

臺灣二〇〇四年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：利用雷射光碟(CD)做光的繞射實驗

得獎獎項：物理科佳作

學 校：國立嘉義高級中學

作 者：李柏青

作者簡介



我是李柏青,目前就讀嘉義高中二年級.在我小時候,爸爸就培養我閱讀的習慣,也啟發了我對閱讀的興趣---特別是對科學雜誌.從小學到現在,科學都是我最愛的科目之一,而這次科展讓我有一個機會來對這個可愛的領域作更深更廣的了解.感謝李文堂及潘文成老師的指導,讓我有機會參加這次的國際科展.依我看來,作科展最大的收穫就是從實驗過程學到的經驗,一些有錢也買不到的經驗.

利用雷射光碟（C D）做光的繞射實驗

摘 要

雷射光碟（以下簡稱C D）除了在電腦、音響方面有甚佳的視聽功能外，在光線照射下，呈現彩虹狀的光譜，必定引起你我研究其光學性質的興趣。

國內以C D研究光的繞射的著作，有李偉等四人近三年發表五篇，國外科教期刊自1991年迄今共有19篇，在老師指導下，利用C D進行了8項實驗，分成三大項。

- 1.利用氦氖雷射分別照射舊唱片、C D、D V D，反射光形成繞射現象，由 $d \sin \theta = m \lambda$ ，量出槽距。
- 2.將C D-R的鋁層刮掉，（整疊購買的C D-R上下有數片未鍍鋁的瑕疵片），成為透光式C D（透射式光柵），將其中心半徑5.5公分部份，用黑紙遮住，正對陽光，螺旋狀的溝槽將陽光聚成一點，量出各色光到C D的距離，可算出色光的波長。
- 3.透射式C D置於投影機鏡頭前方，投影機置物台上，放置化學藥品，可直接在屏上觀察吸收光譜。

A Study of Diffraction with a Compact Disc

Abstract

The rainbow of colors reflected from the surface of an audio compact disc (CD) is a familiar sight. It is the phenomenon of light diffraction.

A standard CD has 20,625 turns of the spiral, and each line is spaced by $1.6\mu\text{m}$. This provides a grating of 625 lines/mm.

We used ordinary CDs as reflection grating in our experiment, and transparent factory rejects with no coating but printed data spirals as diffraction grating.

We conducted eight experiments of diffraction using the two kinds of CD.

- (a) Determined the grating spacing of an ordinary CD using a laser beam.
- (b) Determined the grating spacing of a transparent CD using a laser beam.
- (c) Studied the diffraction patterns caused by a laser beam held at angles to a transparent CD.
- (d) Measured the wavelengths of sunlight using a transparent CD.
- (e) Measured the wavelengths of sunlight using an ordinary CD.
- (f) Formed a rainbow using a transparent CD.
- (g) Observed the scattering of light using a transparent CD.
- (h) Demonstrated the absorption spectrum using a transparent CD and an overhead projector.

利用雷射光碟(CD)做光的繞射實驗

一、前言：

(一) 研究動機：

雷射光碟(Compact Disc 以下簡稱 CD)，已成為日常用品。除了電腦、音響方面具有甚佳的視聽功能外，在光線照射下，呈現彩虹狀的光譜，必定引起你我研究其光學性質的興趣。今年四月底蒙教育部「高級中學培育研發人才」專案補助，在輔導教授指導下，進行研究，以參加國際科展活動。

(二)、研究目的：

1. 測量舊式唱片、CD、DVD 的溝槽槽距(d)。
2. 利用 CD 量太陽光的可見光波長。
3. 利用 CD 研究吸收光譜及發射光譜。

(三)、文獻探討：

1. 四月底之前，在國內已發表用 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 等四篇，八月底，李偉教授再發表 和我們實驗（四）類似作品，（我們的說明書四月底已送教育部中部辦公室），請參看參考資料。
2. 自 1991 年迄 2003 年四月，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. 本作品包括八項簡單實驗，為我們進行一年設計改良的結果。

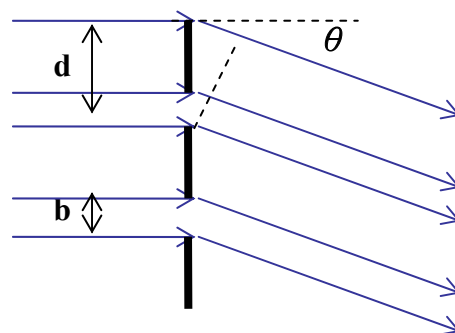
(四) 器材：

1. 氦氖雷射(0.4mW)
2. CD
3. 透光式 CD
4. DVD
5. 舊式唱片
6. 反射投影機
7. 尺
8. 培養皿
9. 自製木箱(長 12 公分、寬高各 8.5 公分)
10. 氯化亞鈷、過錳酸鉀、鮮乳

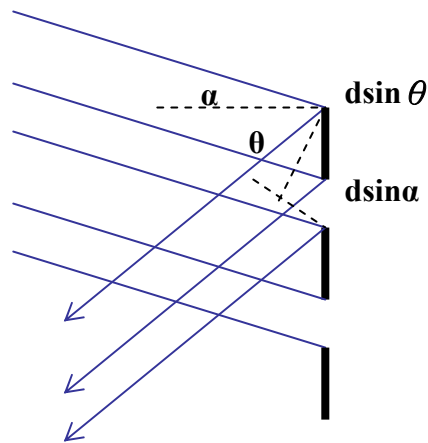
二、研究方法或過程：

(甲)、原理：

1. 光柵一般可分為穿透式光柵及反射式光柵。
2. 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 $0.9 \mu\text{m}$ 、 $1.2 \mu\text{m} \cdots 3.3 \mu\text{m}$ 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。
3. CD-ROM，CD-R 都可當作反射式光柵，CD-R 的鋁可用小刀括掉，再用清潔劑清洗，可成為穿透式光柵。整疊購買的空白 CD-R，上下各有數片未鍍鋁的瑕疵片，為現成的穿透式光柵，切割成小片加框，廢物利用，很適合高中生做光柵實驗。舊式唱片的溝紋清晰可見;數位影音光碟(Digital versatile disc 簡稱 DVD)儲存資料比 CD 更多，槽距更小;上二者亦可做反射式光柵和 CD 比較。
4. 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 θ 處極遠的 P 點，波重疊形成亮紋時， $d \sin \theta = m\lambda \cdots (1)$ 。 $M=0$ ，中央亮紋主極大； $m=1$ ，第一亮紋主極大
5. 平行光和穿透式光柵的法線夾角 α 照射光柵時， $d \sin \theta \pm d \sin \alpha = m \lambda \cdots (2)$
6. 平行光和反射式光柵的法線夾角 α 繞射角 θ 處的亮紋 $d \sin \theta \pm d \sin \alpha = m \lambda \cdots (3)$ 圖二所示，向左下方反射的繞射光， $d \sin \theta - d \sin \alpha = m \lambda$ 向左上方反射者為 $d \sin \theta + d \sin \alpha = m \lambda$
7. 光照射 CD 時， $d \sin \theta = m\lambda$ ，取 $m=1$ ， $d \sin \theta = \lambda$ ， d 固定， $\sin \theta$ 和 λ 成正比，所以白光經 CD 反射進入眼睛時，不同波長的光，以不同的 θ 入射，因此，看到彩虹狀的光譜。



圖一：穿透式光柵的繞射

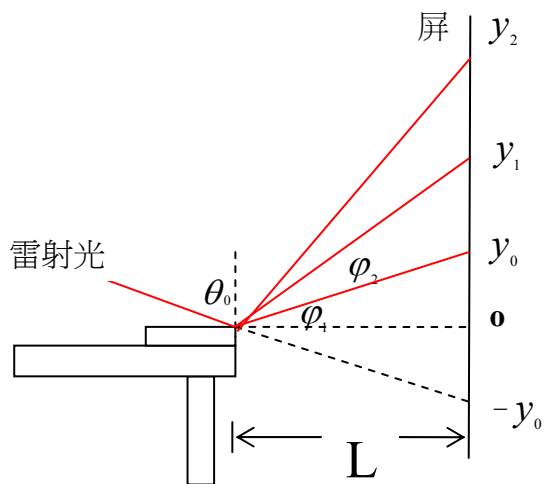


圖二：反射式光柵的繞射

(乙)、研究過程及結果：

(一)、 測量舊式唱片、反射式(即一般)CD、DVD 的槽距：

1. 舊式唱片，置於桌緣雷射光和水平面成 φ_0 ，照射唱片邊緣的槽縫，反射光照於 $+y_0$ ，唱片拿走，雷射光照在 $-y_0$ ，由 $+y_0$ 和 $-y_0$ 定出原點 O 位置。再放入唱片，繞射光點 $m=1$ ，在 y_1 的位置； $m=2$ ，在 y_2 位置，量出第 m 個主亮紋極大的位置，及 L 由 $d \cos \varphi_0 - d \cos \varphi_m = m \lambda$ 求出 d
2. 改放置一般的 CD，重做上實驗，因 CD 的 d 甚小， y_1 、 y_2 甚大，分別量出 y_1 、 y_2
3. 改放 DVD 重做實驗，因 DVD 的 d 更小，僅量 y_1 。



圖三:測反射式 CD 的槽距

4. 結果：

(1). 表一：反射式 CD 的槽距 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ $L = 47.00 \text{ cm}$

	$-y_0 \text{ (cm)}$	$y_0 \text{ (cm)}$	$y_1 \text{ (cm)}$	$y_2 \text{ (cm)}$
亮紋位置	-5.98	5.98	58.88	180.25
Φ	-7.252	7.252	51.39	75.39
$d(\mu\text{m})$			1.719	1.711

$$d = (1.702 \pm 0.011) \mu\text{m}$$

(2). 舊式唱片的槽距利用放大鏡及米尺直接量得 $100d = 9.3 \text{ mm}$ ，平均 $d = 0.093 \text{ mm}$

(3). 表二：舊式唱片用反射式量槽距 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ $L = 56.1 \text{ cm}$

	$-y_0 \text{ (cm)}$	$y_0 \text{ (cm)}$	$y_1 \text{ (cm)}$	$y_2 \text{ (cm)}$	$y_3 \text{ (cm)}$
亮紋位置	-7.25	7.25	9.75	12.05	14.25
Φ	-7.32	7.32	9.86	12.12	14.25
$d(10^{-2} \text{ mm})$			9.735	9.040	8.440

$$d = (0.091 \pm 0.005) \text{ mm}$$

(4). 表三：DVD 用反射式量槽距 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ $L = 31.50 \text{ cm}$

	$-y_0 \text{ (cm)}$	$y_0 \text{ (cm)}$	$y_1 \text{ (cm)}$
亮紋位置	-3.54	3.54	241.36
Φ	-6.280	6.280	82.41

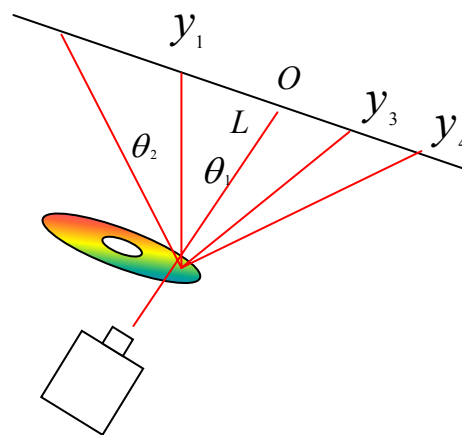
$$d = 0.735 \text{ } \mu\text{m}$$

(二)、測量透射式 CD 的槽距

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 $d \sin \theta = m\lambda$

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

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



圖四:量透光式 CD 的槽距

3. 結果：

(1). 表四：測透光式 CD 的槽距 $L = 100.00 \text{ cm}$ $\lambda = 6328 \text{ \AA}$

	$y_1 \text{ (cm)}$	$y_2 \text{ (cm)}$	$y_3 \text{ (cm)}$	$y_4 \text{ (cm)}$
亮紋位置	41.95	123.04	41.95	123.04
$\sin \theta$	0.387	0.776	0.387	0.776
$d \text{ (}\mu\text{m)}$	1.636	1.631	1.636	1.631

(2). 結果平均值為 $(1.635 \pm 0.003) \mu\text{m}$

(三)、入射光未和透光式 CD 垂直的繞射

1. 做上列實驗(二)時發現 CD 未和入射光垂直，原點左右方的亮紋位置極不對稱。72 年大學入學考試曾考過：單狹縫若以狹縫中心線為軸，旋轉 α 角，新生成的繞射中央亮紋區兩旁，其暗紋之間的距離改為？答案變為原有的 $\frac{1}{\cos \alpha}$ 。
2. 原本左側亮紋符合 $d \sin \theta + d \sin \alpha = m \lambda$ ，右側亮紋符合 $d \sin \theta - d \sin \alpha = m \lambda$
若 $d \sin \theta < d \sin \alpha$ ，則 $m = -1, -2, -3 \dots$ 且 $\theta < 0$ 。
令 $\theta' = -\theta$ ， $m' = -m$ 代入 $d \sin \theta - d \sin \alpha = m \lambda$
得 $d \sin \theta + d \sin \alpha = m \lambda$ 。
3. 和實驗(二)的圖四相同，但將 CD 分別逆時針方向旋轉 $\alpha = 30^\circ$ 、 60° 、 90° 記下各

亮點位置。

4. 結果：

(1). 表五：CD 和雷射光不垂直， $\alpha=30^\circ$ ， $L=100.00\text{ cm}$

	$y_1(\text{cm})$	$y_2(\text{cm})$	$y_3(\text{cm})$	$y_4(\text{cm})$
亮紋位置	-10.00	33.43	102.61	-212.56
θ	-5.711	18.48	45.74	-64.80
$d(\mu\text{m})$	1.580	1.549	1.561	1.563

$$d=(1.563\pm0.011)\mu\text{m}$$

(2). 表六：CD 和雷射光成 $\alpha=45^\circ$ ， $L=100.00\text{ cm}$

	$y_1(\text{cm})$	$y_2(\text{cm})$	$y_3(\text{cm})$
亮紋位置	-31.38	11.49	59.26
θ	-17.42	6.56	30.65
$d(\mu\text{m})$	1.552	1.541	1.560

$$d=(1.551\pm0.008)\mu\text{m}$$

(3). 表七：CD 和雷射光成 $\alpha=60^\circ$ ， $L=100.00\text{ cm}$

	$y_1(\text{cm})$	$y_2(\text{cm})$	$y_3(\text{cm})$
亮紋位置	-46.54	2.40	53.50
θ	-24.96	1.376	28.15
$d(\mu\text{m})$	1.425	1.422	1.419

$$d=(1.422\pm0.002)\mu\text{m}$$

(4). 按公式滿足 $d\sin\theta + d\sin\alpha = m\lambda$

$$\text{當 } \sin\theta = -1 \text{ 時， } \sin\alpha = \frac{m\lambda}{d} + 1 \quad (m = -1, -2, -3\cdots)$$

$$m = -1 \text{ 時， } \sin\alpha = 0.604 \quad \alpha = 37.19^\circ$$

$$m = -2 \text{ 時， } \sin\alpha = 0.209 \quad \alpha = 12.06^\circ$$

若在右側要看到第一點亮紋 α 必須小於 37.19°

若要看到第二點亮紋 α 必須小於 12.06°

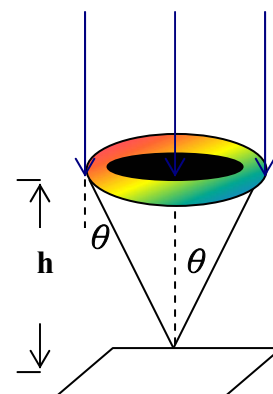
(5). $\alpha > 37^\circ$ 時， $d\sin\theta + d\sin\alpha = m\lambda$ ($m = -1, -2, -3\cdots$)

$$\sin\theta < -1 \quad \alpha = 45^\circ, \alpha = 60^\circ \text{ 右側亮紋不存在}$$

(6). 相鄰兩點的距離和原有值的 $\frac{1}{\cos\alpha}$ 相去甚遠

(四)、 利用透光式 CD 量光波波長

1. 剪下半徑 5.5 公分的圓形黑紙，貼在透光式 CD 的正中央，邊緣留下 0.5 公分可透光(其中由邊緣算起 0.2 公分沒有溝槽);也可以將一般的 CD 刮掉邊緣 0.5 公分的鋁層，用清潔劑洗掉染料。
2. 圖五所示，平行的陽光經螺旋狀的光柵後，匯聚在屏上出現色光的亮點，由 $d \sin \theta = m\lambda$ ， $m=1$ 的亮點， $\lambda = d \sin \theta$ ，量 h 及 $r=(5.65 \pm 0.15)\text{cm}$ ，可得各色光的波長。
3. 縮短的 h 距離，可看到 $m=2$ 的亮點。
4. 結果：



圖五：測光波波長(一)

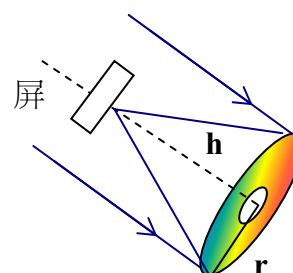
- (1). 表八：透光式 CD 測可見光的波長 $m=1$ ， $r=(5.65 \pm 0.15)\text{cm}$

	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 ± 22	624 ± 17	589 ± 34	527 ± 28	486 ± 33	388 ± 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 $d \sin \theta = m\lambda$ 的光波匯聚而成，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，會扭曲，很像球面透鏡形成的球面像差及色像差。
- (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。

(五)、 反射式 CD 量光波波長

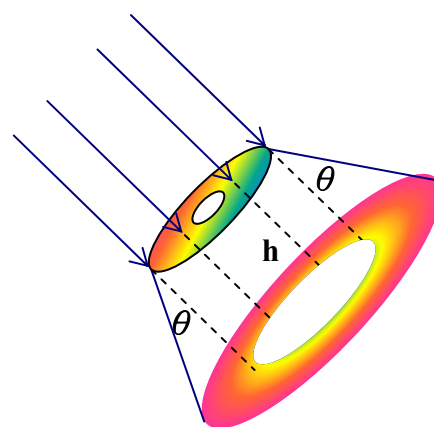
1. 剪下半徑 5.5 的黑色圓紙，貼在一般 CD 的正中央，如圖六所示。正對太陽使屏上出現 $m=1$ 的亮點，量 h 、 r 算出 θ 由 $\lambda = d \sin \theta$ 求出 λ (方法和實驗四類似)。
2. 量得太陽光可見光波長最短 367nm，最長 751nm。
3. 用反射式投影機做光源，也可以觀察此現象。



圖六：測光波波長(二)

(六)、 利用透光式 CD 形成彩虹

1. 選一面向西(或東)的房間，陽光由一窗戶斜照進來，放置一片透光式 CD 正對太陽(房子能遮光更好)，在距 CD 約 1 公尺處，可看到全圓的彩虹。
2. 由 $d \sin \theta = m\lambda$ 在屏上可看到 $m=1$ 及 $m=2$ 二層，取 $m=1$ ， $d \sin \theta = \lambda$ 外層 θ 較大為紅色依次向內為橙、黃…紫，接著 $m=2$ ，亦由外向內紅至紫分佈。
3. 量 h 、 r 亦可求 λ 。
4. 光源較強的反射投影亦可做類似實驗。



圖七：透光式 CD 形成彩虹

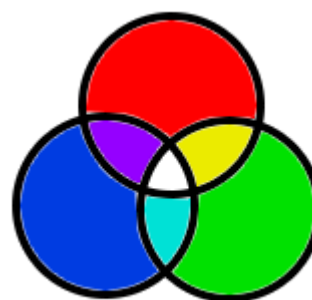
(七)、 光的散射及光譜觀測

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，屏上出現實驗六所述的彩虹。
1. 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。白熾燈光原為連續光譜，經過牛奶時，波長短的紫藍光被散射掉，留下較長的部分。
2. 培養皿改放 0.5M 的氯化亞鈷溶液，則粉紅色光消失因其吸收光譜為綠色。

表九：化學藥品的顏色與其吸收光譜

藥品名稱	水溶液顏色	吸收光譜顏色
CuSO_4	藍色	黃色
KMnO_4	紫色	綠色
CoCl_2	粉紅色	綠色
K_2MnO_4	綠色	紫色
FeCl_3	黃色	藍色
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	橘色	藍色

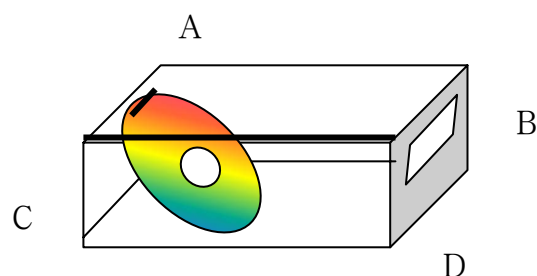
4. 化學藥品的光譜分析：
過錳酸鉀水溶液的吸收光譜為綠色，在陽光下(或室內)，白光經過錳酸鉀被吸掉綠色，所以我們看到紫色，投影機照射再經光柵，則可看到綠色被吸掉，其他色光出現在屏上。



圖八：光的三原色

(八)、觀察燈光的光譜

1. 長 12 公分，寬高各 8.5 公分的木箱，內部漆成黑色，A 開一長 3 公分寬 1mm 的孔，B 另開長 2 公分寬 6 公分的觀測孔，C 為活動門，可放入 CD，並調整 CD 的傾斜角。
2. A 在燈光正下方，由 B 看箱內 CD 的反射光可觀測各種燈的發射光譜。
3. A 上方培養皿，放牛奶、氯化亞鈷水溶液、過錳酸鉀…等水溶液，在白熾燈照射下亦可觀測散射現象及吸收光譜。
4. 觀測吸收光譜的現象。



圖九：觀測光譜用木箱

三、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\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。(四)~(八)為太陽光或白熾燈的連續光譜
2. 波長小於 $0.5\ \mu\text{m}$ 的形成的繞射現象會和 $1.6\ \mu\text{m}$ 的繞射同時發生，較為複雜。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。
3. 實驗(一)量舊式唱片、一般 CD、DVD 的槽距時：
 - (1). 舊式唱片 d 大，所以兩亮紋間距小，由槽寬所形成的繞射現象。可明顯看出，在槽寬所形成的中央亮帶內，可看到槽距繞射的亮紋，槽寬所形成的第一亮帶，因亮度很弱，所以槽距形成的繞射亮紋亮度很弱。
 - (2). 一般 CD 因 d 很小，僅可看到 $m=1$ 、 $m=2$ 共二個主亮紋及反射亮紋，且均在槽寬形成中央亮帶之內，看不到槽寬形成的暗紋。
 - (3). DVD 的槽距更小，僅可看到反射亮紋及 $m=1$ 的亮紋。
4. 實驗(三)入射光未和透射式 CD 垂直時，屏上除了中央亮紋外，屏上可看到的亮紋亦僅四個 CD 和入射光中央亮紋；CD 和光源的夾角 α ，使得中央亮紋兩側的亮紋不再對稱出現。另外 α 愈大時，除了亮紋亮度減弱外，亮紋數在 $\alpha > 37^\circ$ 時減為三個。將屏移到很靠近的地方，在屏上除了有主亮紋外，亦可看到次級亮紋。
5. 實驗(四)(五)利用 CD 量太陽光的可見光波長，CD 的中央遮住 CD 的邊緣螺旋紋使滿足 $d \sin\theta = m\lambda$ 的光聚成一點，可量出色光的波長，亮點旁邊為其他色光

形成的互補色。

6. 實驗(六)透光式的 CD 使太陽光形成彩虹可看到 $d \sin \theta = m\lambda$ ， $m=1$ 、 $m=2$ 部分，在較暗的地方，投影機遮光後，作實驗(四)(五)亦可看到彩虹。
7. 實驗(七)(八)有關光譜的觀測，可進一步量化，值得進一步研究。

四、結論：

1. 本實驗利用最方便取得的器材(甚至於是廢棄物)做繞射實驗。透光式 CD 裁剪加框後可做 625 條/mm 的光柵。
2. 用氦氣雷射可測出舊唱片 CD、DVD 的槽距。
3. 利用 CD 可測可見光(平行光)的波長。
4. 利用 CD 可做光譜儀。
5. 利用 CD 的螺旋紋可將平行光聚於一點。
6. 利用透光式 CD 可形成彩虹。

五、參考資料：

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](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為，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. James E Kettler, "The compact disk as a diffraction grating" "Am. J. Phys."**59**,367-368(1991)
8. Aidan Byrne, "Compact Disk spectrosopes Revisited!" "Phys. Teach."**41**,144-145(2003)
9. Malcolm G Cornwall, "CD means colourful Diffraction" Phys. Educ.**28** 12-14(1993)
10. Joel Tellinghuisen, "Exploring the diffraction Grating using a He-Ne Laser and a CD-ROM" , Journal of Chemical Education, **6**,703-704(2002)

評語及建議事項

本作品之中作者詳細分析處理過的 CD 作為反射及透射光柵，並探討其分光性質，此實為相當優良的物理較具製作及示範。既然已做出一具簡易分光光譜箱，實可再用照相正片置入箱中以攝取不同顏色化合物水溶液或牛奶之吸收或散射光譜，如此將可使其實驗結果更加具體完善。