1143	878	654
分貝 (dB)	53.5	49.1	41.8	39.4	38.3

(三)分析與討論：

1.改變光頻：

(1) 由表8可發現，閃光的頻率如果愈接近藍光，所產生的分貝值愈大，代表波長較短的光（能量較高）較能激發碳黑的電子，形成較多的電荷。

(2) 沒有使用玻璃紙時比藍色玻璃紙產生更多的電量，原因有可能是多了一層玻璃紙的阻擋，會濾掉一些有可能引起電荷的光能；另外，受限於市面上販售的玻璃紙顏色，我們無法得知哪一個波長是最容易引發電荷。

2.改變照度：

(1) 爲了改變照度，我們採用增加距離方式來使照度逐漸減弱，將表9的距離與照度轉成圖16，依據照度公式可知照度與距離平方成反比，由圖中的趨勢線可看出實驗結果大致與理論符合。

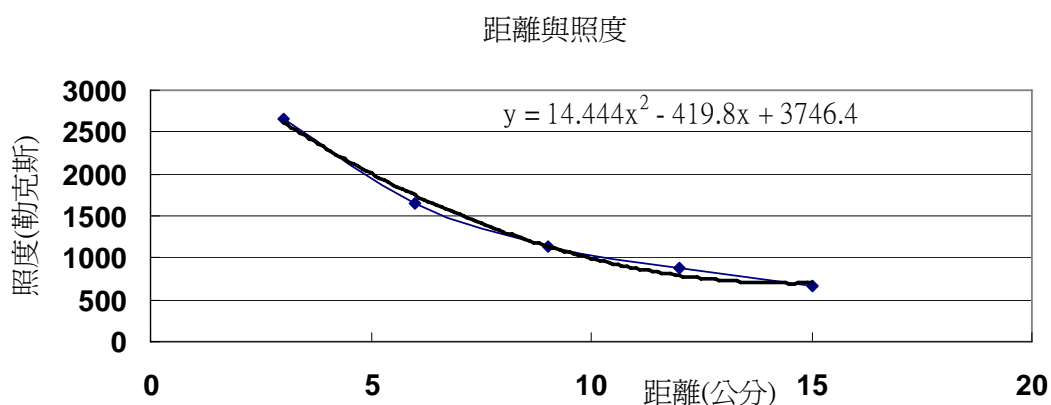


圖 16 距離與照度關係圖

(2) 同樣的，將表9的距離與分貝值轉成圖17，由圖中的數據經連線後由趨勢線可看出兩者呈現二次函數的關係，亦即分貝值與距離的平方成反比，這與照度跟距離的關係很類似。

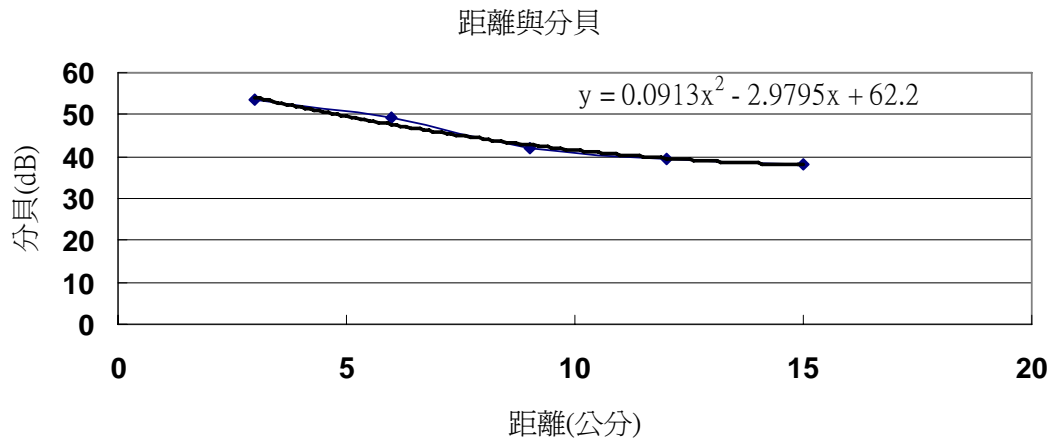


圖 17 距離與分貝值關係圖

(3) 最後將表9的照度與分貝值轉成圖18，由趨勢線可看出兩者有約呈一次線性的關係，亦即照度愈大時電量也會隨之增加。

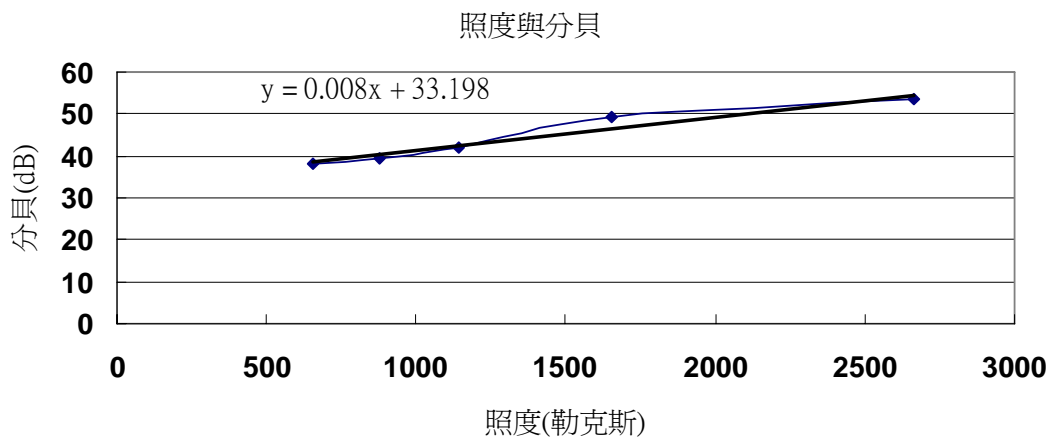


圖 18 照度與分貝值關係圖

六、階段六：了解拍攝面積大小對電荷產生的影響

(一)步驟：

- 1.為控制碳黑層的面積，利用鋁箔紙剪出需要的圓形後再蓋住杯底，如圖19所示，將蠟燭火焰對準需要燻烤部位（同時間），同高度閃光，燻烤如圖20所示。
- 2.改變圓形之半徑共5次，分別為0.5cm、1cm、1.5cm、2cm、2.5cm，每個面積測量分貝值實驗五次，取平均值。



圖 19 鋁箔紙剪洞圖



圖 20 控制面積燻烤圖

(二)結果

表 10 不同面積與分貝值

面積 (cm ²)	0.25π	π	2.25π	4π	6.25π
五次平均分貝 (dB)	39.2	41.4	45.2	48.1	50.3

(三)分析與討論：

- 1.由表 10 得知接受照射面積愈大，產生的分貝值就愈大，亦即代表愈多區域受光，相對的會有較多的碳黑產生電荷。
- 2.將表 10 繪成圖 21，從圖形發現到面積雖然愈大產生的電量就愈大，但電量增加的幅度卻減緩，這可能與閃光為一發散面有關，因為閃光燈會對某一點對焦，其它部位會因為光的發散導致光強度減弱，使得電量增加的幅度減緩。

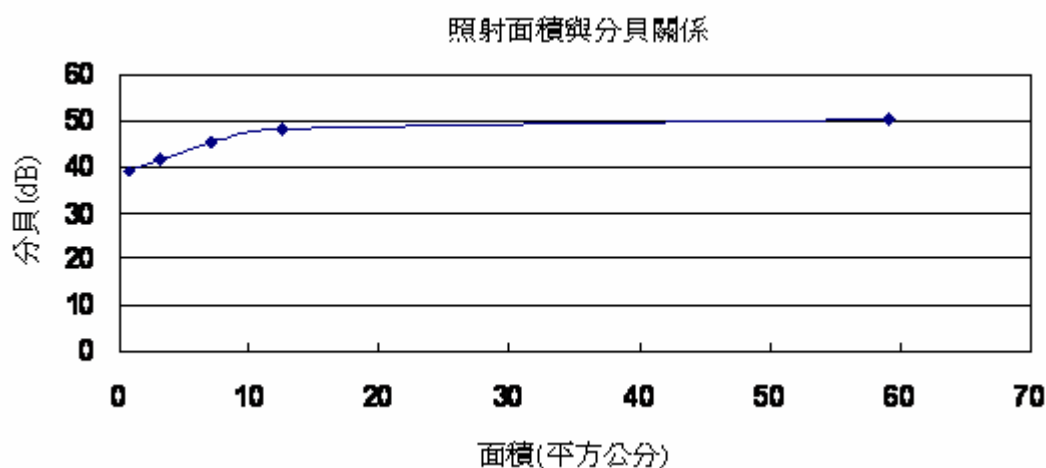


圖 21 照射面積與分貝值關係

七、 階段七：了解碳粒徑對電荷產生的影響

(一)步驟：

- 1.改變不同的碳粒直徑，粒徑由大而小分別為（1）整塊竹炭、（2）打碎的竹炭、（3）碳粉、（4）蠟燭所燻出的碳黑等四種。
- 2.固定拍攝距離（3cm）與碳粒分佈面積（直徑4cm），每個粒徑測量分貝值五次取平均值。

(二)結果

表 11 不同面積與分貝值

碳材質	整塊竹炭	打碎的竹炭	碳粉	蠟燭燻的碳黑
五次平均分貝（dB）	39.2	41.4	45.3	52.5
顆粒直徑	整片	不規則 約 5mm~ 1mm	200 μ m~50 μ m	30nm~80nm

(三)分析與討論：

- 1.由表 11 可了解粒徑愈小者，產生的電荷也愈多，如蠟燭燻的碳黑，經由 SEM 電子顯微鏡（借用清華大學奈米中心）拍攝得知粒徑約 30nm~80nm（如圖 22 所示），此為奈米級的顆粒，產生的電量位居最高，這應與粒徑變小總表面積增加有關。

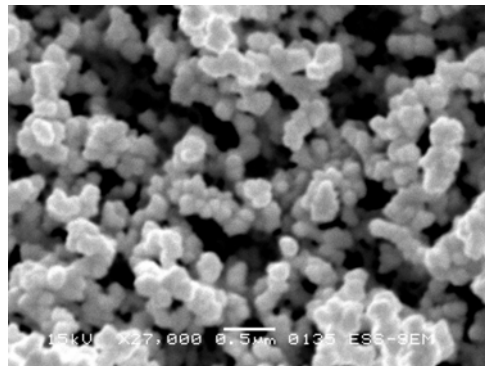


圖 22 碳黑 SEM 圖

- 2.碳粉的粒徑約 200 μ m~50 μ m，雖然比蠟燭的碳黑大，但還是比其他兩種來的小，因此產生的電量排名第二。
- 3.打碎的竹炭是利用整片的竹炭由研鉢與杵加以搗碎，粒徑分布相當不平均且顆粒甚大，使得總表面積變小，所以產生的電量更低了。
- 4.整片竹炭是不經過搗碎而直接切割成直徑 4cm 的圓片，除了產生的電量最低外也可以從發出最弱的爆鳴聲比較出來。

陸、結論

- 一、有無閃光所產生的爆鳴聲差異性相當大，可證明爆鳴聲是由閃光所引起。
- 二、原本光電管是證明光電效應最直接的器材，但因含碳黑的光電管無法量得光電流，因而改以其它方式來證明。
- 三、蠟燭燻的時間愈久碳黑量愈多，會形成複雜構造，導致電子傳遞路徑縮短，因此導電性增高（電阻下降）。
- 四、當給予電場與溼度約 50 幾度時，始可查覺電荷的產生，代表電場與溼度是影響電量測量的關鍵因素。
- 五、碳黑受閃光後會產生電荷但電量相當低，再一次驗證了爆鳴聲是源自於閃光所引發的假設。此外，爆鳴聲的分貝值與產生的電量非常接近一次線性關係，可以利用分貝值來替代產生電量之大小。
- 六、波長較短的光（接近藍光）能形成較多的電荷；照度愈大時，電量也會隨之增加。
- 七、接受照射面積愈大，產生的電量就愈大，由於閃光為一發散光源，會導致非焦點區域光強度減弱，使得電量增加的幅度減緩。
- 八、碳的粒徑愈小，產生的電荷也愈多，其中以蠟燭燻的碳黑（粒徑約 30nm~80nm），產生的電量位居測試材料中最高者。

柒、參考資料

- 1.林明瑞（民96）。高中選修物理下。南一書局。
- 2.花形康正（民97）。生活用品中的科學。世茂出版社。
- 3.吳友仁（民75）。物理基礎觀念第四冊。台北：東江圖書公司。
- 4.朱是駿（民93）。二氧化錳奈米微粒/碳黑複合電極之研究。大同大學材料工程學系(所) 碩士論文，未出版，台北。
- 5.南區奈米科技k-12發展中心，奈米科技—基礎、應用與實作，高立圖書有限公司，2005。
- 6.曹茂盛等，奈米材料導論，學富文化事業有限公司，2002。
- 7.大泊 巖，圖解奈米技術，全華科技圖書股份有限公司，2003。

捌、致謝

- 一、感謝交大電子物理系協助製作光電管。
- 二、感謝國立高雄師範大學物理系提供介電質實驗儀（LEYBOLD HERAEUS），使本研究能將測出極少量的電荷。

【評語】 040114

- 1、 紙杯底燻碳黑，以閃光燈照射產生爆鳴聲為一新發現的現象極具深入研究此一物理原理之潛力。
- 2、 物理原理探討歷程極合乎科學過程，研究之結論雖不完整，但已指出主要的物理成因。
- 3、 本現象極有深入研究之價值，包含碳黑之結構，電荷如何分離與堆積導電度等。若機制完全了解後或有應用的價值。