

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030116

從「磷」開始

學校名稱：新竹市立竹光國民中學

作者： 國二 邵宥菱 國二 吳安絜 國二 謝欣儒	指導老師： 陳美齡 吳嘉葳
---	-----------------------------

關鍵詞：磷光反應、物理光學(光波、光子)

摘要

本研究主要是探討影響磷光物質放光情形的因素，如：磷光物質本身的條件，周遭環境的狀態，以及照射光源的波段分佈與強弱。

首先，我們先透過光譜儀對照射光源進行分析，並觀察在不同條件的光源照射下，對磷光樣本發光情形的影響；接著，再利用加熱器調整樣本周遭的環境溫度，探討在不同的溫度環境下，對磷光樣本發光情形的影響；最後，改變磷光樣本的照光表面積與厚度，觀察這些條件對磷光樣本發光情形的影響。

透過本研究的結果，讓我們更瞭解影響磷光反應的因素，藉此希望能讓我們有朝一日可以實現我們的夢想—教室留影牆的設計。

壹、研究動機

八年級隔宿露營的遊園參觀活動中，我們去到了一個叫做「留影牆」的地方，那裡有一面牆和一架閃光燈，當閃光燈閃完的瞬間，我們的影子就像是黏在牆上一樣，完全動彈不得！因此我們決定探索這「留影牆」背後的秘密。經過查證，我們赫然發現，「留影牆」並不是一面普通的牆壁，而是在上面塗了一層「磷光」塗料的「磷光牆」！相較於螢光，磷光的生命週期較長，市面上的那些晚上會發光的手錶也是由磷光物質所組成的，這使我們對磷光產生了濃厚的興趣。

在那次的隔宿露營結束後，我們除了讚嘆「留影牆」的驚奇外，也感嘆這留影時間的短暫，因此我們想尋找有沒有什麼方法，可以延長磷光物質的放光時間，讓影子可以停留在牆上更久，至少要足夠長到能讓我們可以跟那個與自己動作不協調的影子拍個照留念！所以我們進行了這個科學研究—從「磷」開始。

貳、研究目的

探討在「不同條件的光源」照射下，對磷光樣本發光情形的影響：

- 一、改變照射磷光樣本的時間長短，探討該變因對樣本發光情形的影響
- 二、取不同波段分佈的可見光，分別照射磷光樣本，探討色光對磷光樣本發光情形的影響
- 三、改變照射光源的強度，探討該變因對磷光樣本發光情形的影響

探討在「不同的溫度」環境下，對磷光樣本發光情形的影響：

- 四、改變實驗暗箱內的環境溫度，探討該變因對樣本發光情形的影響

探討磷光樣本「本身的物理條件」，對樣本照光後發光情形的影響：

- 五、改變磷光樣本的照光表面積，探討該變因對樣本發光情形的影響
- 六、改變磷光樣本的厚度，探討該變因對樣本發光情形的影響

參、研究設備及器材

- 一、磷光粉：夜光細砂(長放型，黃綠光)。
- 二、暗箱：紙箱、木塊、黑紙、黑不織布(KC-001)、黑電火布、泡綿膠等。
- 三、光源：日光燈管(T5 型)、LED 白光燈。
- 四、濾光片：藍玻璃紙(#369)、綠玻璃紙(#364)、紅玻璃紙(#362)、透明護貝膜。
- 五、自組光敏感測器：光敏電阻、控制板、電線、按鈕、筆電等。
- 六、自組加熱器：加熱板、控制面板等。
- 七、檢測儀器：光譜儀(清大物理系提供協助)、成份分析儀(交大材料系提供協助)。
- 八、其他器材：照度計(YF1065)、溫度計(TA318)、電子秤、游標尺、培養皿、相機、剪刀、美工刀、裁紙機、護貝機、雙面膠等。

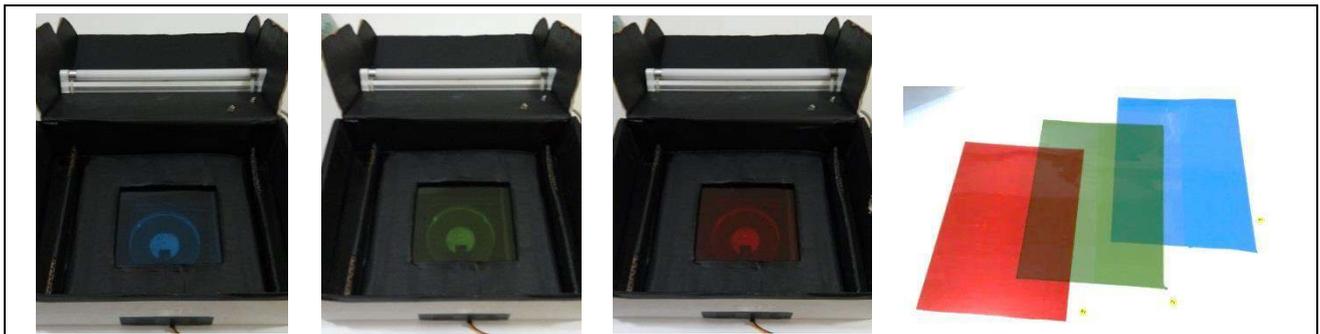


圖 3-1 暗箱、日光燈管、培養皿、磷光粉、光敏感測器、濾光玻璃紙



圖 3-2 光敏感測器



圖 3-3 加熱器



圖 3-4 溫度計



圖 3-5 照度計

肆、研究方法與實驗步驟

首先，我們想確認所使用的光源，與其相對應的波長與強度分佈，以便能選擇合適的照射光源來進行實驗，因此透過清大物理系奈米光學實驗室的光譜儀，對光源進行初步的檢測與分析；我們的主要光源來自日光燈管與 LED 白光燈，再搭配上透明護貝膜與色光三原色的玻璃紙，共排列組合出十三種不同條件的光源，如表 4-1 所示，準備用來探討在不同條件的光源照射下，對磷光樣本發光情形的影響。

表 4-1、不同條件的光源對應表

日光燈源					LED 燈源	
	藍玻璃紙	綠玻璃紙	紅玻璃紙	僅透明膜	第一段	白光(強)
一層	藍光(強)	綠光(強)	紅光(強)	白光	第二段	白光(中)
二層	藍光(中)	綠光(中)	紅光(中)		第三段	白光(弱)
三層	藍光(弱)	綠光(弱)	紅光(弱)			

一、改變照射磷光樣本的時間長短，探討該變因對樣本發光情形的影響

(一) 以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 1 分鐘

1. 以電子秤量取 40 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
2. 將裝有磷光樣本的培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
3. 將一張護貝好的透明護貝膜平放於暗箱內的支撐架上，相對位置如圖 4-1 所示。
4. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
5. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
6. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 1 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

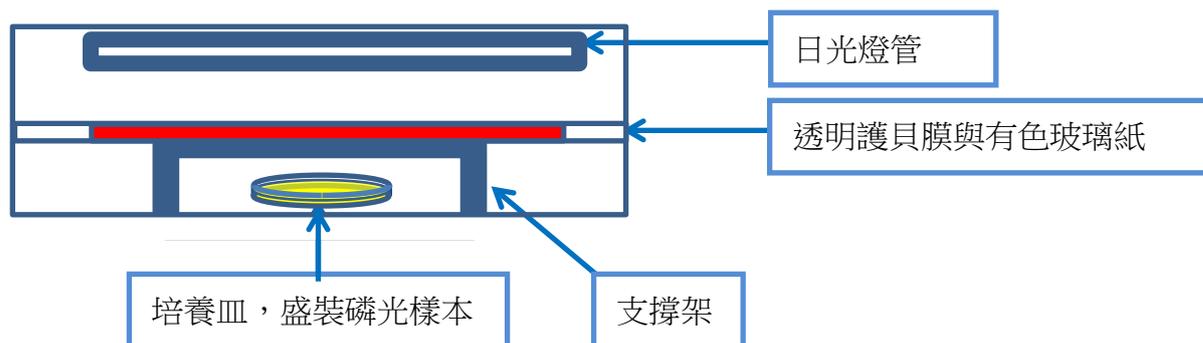


圖 4-1、暗箱內部側面透視圖

(二) 以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 完成上述照光 1 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 重新開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(三) 以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 9 分鐘

1. 完成上述照光 3 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 重新開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 9 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(四) 以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 18 分鐘

1. 完成上述照光 9 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 重新開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 18 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

二、取不同波段分佈的可見光，分別照射磷光樣本，探討色光對磷光樣本發光情形的影響

(一) 以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射磷光樣本 1 分鐘

1. 以電子秤量取 40 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
2. 將裝有磷光樣本的培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
3. 將一張護具有藍色玻璃紙的護貝膜平放於暗箱內的支撐架上。
4. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
5. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
6. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 1 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。
7. 完成上述照光 1 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
8. 重新開啟日光燈源，依序將照射磷光樣本的時間延長為 3 分鐘、9 分鐘與 18 分鐘，重複上述 1 到 7 的實驗步驟。

(二) 以日光燈源透過綠色玻璃紙持續照射磷光樣本 1 分鐘

重複實驗步驟(一)的所有步驟，僅需將步驟 3.當中的「藍色玻璃紙」改為「綠色玻璃紙」即可。

(三) 以日光燈源透過紅色玻璃紙持續照射磷光樣本 1 分鐘

重複實驗步驟(一)的所有步驟，僅需將步驟 3.當中的「藍色玻璃紙」改為「紅色玻璃紙」即可。

三、改變照射光源的強度，探討該變因對磷光樣本發光情形的影響

(一) 將分段式 LED 白光燈源調至第一段模式(強度：強)，持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 以電子秤量取 40 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
2. 將裝有磷光樣本的培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
3. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
4. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
5. 開啟第一段 LED 白光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(二) 將分段式 LED 白光燈源調至第二段模式(強度：中)，持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 完成前一階段的實驗(強度：強)之後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 開啟第二段 LED 白光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(三) 將分段式 LED 白光燈源調至第三段模式(強度：弱)，持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 完成前一階段的實驗(強度：中)之後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 開啟第三段 LED 白光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

四、探討在「不同的溫度」環境下—改變實驗暗箱內溫度，對樣本發光情形的影響

(一) 將環境溫度控制在 50°C 左右，以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 將暗箱放置於自製加熱器上方，調整加熱器溫度為 50°C。
2. 以電子秤量取 40 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
3. 將裝有磷光樣本的培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
4. 將一張護貝好的透明護貝膜平放於暗箱內的支撐架上。
5. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
6. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態，且暗箱內溫度約穩定控制在 50°C 左右。
7. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(二) 將環境溫度控制在 40°C 左右，以日光燈源(白光)持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 將暗箱放置於自製加熱器上方，調整加熱器溫度為 40°C。
2. 重複上述實驗(一)步驟 2 到 5。
3. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態，且暗箱內溫度約穩定控制在 40°C 左右。
4. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(三) 將環境溫度控制在 50°C 左右，以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 將暗箱放置於自製加熱器上方，調整加熱器溫度為 50°C。
2. 以電子秤量取 40 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
3. 將裝有磷光樣本的培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
4. 將一張護具有藍色玻璃紙的護貝膜平放於暗箱內的支撐架上。
5. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
6. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態，且暗箱內溫度約穩定控制在 50°C 左右。
7. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(四) 將環境溫度控制在 40°C 左右，以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射磷光樣本 3 分鐘

1. 將暗箱放置於自製加熱器上方，調整加熱器溫度為 40°C。
2. 重複上述實驗(三)步驟 2 到 5。
3. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態，且暗箱內溫度約穩定控制在 40°C 左右。
4. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

五、分別改變磷光樣本的照光表面積與厚度，探討此對樣本發光情形的影響

(一) 以日光燈源(白光)持續照射淺皿大圈的磷光樣本 3 分鐘

1. 以電子秤量取 20 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中，如圖 4-2 所示。
2. 將該培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
3. 將一張護貝好的透明護貝膜平放於暗箱內的支撐架上。
4. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
5. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
6. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

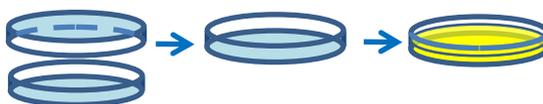


圖 4-2、培養皿盛裝樣本示意圖

(二) 以日光燈源(白光)持續照射淺皿大圈的磷光樣本 18 分鐘

1. 完成上述照光 3 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 重新開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 18 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(三) 以日光燈源(白光)持續照射淺皿小圈的磷光樣本 3 分鐘

1. 以電子秤量取 20 公克的磷光樣本，放置於塑膠培養皿口徑較大的上蓋內，一邊輕輕搖晃，一邊用口徑較小的下蓋按壓，使磷光樣本能較密集且均勻的分佈於培養皿口徑較大的上蓋中。
2. 將同心圓狀的中空黑布層(外徑恰為培養皿上蓋的口徑大小)覆蓋於磷光樣本上，讓樣本僅露出中央小圈範圍內的可受光表面積，如圖 4-3 所示。
3. 將該培養皿放置於暗箱正中央的標示區，並調整光敏感測器的感測探頭，使其正對磷光樣本；並將溫度計的量測探針置於培養皿旁。
4. 將一張護貝好的透明護貝膜平放於暗箱內的支撐架上。
5. 蓋上暗箱，並以黑布覆蓋暗箱，開啟光敏感測器的驅動程式，透過感測器所顯現的數值，確保暗箱無漏光的情形。
6. 讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
7. 開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 3 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

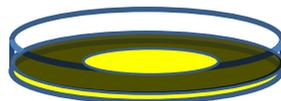


圖 4-3、淺皿小圈

(四) 以日光燈源(白光)持續照射淺皿小圈的磷光樣本 18 分鐘

1. 完成上述照光 3 分鐘的實驗後，需讓整個裝置靜置 10 分鐘，確認磷光樣本處於近乎沒有放光的狀態。
2. 重新開啟日光燈源，持續照射磷光樣本 18 分鐘，並於照光結束前 5 秒，啟動光敏感測器的記錄程式，當磷光樣本放光射度低於 0.4 勒克斯超過五次，光敏感測器的記錄程式便會自動終止執行，並將實驗數據—磷光樣本放光射度儲存於電腦。

(五) 以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射淺皿大圈的磷光樣本 3 分鐘

重複實驗步驟(一)的所有步驟，僅需將步驟 3.當中的「透明護貝膜」改為「有藍色玻璃紙的護貝膜」即可。

(六) 以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射淺皿大圈的磷光樣本 18 分鐘

重複實驗步驟(二)的所有步驟，僅需將步驟 3.當中的「透明護貝膜」改為「有藍色玻璃紙的護貝膜」即可。

(七) 以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射淺皿小圈的磷光樣本 3 分鐘

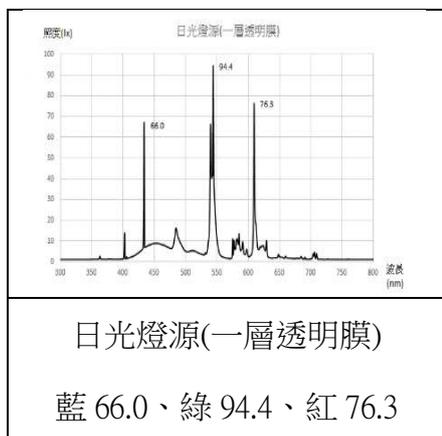
重複實驗步驟(三)的所有步驟，僅需將步驟 4.當中的「透明護貝膜」改為「有藍色玻璃紙的護貝膜」即可。

(八) 以日光燈源透過藍色玻璃紙持續照射淺皿小圈的磷光樣本 18 分鐘

重複實驗步驟(四)的所有步驟，僅需將步驟 4.當中的「透明護貝膜」改為「有藍色玻璃紙的護貝膜」即可。

伍、研究結果與討論

首先，我們要確認所使用的光源，與其相對應的波長與強度分佈；我們的主要光源來自日光燈管與 LED 白光燈，再搭配上透明護貝膜與色光三原色的玻璃紙，共排列組合出十三種不同條件的光源，光譜儀的檢測與分析結果如下：



圖示說明：

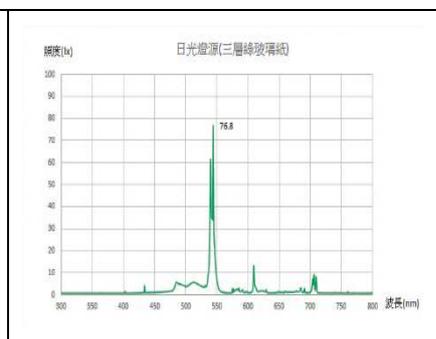
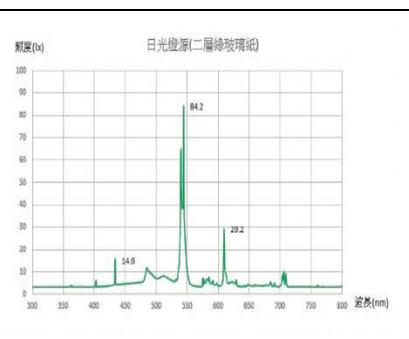
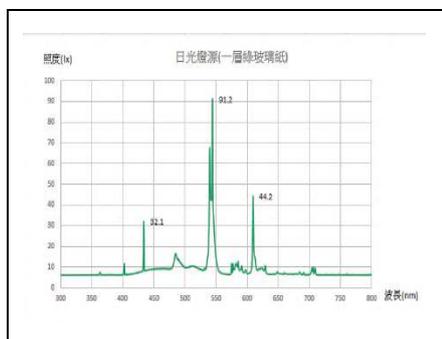
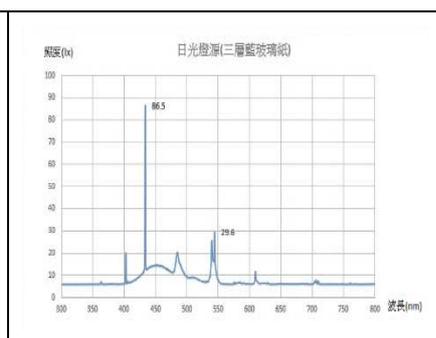
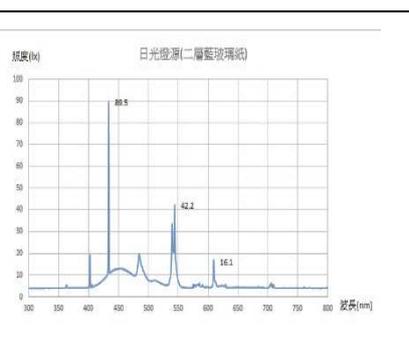
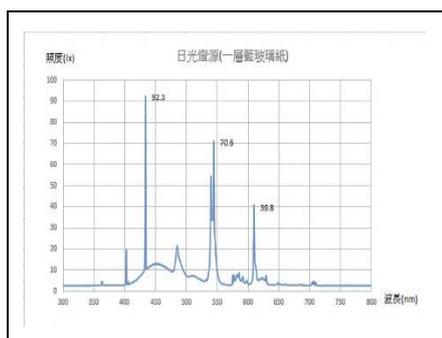
橫座標為波長(單位：奈米)，縱座標為照度(單位：勒克斯)

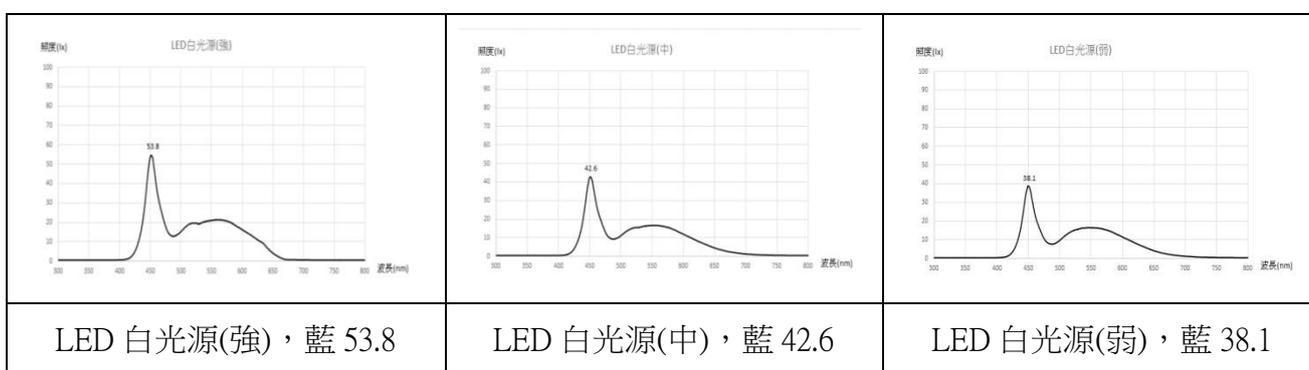
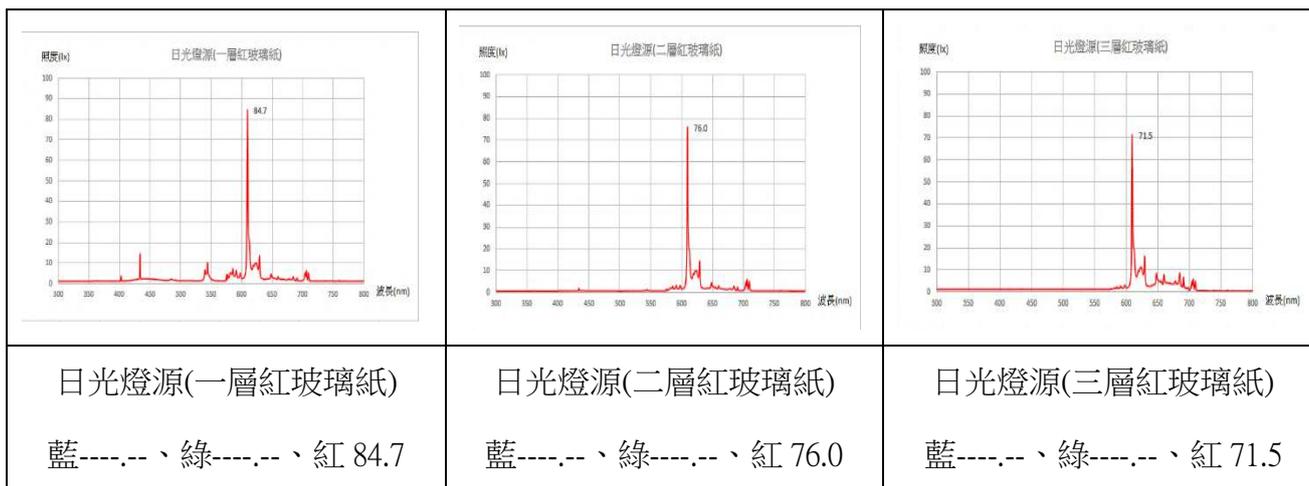
藍 86.5、綠 29.6、紅-----，分別表示

該光波在藍光波段最強照度為 86.5 勒克斯，

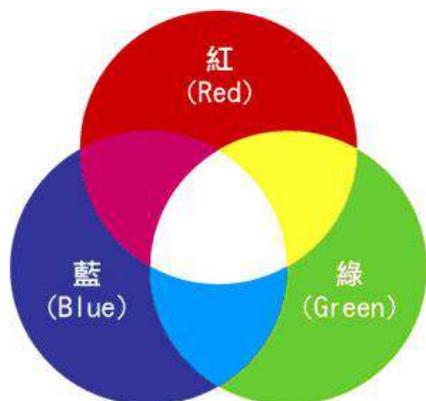
在綠光波段最強照度為 29.6 勒克斯，

在紅光波段最強照度因低於 10.0 勒克斯，不予顯示





我們在八年級的理化課曾經學過色光三原色，分別為紅光、綠光與藍光，透過彼此的疊加形成各種色光，而每一種色光有屬於自己所對應的波長，若是分佈在我們人眼可以辨識的範圍，我們稱之為可見光。透過這次光譜儀的分析，我們發現日光燈光源的強光波段分別落在波長為 433.63nm(屬藍光)、544.13nm(屬綠光)，以及 609.39nm(屬紅光)的三個位置，其照度則會因為所使用玻璃紙層數的不同，而有所增減。



可見光的光譜		
顏色	波長	頻率
紅色	約625—740 nm	約480—405 THz
橙色	約590—625 nm	約510—480 THz
黃色	約565—590 nm	約530—510 THz
綠色	約500—565 nm	約600—530 THz
青色	約485—500 nm	約620—600 THz
藍色	約440—485 nm	約680—620 THz
紫色	約380—440 nm	約790—680 THz

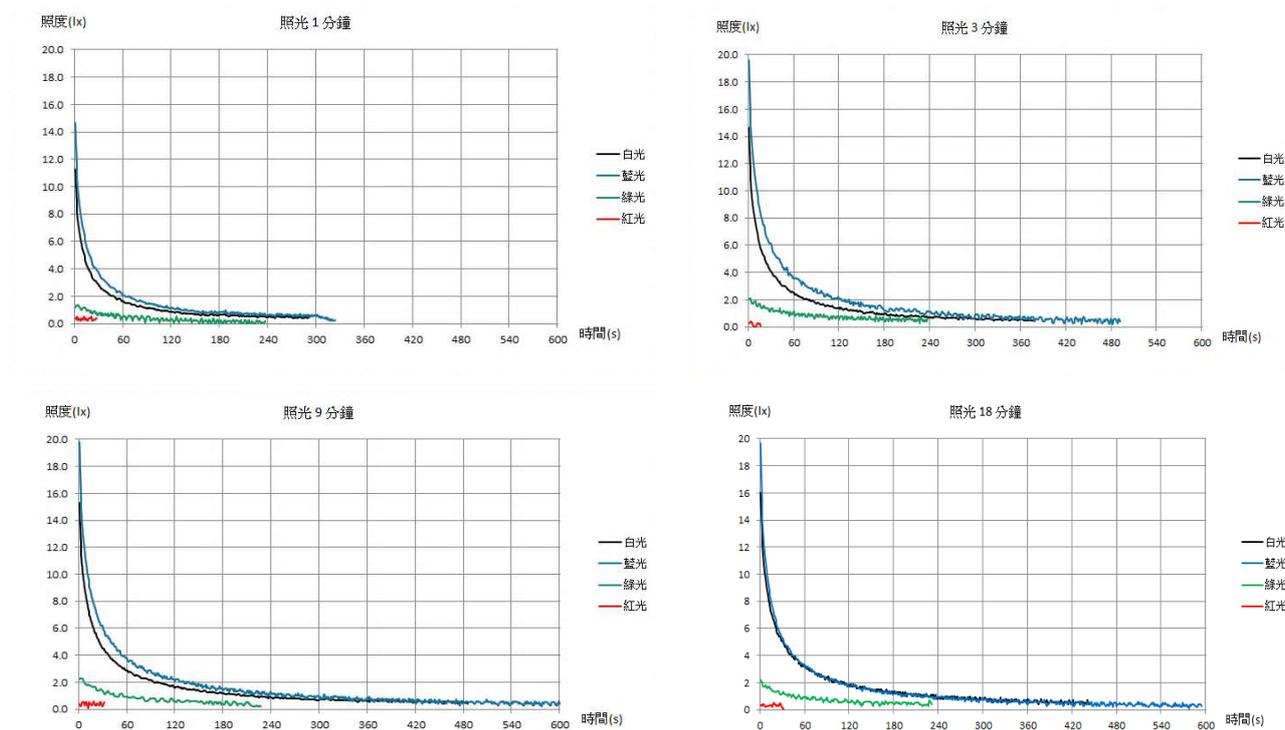
由於我們希望能夠使用較「純色」且強度較為相近的光源進行接下來的實驗，因此在經過反覆比較與聽取師長所給予的建議後，我們決定主要採用以下七種條件的光源來進行我們接下來的所有實驗，如表 5-1 所示。

表 5-1、光源組成波段分佈與對應最大射度

日光燈源	藍光波段	綠光波段	紅光波段	LED 白光	藍光波段	綠光	紅光
	433.63nm	544.13nm	609.39nm		433.63nm	--	--
隔一層透明膜	66.0 lx	94.4 lx	76.3 lx	第一段(強)	53.8 lx	--	--
隔三層藍玻璃紙	86.5 lx	--	--	第二段(中)	42.6 lx	--	--
隔三層綠玻璃紙	--	76.8 lx	--	第三段(弱)	38.1 lx	--	--
隔一層紅玻璃紙	--	--	84.7 lx				

【實驗一、二】

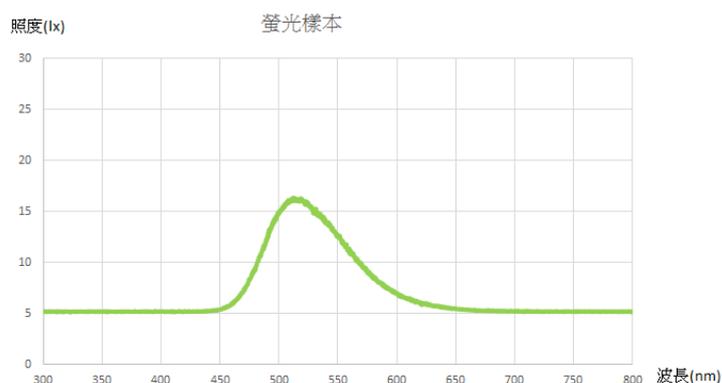
接著，我們取不同波段分佈的可見光，分別對磷光樣本進行照射，並改變的照光時間的長短，觀察磷光樣本發光的情形，實驗結果如下：



我們發現，無論是照光 1 分鐘、3 分鐘、9 分鐘，還是 18 分鐘，磷光樣本放光的射度初始值都是以藍光照射過的為最高，而放光時間也是以藍光照射過的為最長。此外，我們發現

一個奇怪的現象，該磷光樣本似乎會「挑食」；因為我們採用的光源強度是有特別選過的，藍光最強射度為 86.5 lx，綠光最強射度為 84.0 lx，紅光最強射度為 84.7 lx，在如此相近的射度情況下，磷光樣本似乎對藍光情有獨鍾，甚至我們採用的白光最強射度為 94.4 lx，是大於藍光最強射度數值的，但無論是在磷光樣本放光的射度初始值以及放光時間，都是以經過藍光照射的磷光樣本表現最佳。

我們將此結果與師長討論，師長建議我們可以從「光量子」的角度重新對這個現象進行解讀。所謂的光量子又稱為光子，其能量是不能分割的，當原子在放出或吸收光的能量時，是以整個光子的能量來進行轉移，也就是說光子只能傳遞量子化的能量(一份一份不可以分割的能量)，這能量與光子的頻率成正比，或可說是與光子的波長成反比，因此每一個光子的能量可以表示為 $E=h\nu=hc/\lambda$ (當中的 E 是能量，h 是普朗克常數， ν 是光波的頻率，c 是光速， λ 是光波的波長)，波長越短的光子(如藍光)，其每個光子所具有的能量越大；而磷光物質之所以會放出磷光(一種放能的模式)，是因為其組成原子或分子因吸收一束光子而受到激發，電子會由基態能階躍遷到激發態能階，當電子要由激發態能階回到基態能階時，多餘的能量便會以光的形式釋放。由於我們的磷光樣本放出的光是落在黃綠光的波長範圍(450-650nm)，如下圖所示，因此需要用比它更短波長的光(偏藍光)去照射，才有足夠的能量，將它激發。



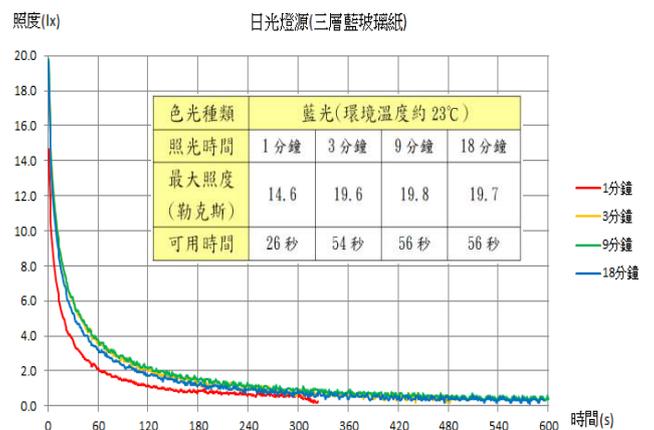
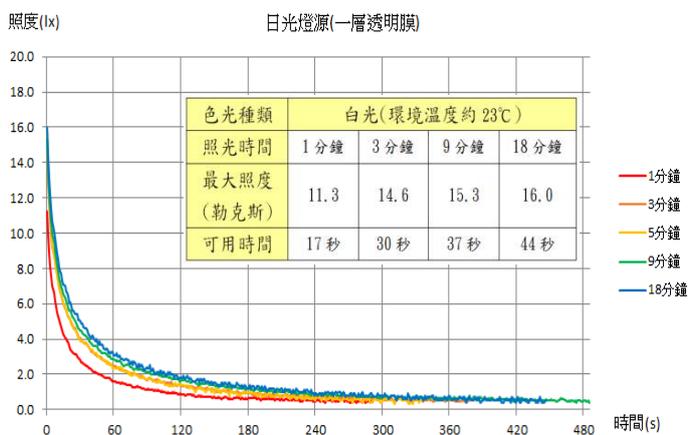
至於在照射磷光樣本時間的長短，對樣本發光情形的影響上，我們發現照光時間不宜過短，像是僅照光 1 分鐘，其磷光樣本放光射度的初始值是最小，且放光時間是最短，至於照光 3 分鐘、9 分鐘與 18 分鐘，其磷光樣本放光射度的初始值有約略的增加，但放光至 4.0 勒克斯所經歷的時間是差不多的，如表 5-2 所示。

至於為什麼我們要將放光射度的最小值定為 4.0 勒克斯呢？因為我們的研究目標是希望能在教室完成一面「留影牆」，經過多次在教室內不同時段(早上、下午與傍晚)與不同狀態(沒有開燈與關燈拉上單面窗簾)測量，一般教室後牆在我們「仍有視力」的情狀下，照度最低值為 4.0 勒克斯，因此我們以此作為磷光樣本放光射度的底線值。備註：在下午 3 點左右，有關燈但未拉窗簾的情況，室內後牆照度約為 34.8 勒克斯，若有拉上單邊窗簾(教室為雙面採光)，照度可降為 14.2 勒克斯，若當天是陰雨天，後牆照度最低可降至為 3.8 勒克斯。

表 5-2、不同照光時間，磷光樣本發光時間歸納

白光							
1 分鐘		3 分鐘		9 分鐘		18 分鐘	
23.5°C		23.3°C		23.2°C		23.0°C	
時間	照度	時間	照度	時間	照度	時間	照度
0	11.3	0	14.6	0	15.3	0	16.0
1	9.9	1	13.0	1	13.6	1	14.4
2	8.9	2	11.7	2	12.3	2	13.1
略		略		略		略	
16	4.1	29	4.1	36	4.1	44	4.0
17	4.0	30	4.1	37	4.0	45	3.8
18	3.9	31	3.9	38	3.9	46	3.7
略		略		略		略	
經過 17 秒		經過 30 秒		經過 37 秒		經過 44 秒	

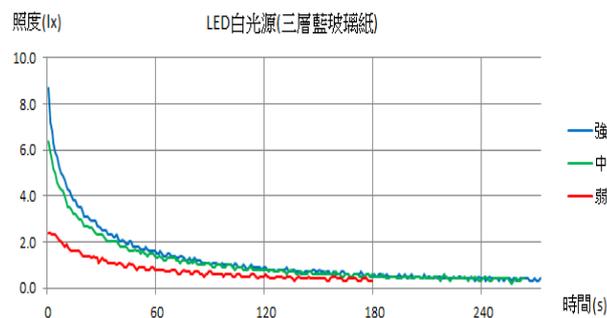
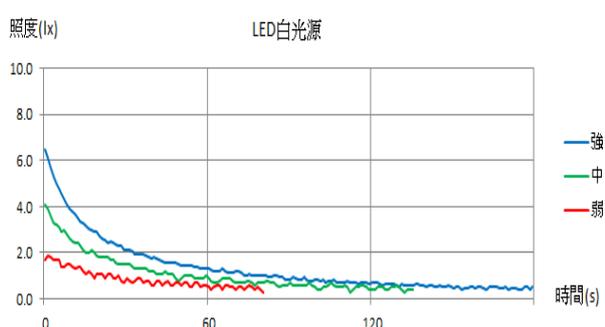
藍光							
1 分鐘		3 分鐘		9 分鐘		18 分鐘	
23.5°C		22.6°C		22.1°C		23.0°C	
時間	照度	時間	照度	時間	照度	時間	照度
0	14.6	0	19.6	0	19.8	0	19.7
1	12.9	1	17.6	1	17.6	1	17.1
2	11.6	2	15.8	2	15.9	2	15.4
略		略		略		略	
25	4.1	53	3.8	56	4.0	55	4.0
26	4.1	54	4.0	57	3.9	56	4.0
27	3.9	55	3.9	58	3.8	57	3.8
略		略		略		略	
經過 26 秒		經過 54 秒		經過 56 秒		經過 56 秒	



【實驗三】

接著，我們將進行改變照射光源的強度，探討該變因對磷光樣本發光情形的影響。為了更方便控制照射光源的亮度，我們採用 LED 白光燈搭配電阻，設計為三段式的白光燈源，相關資訊如前表 5-1 所示。

我們發現，無論是白光還是藍光，當照射光源的強度越強，磷光樣本放光的射度初始值會越高，而放光時間也會跟著越長。



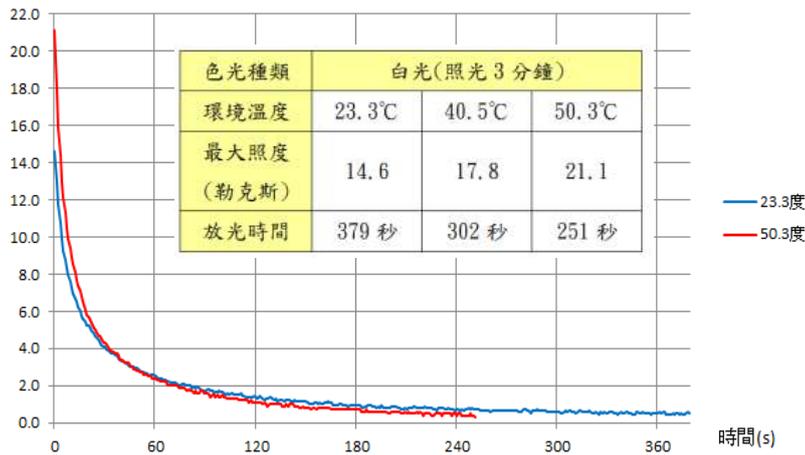
【實驗四】

我們想探討在「不同的溫度」環境下，對磷光樣本發光情形的影響，因此我們嘗試改變暗箱內的溫度，利用可定溫的自製加熱器，進行溫度的控制。由實驗結果發現，無論是白光或是藍光照射下，當環境的溫度越高，磷光樣本放光的射度初始值也會跟著越高，但放光時間反而會縮短，如下表 5-3 所示。這也令我們感到困惑，向師長請教的結果得知，溫度是決定粒子動能(運動所具能量)的重要因素，當溫度越高，光子所具有的動能也越大，磷光樣本中會有更多的電子在照光後，從基態躍遷到激發態，隨後並返回基態放出光能，因而有較大的磷光樣本放光射度初始值；但就反應速率而言，溫度越高，反應越快，因此能量也釋放的較為快速，以至於磷光物質放光時間反而縮短。

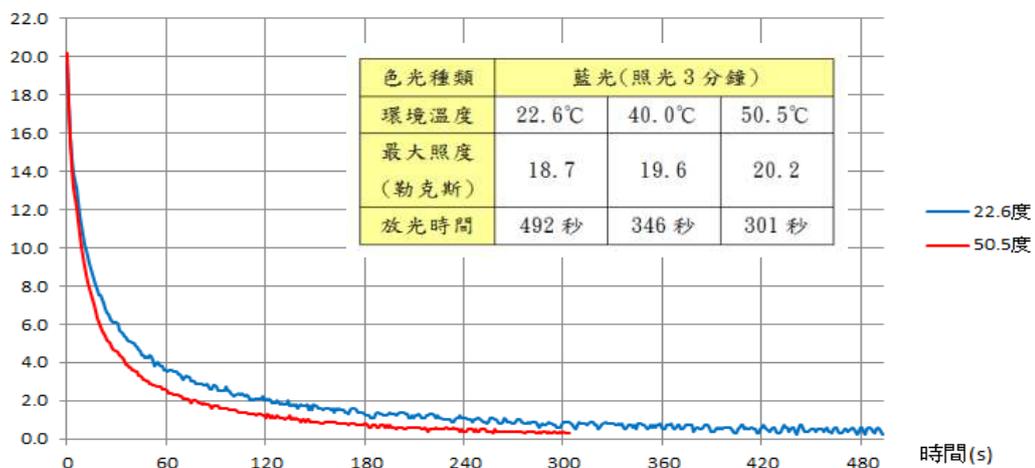
表 5-3、不同環境溫度，磷光樣本發光時間歸納

白光(3分鐘)						藍光(3分鐘)					
23.3℃		40.5℃		50.3℃		22.6℃		40.0℃		50.5℃	
時間	照度										
0	14.6	0	17.8	0	21.1	0	19.6	0	18.7	0	20.2
1	13.0	1	15.7	1	18	1	17.6	1	16.7	1	17.5
2	11.7	2	14.2	2	15.9	2	15.8	2	15	2	15.7
略		略		略		略		略		略	
30	4.1	33	4.0	32	4.0	52	4.1	39	4.1	34	4.1
31	3.9	34	4.0	33	3.9	53	3.8	40	3.9	35	3.9
略		略		略		略		略		略	
377	0.5	300	0.5	249	0.4	490	0.6	344	0.5	299	0.3
378	0.6	301	0.4	250	0.4	491	0.5	345	0.3	300	0.4
379	0.5	302	0.4	251	0.3	492	0.4	346	0.4	301	0.3
略		略		略		略		略		略	
經過 379 秒		經過 302 秒		經過 251 秒		經過 492 秒		經過 346 秒		經過 301 秒	

照度(lx) 日光燈源(一層透明膜)

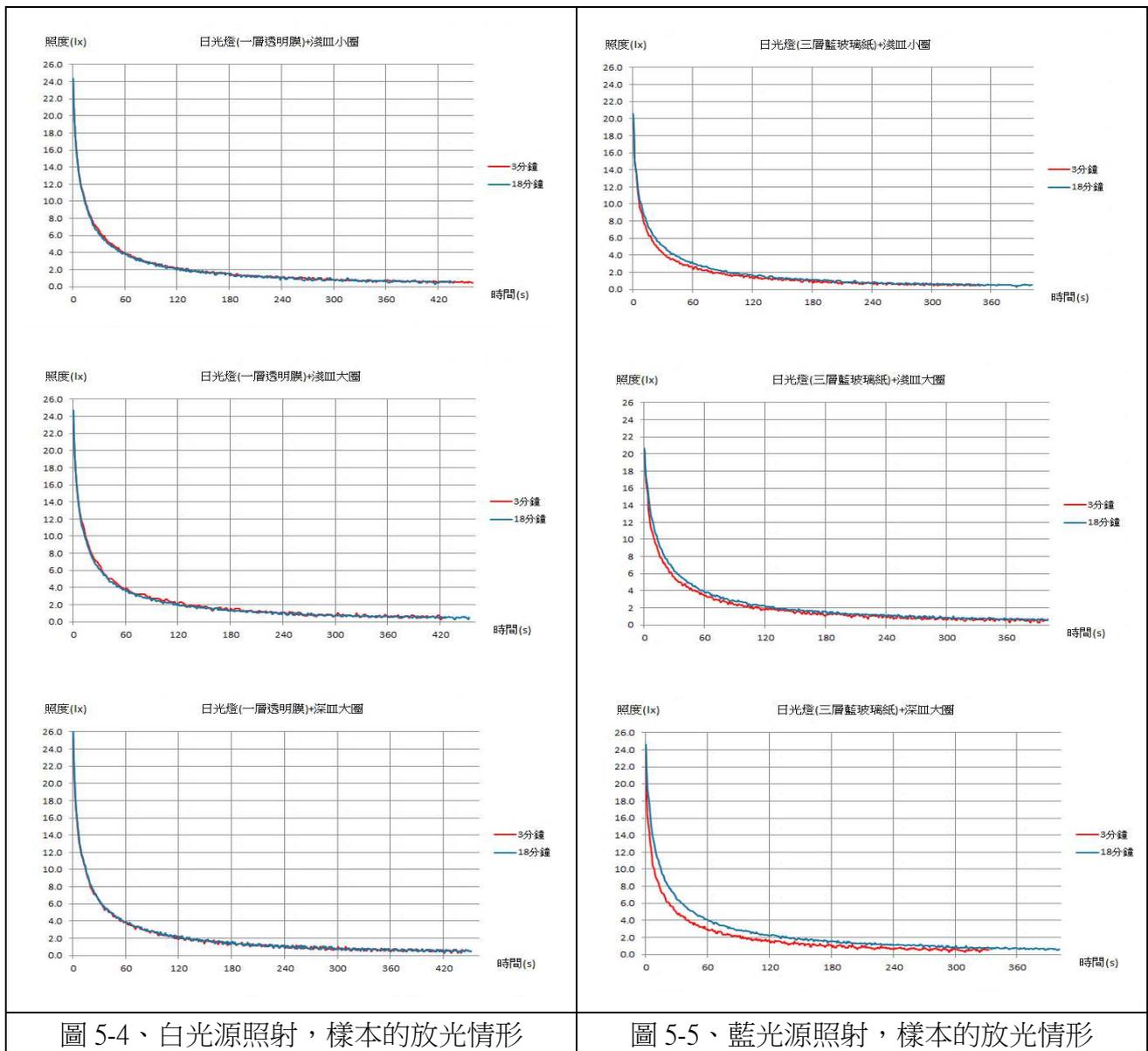
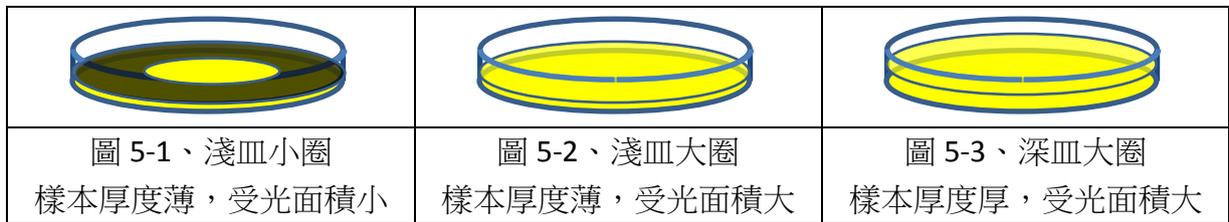


照度(lx) 日光燈(三層藍玻璃紙)



【實驗五、六】

最後，我們將探討磷光樣本「本身的物理條件」，對樣本照光後發光情形的影響。我們透過改變樣本的總質量來調整樣本的厚度；並設計同心圓狀的遮光板，覆蓋於樣本的表面，來改變磷光樣本照光的表面積，如圖 5-1，5-2 與 5-3 所示。



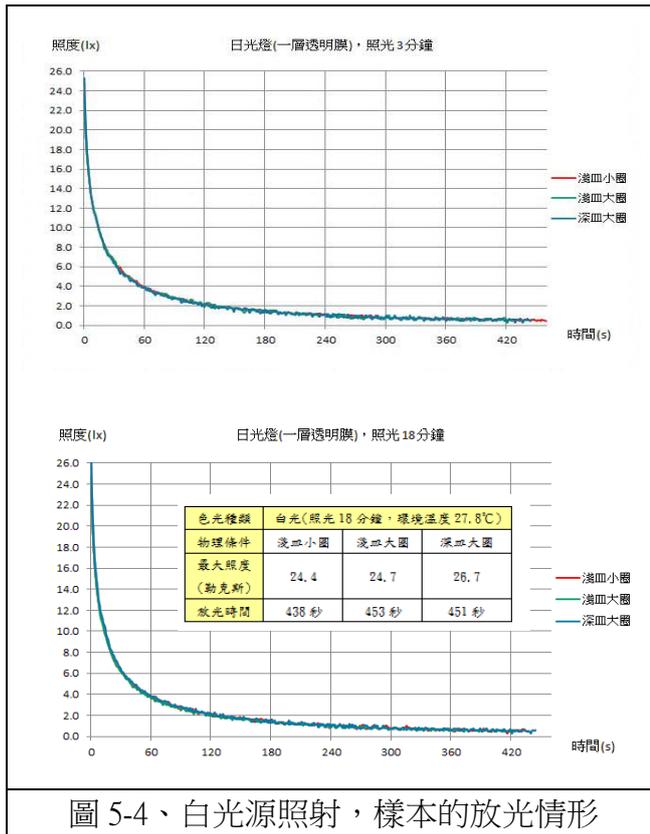


圖 5-4、白光源照射，樣本的放光情形

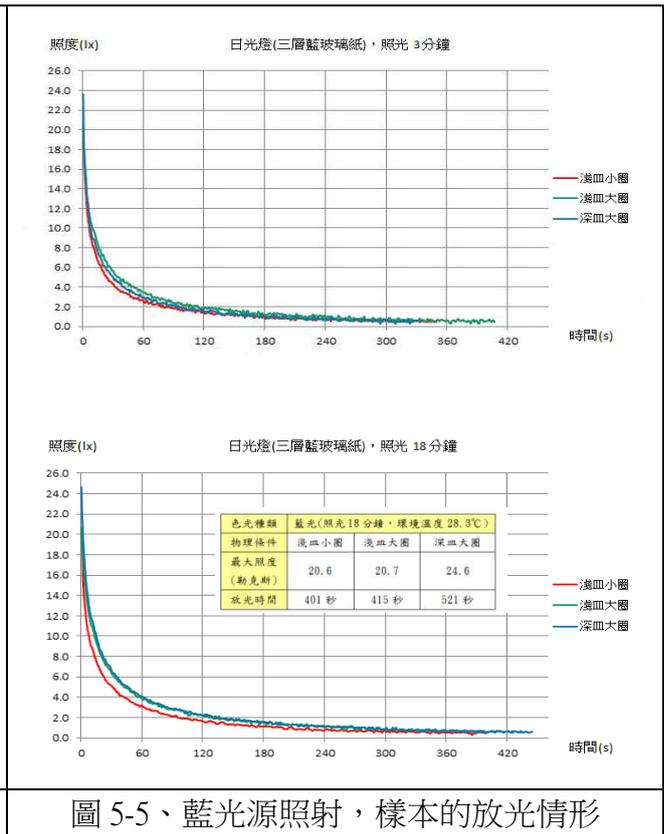


圖 5-5、藍光源照射，樣本的放光情形

由實驗結果可知，在白光的照射下，無論磷光樣本的深淺與厚薄，樣本照光後放光情形都非常相似，曲線幾乎彼此貼合。在藍光的照射下，淺皿小圈的磷光樣本與淺皿大圈的樣本數據非常相似，似乎照光面積並不影響磷光樣本的放光情形，但深皿大圈的樣本放光時間略微加長，如表 5-4 所示。

表 5-4、磷光樣本身的物理條件不同，其放光時間的比較

藍光(3 分鐘)					
28.3°C		28.3°C		28.0°C	
時間	淺皿小圈	時間	淺皿大圈	時間	深皿大圈
0	19.9	0	20.5	0	23.6
1	17.5	1	18.1	1	18.0
2	15.1	2	16.6	2	16.0
略		略		略	
33	4.0	41	4.1	50	4.1
34	3.8	42	3.9	51	3.9
35	3.7	43	3.9	52	3.7
略		略		略	
330	0.5	347	0.4	403	0.5
331	0.6	348	0.5	404	0.4
332	0.5	349	0.4	405	0.4
經過 332 秒		經過 349 秒		經過 405 秒	

藍光(18 分鐘)					
28.2°C		28.5°C		28.2°C	
時間	淺皿小圈	時間	淺皿大圈	時間	深皿大圈
0	20.6	0	20.7	0	24.6
1	18.9	1	18.7	1	21.5
2	14.8	2	17.3	2	19.3
略		略		略	
42	4.1	50	4.1	61	4.0
43	3.9	51	4.1	62	3.9
44	3.9	52	3.9	63	3.9
略		略		略	
399	0.5	412	0.3	519	0.5
400	0.5	413	0.5	520	0.5
401	0.5	415	0.5	521	0.5
經過 401 秒		經過 415 秒		經過 521 秒	

陸、結論

透過實驗一的研究結果，我們發現使用同一個光源照射磷光樣本的時間越長，樣本發光情形就越趨於一致，這或許是因為日光燈源在剛開啟時，其光源是較為不穩定的，由光敏感測器的數據顯示，照度數值在日光燈源剛開啟的前 15 秒鐘，變動得相當厲害，因此僅將磷光樣本照光 1 分鐘，是較為不妥的；而照光時間越長，在延長樣本放光時間上並沒有太顯著的貢獻，且我們的目標是要設計「留影牆」，讓彼此可以跟自己過去的影子留影合照，因此過長的照光時間並不合適，最終決定以 3 分鐘作為照射磷光樣本最有效能的時間長度。

透過實驗二與實驗三的研究結果，我們發現磷光樣本有「挑光」的現象。以波長較長的紅光照射樣本，就算紅光的強度再強，樣本也幾乎沒有放光的情形發生；而以波長較短的藍光照射樣本，藍光的強度越強，樣本放光的情形越理想，意即會有較大的放光強度初始值，以及較長的放光時間。因此在較為陰暗的教室中，我們約略可以有 54 秒的放光時間，與自己留存的影子合照。

透過實驗四的研究結果，我們發現周圍環境的溫度越高，磷光樣本放光強度的初始值也會越大，但整個放光過程的時間反而會變短，因此讓教室內的溫度偏低溫，是較有利於達成與自己留存影子合照的目標。

透過實驗五與實驗六的研究結果發現，當磷光樣本的受光照表面積增加，對延長放光時間是較沒有顯著影響的，但當樣本的厚度增加，對放光時間的延長是略有幫助。因此當我們採買磷光漆，進行「留影牆」的粉刷工程時，務必要粉刷均勻且略有厚度，如此可以讓影子停留在牆面更長的時間。

綜合上述，我們要以耐心與毅力盡量將製作「留影牆」的磷光漆粉刷得均勻且略有厚度，當然也得考量油漆成本；且我們留影牆的最佳開放時段將會安排在冬季陰雨天且接近放學的時段，如此整個拍照環境會處在低溫陰暗的狀態，能讓留影牆的磷光現象更為明顯而持久；至於光源部分，我們將以教室內的單檯當作照射光源，在避免光源燒壞的情形下，將藍光亮度調到最大，請同學背對光源擺好姿勢，持續進行光照 3 分鐘，如此便能牆上留下較明顯而持久的影像，供我們合照回味。

柒、參考資料及其他

休伊特，2001，觀念物理 V，天下遠見出版股份有限公司，陳可崗譯。

光子〔2015〕，取自維基百科，自由的百科全書

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E5%AD%90>

光電效應〔2015〕，取自維基百科，自由的百科全書

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E7%94%B5%E6%95%88%E5%BA%94>
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E7%94%B5%E6%95%88%E5%BA%94>

全中平等，2014，科展設計與製作，國立臺灣科學館。

林明瑞等，2001，自然與生活科技〔南一版〕高中物理上冊。

林明瑞等，2002，自然與生活科技〔南一版〕高中物理下冊。

段木千等，民 73 年 10 月，物理大辭典第三冊，人文出版社。

能階〔2015〕，取自維基百科，自由的百科全書

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%83%BD%E7%BA%A7>

郭重吉等，2013，自然與生活科技〔南一版〕國中第三冊。

郭重吉等，2014，自然與生活科技〔南一版〕國中第四冊。

黃衍介等，2005，近代實驗光學，臺灣東華。

黃國修等，2014，磷光乍現—自製時間解析裝置及其應用，中華民國第 54 屆中小學科學展覽會高中組化學科，國立台灣科學教育館，台北。

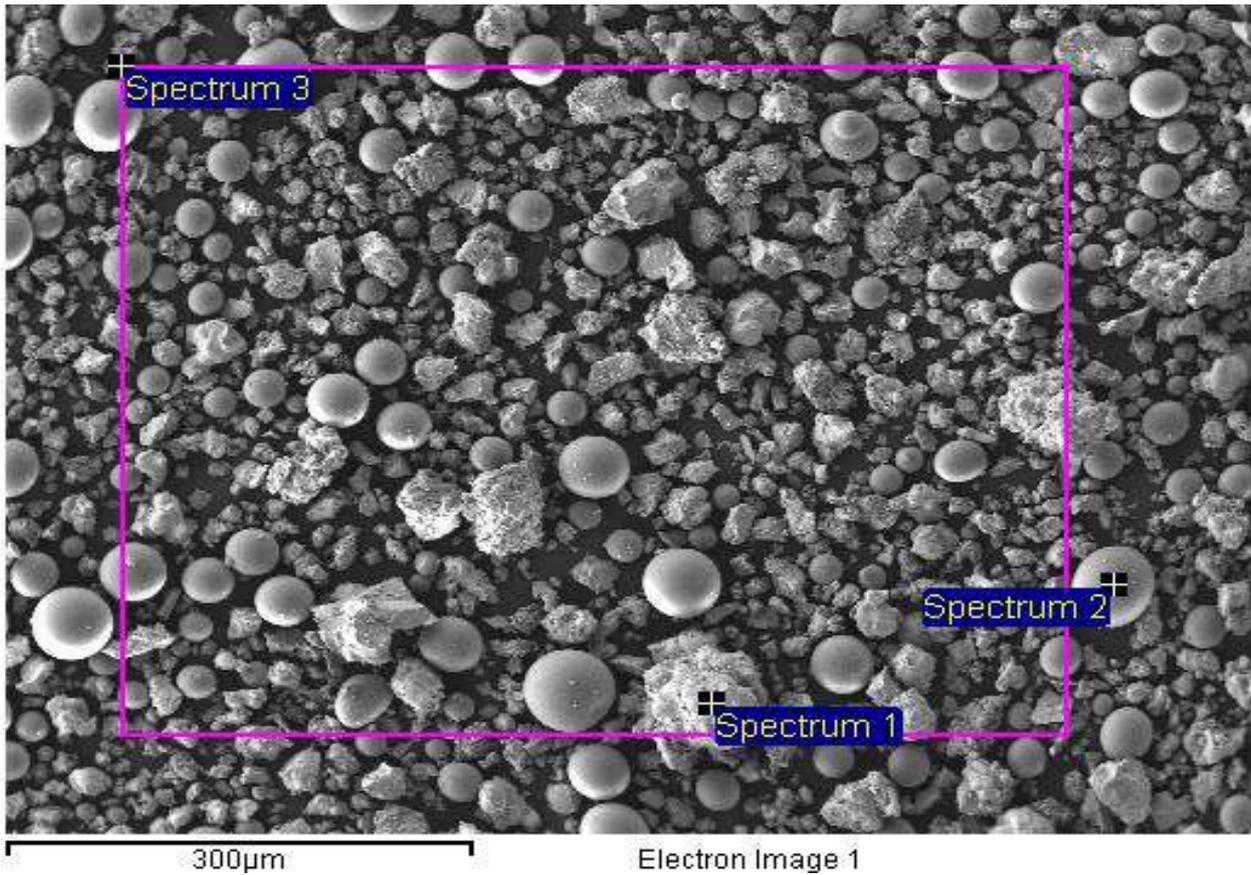
捌、附錄

「光敏感測器」執行程式使用說明

1. 先將光感測器的 USB 插上電腦，執行 LightDetection.exe 檔，將出現下方圖示視窗。
2. 確認連接埠是否有顯示 COM4，若無，請重新確定光感測器是否有插好，或重新開機。
3. 請將當時的相關資訊利用選單或手動的方式填寫。
4. 按下連線按鈕，綠色的數值顯示視窗會開始顯示數字。
5. 依序進行：設定記錄間隔值(1,2,5,10,30)，單位為秒；設定門檻值，當記錄的數值小於此門檻值 5 次，會自動停止記錄，並把記錄數值自動存成 Excel 檔案。
6. 可利用照光時間碼錶來觀察目前的照光時間。按下開始計時，計時器會以 0.5 秒的間距增加。當碼錶的時間到時(如 180 秒=3 分鐘)，請跳到下一步驟。
7. 關掉光源，請先等待約 5 到 10 秒，再按下開始記錄按鈕，開始記錄數值。
8. 開始記錄之後，若想要手動停止記錄，可以按下停止記錄按鈕，程式會停止記錄，並將記錄值儲存成 Excel 檔案(檔名格式會依記錄資訊內容而有所不同，如：Data_白光(1)3 分鐘10404100515.xls)。否則將依第 5.項設定，達到門檻值才停止記錄。
9. 停止記錄後，請重新填寫記錄資訊，必需要與前一次不同，否則記錄的 Excel 檔案將會被覆蓋掉。填寫完成之後，可以再按下開始記錄，做下一次的記錄。



磷光樣本成份分析



Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	In stats.	C	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Sr	Total
Spectrum 1	Yes	10.40	55.19			13.68			20.74	100.00
Spectrum 2	Yes	4.75	55.55	8.41	2.24	0.39	25.98	2.67		100.00
Spectrum 3	Yes	24.86	48.52	1.67	0.31	7.86	3.75	0.47	12.57	100.00
Max.		24.86	55.55	8.41	2.24	13.68	25.98	2.67	20.74	
Min.		4.75	48.52	1.67	0.31	0.39	3.75	0.47	12.57	

All results in weight%

【評語】 030116

1. 實驗內容頗引人興趣，能對磷光進一步的認識。
2. 實驗變因多，可能對整合變因的討論會更佳。