

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040101

國立嘉義高級中學

指導老師姓名

李文堂

潘文成

作者姓名

李柏青

蕭昌泓

賴建維

# 利用 C D 測量研究可見光譜

## 摘 要

雷射光碟（C D）的鋁層用刀片刮除後，再用異丙醇清洗，可成為透光式光柵，用來做六項高中物理實驗。

1. 利用雷射光的繞射測量半徑 4 公分的 C D 的槽距。
2. 利用 C D 測量照明燈的可見光波長。
3. 拍攝照明燈的光譜。
4. 測量研究發光二極體的光譜。
5. 測量太陽光的可見光波長。
6. 觀測光的散射和吸收光譜。

# 利用 C D 測量研究可見光譜

## (一) 研究動機：

今年初作者以『利用雷射光碟（C D）做光的繞射實驗』參加 2004 年台灣區國際科展，獲佳作獎；評審教授指導作者朝：利用 CD 研究光譜方面作進一步研究。和同學經半年努力，再提出六個利用 C D 做的新的實驗。

## (二)、研究目的：

1. 利用透光式 CD 測量研究普通照明燈的光譜。
2. 利用透光式 CD 測量研究發光二極體的光譜。
3. 改進測量太陽光的可見光譜。
4. 改進研究吸收和發射光譜。

## (三)、文獻探討：

1. 國內已發表用 CD 做光的繞射及光譜實驗的著作有：(1)陳惠玉、楊凱賢、李偉 2001(2)李偉 2002 (3)李偉、陳惠玉 2002(4)李偉、石裕誠 2003 (5) 李偉 2003 等五篇。
2. 自 1991 年迄今，在(1)American Journal of Physics (2)The Physics Teacher (3) Physics Education (4) Journal of Chemical Education 等期刊發表的著作共有十九篇。
3. 年初作者參加 2004 年台灣區國際科展的作品包含八項：
  - (1) 測量舊式唱片、反射式(即一般)CD、DVD 的槽距
  - (2) 測量透射式 CD 的槽距
  - (3) 入射光未和透光式 CD 垂直的繞射
  - (4) 利用透光式 CD 量光波波長
  - (5) 反射式 CD 量光波波長
  - (6) 利用透光式 CD 形成彩虹
  - (7) 光的散射及光譜觀測
  - (8) 觀察燈光的光譜
4. 今年參加全國科展作品共有六項除了改進上述第(4)項和第(7)項實驗外，其他四項均為新設計。

#### (四) 器材：

1. 氦氖雷射(4mW，波長 6328Å)
2. CD (半徑 6cm, 4cm)，用刀片刮去鋁層並用異丙醇清洗成透光式 CD。
3. 反射投影機
4. 木箱(20cm×20cm×30cm)漆成黑色，一側鑽直徑 1mm 的孔，另一側挖一長洞，貼上相距 1mm 的兩刀片成狹縫。
5. 培養皿、氯化亞鈷、過錳酸鉀、鮮乳。
6. 發光二極體、電池、伏特計、安培計、麵包板。

#### (五) 實驗過程與研究結果：

##### (1) 實驗一

1. 目的：測量半徑 4cm 的 CD 的槽距
2. 原理：

(1) 唯讀式光碟(Compact disc-read only memory 簡稱 CD-ROM)直接把資訊紀錄在基板上;可錄一次式光碟片(Compact disc-recordable 簡稱 CD-R)先將螺旋式溝槽製作於塑膠基板。以上兩者的數位洞均形成螺旋狀，間距  $d = (1.6 \pm 0.1) \mu\text{m}$ ，槽寬  $b = 0.5 \mu\text{m}$ ，洞長  $0.9 \mu\text{m}$ 、 $1.2 \mu\text{m}$ ... $3.3 \mu\text{m}$  不等。僅取一小部分做實驗時，可當作光柵使用，每 mm 有 625 條狹縫。

(2) 平行光垂直照射穿透式的光柵：光柵的槽寬  $b$ ，槽距  $d$ ，平行光垂直面照射，繞射角  $\theta$  處極遠的 P 點，波重疊形成亮紋時， $d \sin \theta = m\lambda$ ... (1)。  $m=0$ ，中央亮紋主極大； $m=1$ ，第一亮紋主極大。

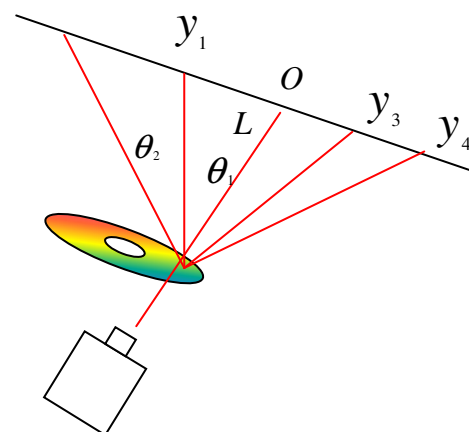
##### 3. 測量步驟

(1) 透光式的 CD 用黑紙遮著，僅留下邊緣處長 2 公分，寬 0.5 公分(沿著 CD 的直徑方向)的孔。用支架立在桌面上，孔和桌面平行。

(2) 當雷射光垂直照射 CD 時，量 CD 至屏之距離  $L$ ，以  $O$  為原點，記下第一亮紋，第二亮紋的位置。由

$$d \sin \theta = m\lambda$$

$$\sin \theta_1 = \frac{Oy_1}{\sqrt{L^2 + Oy_1^2}} = \frac{\lambda}{d}$$



圖一：量透光式 CD 的槽距

$$\sin \theta_2 = \frac{\overline{Oy_2}}{\sqrt{L^2 + Oy_2^2}} = \frac{2\lambda}{d} \text{ 求出 } d \text{。}$$

#### 4. 結果

(1). 表一：測透光式 CD 的槽距  $L=100.00\text{cm}$   $\lambda=6328 \text{ \AA}$

	$y_1$ (cm)	$y_2$ (cm)	$y_3$ (cm)	$y_4$ (cm)
亮紋位置	-159.0	-46.7	46.7	158.7
$\sin \theta$	0.8456	0.4230	0.4230	0.8459
$D(\mu\text{m})$	1.495	1.496	1.496	1.496

(2). 結果平均值為  $(1.496 \pm 0.004) \mu\text{m}$ 。

## (2) 實驗二

1. 目的：測量照明燈的燈光波長，並作為實驗三的對照
2. 裝置：

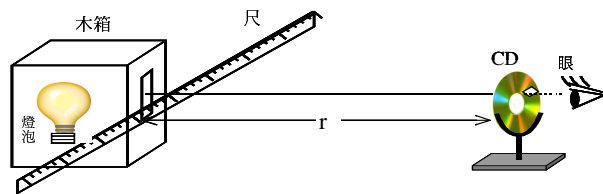
(1). 木箱內放入待測的燈源，並在單狹縫下方放一長尺。

(2). 邊緣切割掉一小塊

(長  $3.3\text{cm}$  寬  $0.5\text{cm}$ )

鋁層的 CD 放在架子上，使單狹縫、CD 的開孔、和人眼在

一直線上 如圖二所示。



圖二：測照明燈的波長

3. 原理及實驗方法：

(1). 燈光經單狹縫後，照射到距縫  $r$  處的 CD，經 CD 的槽距產生繞射，槽距  $d$ ， $d \sin \theta = m\lambda$ ，眼睛貼著 CD，因  $d$  甚小， $\theta$  很大，眼睛只看到  $m=0$  的經狹縫直接照射眼睛的光，以及  $m=1$  的繞射亮紋。

(2). 白熾燈產生連

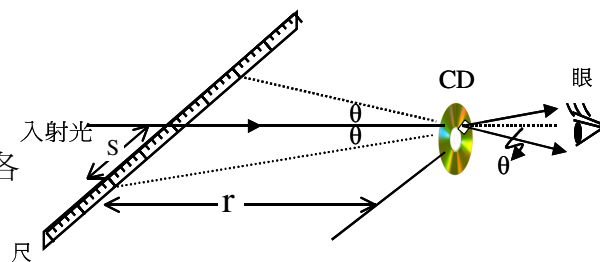
續光譜， $m=0$  處

各色光混在一起成

白熾燈的顏色， $m=1$  處各

色光的波長  $\lambda$  不同而分

開。



圖三：測燈光波長

(3). 由光的可逆性，眼睛看到各色光在尺上距

縫  $s$  處，量  $s$ ，及  $r$ ，由  $\tan \theta = \frac{s}{r}$ ，可求得  $\sin \theta$ ，

由  $d \sin \theta = m\lambda$  可量出  $\lambda$ 。

(4) 結果：

(1)表二：白熾燈的光譜（100W120V）

顏色	紅	橙	黃	綠	藍	紫
波長(nm)	700±70	610±20	575±15	520±40	460±20	400±40

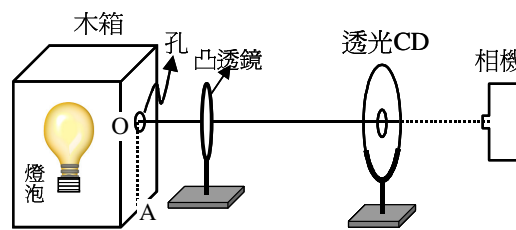
(2)表三：省電型燈泡（National EFG 23D-Ex 型）

顏色	紅	橙	綠	藍綠	藍
波長(nm)	700±12	610±6	520±6	490±8	400±10

### (3) 實驗三

1. 目的：拍攝照明燈的光譜並測量光波波長
2. 裝置：木箱置入待測光源，小孔直徑約 1mm，正對著透光式 CD 及單眼照相機，小孔至 CD 約 20 公分，至相機 45 公分。
3. 實驗過程：
  - (1). 放入白熾燈，相機光圈 1.8(房間遮光)，快門 1/4 秒，調好焦距，可看到連續光譜形成同心圓，拍下。

- (2). 取下相機直接用眼睛觀測，改變 CD 至孔的距離，當眼睛看到待測波長和 A 重疊時，量  $OA=S_3$ ，小孔至 CD 的距離  $S_1$ ，眼睛到 CD 距離  $=S_2$ ，可由以下自行推導的公式量出波長。

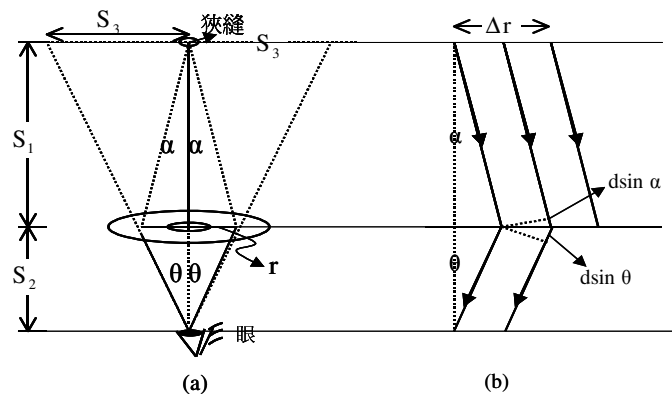


圖四：拍攝照明燈的光譜

- (3). 改換各種照明燈，重做上述實驗，以探討照明燈的特性波長。

#### 4. 原理：

- (1). 從狹縫 O 點射出的光，照射到距 CD 中心 r 處波長  $\lambda$  的光，繞射角  $\theta$ ，進入眼睛，因透光式 CD 距中心點 r 的槽縫做相同的繞射，所以眼睛看到的光譜形成同心圓。
- (2). CD 的槽距 d 僅  $1.6\mu\text{m}$ ，狹縫(寬約 1mm)發出的光，



圖五：計算圓形光譜的波長

照在距中心點  $r$  處的單色光寬  $\Delta r$  甚小,可視為平行光,由圖五(b)可得繞射到眼睛的亮紋為  $d \sin \theta + d \sin \alpha = m\lambda$  的光。 $m=1$  則  $\lambda=d \sin \theta + d \sin \alpha$ 。

$$(3). \text{由相似三角形} \quad \frac{r}{s_3} = \frac{s_1}{s_1 + s_2} \quad \text{可得} \quad r = \frac{s_1 s_2}{s_1 + s_2}$$

$$\sin \alpha = \frac{r}{\sqrt{s_1^2 + r^2}} \quad \sin \theta = \frac{s_3}{\sqrt{(s_1 + s_2)^2 + s_3^2}}$$

量  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$  可得  $r$  及由  $\lambda = d \sin \theta + d \sin \alpha$  求出  $\lambda$ 。

(4).若  $s_1$  不夠遠且光源亮度足夠時,在孔和 C D 間加一凸透鏡,

孔為透鏡焦點,形成平行光。 $\alpha = 0^\circ$ ,  $\tan \theta = \frac{s_3}{s_1 + s_2}$

$$d \sin \theta = \lambda$$

#### 5. 結果：

(1)表四: 省電型燈泡的光譜 (東亞照明 EFHL21D-EX)

顏色	紅	黃	淺綠	深綠	藍
波長(nm)	666±17	598±34	545±4	517±9	466±20

### (四) 實驗四

1. 目的：測量研究發光二極體的光譜。

2. 原理：

(1).發光二極體發出的光線,經塑膠透鏡再照射 C D 的光為非平行光,會形成非平行光(夫瑞奈)繞射。

(2).利用粗細不同的砂紙將塑膠透鏡磨掉,可形成點光源發光二極體。(五月底市面上可買到沒有塑膠透鏡的點光源發光二極體),在發光二極體和 C D 間加一凸透鏡,透鏡焦點恰在二極體的發光點,可形成亮度很大的平行光,利用實驗三的 4 (4)  $\tan \theta = \frac{s_3}{s_1 + s_2}$   $d \sin \theta = \lambda$  可

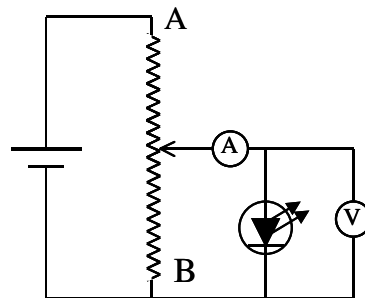
求出  $\lambda$ 。

3.裝置：9 伏特的電池, 1kΩ 的電位計, 毫安培計, 伏特計, 發光二極體, 連接成圖六所示。

4. 實驗步驟：

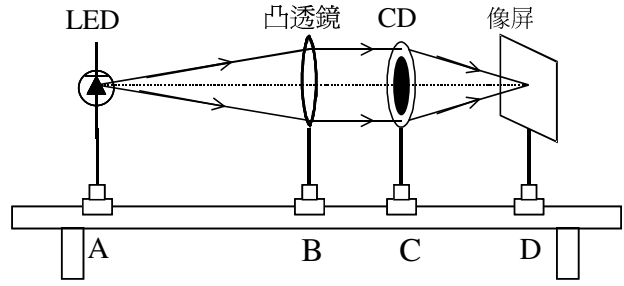
(1).電位計的 C 接頭先接 B, 伏特計讀數=0, 安培計讀數=0, C 逐漸往 A 移, 伏特計讀數漸大, 至發光二極體亮度適合觀測。

(2)利用實驗三的方法拍照及量出可見光波長。



圖六：發光二極體電路圖

- (3) .改用不同型號的發光二極體，重做上述實驗。
- (4) . 將點光源發光二極體、凸透鏡、CD（半徑 4 公分，中央用半徑 3.5 公分的黑紙



圖七：測量 LED 的光譜波長

貼著)、光屏裝置成圖七所示。透鏡的焦點在二極體的發光點，移動光屏出現亮點，量出光點至 CD 距離  $h$ ，CD 透光半徑  $r$ ， $r = (3.75 \pm 0.25)$ ， $\tan \theta = \frac{r}{h}$  可得  $\theta$ 。

- (5) . 由  $d \sin \theta = m\lambda$ ， $m=1$  可測出  $\lambda$ 。

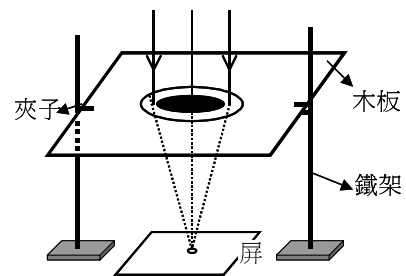
- (6) .結果：

表五：發光二極體的光譜

型號	TS-51364	TS31454	B5-430-WD
混合光顏色	Red supper	High-yellow	White
光譜顏色	紅	紅、黃	紅、黃、綠、藍
波長 (nm)	$700 \pm 30$	$650 \pm 10$ 、 $575 \pm 15$	$635 \pm 15$ 、 $575 \pm 15$ $510 \pm 15$ 、 $460 \pm 15$

## (五) 實驗五

1. 目的：測量太陽光的可見光波長
2. 裝置：剪下半徑 5.5 公分的黑紙，貼在 CD 的中央，將 CD 套在木板上，下方放一屏，如圖八所示。



圖八：測量太陽光譜

3. 實驗步驟：

- (1). 中午在太陽光下，移動木板，至屏上出現單色光的亮點，量出距離  $h$ 。 $r = (5.65 \pm 0.15) \text{cm}$ ， $\tan \theta = \frac{r}{h}$  可得  $\theta$ 。

- (2). 由  $d \sin \theta = m\lambda$ ， $m=1$ 、 $2$  均可測出  $\lambda$ 。



3. 結果： (1).

表六：透光式 CD 測太陽光的波長  $m=1$ ， $r=(5.65 \pm 0.15)\text{cm}$

	紅	橙	黃	綠	藍	紫
$h(\text{cm})$	11.04	13.34	14.27	16.20	17.73	22.61
$\lambda(\text{nm})$	$729 \pm 22$	$624 \pm 17$	$589 \pm 34$	$527 \pm 28$	$486 \pm 33$	$388 \pm 21$

- (2). 利用本方法量到可見光最長波長 751nm 最短長波長 367nm
- (3). 亮點旁邊會出現色光的互補色，例如紅光亮點係由  $d \sin \theta = m\lambda$  的光波形成，其旁邊為波長比紅光短的光混合而成，紅光的互補色為藍綠色。
- (4). 黑紙的半徑加大時，互補色會減弱，亮點的亮度亦減弱。
- (5). 不用黑紙遮光，屏上出現的亮紋，會因白光太強而使色光相對變暗。
- (6). 反射投影機的燈泡為白熾燈，若鏡頭離屏很遠，照射到 CD 的燈光近乎平行，也可以觀察此現象。

### (六) 實驗六:

1. 目的：觀測光的散射和吸收光譜
2. 原理：
  - (1). 像太陽光、白熾燈等連續光譜照射牛乳時，波長較短的藍紫光易被吸收，再向各方向發射，稱為散射
  - (2). 連續光譜照射過錳酸鉀水溶液時，過錳酸鉀的吸收光譜為綠色光，所以隔著過錳酸鉀看連續光譜的光源或該反射光時，綠光被吸收掉，眼睛可看到紅、橙、黃、藍、靛、紫等六色光混合而成的紫色（綠色光的互補色）
3. 實驗步驟：
  - (1). 反射投影機置物台上蓋上黑紙，留一 2 公分 x 5 公分的透光孔，在鏡頭前方放透光式 CD，屏上出現  $m=1$  的紅橙黃藍靛紫等六色光(彩虹狀)
  - (2). 在透光孔上放培養皿，皿中放入 0.5 公分高的水，彩虹樣子未變，滴入數滴鮮乳，立即可看到藍紫色消失，屏上留下晚霞的顏色。
  - (3). 培養皿放入過錳酸鉀水溶液，則綠色光被吸收掉。

### (六) 討論：

1. 透光式 CD 及 CD-R 為印有間隔  $1.6 \mu\text{m}$  寬  $0.5 \mu\text{m}$  深  $0.12 \mu\text{m}$  共 20625 匝的條紋。CD-R 及 CD-ROM 在燒錄製造時，在槽中上染料，再打數位洞，洞長由  $0.9 \mu\text{m}$ 、 $1.2 \mu\text{m}$  至  $3.3 \mu\text{m}$  共九種不同長度；我們做實驗(一)至(三)時，使用波長  $6328\text{\AA}$  即  $0.633 \mu\text{m}$  的氦氖雷射，

所以看到的繞射條紋為  $1.6 \mu\text{m}$  的槽距所形成，因寬  $0.5$  的洞比雷射光波長為短， $\sin \theta > 1$ ，所以在屏上看不到繞射暗紋。至於洞長  $0.3 \mu\text{m}$  至  $3.3 \mu\text{m}$ ，故長度不等，沒有一致性，不會形成看得見的繞射圖形。

2. 做實驗一測量 CD 的槽距時，雷射光要垂直 CD，若 CD 略有偏傾則光點的位置會移動甚多，因 CD 和雷射光垂直時  $m=1$  的兩光點和  $m=2$  等距離，所以做本實驗時要先確認兩個  $m=1$  光點到  $m=0$  等距離。
3. 本實驗利用雷射光測 CD 的槽距，所得的結果為四位有效數字，測光波波長因量長度時，受 CD 半徑影響，為三位有效數字。現在市面上 CD 多為七十分鐘和八十分鐘兩種，其中七十分鐘的 CD 槽距為  $1.635 \pm 0.003 \mu\text{m}$  本實驗用的為八十分鐘的 CD 槽距為  $1.496 \pm 0.004 \mu\text{m}$ 。
4. 陽光經三菱鏡時，因各色光折射率不同，所以色散形成連續光譜，經 CD 繞射後  $d \sin \theta = m\lambda$ ， $\therefore d$  相同  $\lambda$  不同  $\therefore \theta$  不同，利用 CD 可觀察測量太陽光的連續光譜。
5. 白熾燈因溫度很高，燈絲的電子被由基態加熱到高能階的狀態，亦放出連續光譜。
6. 省電型燈泡、螺旋狀美術燈，為日光燈。燈管兩極施電壓時，極間放電射出電子撞擊水銀蒸汽時產生氣體放電，釋出紫外線，紫外線激發螢光粉後，發出可見光。我們利用 CD 測到的可見光其波長隨螢光物質的成分而異。
7. 發光二極體的發光原理為半導體中的自由電子和電洞結合時，過剩的能量以光的型式釋放

(一) 課本所引述的發光二極體 (砷化磷鎵) 可發出紅色或藍色的可見光。塑膠透鏡除了保護作用外，還增加光量的輸出。

(二) 我們還測量了

(1) 發紅橙黃光的 AlGaInP

(2) 發藍綠光的 GaInN

(3) 發白光的發光二極體是 GaInN 加螢光粉後所發的光

8. 投影機的燈泡發出連續光譜

(1) 培養皿中放入鮮乳時，波長短的藍紫光被散射掉，所以經 CD 分光後，留下波長較長的紅橙黃綠光。

(2) 培養皿中放入過錳酸鉀水溶液，因其吸收光譜為綠光，肉眼直接觀察呈現互補色的紫色，經 CD 分光後呈現紅橙黃藍紫光。

## (七) 結論：

1. 本實驗利用非常方便取得的高科技產品 CD 略加改裝 (包括除去鋁層，用異丙醇清洗，用黑紙黑箱遮光等)，可得到 625 條/mm 的光柵，可進行高中物理程度的實驗。
2. 利用其螺旋紋使陽光 (平行光) 相同波長的繞射到同一點，而量出波長。
3. 利用 CD 的螺旋紋，拍攝通過狹縫的光得同心圓狀的光譜。
4. 利用 CD 繞射性質，將光線分開可觀測連續光譜、發射光譜、吸收光譜。

## (八) 參考資料：

### (一). 學生用

1. 陳惠玉、楊凱賢、李偉：電腦光碟片繞射實驗。物理教育，**5**，2001-46-51
2. 李偉：電腦光碟片繞射的光學教學與實驗。2002 年物理教學及示範研究會。
3. 李偉、陳惠玉：光學實驗 CD-ROM 的繞射現象。科學教育與發展季刊，**26**，2002-1-8
4. 李偉、石裕誠：物理之美-與光碟片共舞，2003  
<http://www.tmtc.edu.tw/~science> 分頁.html/
5. 李偉：另類透鏡：透明光碟片的聚焦行爲，2003 年物理教學及示範研討會。
6. 2003 年國際物理奧林匹亞競賽國家代表隊選訓教材第二冊。物理奧林匹亞國家代表隊選訓工作委員會編印，p.108~121
7. <http://hometown.aol.com/lklstars>
8. [http://www.nsc.gov.tw/popular science](http://www.nsc.gov.tw/popular%20science)
9. [http://www.ntnu.edu.tw/demolab/everyday physics](http://www.ntnu.edu.tw/demolab/everyday%20physics)
10. <http://www.quatek.com.cn/application/oth/LED>

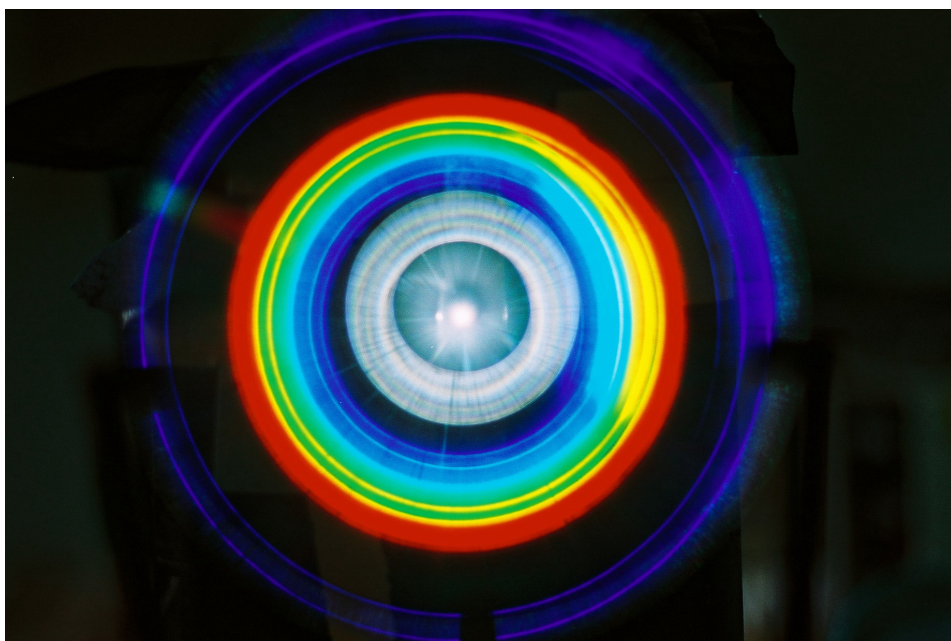
### (二). 指導老師用

1. James E Kettler, "The compact disk as a diffraction grating" "Am. J. Phys."**59**,367-368(1991)
2. Aidan Byrne, "Compact Disk spectrosopes Revisited!" "Phys. Teach."**41**,144-145(2003)

3. Malcolm G Cornwall, "CD means colourful Diffraction" Phys. Educ. **28**  
12-14(1993)
4. Joel Tellinghuisen, "Exploring the diffraction Grating using a He-Ne Laser  
and a CD-ROM" , Journal of Chemical Education, **6**,703-704(2002)

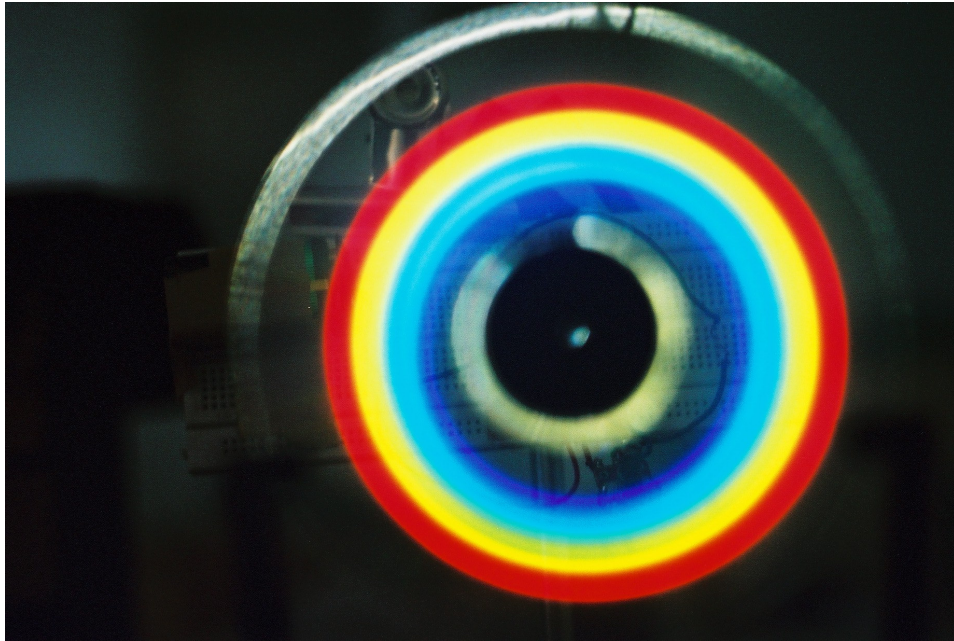


圖九：100W燈泡的光譜



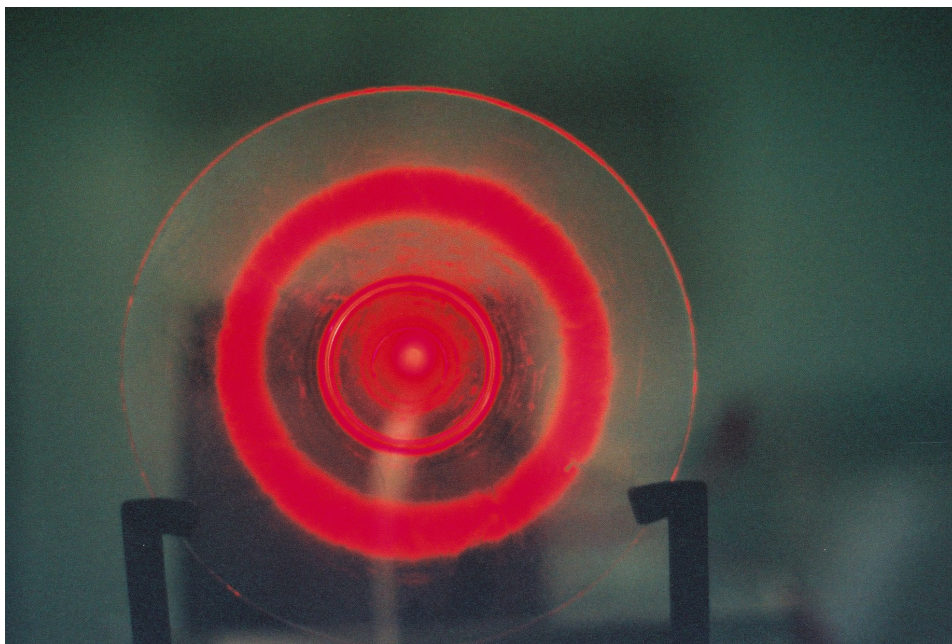


圖十：省電型燈泡的光譜



圖十一：發光二極體的光譜

(B5-430-WD 5Φ white )



圖十二：發光二極體的光譜

(TS-51364 Hp01A 5Φ Red supper)

## 評語

040101 高中組物理科 最佳(鄉土)教材獎

利用 CD 測量研究可見光譜

- 一、 用於研究光譜非常方便，可用於教學。
- 二、 能從顏色的變化找出吸收光譜。
- 三、 比較不同光源光譜的差異。

改進

對軸線偏離與對正的差異加以探討。