

蝶虹—CD的光學奧秘

高中組物理科第三名

新竹高級中學

作者：林為瑤、陳木安
張佳正、陳慕一
指導教師：謝迺岳

一、研究動機

三年級上學期過了一半的時候，物理課的進度是光色散現象。同時老師準備了三稜鏡、光柵以及雷射唱片在課堂上演示各種色散的現象成因。就在我們觀察雷射唱片上的色散時，我們發現在唱片上出現了一圈類似彩虹的彩環。有的時候甚至會出現二圈。於是在好奇心的驅使以及老師的指導之下，我們對這個現象進行了探討。

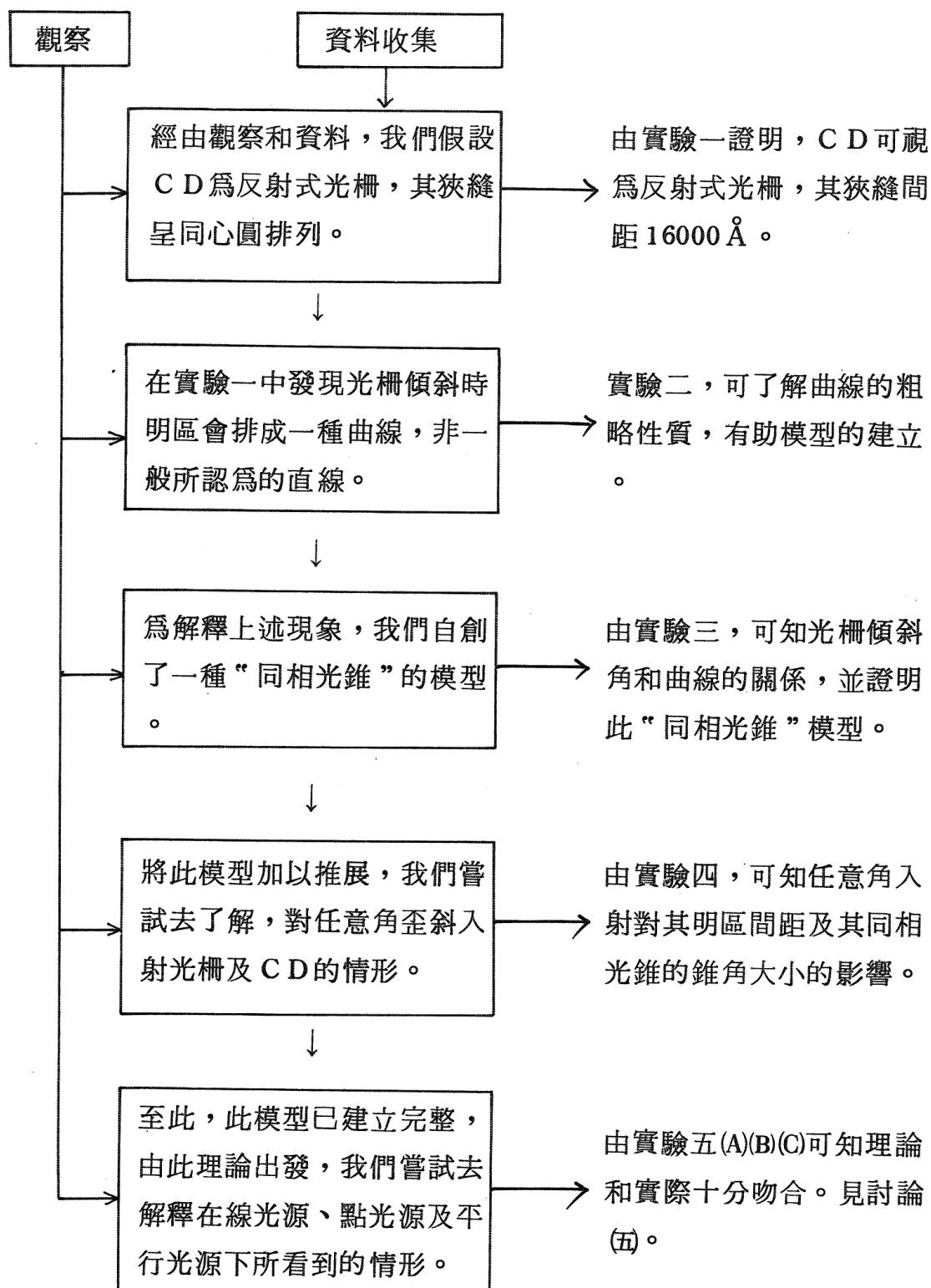
二、研究目的

- (一)由彩環的現象以及書本上的資料，我們欲建立可以解釋此現象的模型，並且以實驗加以證實。
- (二)由模型預測可能出現的結果，並且與實際現象作比對。

三、研究設備器材

- | | |
|---------------------------------|----|
| (一)He-Ne 雷射 | 一具 |
| (二)雷射唱片 (CD) | 數張 |
| (三)光柵 (300 line/mm, 80 line/mm) | 二片 |
| (四)可調式斜面 | 一個 |
| (五)力桌 | 二張 |
| (六)旋轉盤 (有分度) | 一個 |
| (七)透明壓克力箱 | 一個 |
| (八)鐵架組 | 一組 |
| (九)長木尺、方格紙、量角器、鉛錘 | 若干 |
| (十)透鏡、點、線光源 | |

四、研究過程與方法



(一)實驗一 方箱實驗(將 C D 作側轉和傾轉實驗)

1. 在 C D 上任取二條互相垂直的直徑做為縱橫軸。
2. 以橫軸上一點為入射點，並使此點落在旋轉盤中心軸上，轉動盤，使雷射以不同的入射角射向 C D，測量各散射方向。

3.以縱軸上一點為入射點，重覆(2)。

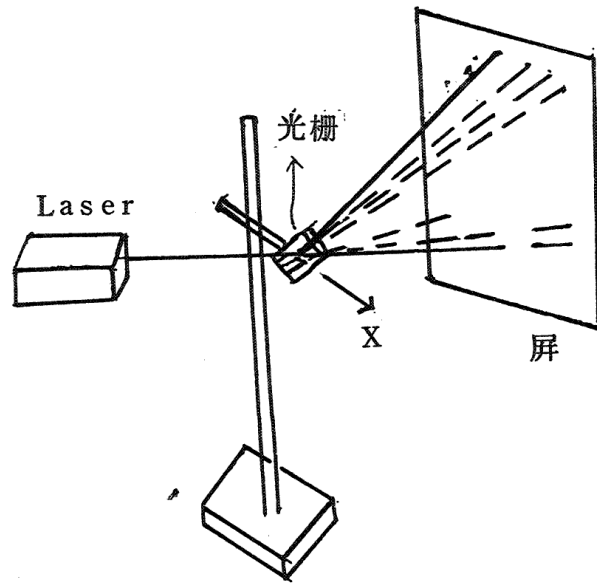
(二)光柵實驗二 改變入射光與光柵方向之夾角

1.裝置如圖，首先使入射光垂直光柵面，然後使光柵繞 x 軸旋轉。

2.以 0° 始，作間隔 5° 的光柵傾斜，在屏上方格紙描出各亮區位置。

3.重覆(2)，至傾斜角等於 85° 。

4.藉實驗及電腦作圖以了解光柵傾斜角與屏上圖形之間的關係，以便進一步驗證我們的光錐理論。

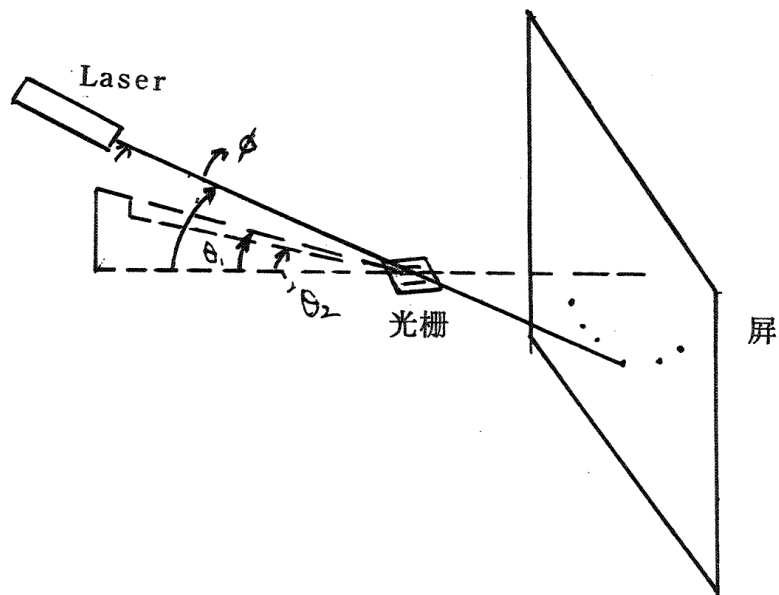


(三)實驗三 任意角入射光柵

(A)橫置光柵，研究任意入射角和圓錐張角關係

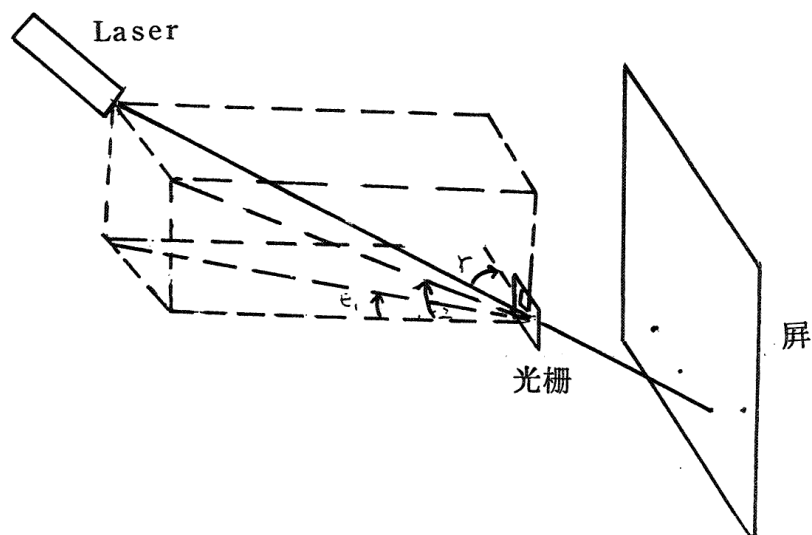
1.器材裝置如圖。

2.改光線和光柵之夾角，測量亮點和中心之距離（亦就是半徑）。

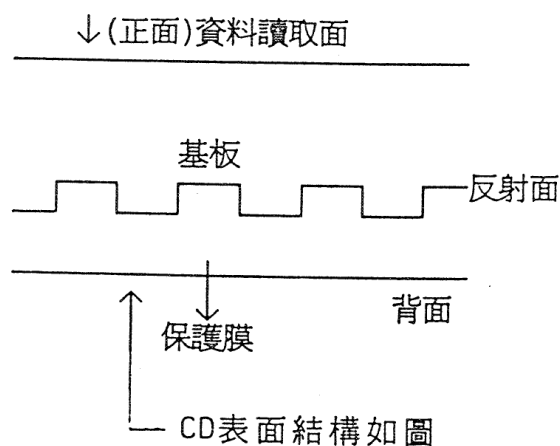


(B)直置光柵，研究入射角及亮紋寬度關係

- 1.裝置如圖。
- 2.改變 r ，測量亮點之垂直距離。



(四)實驗四 保護膜的影響及正反面差異



- 1.將膠帶貼於CD背面，將CD儲存資料的反射面整塊撕下。拿下列三部份作比較：
 - (A)撕下後的反射面
 - (B)CD正面（一般正常讀取資料的一面）
 - (C)CD反面（撕去保護膜，但反射面仍留下）。
- 2.裝置及步驟如實驗七。
- 3.本實驗的目的在探求保護膜是否影響其干涉現象。

五、結果與討論

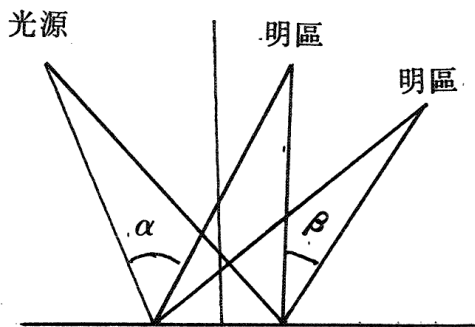
(一)實驗一

1.由方箱實驗中，我們可以證實 C D 為一反射式光柵，反射式光柵干涉公式

:

例：

$$\sin\alpha \pm \sin\beta = n \frac{\lambda}{d}$$



取其中一組數據

入射角(α)為 34°

	左一	左二	右一	右二
實驗值	9.1	75.0	14.4	38.8
理論值	9.4	72.7	13.4	38.8

單位：度(°)

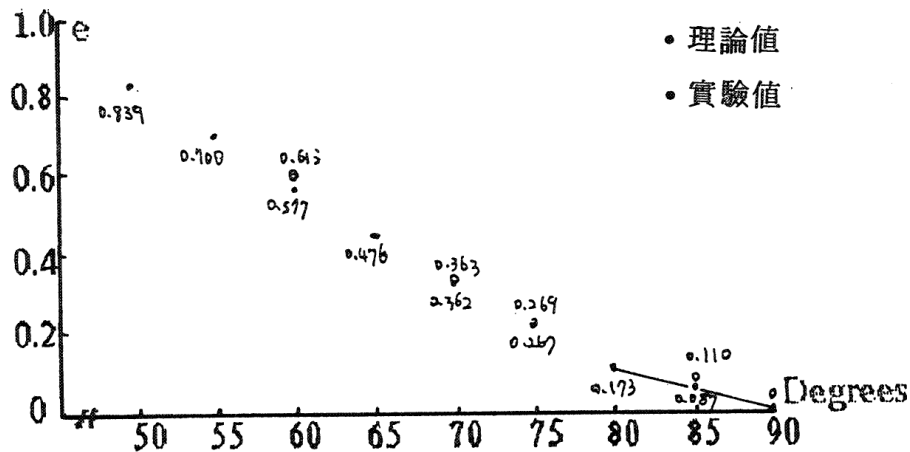
代入實驗值，誤差約在 2% 之內，所以 C D 可視為一反射式光柵。

2.由縱向入射的部份，我們看到明區形成曲線的特性，但因點太少，不足以描述其特性，所以資料僅供參考。

3.為了方便探討，以後的數個實驗就以光柵代替 C D。

(二)實驗二

為了從實驗的圖形數據中得到曲線的方程式，我們利用了一種“最小平方方法”解出最接近數據的曲線，再和理論的曲線比較。情形大致如下， $0 < \phi < 45^\circ$ 時，因圖形是雙曲線，且曲率很大。角度小時接近直線，所以很難算出正確值。但結果大致如預期。在 45° 時為拋物線，所得值只能近似，但不完全相同。當 $45^\circ < \phi < 90^\circ$ ，因能描出完整橢圓，所以和理論值較接近。其結果以下表表示：



若考慮誤差後，本實驗驗證“光錐理論”。

(三) 實驗三

(A) 入射角 ϕ 和散射光投射半徑 R 之關係為

$$L \times \tan \phi = R$$

(B) 1. 由理論上所建立之模型知亮紋寬度 ΔX 及入射角 γ 之關係為：

$$(d \cdot \cos \gamma) \cdot \frac{\Delta X}{L} = \lambda$$

因為 d ， L ， λ 都相同，因此只要計算證明 $\cos \gamma \cdot \Delta X = \text{定值}$ ，就表示支持理論。

2. 由實驗結果（附錄五）知 $\cos \gamma \cdot \Delta X$ 維持在一個範圍之內，其誤差平均只有 1.772%，因此此實驗可以證明：

$$d \cdot \cos \gamma \cdot \frac{\Delta X}{L} = \lambda \text{ 之正確性。}$$

3. 量 $\Delta X'$ 時是以最亮之三個點之距作平均。

4. 若所量 $\Delta X'$ 不在 Z 軸上，則要修正到中央之實際寬度為：

$$\Delta X = \Delta X' \cdot \cos \theta_1$$

(四) 實驗四

(A) 保護膜之影響

以波長為 λ 的光為例，其在折射率為 N 的介質中波長 λn 有

$\lambda n = \frac{\lambda}{n}$ 之關係。以 λn 來做干涉：

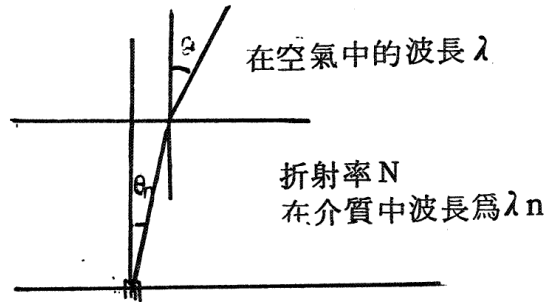
$$\sin \theta_n = \frac{\lambda_n}{d} \dots\dots\dots (*) \text{第一明區的張角 } \theta_n$$

當此光穿過介面進入空氣中時發生折射，折射後角度為 θ ，則

$$\sin \theta = n \cdot \sin \theta_n \text{ (司乃耳定律)}$$

(*)式代入得

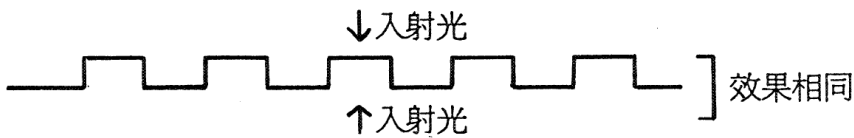
$$\begin{aligned} \sin \theta &= N \cdot \frac{\lambda_n}{d} \\ &= N \cdot \frac{\lambda}{N \cdot d} \\ &= \frac{\lambda}{d} \end{aligned}$$



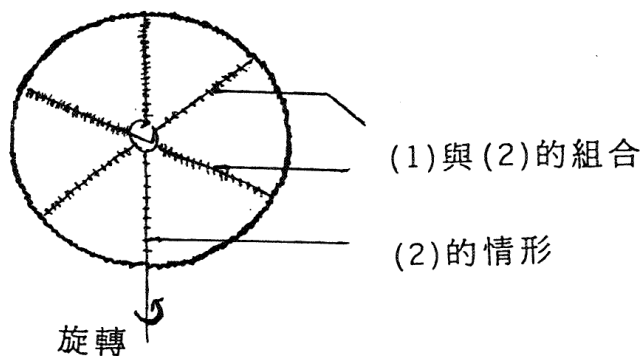
因此，由公式上我們可以看出保護膜不影響實驗結果。

(B) 正反面入射的討論

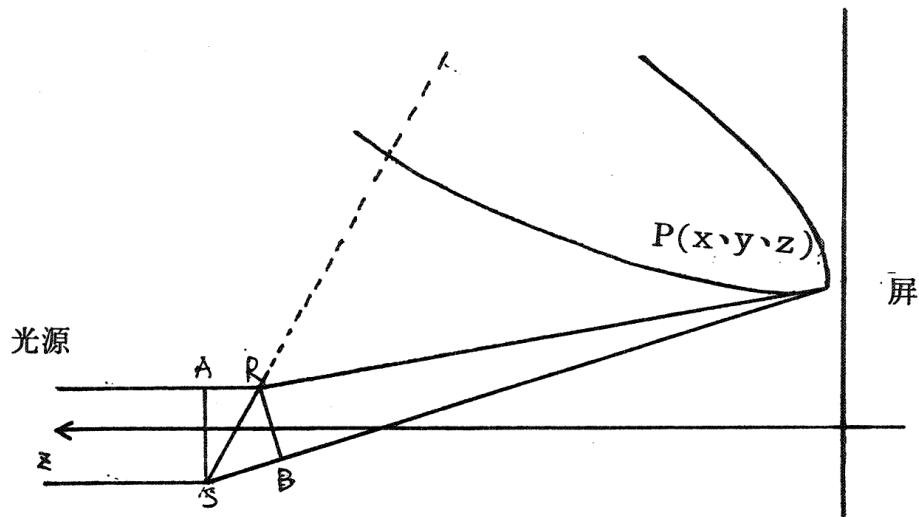
對 CD 而言，無論是凸或凹，都只是視為一個新波源，因此只要是凸起或凹入的間距相同，則所造成的結果亦相同。



(五) 在我們觀察 CD 的彩環時，環是由 CD 上各組光柵共同貢獻的結果。對其中任何一組光柵，皆可以用 X 軸、 Y 軸、 Z 軸三方向的旋轉來組合。見附圖：



(六) 同相光錐理論，此理論為我們自己為解釋現象而發展的理論。



狹縫長 $\overline{RS} = W$ ，在光柵旋轉 ϕ 度時，空間中一點 $p(x, y, z)$ 要形成亮區，則 \overline{AR} 的相位落後，必須在 \overline{SB} 補回。符合此條件的 $p(x, y, z)$ 可得：

$$\overline{PS} - \overline{PR} = W \sin \phi \dots\dots\dots(1)$$

亦即

$$\begin{aligned} & \left(z + \frac{1}{2}W \sin \phi \right)^2 + x^2 + \left(y + \frac{1}{2}W \cos \phi \right)^2 - \\ & \left(z - \frac{1}{2}W \sin \phi \right)^2 + x^2 + \left(y - \frac{1}{2}W \cos \phi \right)^2 \\ & = W \sin \phi \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

由(2)推得

$$\begin{aligned} & 4(\cos^2 \phi - \sin^2 \phi)y^2 + 8Z \sin \phi \cos \phi y + W^2(\sin^4 \phi - \sin^2 \phi) \\ & = 4 \sin^2 \phi x^2 \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

符合(3)式的 $p(x, y, z)$ 在空間中形成一個錐面，此錐以 RS 為軸， OP 為邊，所以我們在屏上所看見亮區排列成的曲線，即是此圓錐與屏相截所得到的圖形。

六、結論

- (一)由實驗一，我們證明 CD 確實可以視為圓形之光柵。且其縫距約為 600 line/mm。
- (二) CD 上之色環可以由 CD 上各組光柵共同散射成；對其中任何光柵都可以 x 、 y 、 z 三方向旋轉組合以求各散射之方向。
- (三)光錐理論：

- 1.入射光的透射光線以光柵方向為軸旋轉成爲一個光圓錐。
 - 2.亮點的垂直寬度和光圓錐曲率無關。
- (四)C D的保護膜對干涉現象沒有任何影響。

七、參考資料

- | | | |
|--------------|--------------|-------|
| (一)光學 | 張阜權、孫榮山、唐偉國著 | 亞東書局 |
| (二)物理基礎觀念 | 吳友仁編 | 東江圖書 |
| (三)微積分上冊 | 楊維哲著 | 三民書局 |
| (四)高中物理第三冊 | | 國立編譯館 |
| (五)牛頓雜誌 52 期 | | 牛頓出版社 |
| (六)數位雷射音響 | 王治勝編 | 全華圖書 |

評語

以生活中所觀察的現象爲提示，能周詳設計適當的實驗情境，明確顯示現象，並作仔細的觀察記錄，再根據觀察結果作深入的理論分析。態度、方法均正確可嘉，惜理論基礎稍弱，對繞射光點的解釋有再改進的餘地。