

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第二名

030103

圓來這麼多變-黑白幻彩

學校名稱：臺中市立大雅國民中學

作者： 國二 賴子幃 國二 陳儀珊	指導老師： 鐘文生
---------------------------------	------------------

關鍵詞：黑白、彩色、旋轉

摘要

為了解黑白間隔圓旋轉時為何出現彩色圖案？我們在不同種類的光源、不同的光源閃爍頻率、不同圓盤轉速及使用高速攝影來觀察間隔圓旋轉後的影像，尋找黑白間隔圓與出現彩色圖案之間的關連性。我們發現黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象時，光源必須閃爍、光源必為線光譜，光源含有螢光物質，並且發現燈管內的螢光物質吸收紫外光後所釋出的白光，可使黑白間隔圓旋轉時出現彩色圖案，而 LED 燈泡是藉由藍光激發黃色螢光物質後發出的白光，則無法出現彩色現象。實驗進一步發現，若燈管螢光物質的某一光源在發光後至熄滅之間產生發光時間延長的遲滯現象，將會是黑白間隔圓旋轉後所出現的顏色。

壹、研究動機

在國小時，曾經玩過一種遊戲：在一張圓形的紙上畫上黑白間隔的圖案，並且在圓的中心用牙籤穿過，這樣就完成了自製的陀螺！手指轉動陀螺，原本黑白間格的圖案，頓時間轉出了美麗的色彩。當時心中便存在了一個疑問？為何會產生彩色的圖案？當時詢問老師，告訴我是因為視覺暫留的關係，但真的這樣嗎？升上國一，當自然課程談到視覺暫留時，我頓時想到當時存留在我心中的疑問，再加上剛好學校在甄選科展的同學與題目，找了同學討論，大家便決定要一起研究這個題目。經過了一年的研究及參與比賽評審們給了我們許多寶貴的意見，為了更深入了解出現彩色的原因，我們改變操縱變因試著找出更具體的答案，研究的過程，即使遇到問題實驗器材不足無法順利完成實驗，我們也沒有放棄，反而向大學研究室尋求協助，雖然過程十分艱辛，但我們仍然勇往直前，希望找出真正的原因。

貳、研究目的

- 一、為何黑白間隔圓旋轉時會出現間隔與顏色變化？
- 二、黑白間隔圓旋轉時出現間隔與「光源閃爍頻率及轉速」的關係？
- 三、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「光源種類」的關係？
- 四、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「光譜圖」的關係？
- 五、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「燈源發光方式」的關係？
- 六、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「螢光物質」的關係？

參、研究設備與器材

(一)實驗器材:間隔圓(圖一)、自製遮光箱(圖二)、自製旋轉盤(圖三)、相機、可變電壓六段式插頭、光遮斷器、電阻(圖四)、驅動馬達、微型光譜儀(圖五)、省電燈泡(晝光色)、省電燈泡(燈泡色)、LED 燈泡球(晝光色)、LED 燈泡球(燈泡色)、鎢絲燈泡(白色)、鎢絲燈泡(黃色)、檯燈(PL 13W 螢光燈管)、高亮度 LED 燈、玻璃紙(紅、綠、藍)

		
<p>圖(一)、間隔圓</p>	<p>圖(二)、自製遮光箱</p>	<p>圖(三)、自製旋轉盤</p>
		
<p>圖(四)、電阻</p>	<p>圖(五)、可變電壓六段式插頭</p>	<p>圖(六)、光源</p>



圖(七)

肆、研究過程或方法

一、製作新遮光箱裝置：

先在內側蓋子上切一個大洞，然後在洞口旁鎖上木條方便讓外側蓋子對齊。在箱子的側面開兩個洞來牽線。在內部黏上支架並把光遮斷器安裝在內。之後在底部黏上木板並將日光燈檯燈安裝在旁以及將圓盤,馬達架等實驗裝置放入遮光箱。再加用電阻，來取得更精準的轉速。

二、增設電源供應器:

提供較穩定的電壓，但發現供電量太大容易造成馬達燒壞因此沒有使用。

三、增設電阻:

使用變壓器連接電組，調整出精準的轉速。

四、撰寫 Arduino 程式：

- 1.使用 Arduino 程式連接紅外線接收器與發射器來策轉速。
- 2.使用 Arduino 程式連接驅動馬達和高亮度 LED 燈來增加亮度及改變每秒閃爍頻率

五、製做間隔圓:

在白紙上畫半徑約 9.5 公分的圓，使用量角器測量角度並畫出間隔，最後用彩色筆塗上顏色。

六、光譜儀使用:

向大學借用光譜儀了解不同光源的光譜。



圖(八)



圖(九)

伍、研究結果

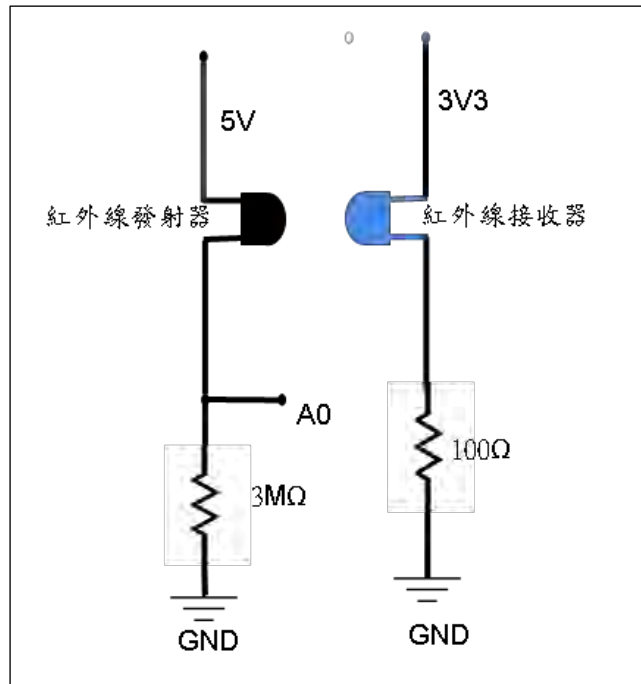
一、實驗一：第一代實驗觀察裝置

(一)實驗說明：使用 Arduino 程式，來計算圓盤轉速，並使用輸出不同電壓的變壓器來調整轉速。

程式:

```
int a0,n,m;
float dt,b;
unsigned long int t0,t1;
void setup() {
  n=0;
  Serial.begin(1000000);
}
void loop() {
  int a0 = analogRead(A0);
  if ( a0< 800 ) {
    n+=1;
    delay(30);
    t0=millis();
    Serial.print("t0= ");
    Serial.print(t0);
  }
  if(n==6) {
    t1=millis();
    Serial.print(" t1= ");
    Serial.print(t1);
    Serial.print(" dt= ");
    dt=(t1-t0)/5;
    Serial.println(dt);
    Serial.print(" speed= ");
    b=1000/dt;
    Serial.println(b);
    n=0;
  }
}
```

Arduino 程式連接光遮斷器示意圖:



圖(十)

(二)實驗檢討：使用 Arduino 程式來計算圓盤轉速後發現，變壓器輸出的電壓不穩定而無法調到精準的轉速，進而不能得到精準的實驗結果。

二、實驗二：研發第二代實驗觀察裝置

(一)實驗說明：因實驗一發現轉速不穩定，於是沿用第一代實驗裝置，加用電源供應器的方式，來改變轉速。



圖(十一)

(二)實驗檢討：雖然能夠得到精準的轉速，但電源供應器輸出的電壓太大造成馬達燒壞。

三、實驗三：研發第三代實驗觀察裝置

(一)實驗說明：沿用第二代實驗裝置，將電源供應器改成電阻，來改變轉速。



圖(十二)

(二)實驗結果：這樣的方式，只要稍微調整變電阻，轉速便會有些微的改變，因此每次都能得到精準的轉速，也不會因電壓太大馬達燒壞。

四、實驗四：使用 Arduino 程式，來調整 LED 燈閃爍頻率

(一)實驗說明：使用高亮度 LED 燈連接 Arduino 程式和驅動馬達，來增加白色 LED 燈的亮度及改變閃爍頻率。

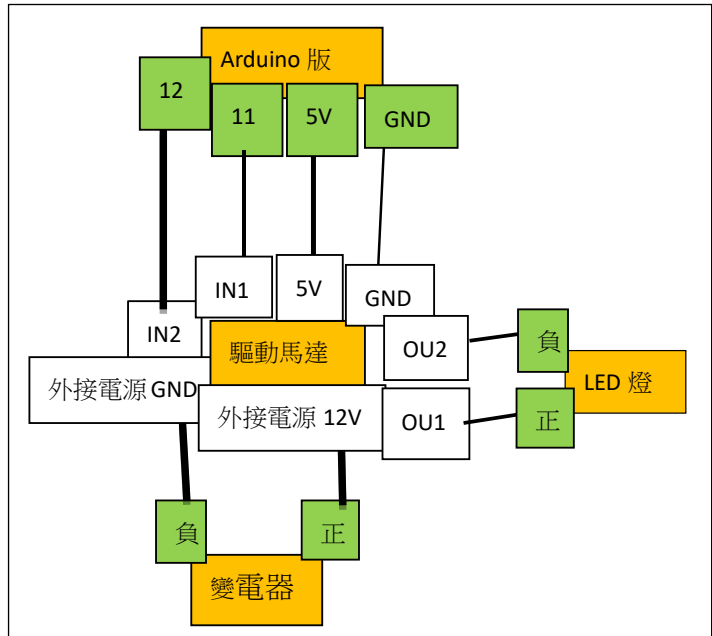
程式:

```

void setup() {
  for (int i=2;i<13;i++) {pinMode(i,OUTPUT);
  }
}
void loop() {
  digitalWrite(11,HIGH);
  digitalWrite(2,HIGH);digitalWrite(3,LOW);
  digitalWrite(3,HIGH);digitalWrite(4,LOW);
  digitalWrite(12,LOW);
  delay(4);
  digitalWrite(12,LOW);
  digitalWrite(11,LOW);
  delay(4);
}

```

高亮度 LED 燈連接 Arduino 程式和驅動馬達示意圖:











圖(十三)

(二)實驗結果：發現高亮度 LED 燈連接 Arduino 程式和驅動馬達後和原本連接 LED 相比亮度明顯增加許多。

五、實驗五: 探討不同的「黑白間隔圓」在何種轉速下會呈現最清楚的間隔與彩色變化現象?

(一)實驗說明：使用 PL13W 螢光燈管來照明黑白間隔圓，調整電阻即變電器，尋找出最清楚的定格圖像，並且調整相機的曝光時間及光圈直到拍出來的影像與眼睛看到相同的影像為止表(一)

黑白間圓 轉速(圈/秒)		
轉速(圈/秒)/ 顏色圖片	20.00/黃綠藍 	13.51/黃綠藍 
	(圈/秒) x 黑白組數 = 20 x 6 = 120	(圈/秒) x 黑白組數 = 13.51 x 9 = 121.59

黑白間圓 轉速(圈/秒)	1/20 	1/10 
轉速(圈/秒)/ 顏色圖片	12.00/黃綠藍 	24/黃綠藍 
	(圈/秒) x 黑白組數 = 12x 10 = 120	(圈/秒) x 黑白組數 = 24x 5 = 120

(三)實驗結果：使用檯燈照射旋轉盤後如果轉速(圈/秒)與間隔數相乘為 120 的倍數，則旋轉盤上的彩色間隔能夠固定不動，並且出現與黑色及白色隔數相同的彩色間隔數，例如：1\12 圓會出現 6 條，我們推測轉速與間隔數相乘後會是 120 的倍數是因為光源的閃爍頻率為 60Hz，因此一秒鐘總共亮暗 120 次，所以當此條件達到時能夠出現清楚的彩色間隔，旋轉時能夠出現顏色變化並且顏色為綠黃藍，因此我們推測顏色的出現會與光譜有相對的關係，而出現間隔會與光源的閃爍頻率及轉速有關係。


六、實驗六：改變光源種類，探討是否出現間隔與彩色變化的現象？

(一)實驗說明：將 1/12 黑白間隔圓分別使用日光燈\檯燈\省電燈泡\球形 LED 燈泡\鎢絲燈泡來照明，調整變壓器及電阻尋找出現最清楚影像時的轉速，並觀察變化。

表(二)

燈源	間隔(顏色)	出現最清楚間隔時的轉速\圖片
檯燈	有(綠)	20.41 
日光燈	有(藍\橘)	14.13 

表(三)

省電燈泡	間隔(顏色)	出現最清楚間隔時的轉速\圖片
燈泡色	有(綠)	20.41 

晝光色	有(綠)	20.41 
-----	------	---------------------------------------------------------------------------------------------

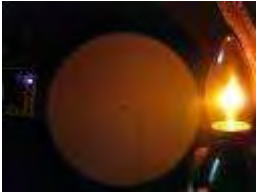
表(四)(運用交流電/會閃爍)

LED 燈泡球	間隔(顏色)	出現最清楚間隔時的轉速\圖片
燈泡色	有(無)	20.41 
晝光色	有(無)	20.41 

表(五)(運用交流電/會閃爍)

鎢絲	間隔(顏色)	出現最清楚間隔時的轉速\圖片
黃色	有(無)	20.41 
白色	有(無)	20.41 

表(六)(運用直流電，連接電源供應器/不閃爍)

鎢絲	間隔(顏色)	轉速
黃色	無(無)	不管是什麼轉速結果都一樣 
白色	無(無)	不管是什麼轉速結果都一樣



(二)實驗結果：只要是在會閃爍的燈泡照射下，並且達到特定轉速就能出現間隔只有在檯燈與省電燈泡的照射下才能出現顏色變化。





(1)會有間隔出現的原因是因為使用會閃爍的光源，只要光源會閃爍並且閃爍頻率與黑白間隔圓的間隔數及轉速相符便能出現清楚間隔；反之若光源不會閃爍，不管光源與黑白間隔圓的間隔數及轉速是什麼都無法出現間隔，因此藉由此實驗證明了出現間隔與顏色變化光源必須閃爍，但不是所有會閃爍的光源都能使黑白間隔圓在旋轉時出現顏色變化，所以我們推測出現顏色變化有可能與光源的光譜及發光方式有相對的關係。

(2)在此實驗我們得知，鎢絲燈不管是使用交流電還是直流電，都無法出現顏色變化；檯燈及省電燈泡在旋轉後會出現色彩，而 LED 燈泡球則沒有出現顏色變化，但日光燈、檯燈、省電燈泡及

LED 燈跑球都具有螢光物質，可是 LED 燈泡為何無法出現顏色變化，所以我們推測可能是和光源的光譜及燈源的發光原理有關。將 1/12 黑白間隔圓黏貼到轉盤上，始用高亮度 LED 燈照明，並撰寫程是使光源能夠閃爍，並觀察光源不閃爍及光源閃爍之後所呈現出來的影像之差異性。

七、實驗七：探討黑白間隔圓旋轉時光源閃爍頻率與轉速之間的關係

(一)實驗說明將 1/12 黑白間隔圓黏貼到轉盤上，始用高亮度 LED 燈照明，並撰寫程是使光源能夠閃爍，並觀察光源不閃爍及光源閃爍之後所呈現出來的影像之差異性。

1/12 間格圓	閃爍頻率/轉速	圖片
	無閃爍/20.00	
	125/20.83	

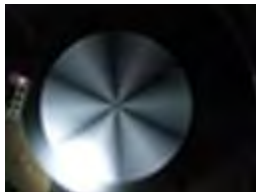

(二)實驗結果:實驗中發現當光源不閃爍時不管轉速為何都不會出現間隔，如果光源會閃爍便能出現間隔，並且在某些特定的轉速能夠出現清楚間隔。我們推測這是因為光沒有產生亮

暗的現象以至於無法讓同一區塊長久時間出現單色顏色的結果；反之若光源閃爍頻率與轉速相符便能出現清楚的間隔，所以在此實驗中我們證明了出現黑白間隔光源必須閃爍。

(一-1)實驗說明：因在上述的實驗中發現光源的閃爍頻率必須與轉速相符才能出現間隔，於是將 1/12 的黑白間隔圓黏貼到轉盤上，使用 Arduino 程式調整 LED 燈的閃爍頻率，調整電阻改變轉速，尋找出出現最清楚間隔時的轉速。

表(八)

閃爍頻率	500	250	200
轉速	12.35 	13.89 	14.71 

閃爍頻率	125	100
轉速	20.83 	16.67 

(一-2)實驗結果：使用電阻能夠快速的找到最清楚的間隔，而且間隔還能固定不動，而光源的閃爍頻率與轉速會有相對的關聯性，但是在高亮度 LED 燈的照射下無法使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化，因此推測這是否和光源的光譜有相對的關係。

(二-1)實驗說明：使用 Excel 計算並證明轉速與閃頻的關係，利用一秒轉幾圈計算出轉一格所需的時間，並利用光源閃爍頻率計算出閃爍一次所需的時間(光閃爍週期)，了解轉速與光源閃爍頻率之間的關聯性。

表(九)

圓	一秒轉幾圈	一圈轉幾秒	一度幾秒	一格幾度	一格轉幾秒	光源閃爍頻率	光閃爍週期
1/12	20.83	0.04800768	0.000133355	30	0.00400064	125	0.008
1/12	16.67	0.059988	0.000166633	30	0.004999	100	0.01
1/12	14.71	0.06798097	0.000188836	30	0.00566508	200	0.005
1/12	13.89	0.07199424	0.000199984	30	0.00599952	250	0.004
1/12	12.35	0.08097166	0.000224921	30	0.006747638	500	0.002

(二-2)實驗結果：旋轉轉一格所需的時間會與光源閃爍週期成 0.5 倍、整數倍、1.5 或 2.5


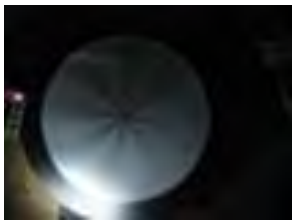

倍。只有轉一格所需的時間與光閃爍週期成 0.5 倍、整數倍、1.5 或 2.5 倍關係時才能讓同一區塊都持續呈現相同的顏色，因此能夠出現間隔，所以經由此實驗得知黑白間隔圓旋轉時出現間隔與光源的閃爍頻率及轉速有相對的關係。


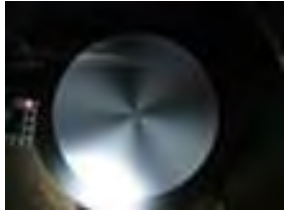
八、實驗八：探討黑白間隔圓旋轉時不同黑白間隔數與轉速的關係？

(一-1)實驗說明：藉由實驗七發現出現間隔與光源的閃爍頻率及轉速有關於是使用閃爍頻率為

125 的 LED 燈來照明，將不同的黑白間隔圓黏貼到轉盤上，並調整電阻改變轉速尋找出在什麼轉速下能夠出現最清楚の間隔，觀察變化，探討黑白間隔圓の間隔數與轉速之間的關係。

表(十)

圓	1/20	1/18	1/10
轉速	12.50	13.89	25.00
圖片			

圓	1/12	1/8
轉速	20.83	32.26
圖片		

(一-2)實驗結果：使用電阻能夠快速的找到最清楚の間隔，而且間隔還能固定不動，但是不會有顏色變化出現，只有黑灰の間隔。因此藉由這個實驗能夠證明出現間隔與光的閃爍頻率、轉速及黑白間隔圓の間隔數有關係，因為在相同的閃爍頻率下不同的間隔圓要出現清楚の間隔都必須在不同的轉速下才能出現。

(二-1)實驗說明：使用 Excel 計算並證明轉速、黑白間隔圓間隔數與光源閃爍頻率之間的關係，利用一秒轉幾圈計算出轉一格所需的時間，並利用光頻計算出光的閃爍週期。

表(十一)

圓	一秒轉幾圈	一圈轉幾秒	一度幾秒	一格幾度	一格轉幾秒	光源閃爍頻率	光閃爍週期
1/20	12.5	0.08	0.000222222	18	0.004	125	0.008
1/18	13.89	0.07199424	0.000199984	20	0.00399968	125	0.008
1/12	20.83	0.04800768	0.000133355	30	0.00400064	125	0.008

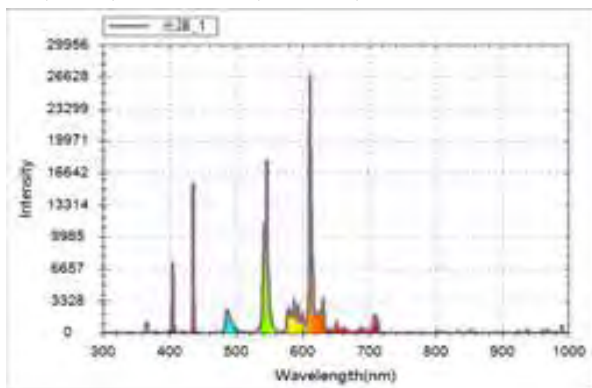
1/10	25	0.04	0.000111111	36	0.004	125	0.008
1/8	32.26	0.03099814	8.61059E-05	45	0.003874768	125	0.008

(二-2)實驗結果：此實驗與實驗七都發現黑白間隔圓旋轉一格所需的時間與光週期成 0.5 倍、1.5 倍、2.5 倍或整數倍時能夠出現清楚的黑白間隔。也因為有上述的關係才能讓轉盤的同一區塊都呈現相同的顏色，因此能夠出現間隔。因此藉由實驗七及此實驗同時證明了黑白間隔圓旋轉時出現黑白間隔數、轉速及光源的閃爍頻率有相對的關係。

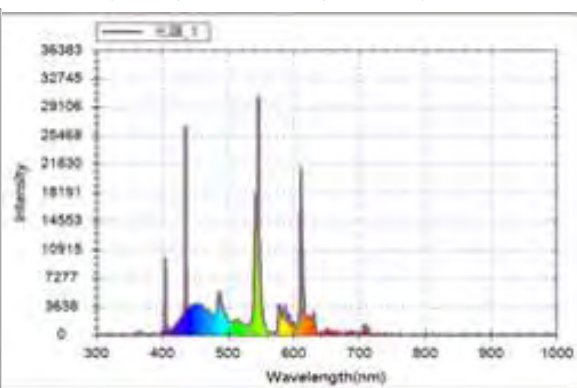
九、實驗九：使用光譜儀測出不同光源的光譜

(一)實驗說明：在實驗四道實驗八當中都推測出現顏色變化可能與光源的光譜有關於是，使用微型光譜儀，並在暗室中測量了解各種光源的光譜，並且找出光譜與黑白間隔圓旋轉時是否出現顏色變化之關係。

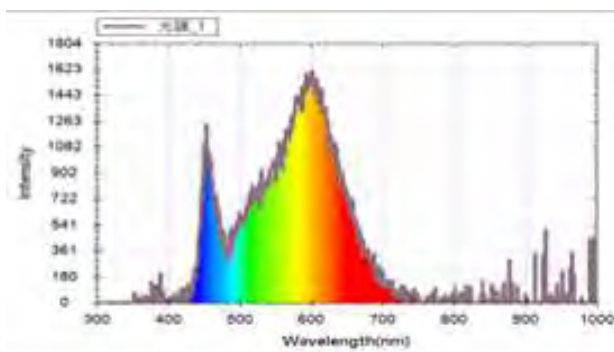
圖(十四)省電燈泡(燈泡色)



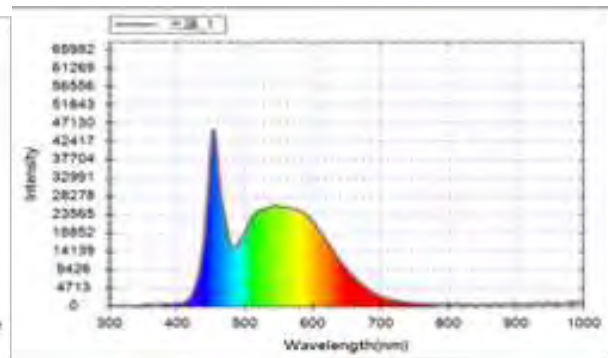
圖(十五)省電燈泡(晝光色)



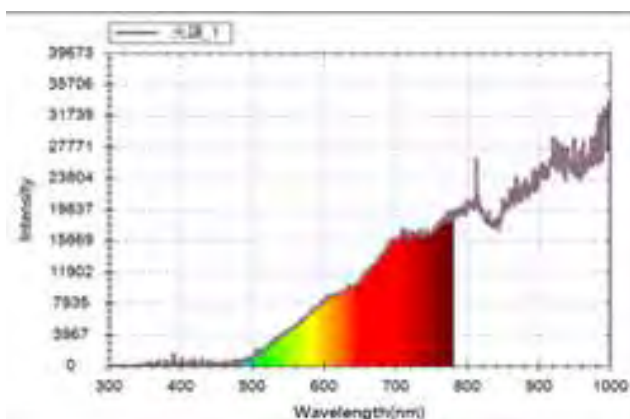
圖(十六)LED 燈泡球(燈泡色)



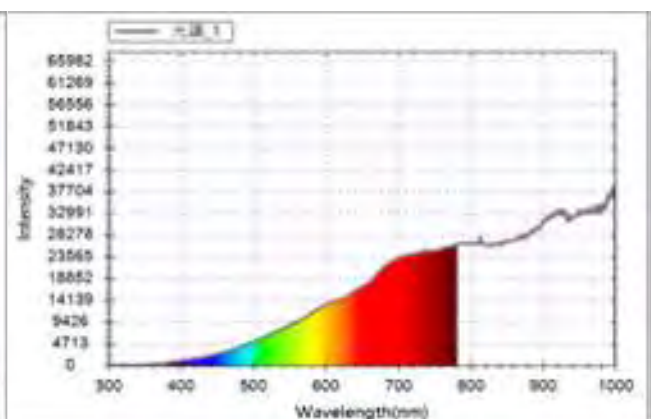
圖(十七)LED 燈泡球(晝光色)



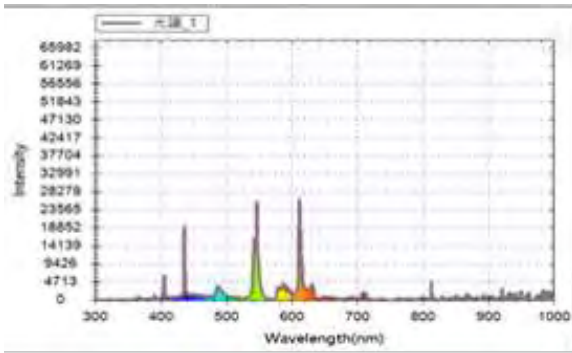
圖(十八)鎢絲燈(黃)



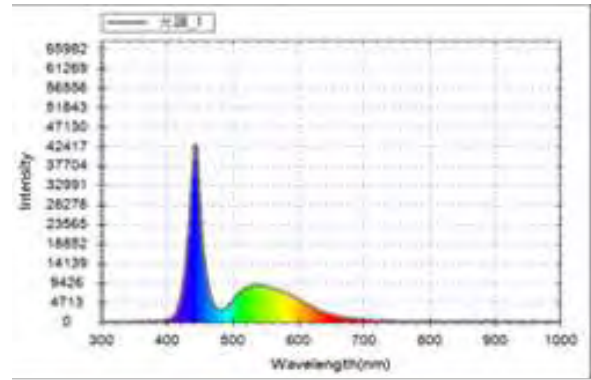
圖(十九)鎢絲燈(白)



圖(二十)檯燈(PL 13W 螢光燈管)



圖(二十一)高亮度LED燈



(一)實驗結果：

表(十二)

光譜	連續光譜	線光譜
燈源	LED燈泡球(晝光、燈泡)	省電燈泡(晝光、燈泡)
燈源	高亮度LED燈	檯燈
燈源	鎢絲燈(黃、白)	
黑白間隔圓旋轉時是否出現顏色變化	不會	會

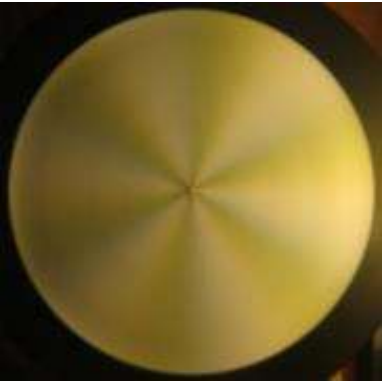
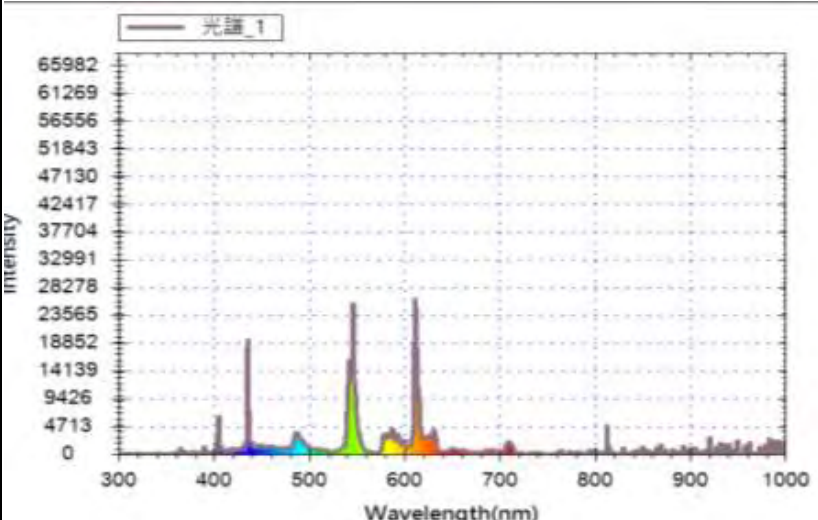
- 1.藉由上面的分析表格得知若光源為線光譜則能夠使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化；反之若光源的光譜為連續光譜則無法使旋轉時的黑白間隔源出現顏色變化。
- 2.將以上的光譜與實驗六的實驗結果比對之後發現黑白間隔圓旋轉時出現的顏色會和該光源光譜的波峰(最強光)的顏色相同。

十、實驗十：利用玻璃紙改變檯燈的光譜，觀察變化

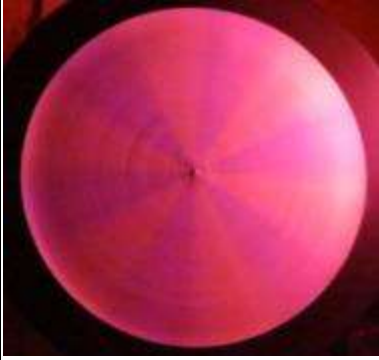
(一)實驗說明:在實驗九中發現黑白間隔圓旋轉時出現的顏色會是該光源光譜波峰(最強光)的顏色於是利用粉紅、綠、藍三色的玻璃紙，改變檯燈的光譜，比較不同的光譜會不會影響顏色的出現

表(十三)

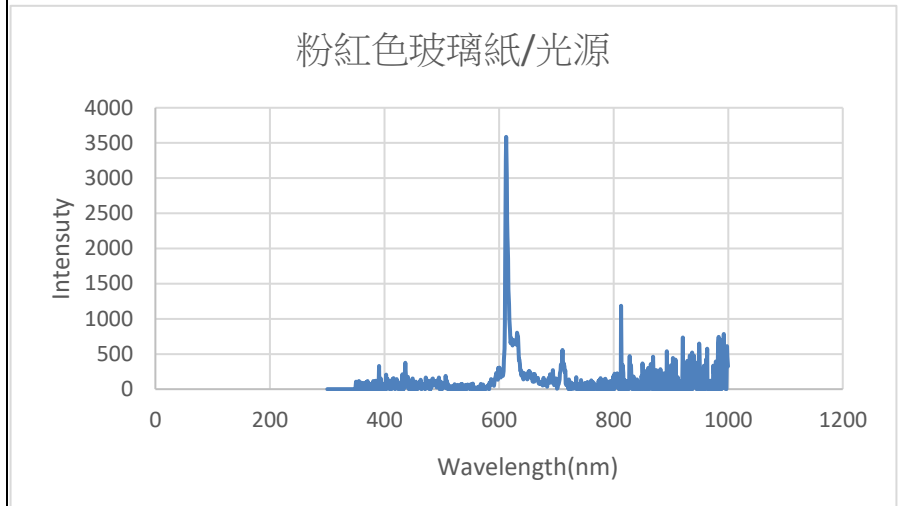
燈源顏色	光譜
檯燈\黃綠藍	檯燈

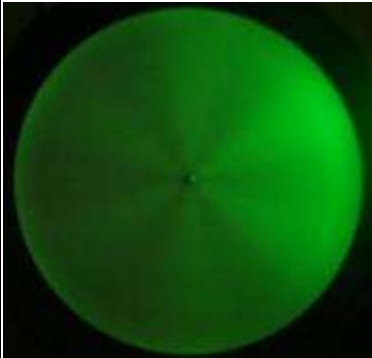
檯燈+粉紅粉(橘)



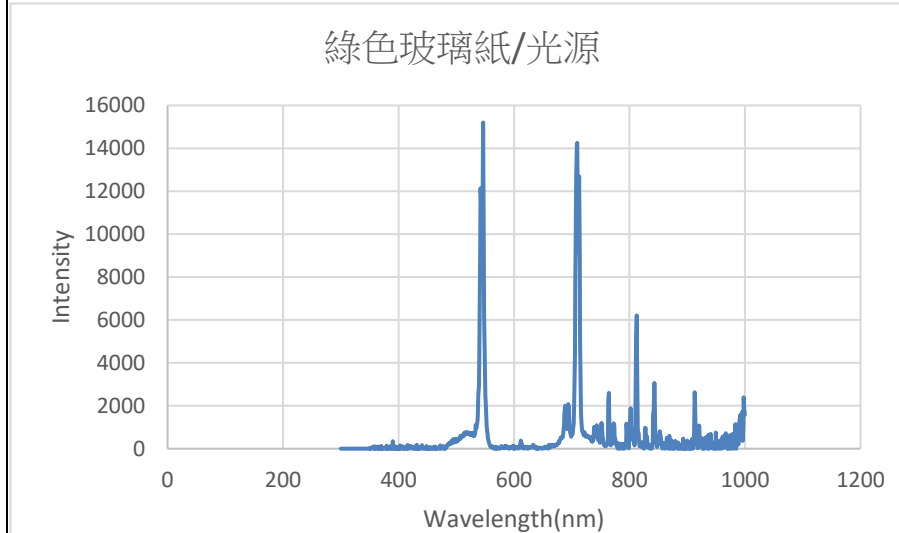
檯燈+粉紅



檯燈+綠綠



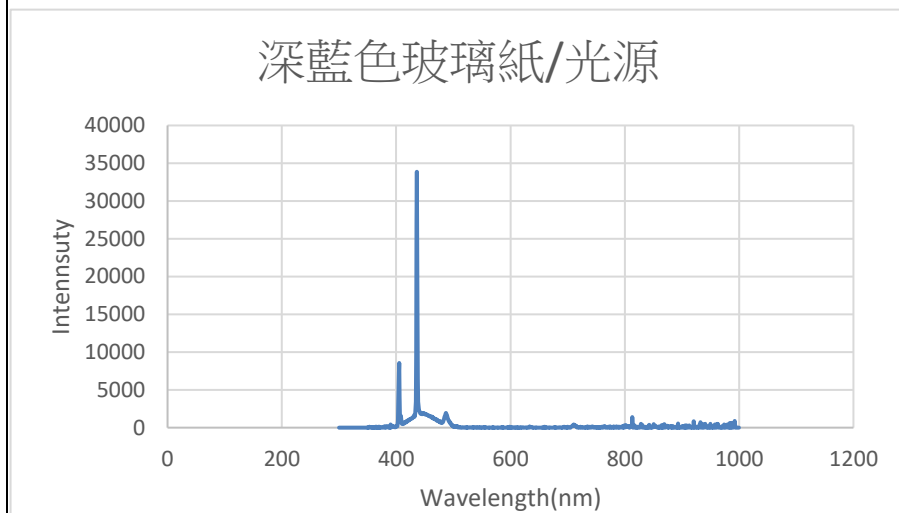
檯燈+綠



檯燈+藍藍



檯燈+藍



(二)實驗結果:經由此實驗發現改變光源的光譜能夠改變黑白間隔圓旋轉時出現的顏色，也經由此實驗證明黑白間隔圓旋轉時出現的顏色會和光譜中較強光相同。

十一、實驗十一：了解不同光源的發光原理

(一)實驗說明:經由實驗六發現只有日光燈、檯燈及省電燈泡能夠讓旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化因而推測出現顏色變化與燈源的發光原理有關，於是了解不同光源的發光源理後比較不同的發光方式會不會影響顏色的出現。

1.檯燈、省電燈泡及日光燈發光原理: 日光燈燈管，簡單的說是個密閉的氣體放電管。藉由管內導通的電流，形成氣體放電狀態，而氣體放電的過程釋放出紫外光，藉由燈管內表面的螢光物質吸收紫外光後 釋放出可見光。而不同的螢光物質 會發出不同的可見光。

2.LED燈泡發光原理: LED燈泡的發光元件為發光二極體，此元件是由半導體材料所製成。LED 是利用電能直接轉化為光能，且會隨著發光體的不同而產生不同的光譜，發出白光的主要原因是藉由藍光激發黃色螢光物質所形成的。

3. 鎢絲燈: 是一種透過通電，利用電阻把鎢絲加熱至白熾，用來發光的燈。鎢絲燈燈泡外圍由玻璃製造，把燈絲保持在真空，或低壓的惰性氣體（如鹵素燈）之下，作用是防止燈絲在高溫之下氧化。

(二)實驗結果:了解不同光源的發光源理後發現黑白間隔圓旋轉時要出現顏色變化必需使用經由電流激發汞蒸氣產生紫外光後紫外光激發管壁的螢光物質出現可見光的光源，反之若使用藍光激發黃色螢光物質而出現白光的光源則無法使旋轉時的黑白出現顏色變化。所以能使黑白間隔源旋轉時出現顏色變化的原因在於不同的光激發管壁的螢光物質(磷)，而不是光源是否具有螢光物質。

十二、實驗十二：利用手機高速攝影來探討螢光遲滯的現象，與黑白間隔圓旋轉時出現顏色變化的關係？

(一)實驗說明: 利用手機的高速攝影功能來拍攝檯燈的開關影象，並且使用 Ulead Gif Animator 軟體來切圖，觀察變化。

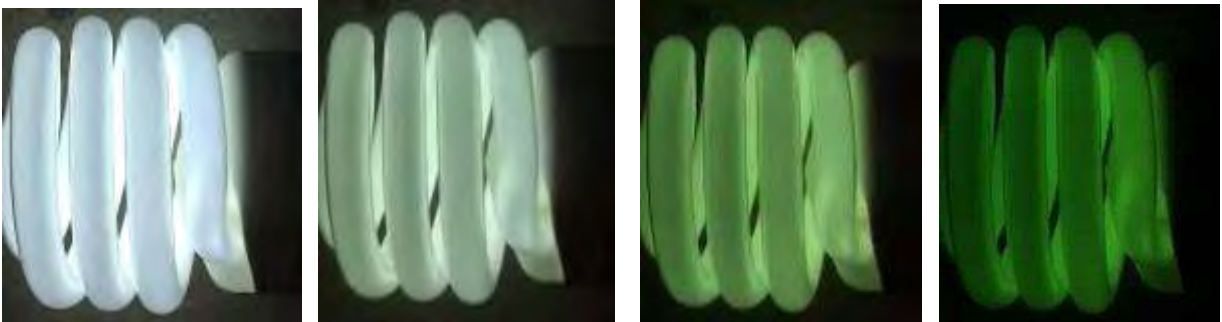


1. 檯燈(此圖列為檯燈開啟至關閉的快速攝影切圖)



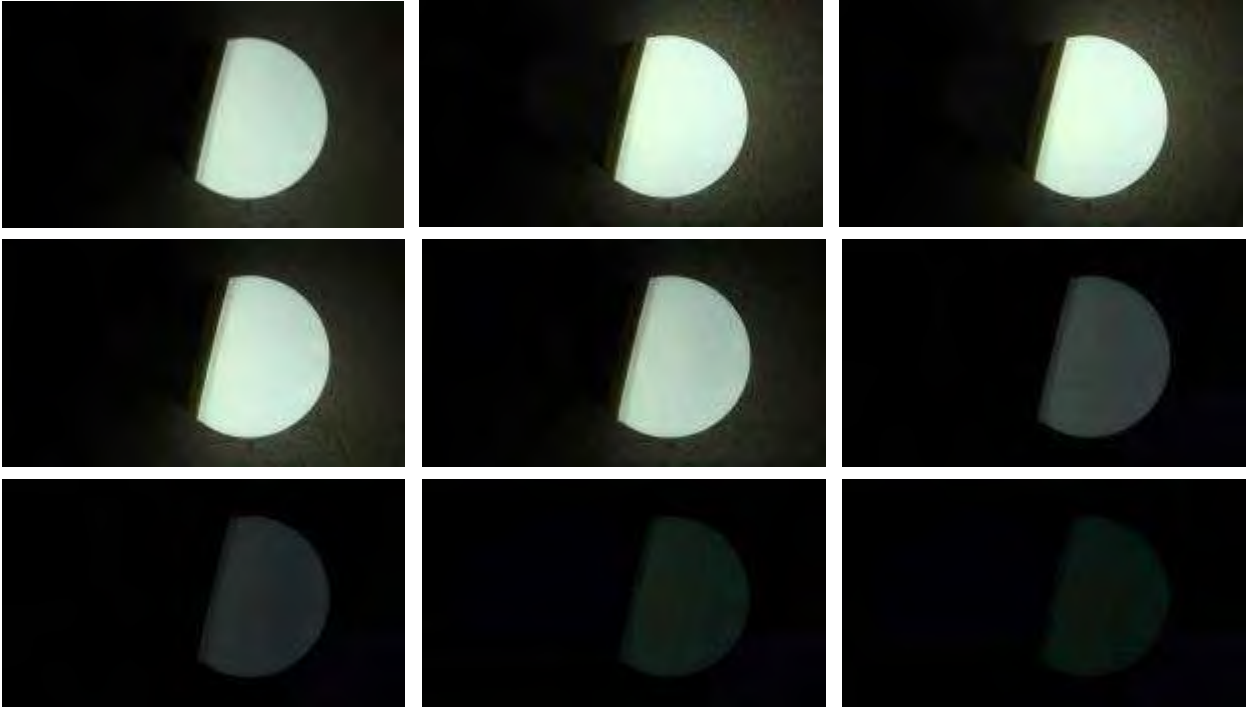


2. 省電燈泡(晝光色) (此圖列為省電燈泡開啟至關閉的快速攝影切圖)

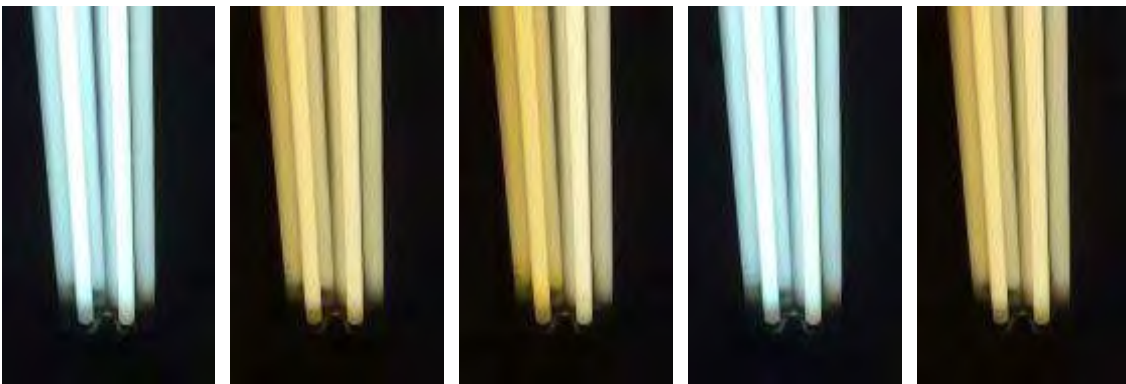


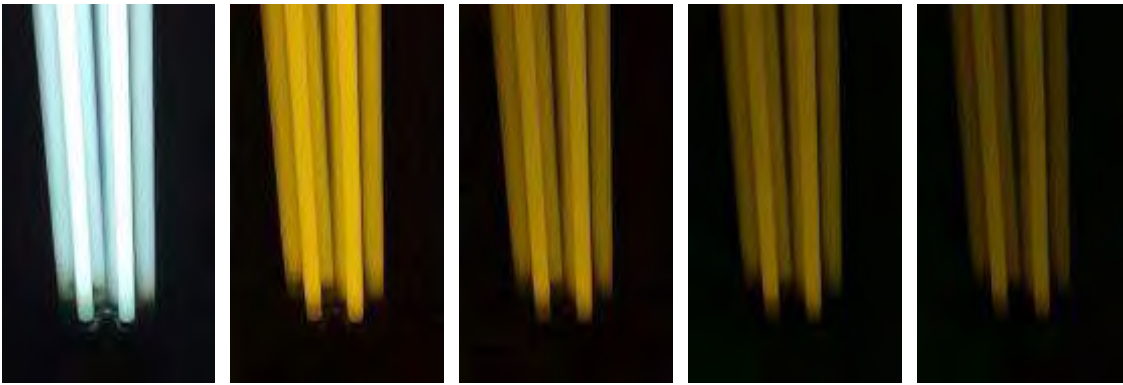


3. LED 燈泡球(晝光色) (此圖列為 LED 燈開啟至關閉的快速攝影切圖)



4. 日光燈(此圖列為日光燈開啟至關閉的快速攝影切圖)





(三)實驗結果:

- 1.檯燈經由高速攝影之後發現綠光會產生遲滯現象，也就是說當光源中其他色光熄滅後綠光會較晚熄滅，也就是因為如此我們才能在黑白間隔圓快速旋轉時看見綠色出現。
- 2.省電燈泡經由高速攝影後發現發現綠光的遲滯現象並不明顯，所以黑白間隔圓旋轉時出現的綠色並不明顯。
- 3.LED 泡球並無遲滯現象因此無法讓旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化。
- 4.日光燈經由高速攝影之後發現藍光及橘光有明顯得遲滯現象，且黑白間隔圓在旋轉時能夠出現清楚的藍色與橘色(橘色較藍色清楚)，由此可知若光原的遲滯現象越明顯則能夠使出現的顏色越明顯，遲滯現象的光會影響黑白間隔圓旋轉時出現的顏色。
- 4.結合上述的幾個條件發現，光源必須有遲滯現象才能使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化，若光源的遲滯現象越明顯則所出現的顏色則越明顯；反之若遲滯現象不明顯則旋轉時的黑白間隔圓出現的顏色變化就較不明顯；遲滯現象光的顏色同時會是黑白間隔圓旋轉時出現顏色變化的顏色及光譜中的波峰(最強光)。

陸、討論與分析

一、間隔圓旋轉時出現間隔與「光源閃爍頻率及轉速」的關係？

根據我們的實驗及以上討論，當間隔圓旋轉時若光源閃爍頻率、轉速及間隔圓的間隔數相互符合，會出現間隔。

1.光源閃爍頻率、旋轉一格所需的時間及間隔圓的間隔數如何相互符合:

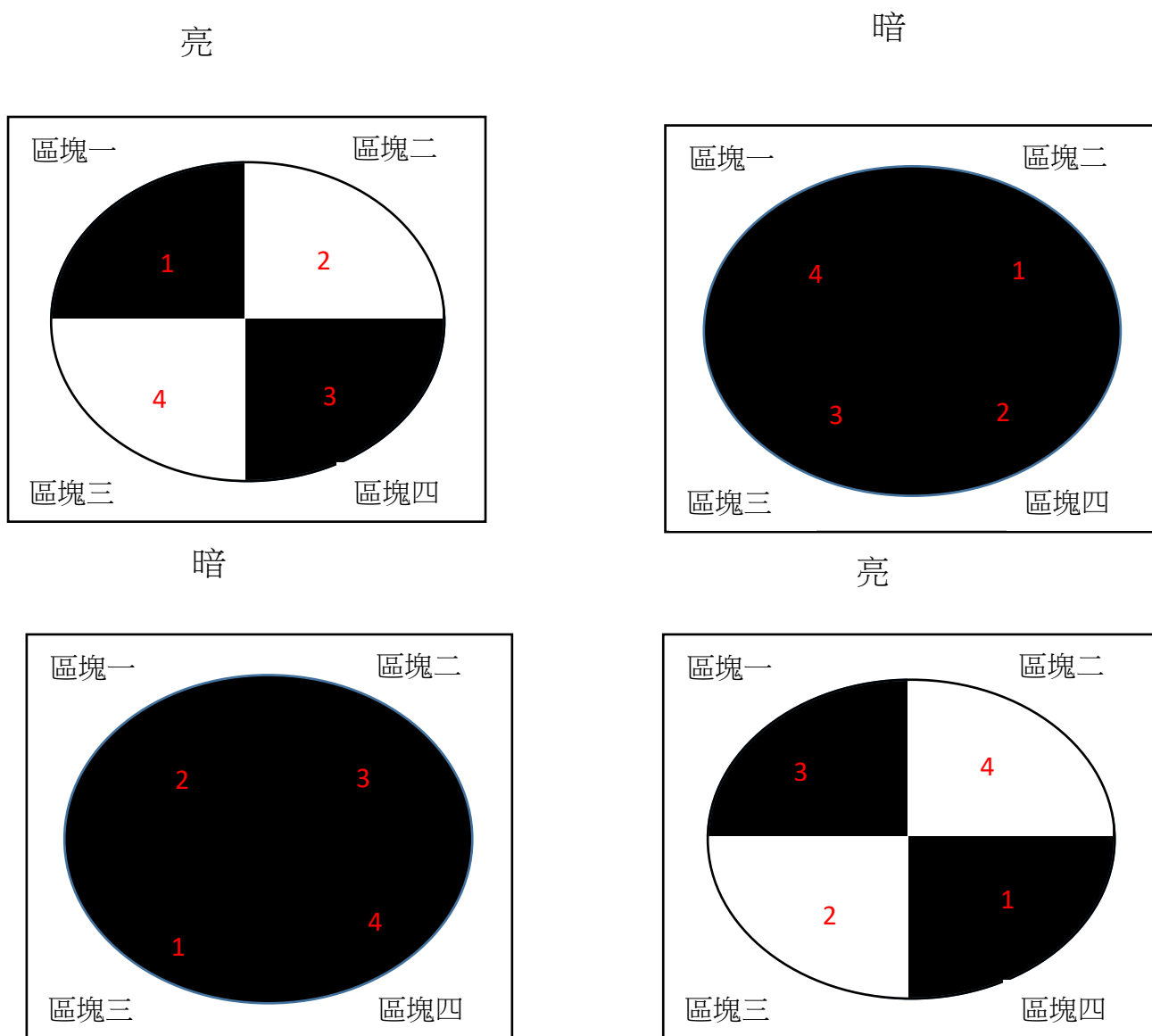
區塊一:當光亮時黑色的間隔轉到區塊一，因此所有的光被吸收出現黑色；當光暗時，白色間隔轉到區塊一，因此出現黑色。不管光亮或是暗時都出現黑色，所以區塊一永遠都是黑色。

區塊二; 當光亮時白色的間隔轉到區塊二，因此所有的光被反射出現白色；當光暗時，黑色間隔轉到區塊二，因此出現黑色。在高速旋轉下能夠出現白色。

區塊三:當光亮時黑色的間隔轉到區塊三，因此所有的光被吸收出現黑色；當光暗時，白色間隔轉到區塊三，因此出現黑色。不管光亮或是暗時都出現黑色，所以區塊三永遠都是黑色。

區塊四; 當光亮時白色的間隔轉到區塊四，因此所有的光被反射出現白色；當光暗時，黑色間隔轉到區塊四，因此出現黑色。在高速旋轉下能夠出現白色。

2.根據上述的推方法，黑白間隔圓快速旋轉下，若旋轉一格所需的時間和光閃爍一次的時間(光的閃爍週期)成整數倍、1.5、2.5 或是 0.5 倍的關係，便能讓圓盤的某些區塊永遠都出現黑色或白色，進而出現間隔。



二、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「光譜圖」的關係？

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔源在旋轉時出現顏色變化都是使用具有高峰的線光譜；反之若光源的光譜為連續光譜則無法使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化。

三、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「螢光物質」的關係？

根據我們的實驗及以上討論，檯燈、省電燈泡及 LED 燈泡球都具有螢光物質，但檯燈及省電燈泡可讓在旋轉時的黑白間隔圓出現彩色，而 LED 燈泡球則無法出現顏色變化。由此可知，使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化與螢光物質有相對的關係，但不是唯一的條件。

四、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「燈源發光方式」的關係？

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔圓在旋轉時出現顏色變化的主要原因是所使用燈源的發光原理必須是經由紫外光激發管壁的螢光物質而發出可見光；反之如果使用的燈源不是利用這樣的原理來發光，則無法出現彩色變化。

五、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「光源種類」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔圓在旋轉時出現不同的彩色變化是因為使用的光源附有四種條件，第一:光源會閃爍，第二:光源是線光譜，第三:光源含有螢光物質，第四:光源的發光方式必須是經由紫外光照射到管壁的螢光物質所發出，符合以上三個條件，便能出現彩色變化。

六、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「螢光遲滯」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，光源必須有遲滯現象才能使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化，若光源的遲滯現象越明顯則所出現的顏色則越明顯；反之若遲滯現象不明顯則旋轉時的黑白間隔圓出現的顏色變化就較不明顯。

柒、結論

根據我們以上的實驗及討論，旋轉中的黑白間隔圓要出現彩色現象必須符合以下幾項條件：

- 1.使用的燈源要閃爍，並且光源閃爍一次所需的時間和間隔轉一格所需的時間成 0.5、1.5、2.5 或整數倍關係，因此會有某些特定的區塊都是固定的顏色，進而出現間隔。
- 2.使用的燈源的光譜是具有高峰的線光譜。
- 3.要出現彩色變化必須使用具有螢光物質的燈源，但螢光物質並不是使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化的唯一條件。
- 4.而最主要出現顏色變化的原因是所使用燈源的發光原理是經由紫外光激發管壁的螢光物質而發出的可見光。
- 5.燈管螢光物質的某一光源在發光後至熄滅之間產生發光時間延長的遲滯現象，將會是黑白間隔圓旋轉後所出現的顏色。

捌、參考資料

- 1.<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/螢光燈>
- 2.超圖解 Arduino 互動設計入門,趙英傑著,旗標股份有限公司出版。
- 3.自然與生活科技,第三冊,康軒出版社。
- 4.<https://ejournal.stpi.narl.org.tw/sd> 科學發展期刊官網國家科學實驗室
5. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%A1%8D%E5%B0%84%E5%85%89%E6%A0%85> 繞射光柵- 維基百科，自由的百科全書 - Wikipedia
- 6.file:///H:/科學發展-資料/白熾燈與 LED+燈泡節能差異性之研究.pdf
- 7.<http://www.teo.com.tw/prodDetail.asp?id=307>

【評語】 030103

本作品「圓來這麼多變-黑白幻彩」，利用旋轉的黑白間隔圓的旋轉，在不同的光源（檯燈、日光燈、省電燈泡、LED 燈泡球）照射下，探討螢光遲滯效應(decay time) 所呈現的色彩現象。並得出”若燈管螢光物質的某一光源在發光後至熄滅之間產生發光時間延長的遲滯現象，將會是黑白間隔圓旋轉後所出現的顏色。”

本作品是一件相當有原創性的研究。這個實驗若能進一步了解不同螢光物質放射的時間常數，當能更豐富實驗的探討與結果。整體而言，研究方法非常紮實，得到的結果也可以合理解釋所觀察到的現象，是一件值得肯定的作品。

摘要

為了解黑白間隔圓旋轉時為何出現彩色圖案？我們在不同種類的光源、不同的光源閃爍頻率、不同圓盤轉速及使用高速攝影來觀察間隔圓旋轉後的影像，尋找黑白間隔圓與出現彩色圖案之間的關連性。我們發現黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象時，光源必須閃爍、光源必為線光譜，光源含有螢光物質，並且發現燈管內的螢光物質吸收紫外光後所釋出的白光，可使黑白間隔圓旋轉時出現彩色圖案，而LED燈泡是藉由藍光激發黃色螢光物質後發出的白光，則無法出現彩色現象。實驗進一步發現，若燈管螢光物質的某一光源在發光後至熄滅之間產生發光時間延長的遲滯現象，將會是黑白間隔圓旋轉後所出現的顏色。

壹、研究動機

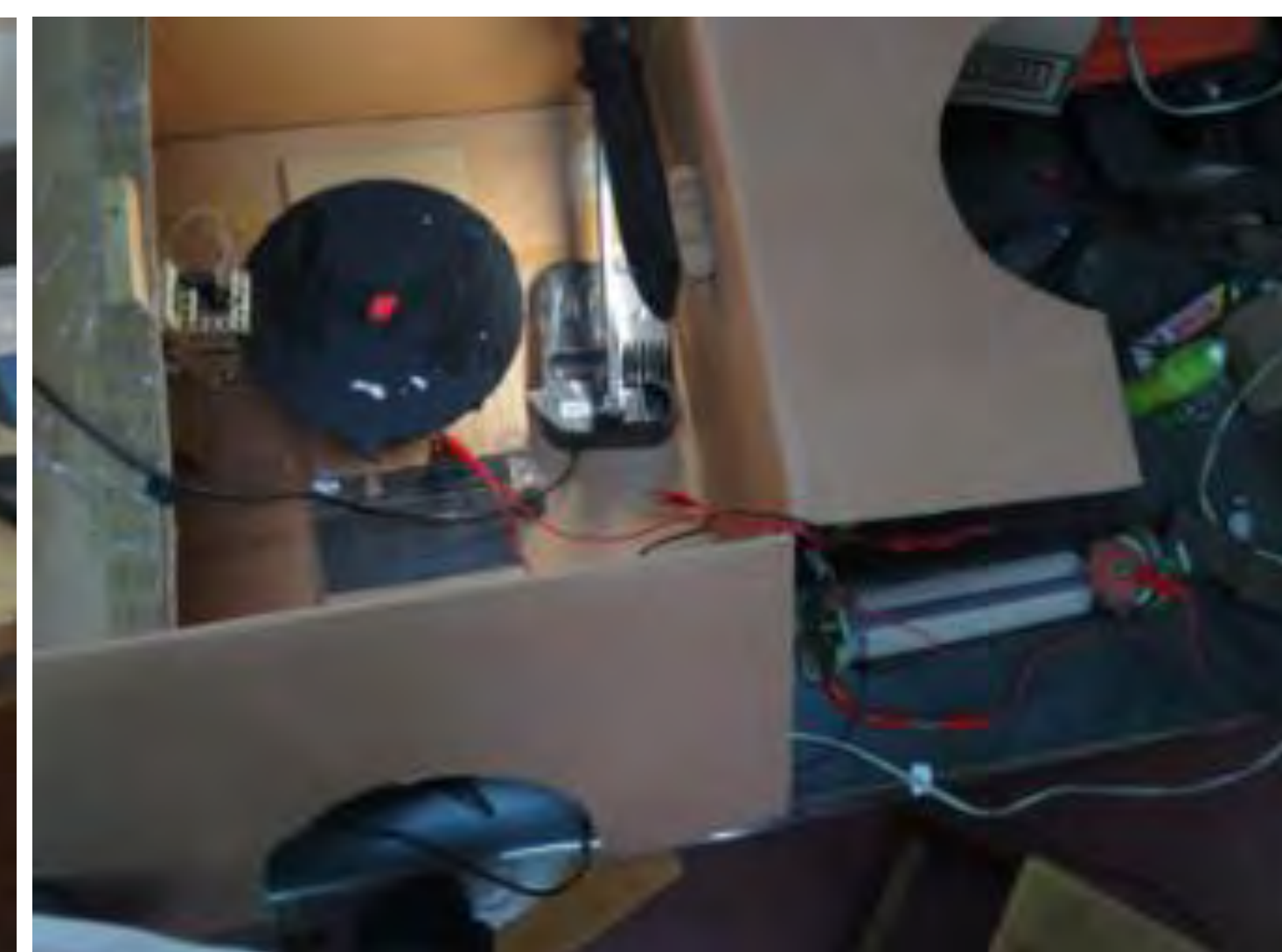
在國小時，曾經玩過一種遊戲：在一張圓形的紙上畫上黑白間隔的圖案，並且在圓的中心用牙籤穿過，這樣就完成了自製的陀螺！手指轉動陀螺，原本黑白間格的圖案，頓時間轉出了美麗的色彩。當時心中便存在了一個疑問？為何會產生彩色的圖案？當時詢問老師，告訴我是因為視覺暫留的關係，但真的這樣嗎？升上國一，當自然課程談到視覺暫留時，我頓時想到當時存留在我心中的疑問，再加上剛好學校在甄選科展的同學與題目，找了同學討論，大家便決定要一起研究這個題目。經過了一年的研究及參與比賽評審們給了我們許多寶貴的意見，為了更深入了解出現彩色的原因，我們改變操縱變因試著找出更具體的答案，研究的過程，即使遇到問題實驗器材不足無法順利完成實驗，我們也沒有放棄，反而向大學研究室尋求協助，雖然過程十分艱辛，但我們仍然勇往直前，希望找出真正的原因。

貳、研究目的

- 一、為何黑白間隔圓旋轉時會出現間隔與顏色變化？
- 二、黑白間隔圓旋轉時出現間隔與「光源閃爍頻率及轉速」的關係？
- 三、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「光源種類」的關係？
- 四、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「光譜圖」的關係？
- 五、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「燈源發光方式」的關係？
- 六、黑白間隔圓旋轉時出現彩色現象與「螢光物質」的關係？

參、研究設備與器材

(一)實驗器材:間隔圓、自製遮光箱、自製旋轉盤、相機、可變電壓六段式插頭、光遮斷器、電阻、驅動馬達、微型光譜儀、省電燈(晝光色)、省電燈泡(燈泡色)、LED燈泡球(晝光色)、LED燈泡球(燈泡色)、鎢絲燈泡(白色)、鎢絲燈泡(黃色)、檯燈(PL 13W 螢光燈管)、高亮度LED燈、玻璃紙(紅、綠、藍)



肆、實驗結果與討論

一、探討不同的「黑白間隔圓」在何種轉速及光源下會呈現最清楚の間隔與彩色變化現象？

(一)實驗說明：使用PL13W螢光燈管來照明黑白間隔圓，調整電阻即變電器，尋找出最清楚的定格圖像，並且調整相機的曝光時間及光圈直到拍出來的影像與眼睛看到相同的影像為止。

轉速:20.00 圓:1/12 顏色:黃綠藍 20 x 6=120	轉速:13.51 圓:1/18 顏色:黃綠藍 9x13.51=121.59	轉速:12.00 圓:1/20 顏色:黃綠藍 10 x 20 = 120	轉速:24.00 圓:1/10 顏色:黃綠藍 5 x 24 = 120
--------------------------------------------	------------------------------------------------	-----------------------------------------------	----------------------------------------------



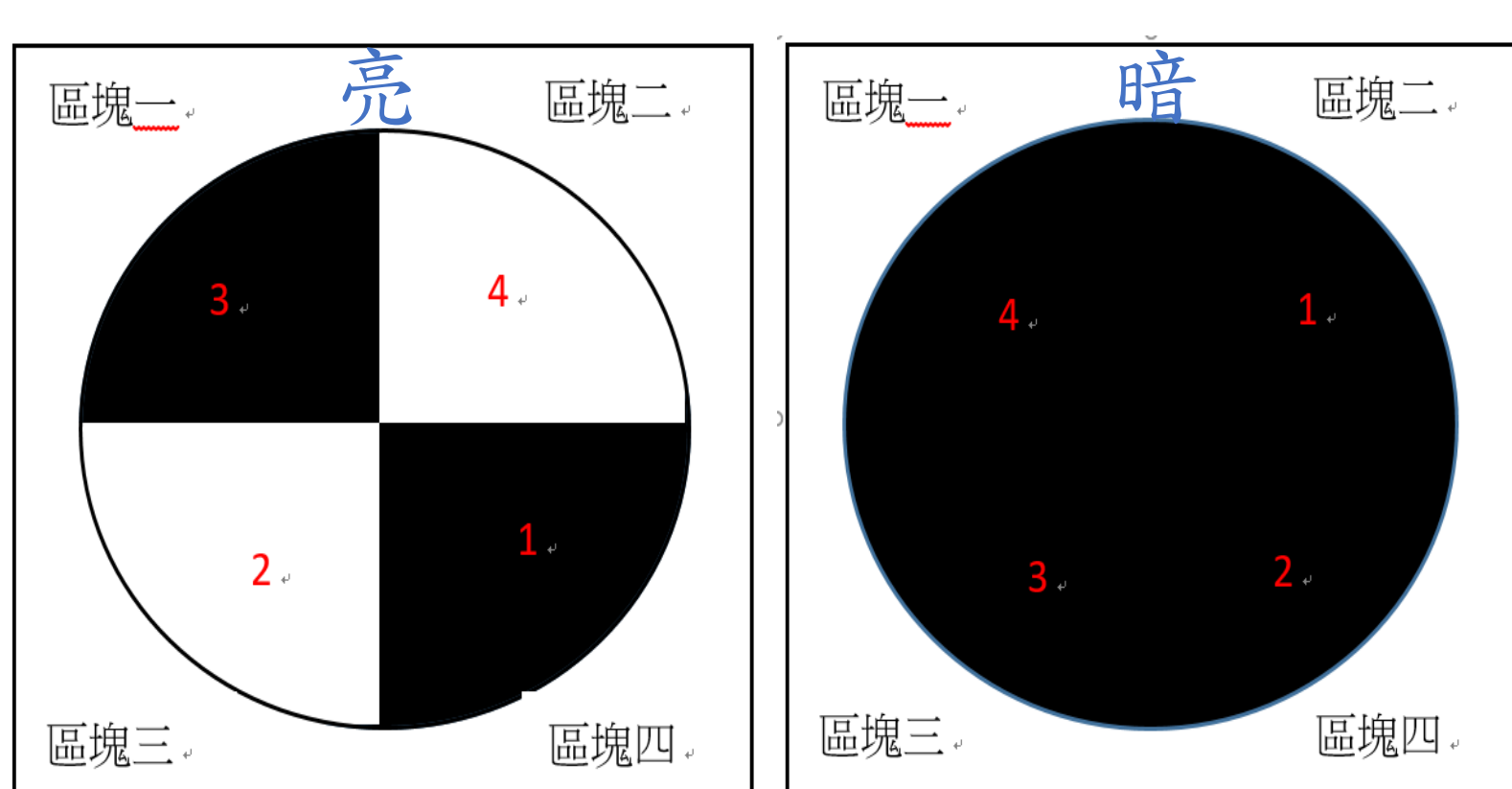
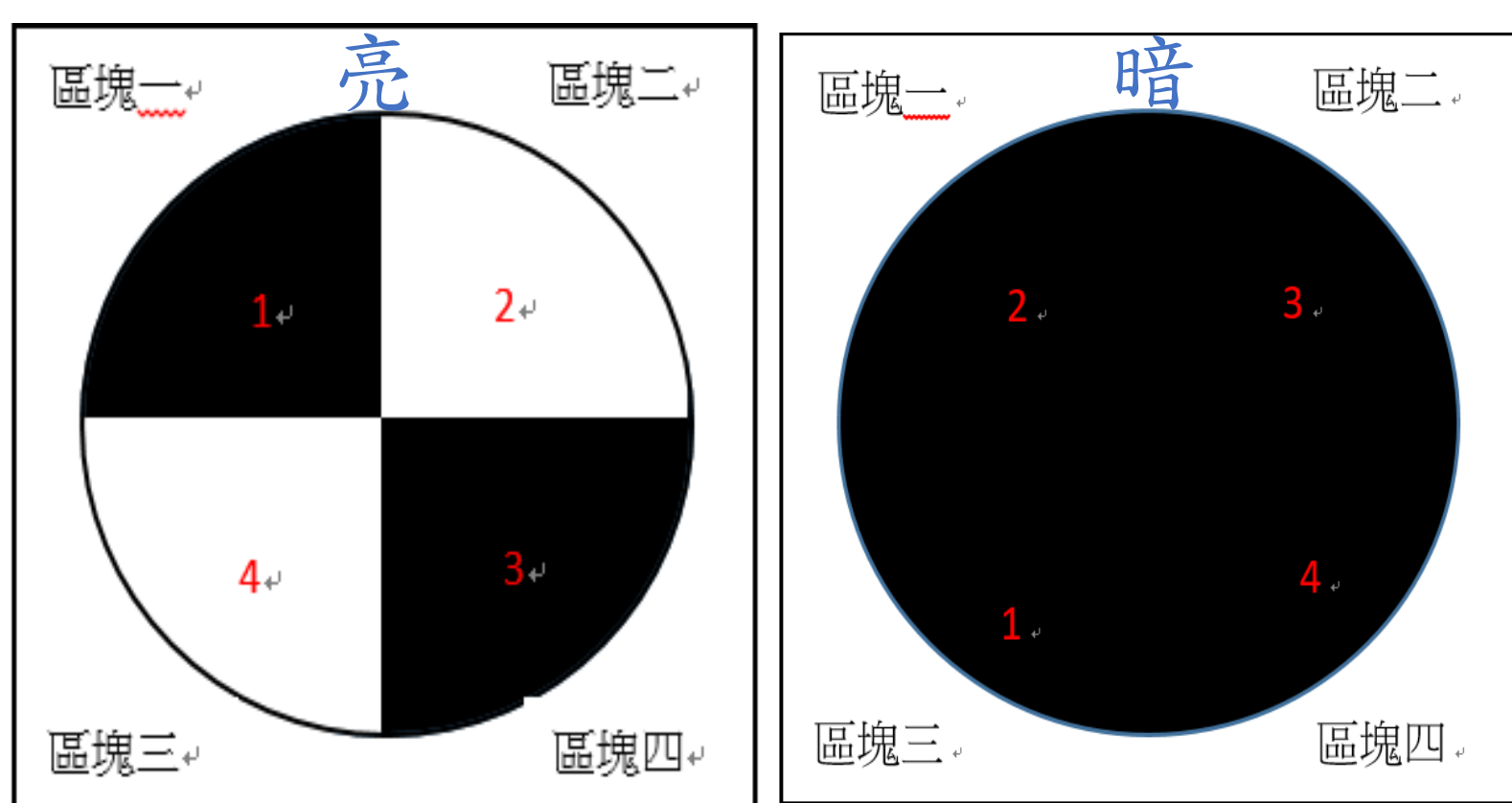
(二)實驗結果：

使用檯燈照射旋轉盤後如果轉速(圈\秒)與間隔數相乘為120的倍數，則旋轉盤上的彩色間隔能夠固定不動，並且出現與黑色及白色隔數相同的彩色間隔數，我們推測轉速與間隔數相乘後會是120的倍數是因為光源的閃爍頻率為60Hz一秒鐘總共亮暗120次，所以當此條件達到時能夠出現清楚的彩色間隔，因此我們推測顏色的出現會與光譜有相對的關係，而出現間隔會與光源的閃爍頻率及轉速有關係。

二、探討LED燈的閃爍頻率與不同的間隔圓對出現間隔的影響？

(一)實驗說明：將不同的黑白間隔圓黏貼到轉盤上，使用Arduino程式調整LED燈的閃爍頻率，調整電阻改變轉速，尋找出最清楚間隔時的轉速。

轉速:12.50 圓:1/20 閃爍頻率:125	轉速:13.89 圓:1/18 閃爍頻率:125	轉速:20.83 圓:1/12 閃爍頻率:125	轉速:25.00 圓:1/10 閃爍頻率:125	轉速:32.26 圓:1/8 閃爍頻率:125	圓:1/12不閃爍 轉速:20.00
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------



圓	一秒轉幾圈	一圈轉幾秒	一度幾秒	一格幾度	一格轉幾秒	光源閃爍頻率	光閃爍週期
1/20	12.5	0.08	0.000222222	18	0.004	125	0.008
1/18	13.89	0.07199424	0.000199984	20	0.00399968	125	0.008
1/12	20.83	0.04800768	0.000133355	30	0.00400064	125	0.008
1/10	25	0.04	0.000111111	36	0.004	125	0.008
1/8	32.26	0.03099814	8.61059E-05	45	0.003874768	125	0.008

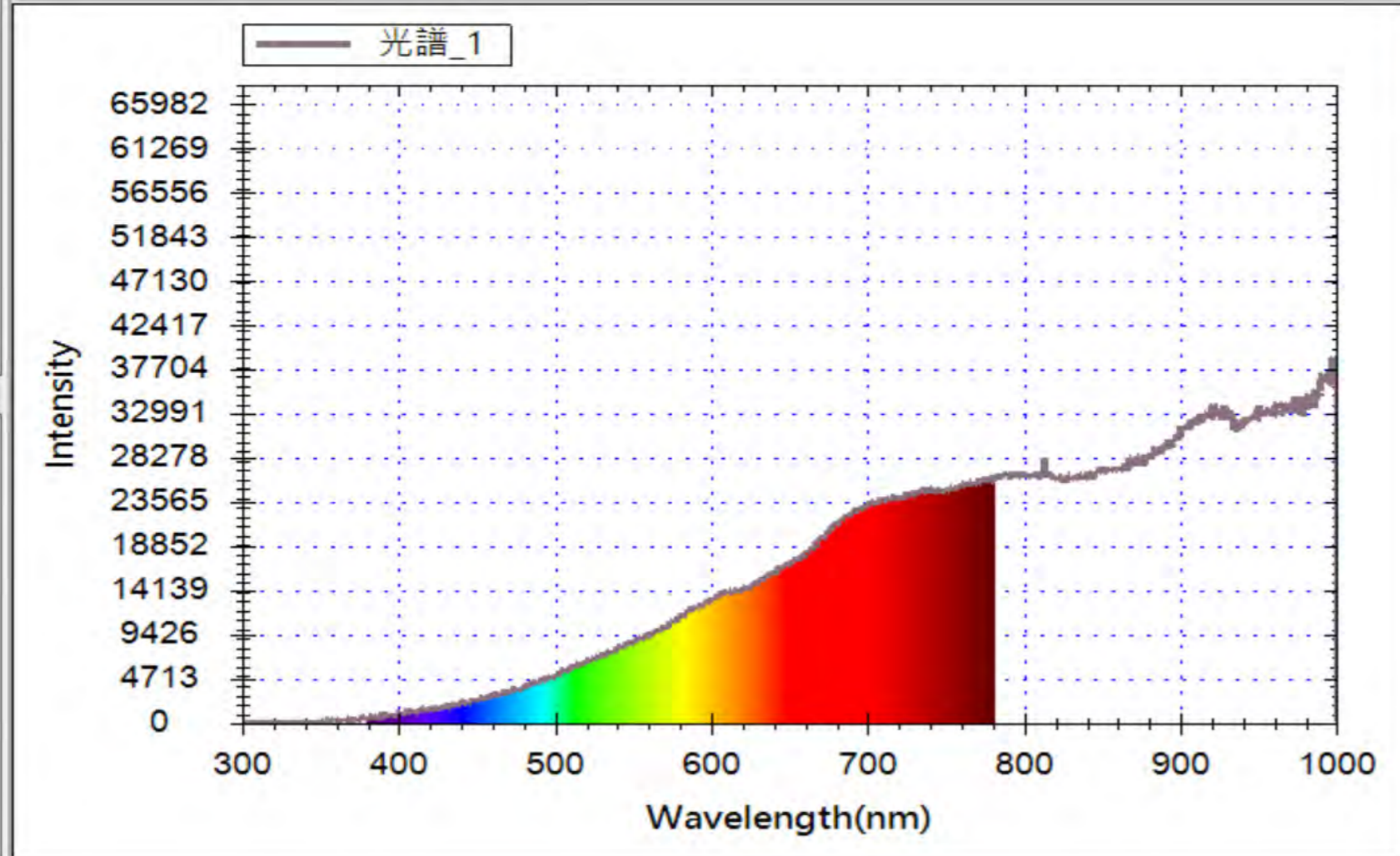
(二)實驗結果：

藉由這個實驗能夠證明出現間隔與光的閃爍週期及黑白間隔圓旋轉時所需的時間的間隔數有關係。當旋轉一格所需的時間與光閃爍週期成0.5倍關係時才能讓同一區塊都呈現相同的顏色，因此能夠出現間隔。

三、探討出現彩色變化的現象？

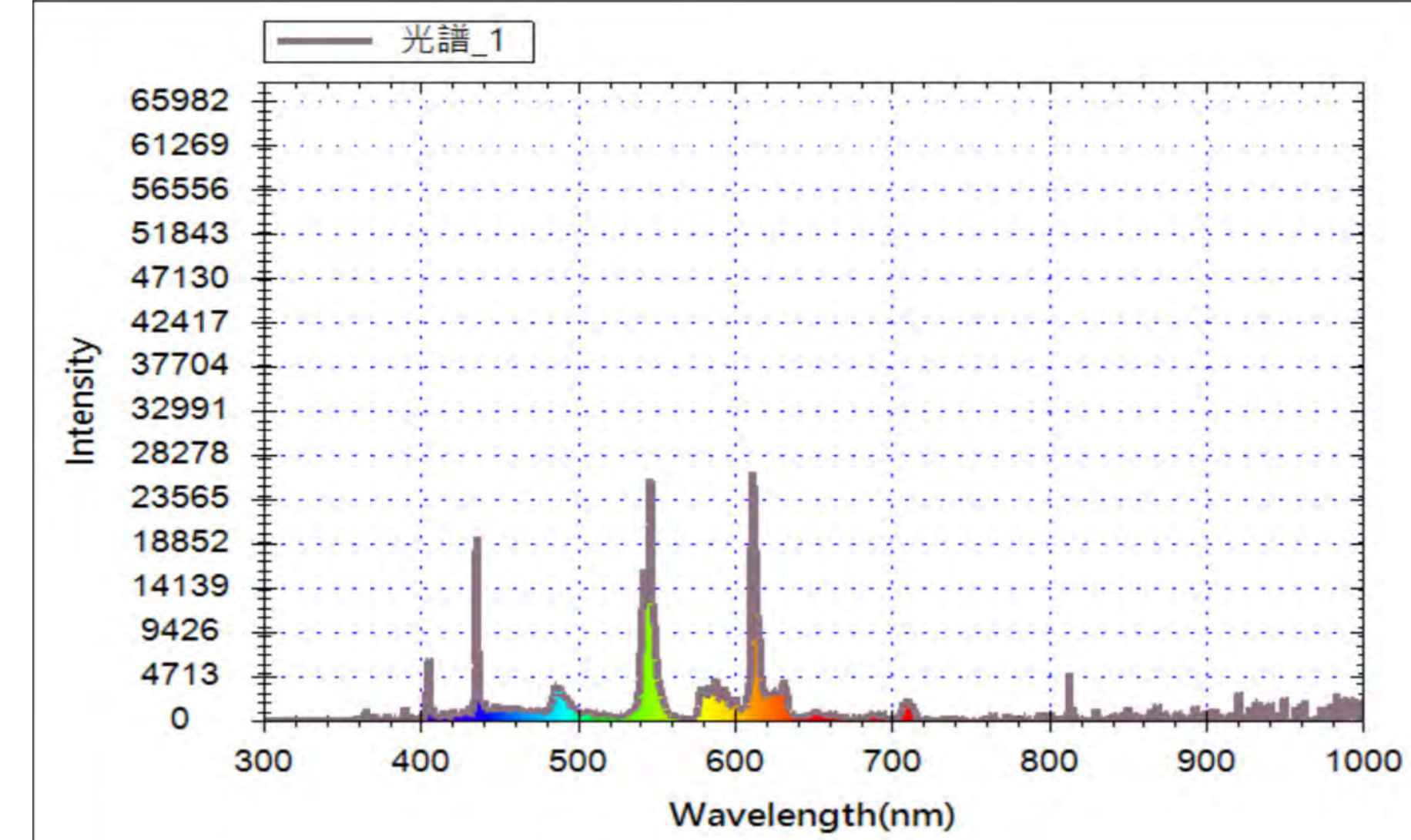
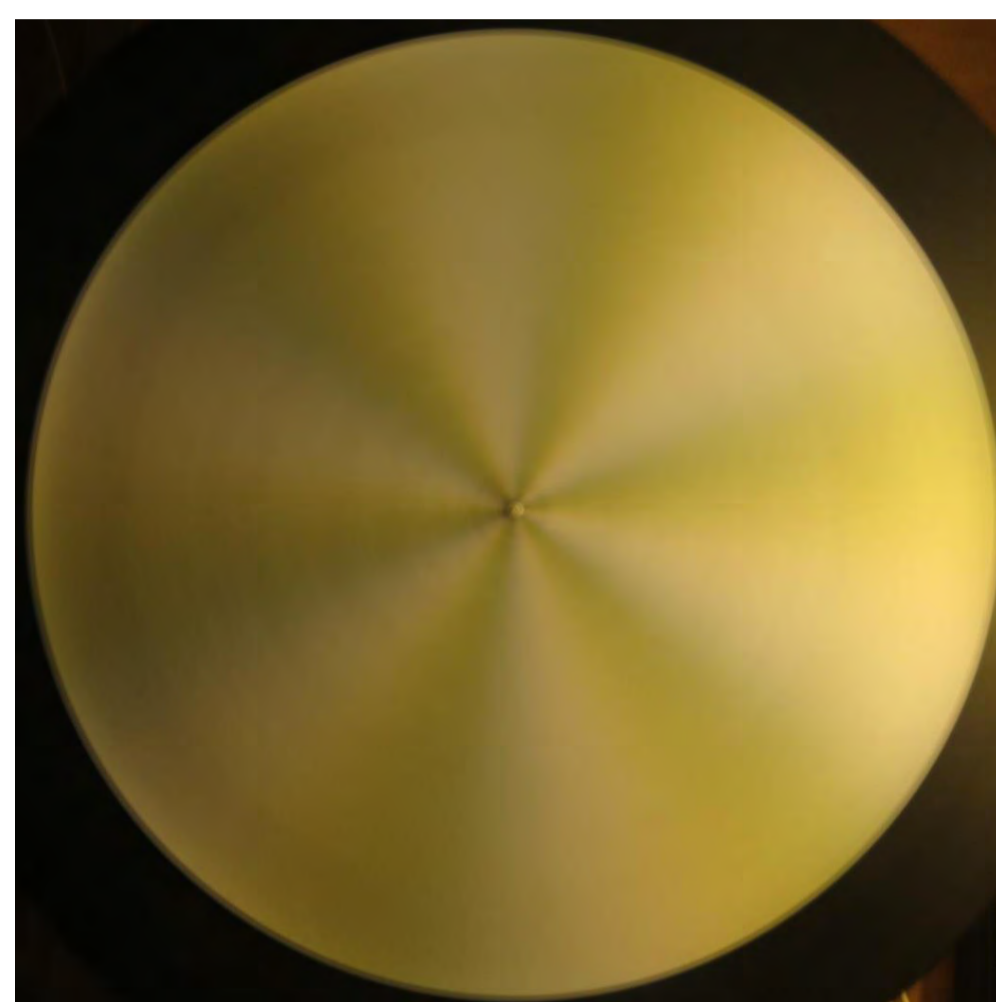
(一)實驗說明: 1. 使用不同的光源照射1/12黑白間隔圓，並觀察黑白間隔圓旋轉後的顏色變化 2. 使用微型光譜儀測量了解不同光源的光譜 3. 了解光源的發光原理，並探討是否會影響旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化 4. 使用高速攝影並剪輯影片，了解光源的遲滯現象與出現顏色變化的關係

1. 鎢絲燈(白)

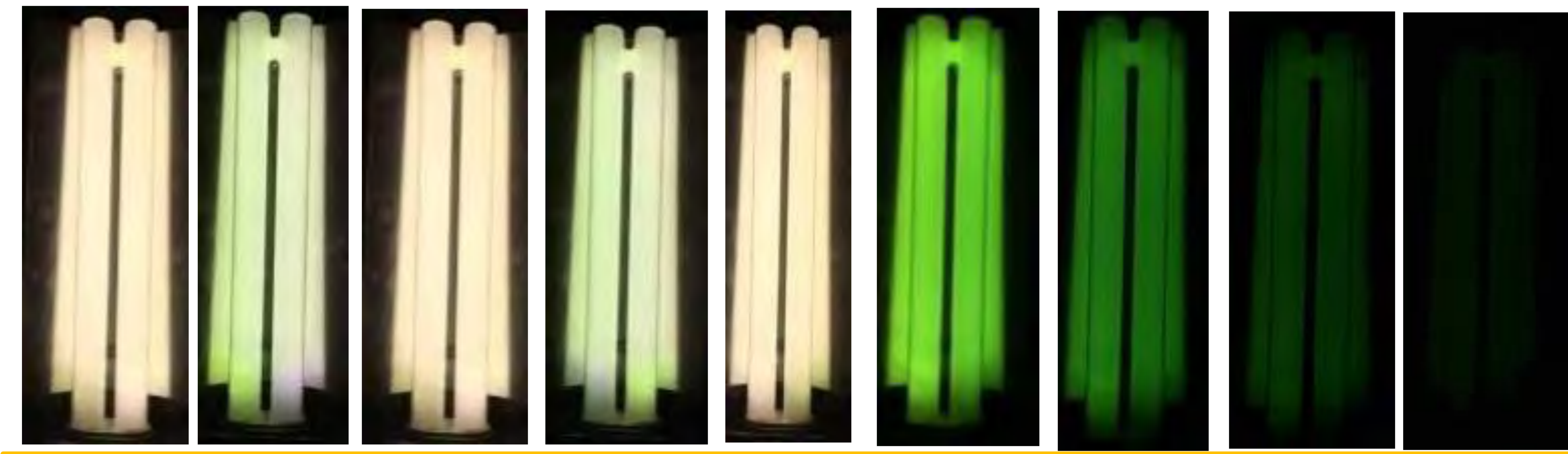


當鎢絲燈照到旋轉時的黑白間隔圓時，圓盤上會出現黑白間隔，但並沒有顏色變化；發現光譜屬於連續光譜；是一種透過通電，利用電阻把鎢絲加熱至白熾，用來發光的燈。鎢絲燈燈泡外圍由玻璃製造，把燈絲保持在真空，或低壓的惰性氣體（如鹵素燈）之下，作用是防止燈絲在高溫之下氧化。

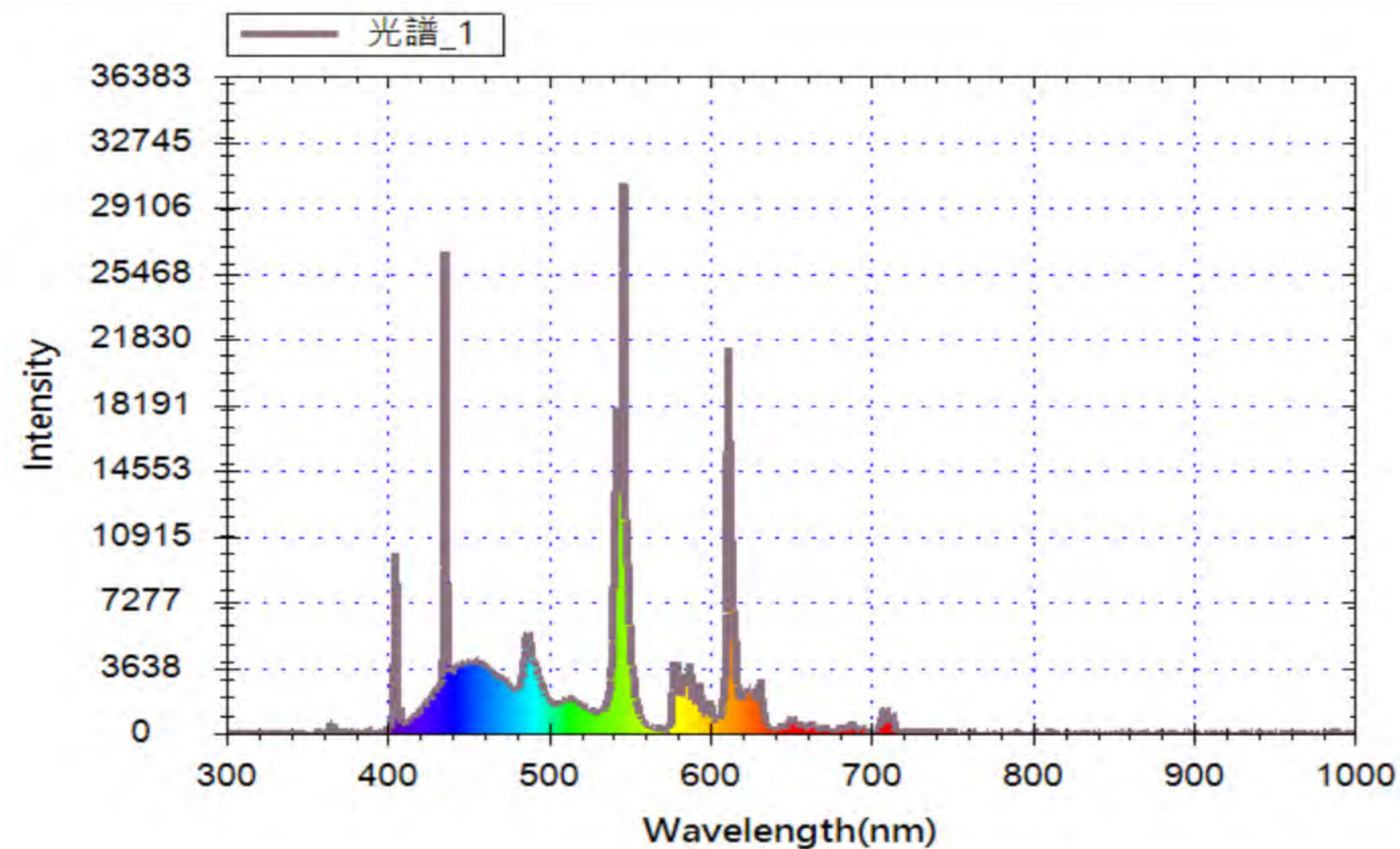
2. 檯燈



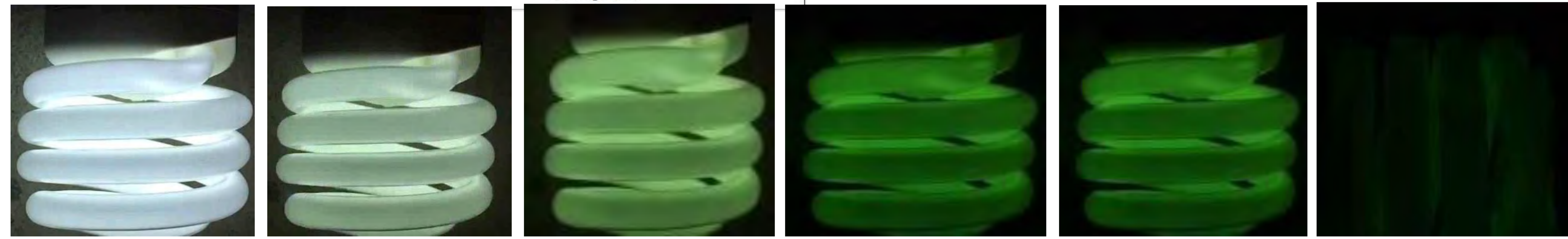
當檯燈照到旋轉時的黑白間隔圓時，圓盤上會出現綠黃間隔，且顏色變化相當明顯；發現光譜屬於線光譜且黑白間隔圓旋轉後出現的顏色為光譜中最強光的顏色；檯燈的發光方式是藉由管內導通的電流，激發管壁的氧化鋅後釋放出紫外光，最後藉由燈管內表面的螢光物質吸收紫外光後釋放出可見光，而不同的螢光物質會發出不同的可見光；檯燈有明顯的遲滯現象，而遲滯的光為黃色及綠色較為明顯，且出現顏色變化時剛好也是綠色較為明顯。



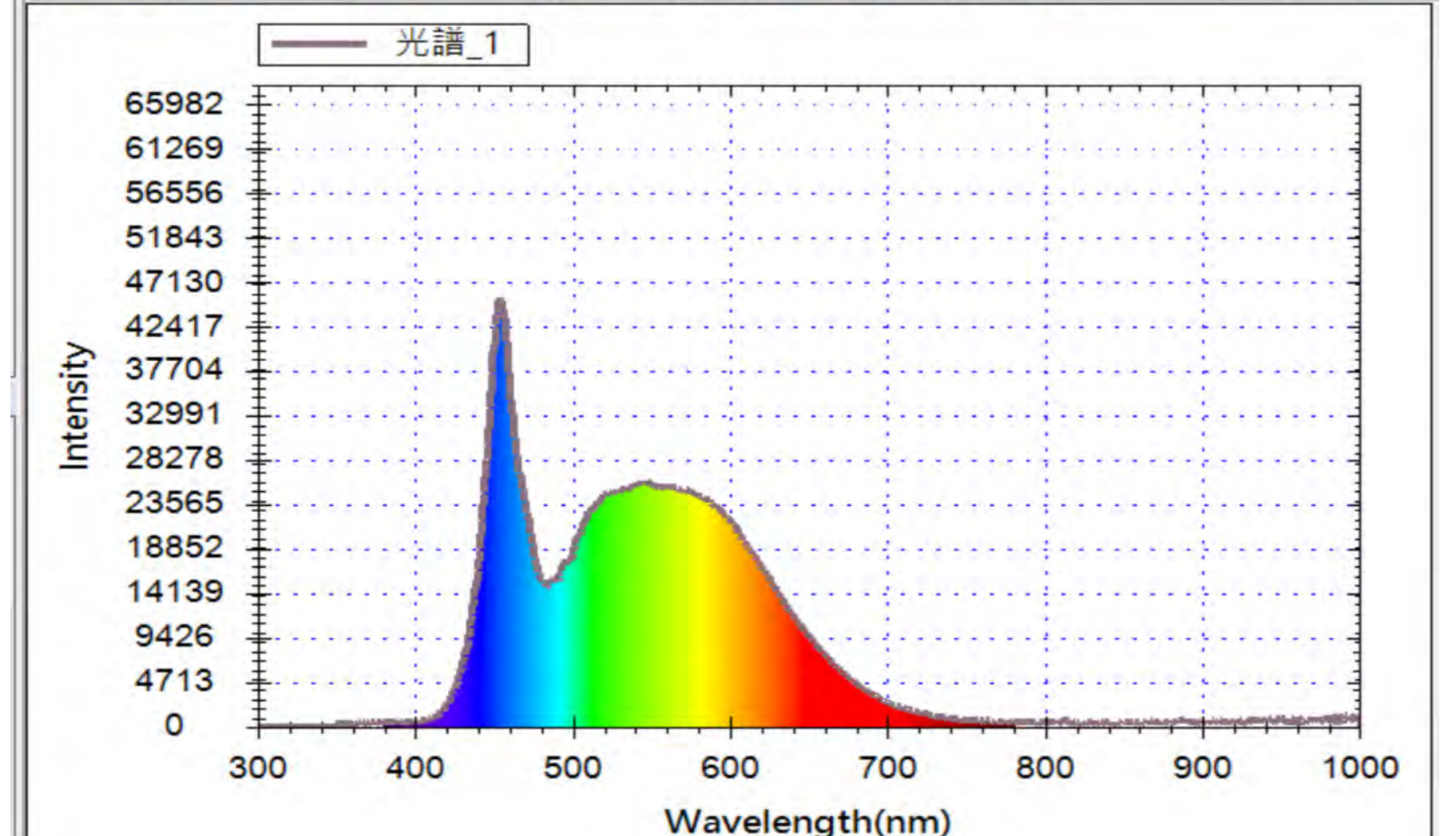
3. 省電燈泡(晝光)



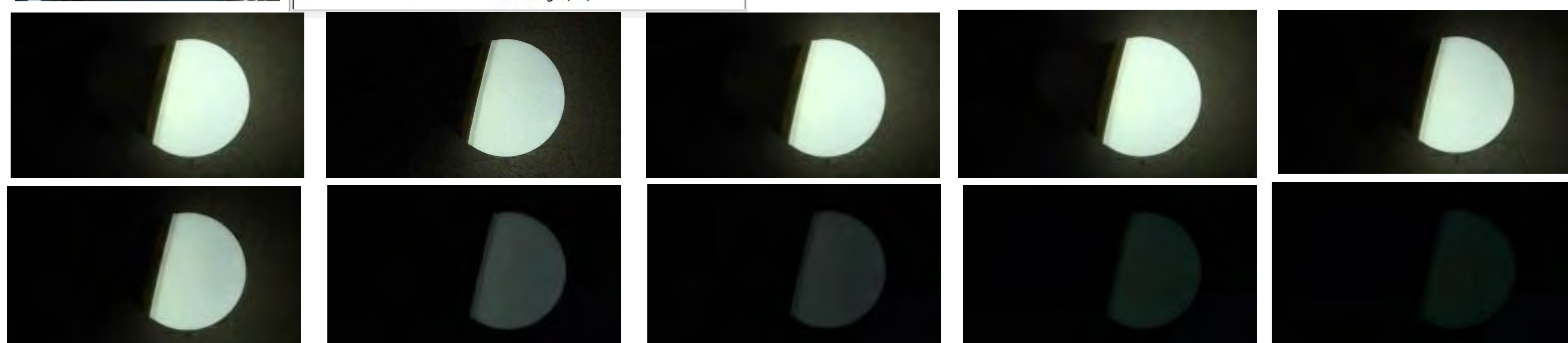
當省電燈泡照到旋轉時的黑白間隔圓時，圓盤上會出現綠色間隔，但顏色變化相當不明顯；發現光譜屬於線光譜且黑白間隔圓旋轉後出現的顏色為光譜中最強光的顏色；省電燈泡的發光方式是藉由管內導通的電流，激發管壁的氧化鋅後釋放出紫外光，最後藉由燈管內表面的螢光物質吸收紫外光後釋放出可見光，而不同的螢光物質會發出不同的可見光；省電燈泡有遲滯現象但不明顯，而遲滯的光為綠色較為明顯，且出現顏色變化時剛好也是綠色較為明顯。



4. LED燈泡球(晝光)



當LED燈泡球照到旋轉時的黑白間隔圓時，圓盤上會出現黑白間隔，但並沒有顏色變化；發現光譜屬於連續光譜；LED燈泡球的發光元件為發光二極體，此元件是由半導體材料所製成。LED 是利用電能直接轉化為光能，且會隨著發光體的不同而產生不同的光譜，發出白光的主要原因是藉由藍光激發黃色螢光物質所形成的；LED燈泡球沒有遲滯現象。



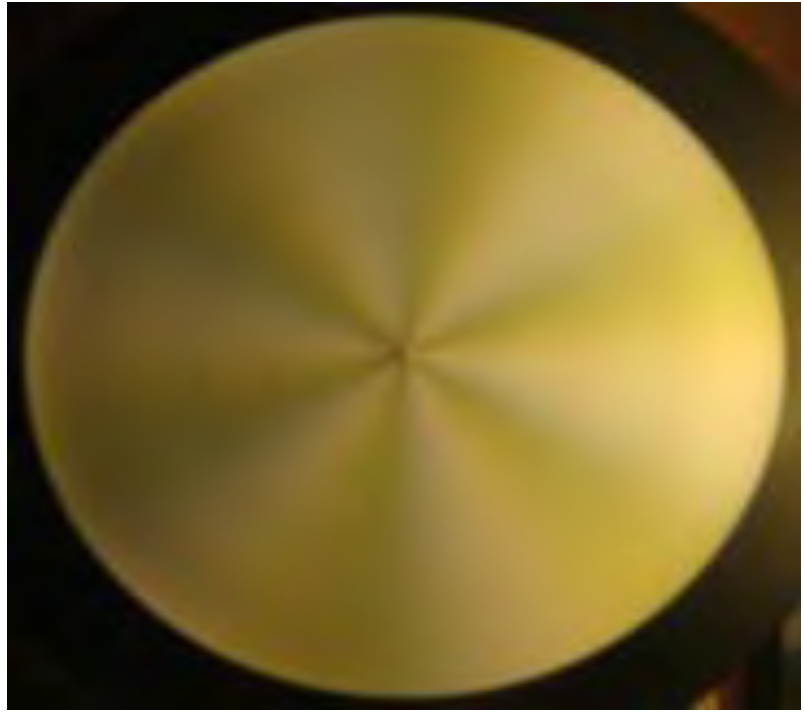
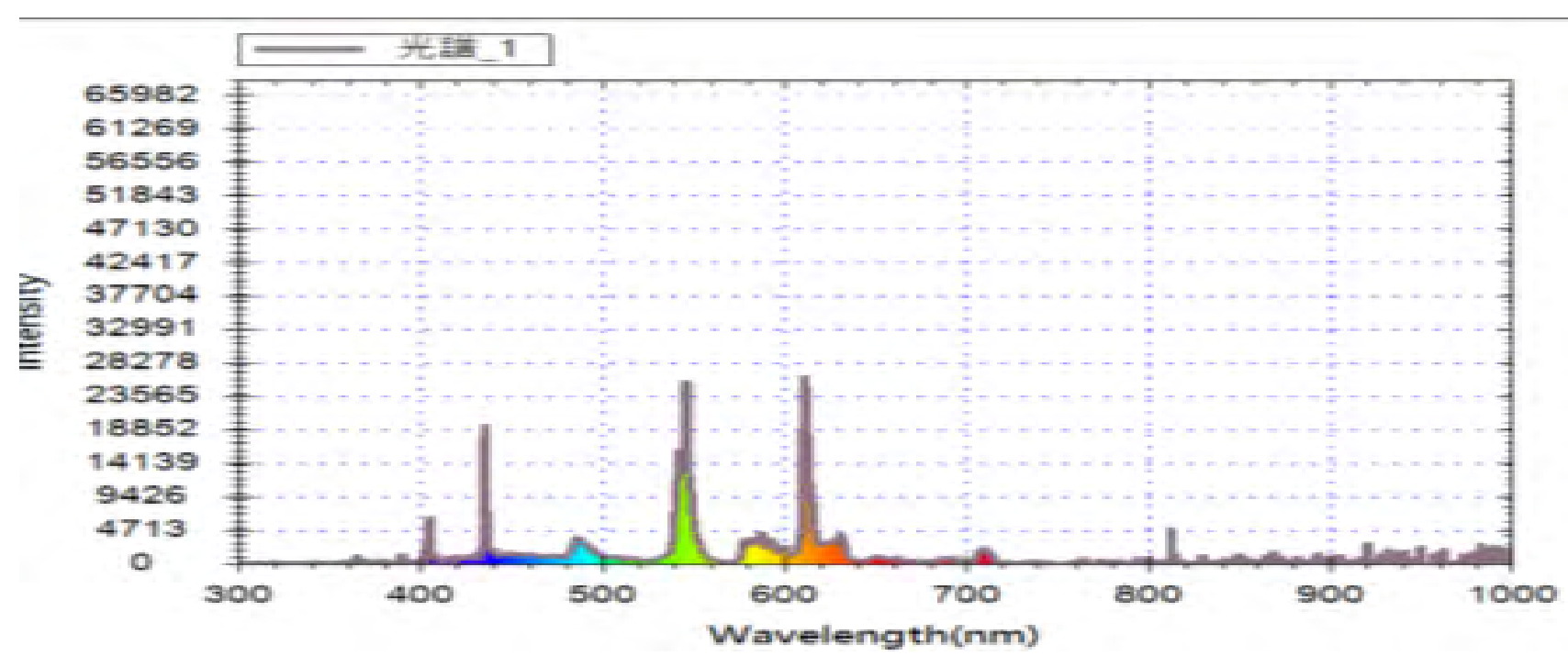
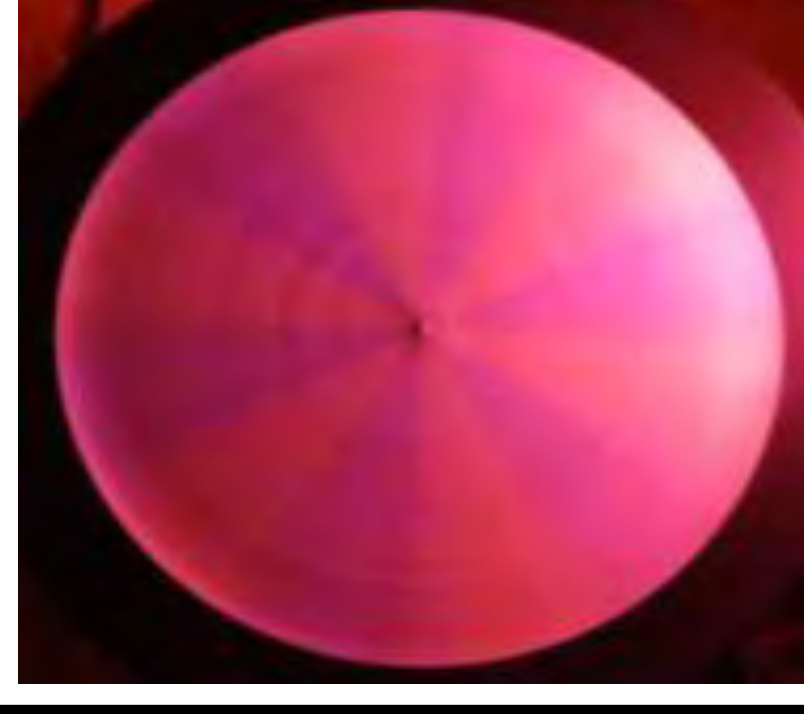
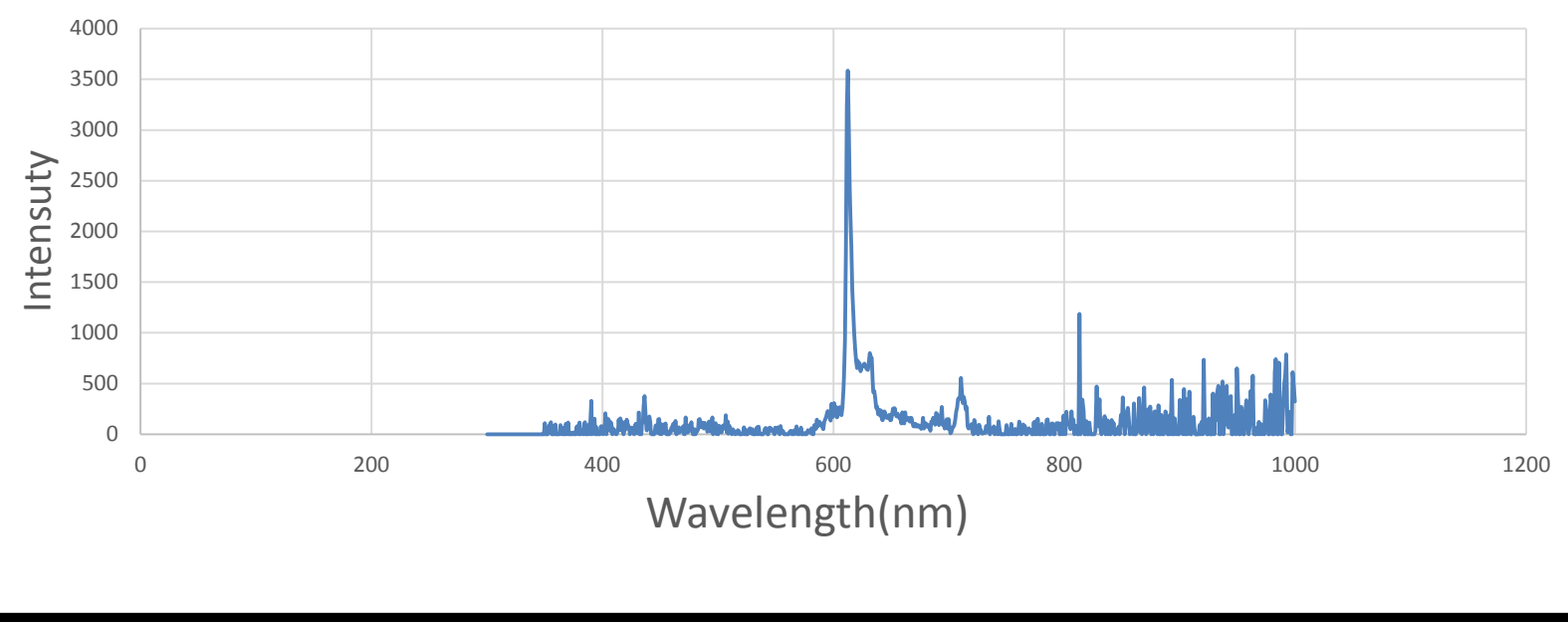
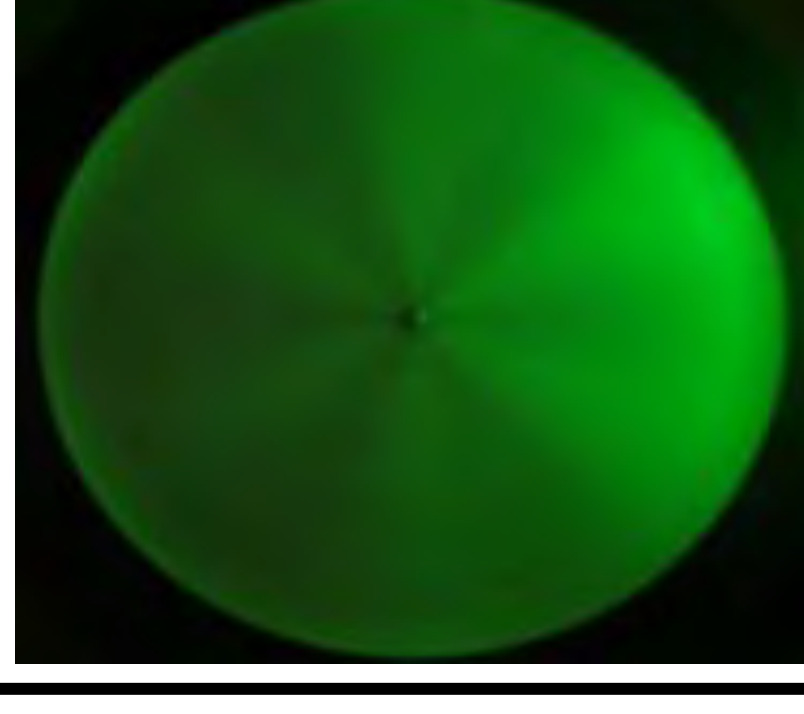
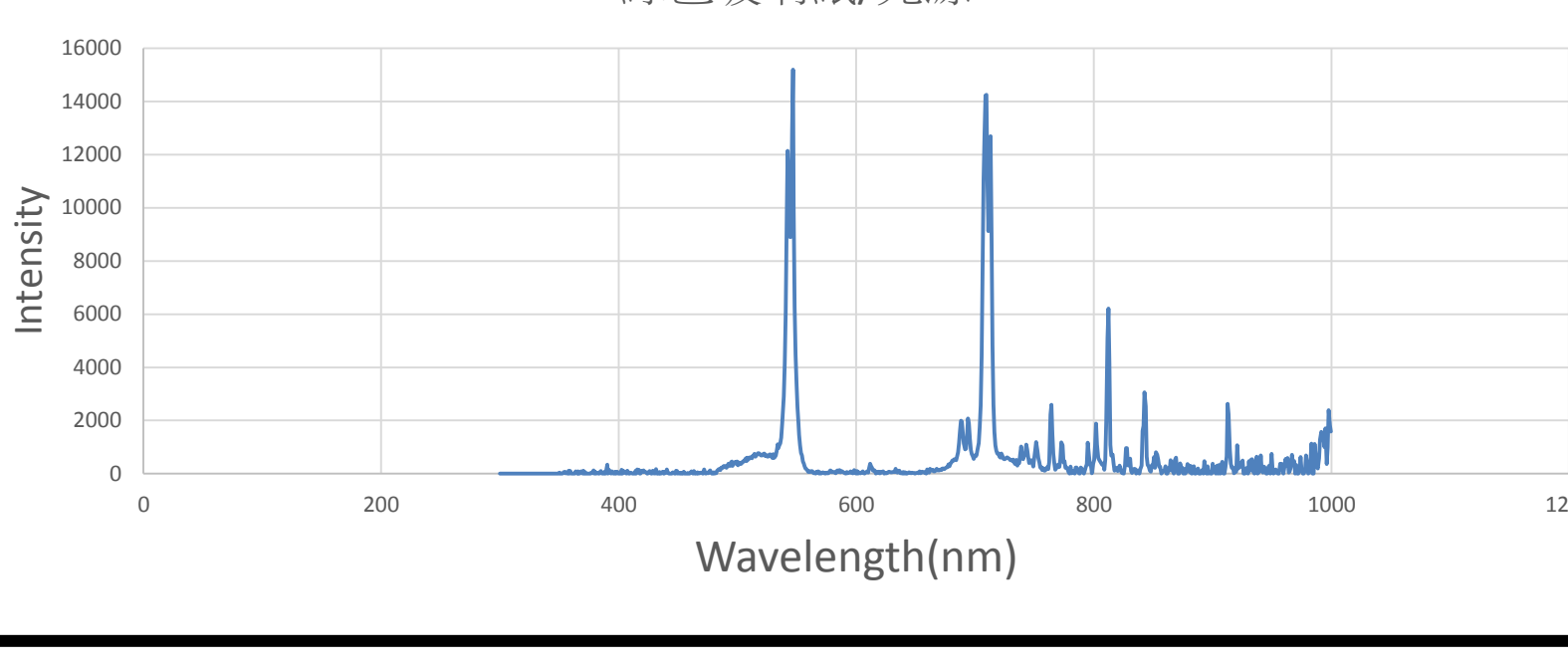
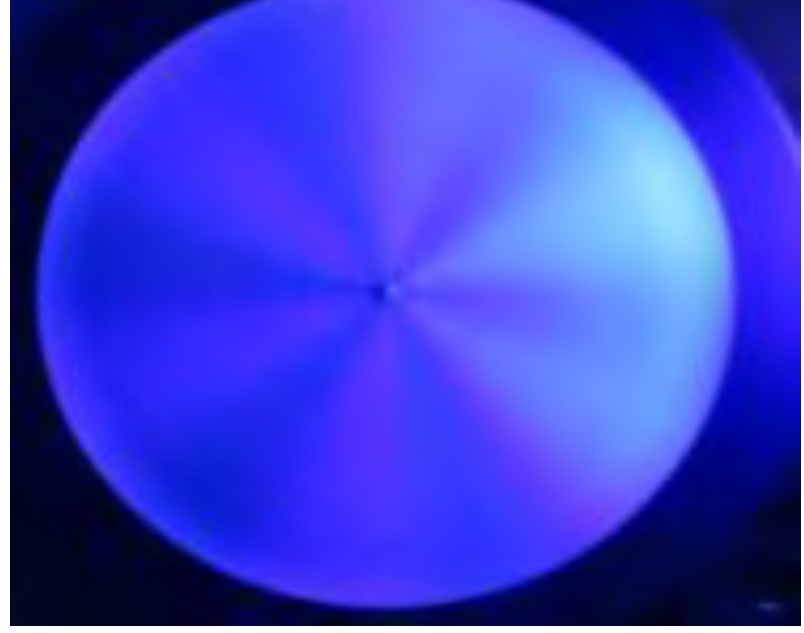
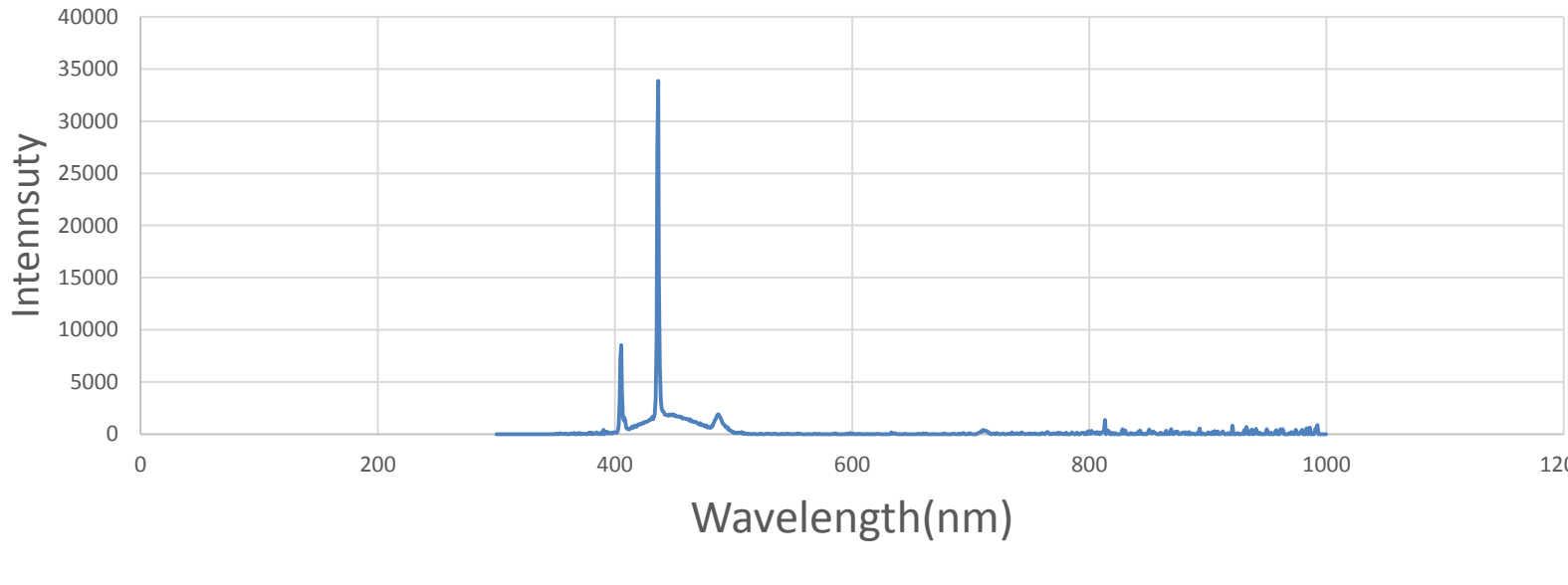
(二)實驗結果:

光源	旋轉時出現的顏色	光譜的類型	光譜高峰	發光原理	遲滯現象
鎢絲燈	無	連續光譜	無	透過通電，把鎢絲加熱至白志來發光	無
檯燈	綠	線光譜	綠	藉由紫外光激發管壁的螢光物質後釋放出可見光	有
省電燈泡(晝光)	綠	線光譜	綠	藉由紫外光激發管壁的螢光物質後釋放出可見光	有
LED燈泡球(晝光)	無	連續光譜	無	利用電能直接轉化為光能	無

(三)實驗結果說明：總和以上的結果後發現，黑白間隔圓在旋轉時如果要出現顏色變化，光源的光譜必須為線光譜，發光方式要是紫外線激發螢光物質後出現的可見光；光源具有遲滯現象，上述的條件缺一不可。如果黑白間隔圓旋轉時出現顏色變化，出現的顏色會是光譜中最強光的顏色，同時也是光源遲滯時所出現的顏色。

四、利用玻璃紙改變檯燈的光譜，觀察變化?

(一)實驗說明：在實驗九中發現黑白間隔圓旋轉時出現的顏色會是該光源光譜波峰(最強光)的顏色於是利用粉紅、綠、藍三色的玻璃紙，改變檯燈的光譜，比較不同的光譜會不會影響顏色的出現。

燈源/顏色	光譜
檯燈 	檯燈 
檯燈+粉紅 	檯燈+粉紅玻璃紙 
檯燈+綠 	檯燈+綠色玻璃紙 
檯燈+藍 	檯燈+藍色玻璃紙 

(二)實驗結果：
經由此實驗發現改變光源的光譜能夠改變黑白間隔圓旋轉時出現的顏色，也經由此實驗證明黑白間隔圓旋轉時出現的顏色會和光譜中較強光相同。

伍、討論與分析

一、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「光譜圖」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔源在旋轉時出現顏色變化都是使用具有高峰的線光譜；反之若光源的光譜為連續光譜則無法使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化。

二、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「螢光物質」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，檯燈、省電燈泡及LED燈跑球都具有螢光物質，但檯燈及省電燈泡可讓在旋轉時的黑白間隔圓出現彩色，而LED燈泡球則無法出現顏色變化。由此可知，使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化與螢光物質有相對的關係，但不是唯一的條件。

三、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「燈源發光方式」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔圓在旋轉時出現顏色變化的主要原因是所使用燈源的發光原理必須是經由紫外光激發管壁的螢光物質而發出可見光；反之如果使用的燈源不是利用這樣的原理來發光，則無法出現彩色變化。

四、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「光源種類」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，能夠使黑白間隔圓在旋轉時出現不同的彩色變化是因為使用的光源附有四種條件，第一:光源會閃爍，第二:光源是線光譜，第三:光源含有螢光物質，第四:光源的發光方式必須是經由紫外光照到管壁的螢光物質所發出，符合以上三個條件，便能出現彩色變化。

五、間隔圓旋轉時出現彩色變化與「螢光遲滯」的關係?

根據我們的實驗及以上討論，光源必須有遲滯現象才能使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化，若光源的遲滯現象越明顯則所出現的顏色則越明顯；反之若遲滯現象不明顯則旋轉時的黑白間隔圓出現的顏色變化就較不明顯。

陸、結論

根據我們以上的實驗及討論，旋轉中的黑白間隔圓要出現彩色現象必須符合以下幾項條件：

1. 使用的燈源要閃爍，並且光源閃爍一次所需的時間和間隔轉一格所需的時間成0.5、1.5、2.5或整數倍關係，因此會有某些特定的區塊都是固定的顏色，進而出現間隔。
2. 使用的燈源的光譜是具有高峰的線光譜。
3. 要出現彩色變化必須使用具有螢光物質的燈源，但螢光物質並不是使旋轉時的黑白間隔圓出現顏色變化的唯一條件。
4. 最主要出現顏色變化的原因是所使用燈源的發光原理是經由紫外光激發管壁的螢光物質而發出可見光
5. 燈管螢光物質的某一光源在發光後至熄滅之間產生發光時間延長的遲滯現象，將是黑白間隔圓旋轉後所出現的顏色。