

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：日光燈下的二道彩虹

得獎獎項：物理科佳作

學 校：基隆市立銘傳國民中學

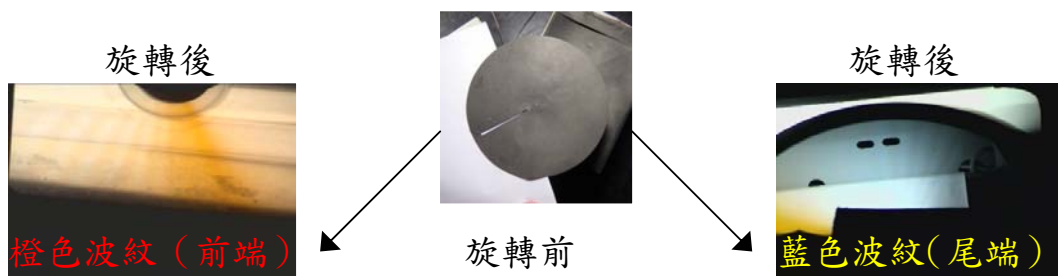
作 者：徐培霖、簡涵

壹·前言：

某次於學校的科學表演中，見到黑白陀螺在旋轉後會產生顏色的變化，使人印象深刻。文獻上記載此類陀螺稱為“Prevost”圓盤，其色彩產生的原因一般被認為是人眼產生之錯覺。不過究竟為何會有這種錯覺，總令人相當納悶。於是我們請教了老師，不僅做了實驗，也用像機拍攝下來分析，不過令我們感到奇怪的是：如果是眼睛產生的錯覺，又為何能拍出顏色？



甚至，在研究的過程中我們意外的觀察到鏤空圓盤內的色塊裡，尚有像水波「波紋」般的條紋出現。這個現象十分奇特，於是我們設計了一系列的實驗去探討這些現象，開始了這次的研究。



在研究過程中我們遇到相當大的困難，所幸同伴的程式設計技術卓越。為了實驗也撰寫了許多套色彩分析程式，使得實驗更能得心應手。而我是負責實驗儀器的架設及實驗操作，希望能以分工合作的方式，來完成這次的研究。

貳·研究目的

- 一·研究在 Prevost 圓盤上，色塊產生的條件與分布的法則。
- 二·研究在 Prevost 圓盤上的色塊能形成顏色的原因。
- 三·研究 Prevost 圓盤上所另外形成的細小波紋（時軸波紋）的原因。

參·研究設備及器材

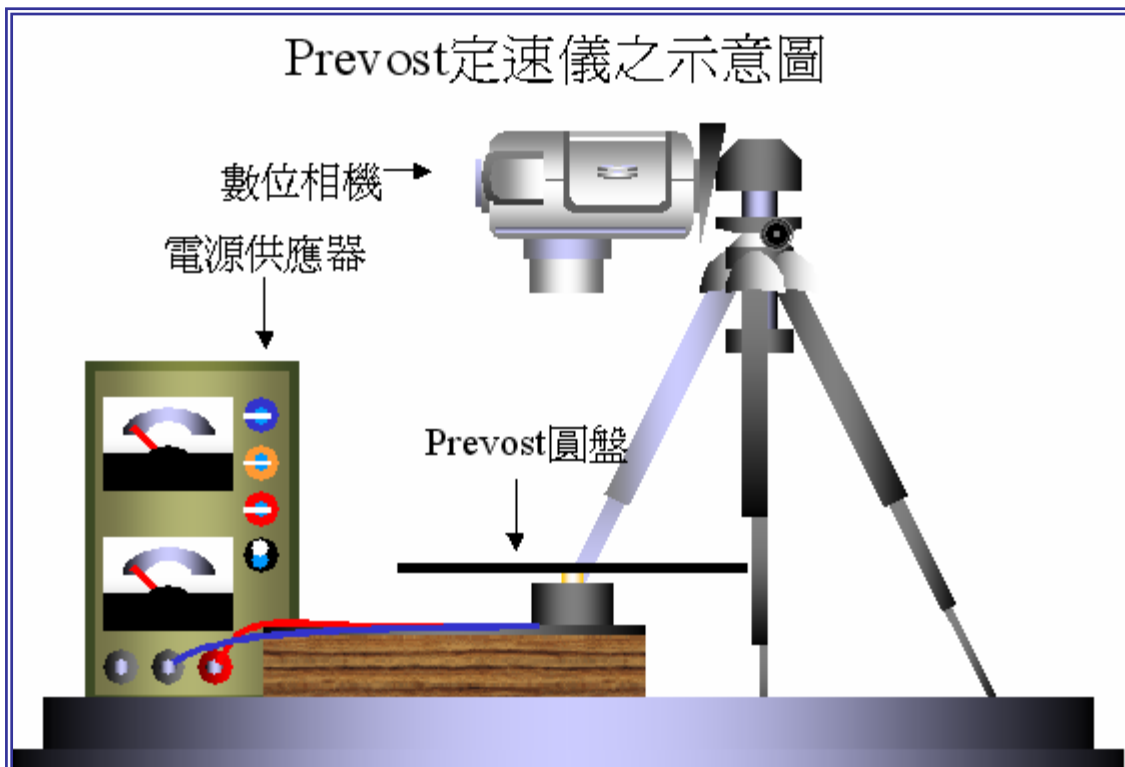
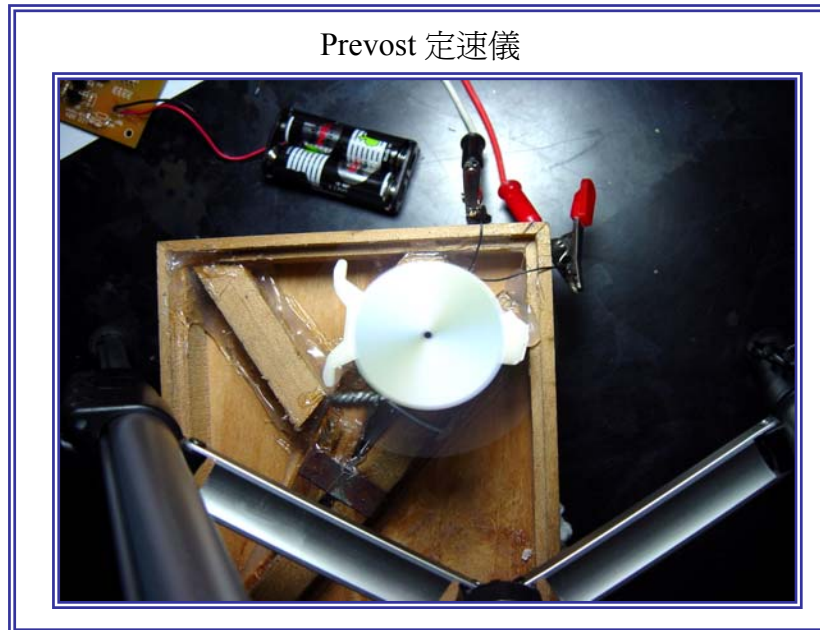
一·研究設備

工具部分	調光器、測頻器、電源供應器、示波器、三用電表、數位相機、數位攝影機、雷射筆、日光燈、檯燈		
程式部分	Visual Basic 6、Origin 6。		
光源部分	明亮閃爍頻率 120Hz	明亮閃爍頻率 60Hz	不閃爍
	白熾燈、日光燈、太陽燈	電腦螢幕	不閃爍太陽燈

二·觀測平台

(1) Prevost 定速儀

用以旋轉紙盤，可以電源供應器控制旋轉速度，亦可配合相機拍攝。



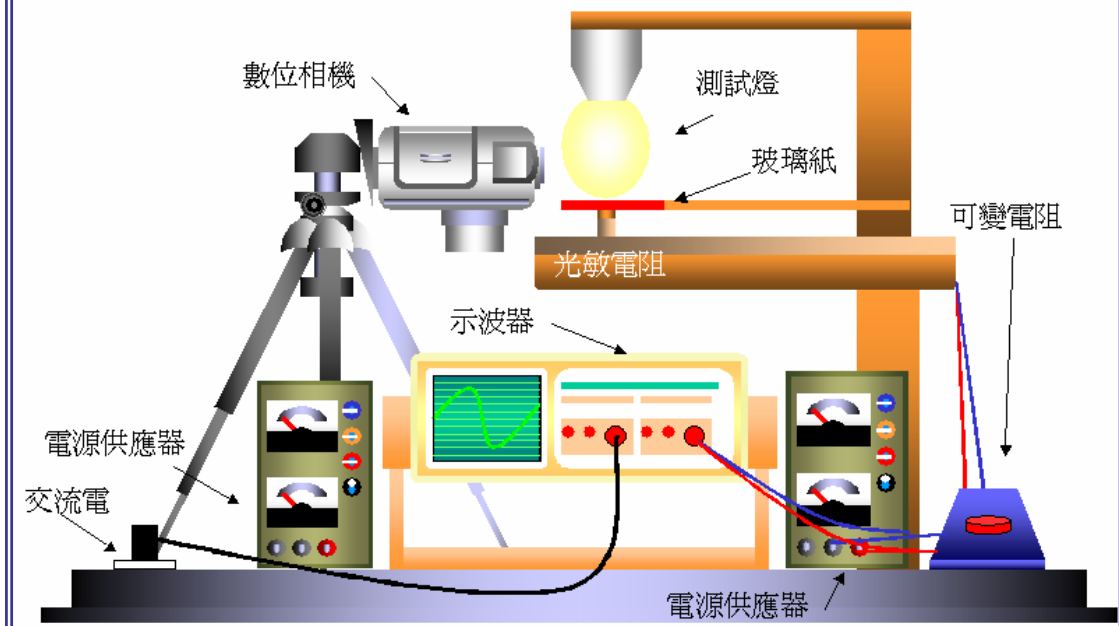
(2) 光譜分析儀

使用示波器，以交流電做基準波形，用以分析不同光源之光譜。

光譜分析儀

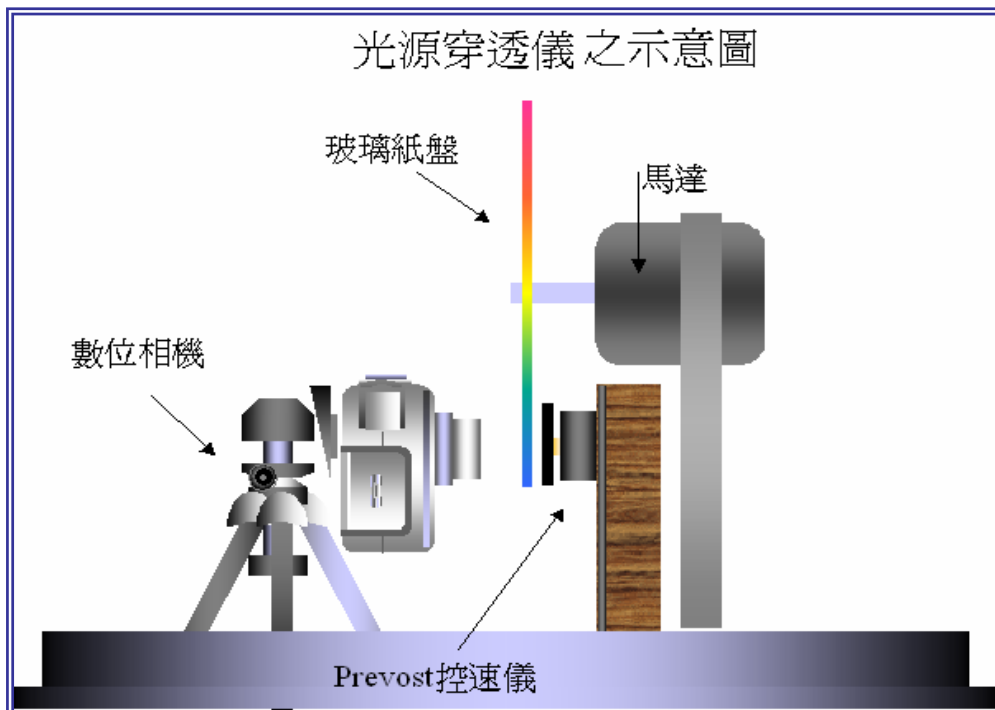
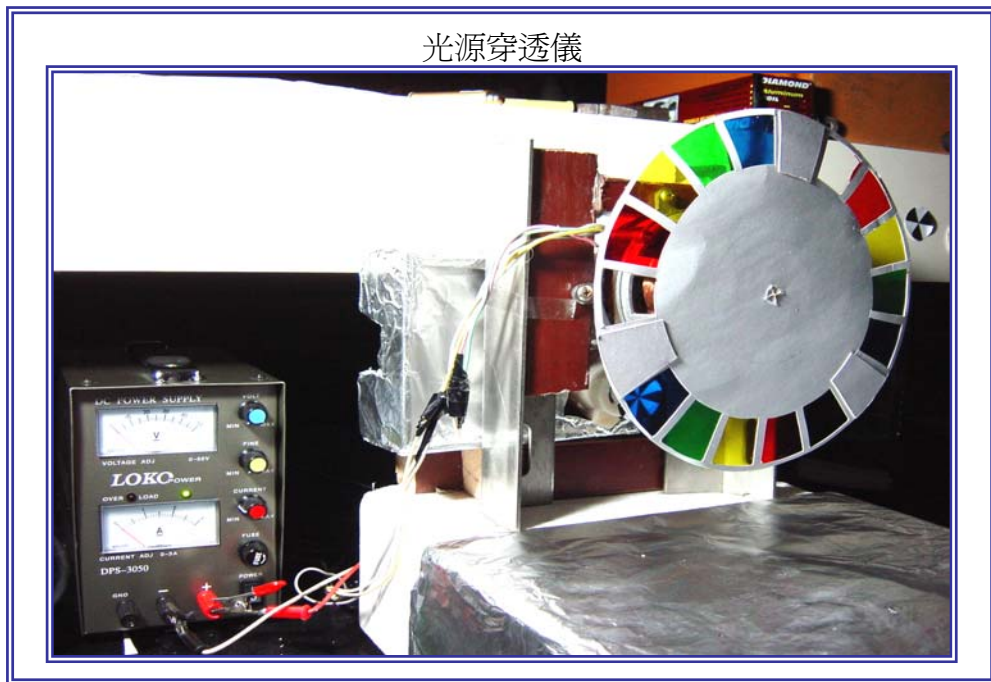


光譜分析儀之示意圖



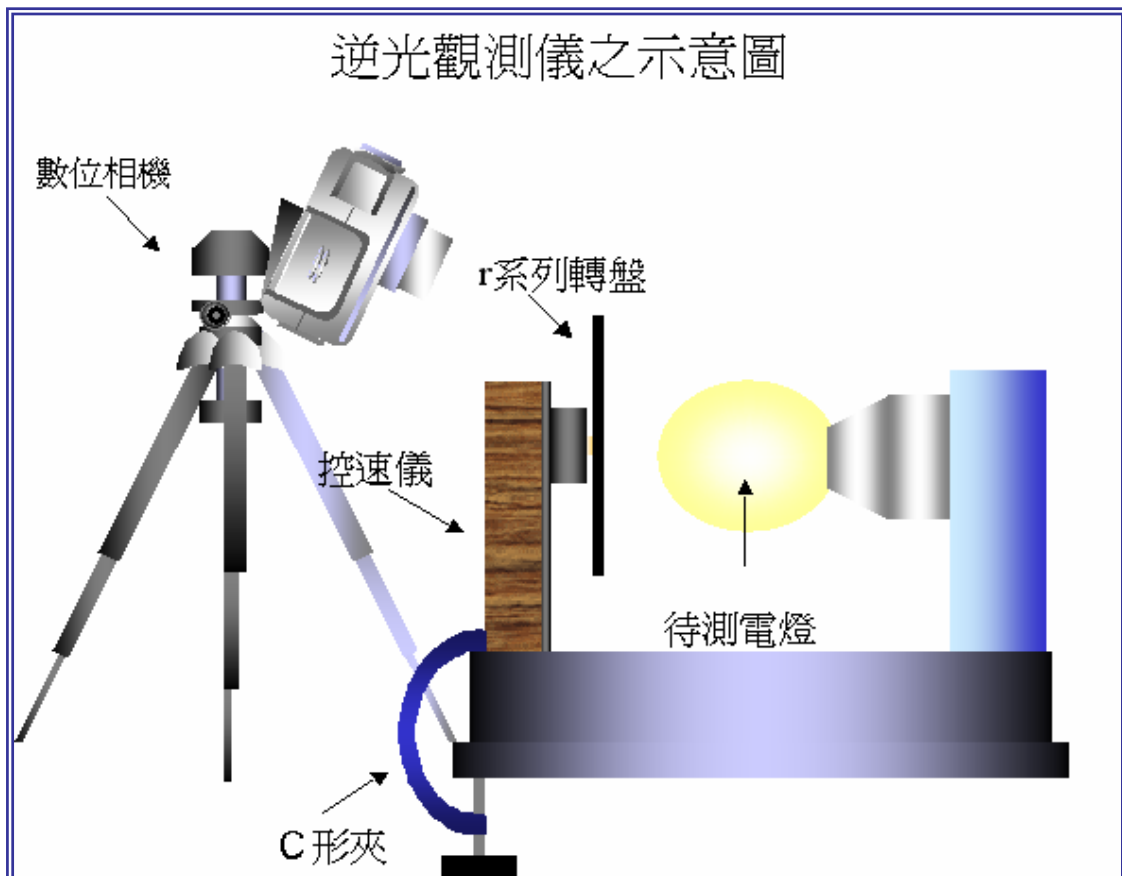
(3) 光源穿透儀

以一座抽風機馬達做為玻璃紙盤的動力來源，配合上述之控速旋轉儀，使上下兩面紙盤旋轉，將多種色光照攝在 Prevost 紙盤上，以觀察其顏色之變化。



(4) 逆光觀測儀

用以觀察穿透鏤空紙盤之光源



三·觀測用紙盤之名稱

為方便分類及稱呼，我們對觀測用紙盤做了一系列之命名

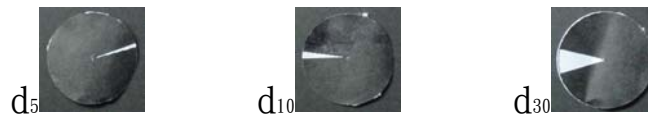
(1) D_q ：指有相同角度和大小的黑白間隔圓盤。其中 q 表

示幾對黑白區域



(2) d_w ：指紙盤中在 $\Delta\theta = w^\circ$ 的範圍中都被塗白，其他

地方皆改塗黑色的紙片。



(3) r_s ：指紙盤中僅有在 $\Delta\theta = s^\circ$ 的範圍內被剪除，為

可透光，其他地方不變動（即不透光），做為透光實

驗的試片。

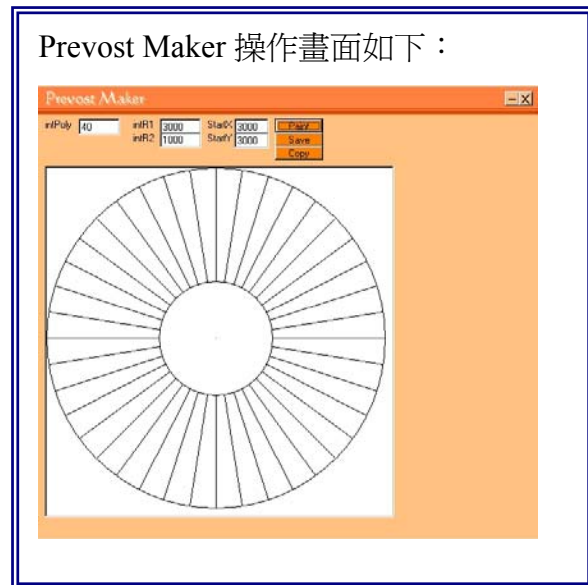


四、電腦程式簡介

為了讓資料數量化，我們有設計了一套有系統的程式，用來製作 Previst Disk、分析 Previst 旋轉之影像、定位量化 CRT Image、繪製光譜、以及一些輔助的小工具：

(1) Previst Maker

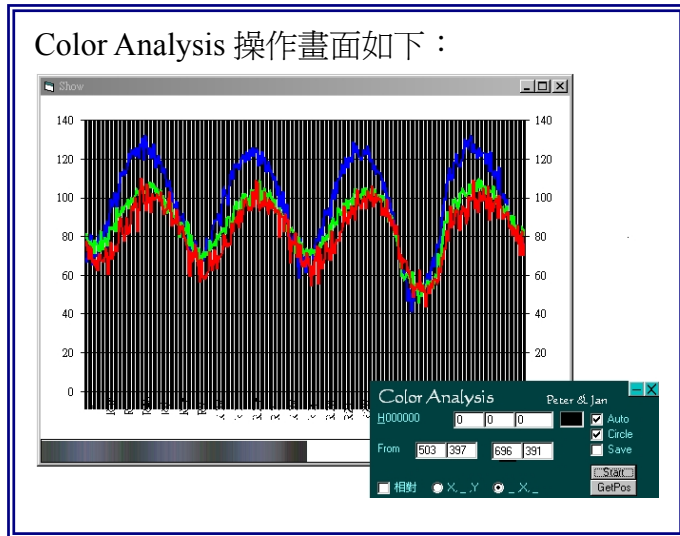
我們實驗時，常會花費很多時間去繪製圓盤，不但費時而且不精準。因此我們設計了這套程式，可以將圓等分成指定的黑白色塊數，再使用印表機將圖像 Print 出，速度快且精確。使我們可以更專注在實驗的發展上，不必為了瑣碎的雜事所困擾。



(2) Color Analysis

為了分析 Prevost Disk 旋轉時的顏色變化，我們設計了這套程式。可由使用者設定座標，路徑模式（直線及圓形）。程

Color Analysis 操作畫面如下：

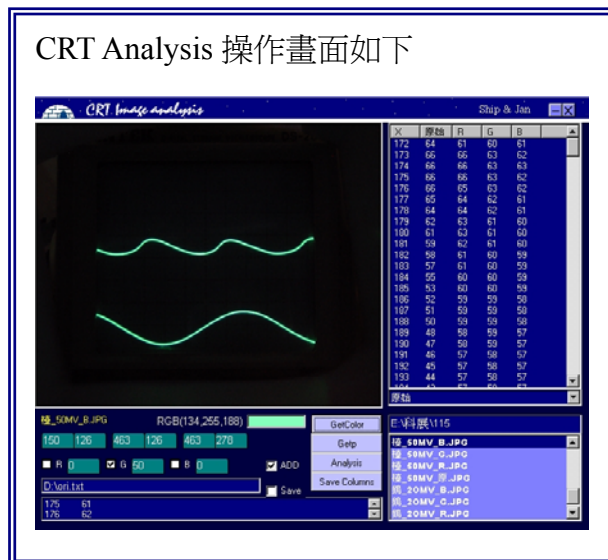


式會依照路徑及起始座標，取得 Image 中路徑上的點座標的 Color 值。存成檔案，以便使用 Origin 繪製出圖表。

(3) CRT Image Analysis

配合光譜分析儀，我們將 CRI Monitor 拍成影像，使用這套程式將其量化。使用時以滑鼠設定範圍，程式會逐點分析顏色，若 G 值超過預設範圍，

CRT Analysis 操作畫面如下

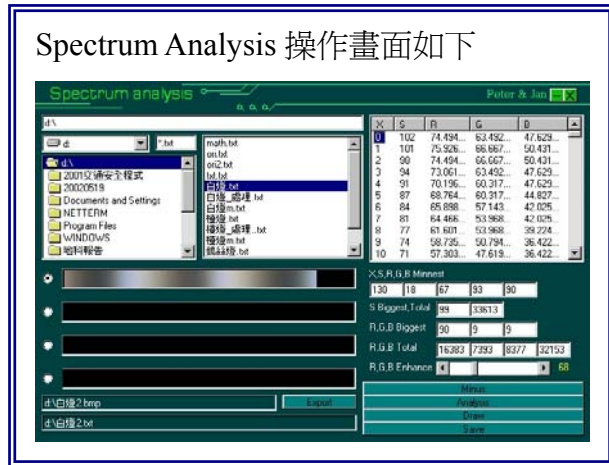


圍，此點座標值經過運算即是光譜。將其存檔，即可繪製成圖表。

(4) Spectrum Analysis

我們更進一步的使用 CRT 所提供的波資料，計算光譜此程式可讀取 CRT Analysis 的存檔資料，計算各個顏色的總合值、各點的颜色差，經過計算成為

Spectrum Analysis 操作畫面如下



光譜資料，而繪至出光譜影像，存檔參考。

肆·研究過程

實驗一·(為觀測色塊形成的機制)

Part-1A

- 1·將紙盤 D_1 放置控速旋轉儀中，並由慢到快變換轉速。
- 2·在紙盤 D_1 上，出現清晰且穩定的圖像時，拍攝其圖像，並記錄其轉速，直到轉速的最大值。
- 3·取下紙盤後，依序換上紙盤 $D_2 \sim D_4$ ，並重覆步驟 1 ~ 2。

Part-1B

- 4·改用 d 系列的紙盤，並依序將 d_{30} ， d_{10} ， d_5 置於控速旋轉儀上，並重覆步驟 1 ~ 2。

實驗二·(為了解顏色產生的原因)

Part-2A

- 1·將測試紙盤 d_{30} 置於控速旋轉儀上，在白熾燈的光源下，逐漸加快轉速，在紙盤上出現清楚且穩定的色塊時，記錄並拍攝其圖像及轉速大小。
- 2·依序改用雙管太陽燈、鎢絲燈、不閃爍高頻太陽、日光燈、電腦螢幕···並重覆步驟 1。

Part-2B

3. 改用光譜分析儀，嘗試觀察記錄分析白熾燈，在加掛紅、綠、藍三種濾片下的波形變化，並討論以此分析獲得時軸光譜的可行性[4]。

實驗三·(證實對 prevost disc 的顏色推論)

Part-3A (證實顏色合成理論)

1. 將貼有已知顏色的玻璃紙圓盤置於光源穿透儀之上，並逐漸增加轉速，此時開始旋轉小轉盤 d_{30} 。
2. 在 d_{30} 出現明顯且穩定的色塊時，分別記錄大小轉盤的小轉速，並拍攝小轉盤的圖像。
3. 依序改變小轉盤的轉速，並重覆步驟 2。
4. 比較實驗結果和電腦模擬結果的異同。

Part-3B (觀看時軸光譜)

5. 以白熾燈為光源將 Γ_3 置於逆光觀察儀上，並開始旋轉。
6. 觀測並拍攝紙盤轉速在 40Hz 時的圖像

實驗四·(了解引起時軸波紋的原因)

- 1 · 將 r_3 置於觀測平台中，以日光燈為光源並以 $R=60\text{Hz}$ 。
- 2 · 將 r_3 依序換成 r_5 及 r_{30} ，並重覆步驟 1。
- 3 · 在 $R=60\text{Hz}$ 的條件下，改變 r_3 的觀測位置，記錄並分析其結果。
- 4 · 將光源改換為鎢絲燈，觀察並記錄波紋的形狀。
- 5 · 將日裝燈置於強力磁場中，並觀察時軸波紋在磁下的行為模式。

伍、實驗結果

一、在實驗一中，我們對 Prevost 現象進行一系列的基本觀察，並將實驗結果分別表示圖 1~圖 4

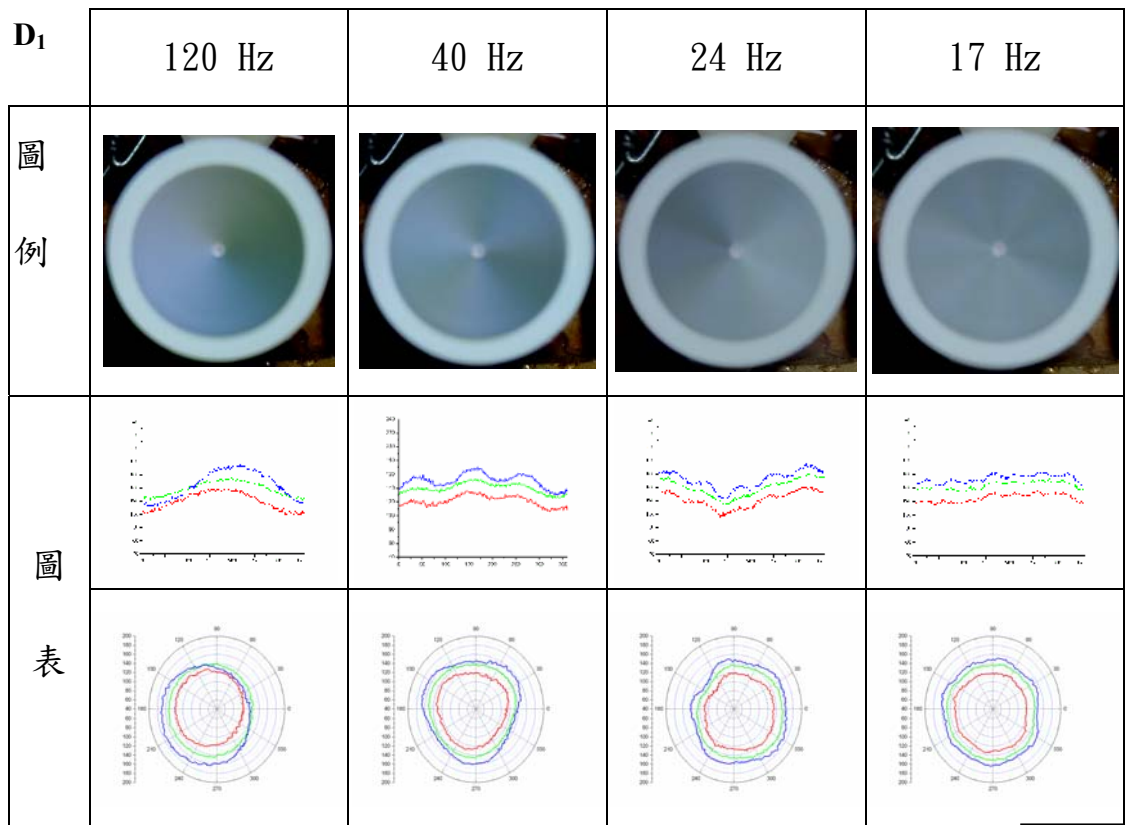


圖 1

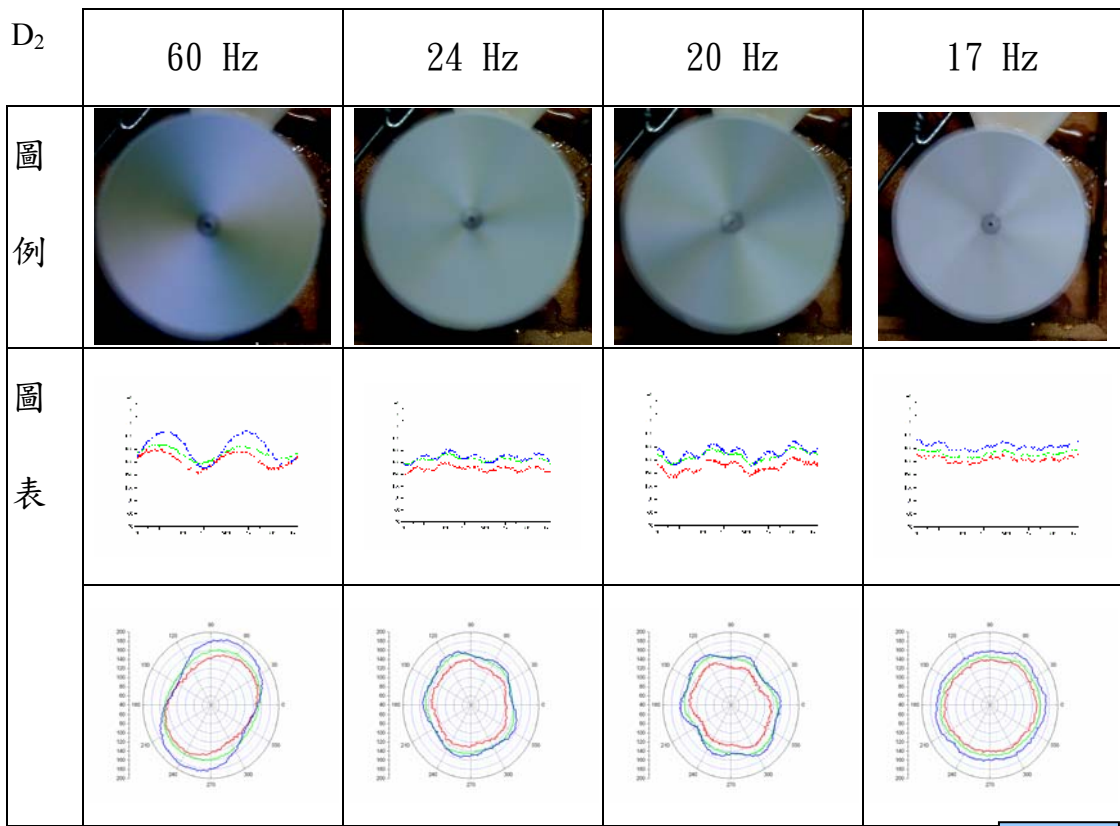


圖 2

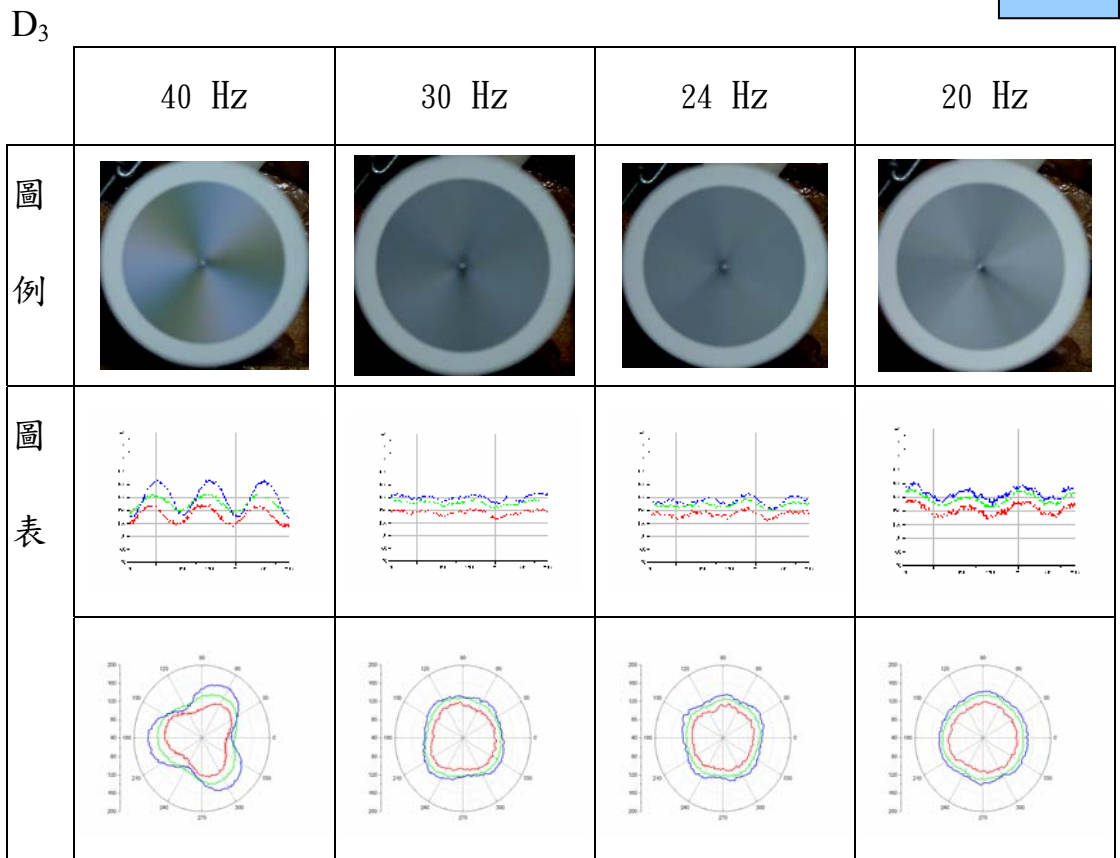


圖 3

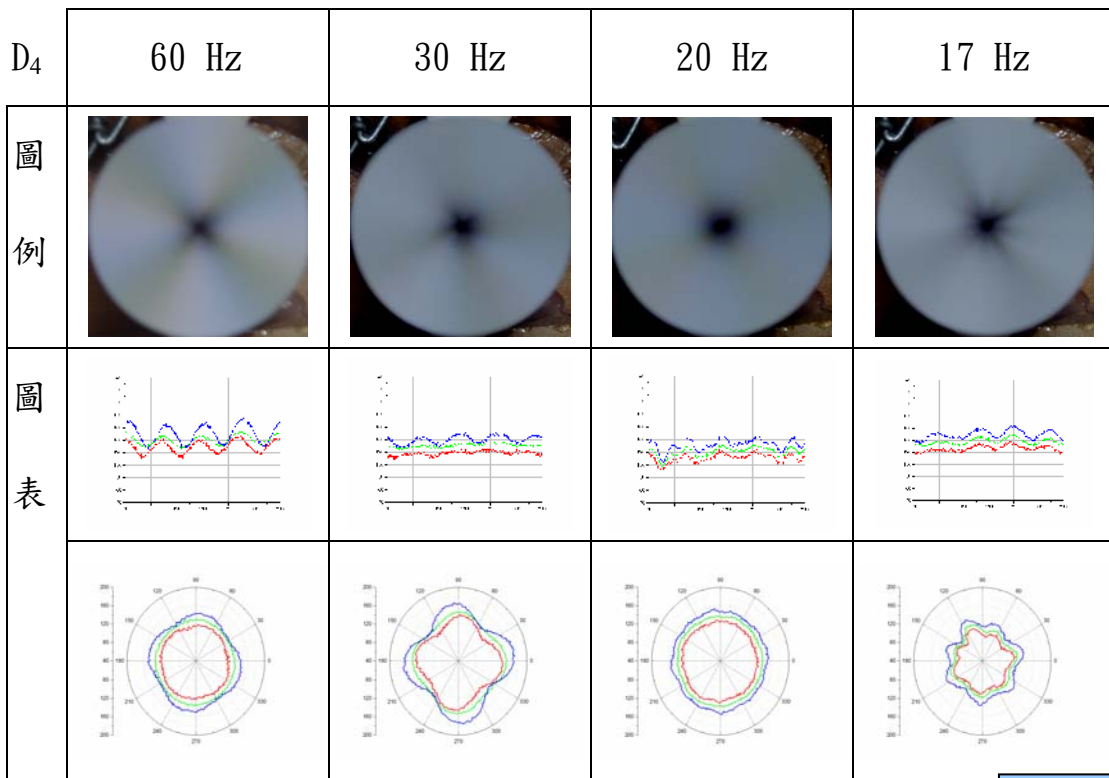


圖 4

1. 從圖 5 發現，在不考慮生成色彩的原因下，其色塊的形成與轉速的大小有關。由 Origin 程式 Fit 以後，可以得到一個經驗式： $P \times R = f \times m$ ……經驗式 A

其中 P = 產生的色塊數， R = 圓盤的轉速，

f = 光源的閃動頻率， m : 自然數：1、2、...

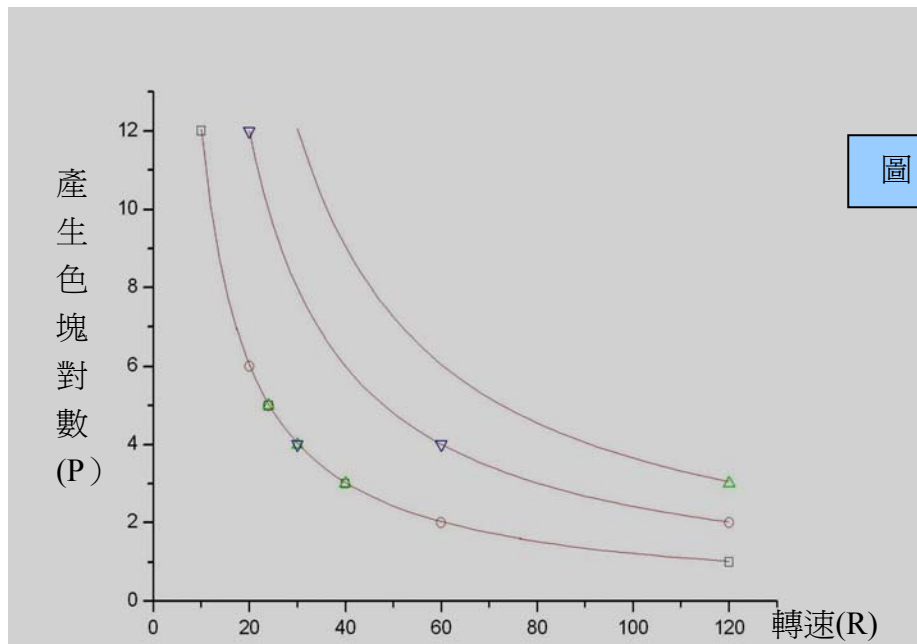
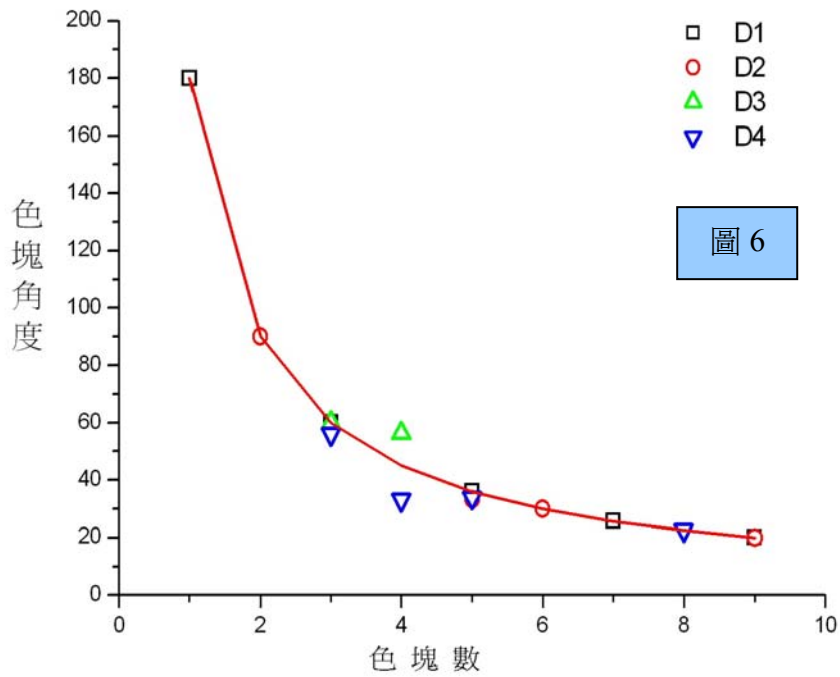


圖 5

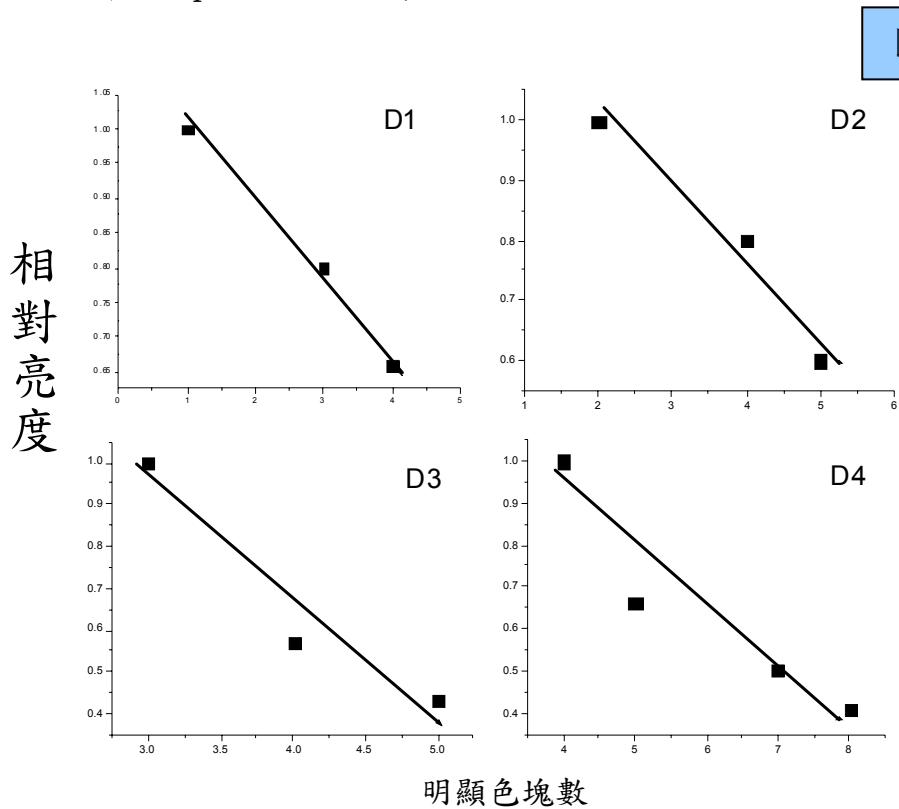
2. 由圖 6 中發現其所形成的色塊角度 P_θ 除了在

$P \times P_\theta = 180^\circ$ 時存在規律外，其餘的似乎散成不規則狀。



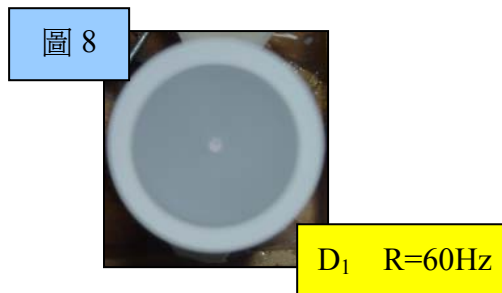
3. 而在圖 7 中顯示色塊產生愈多，則相對亮度就愈小，而最亮點

出現在 $R \times q = 120 = f$ 時

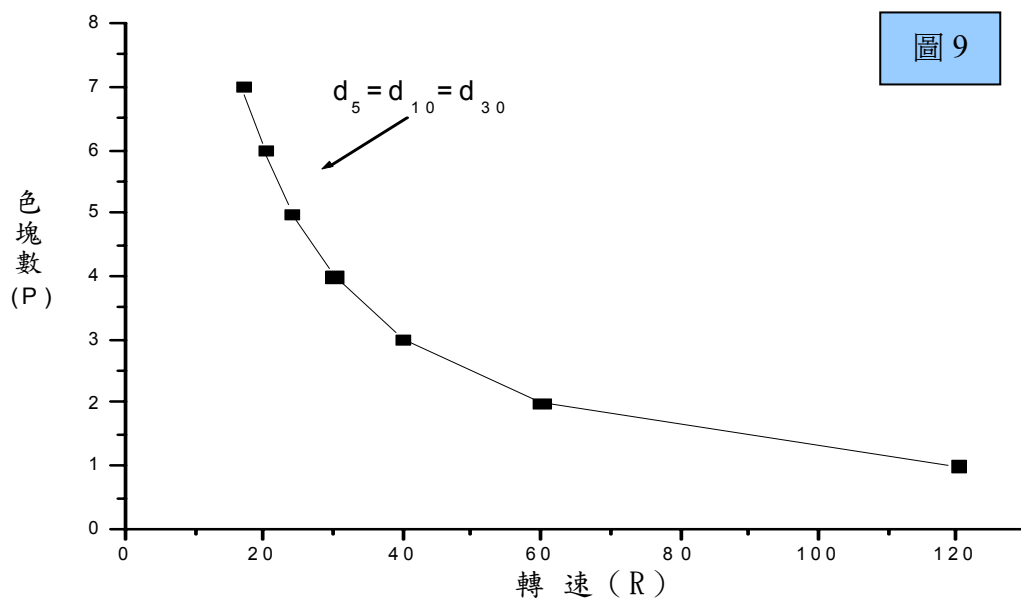


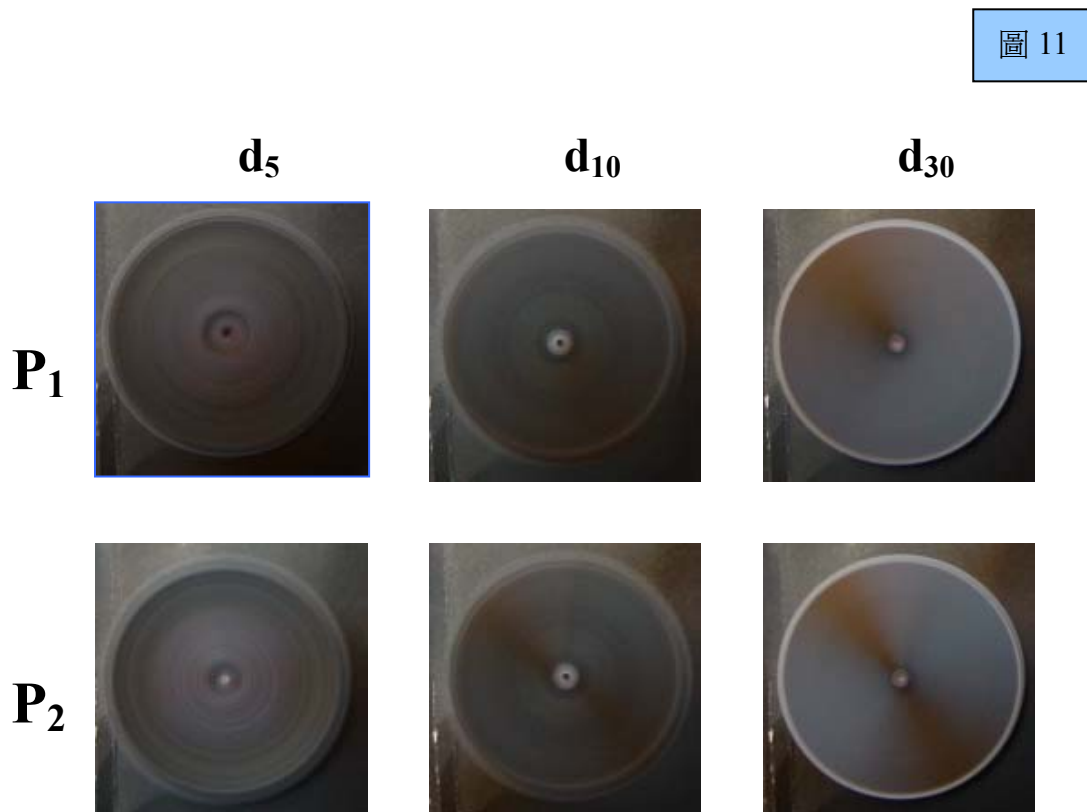
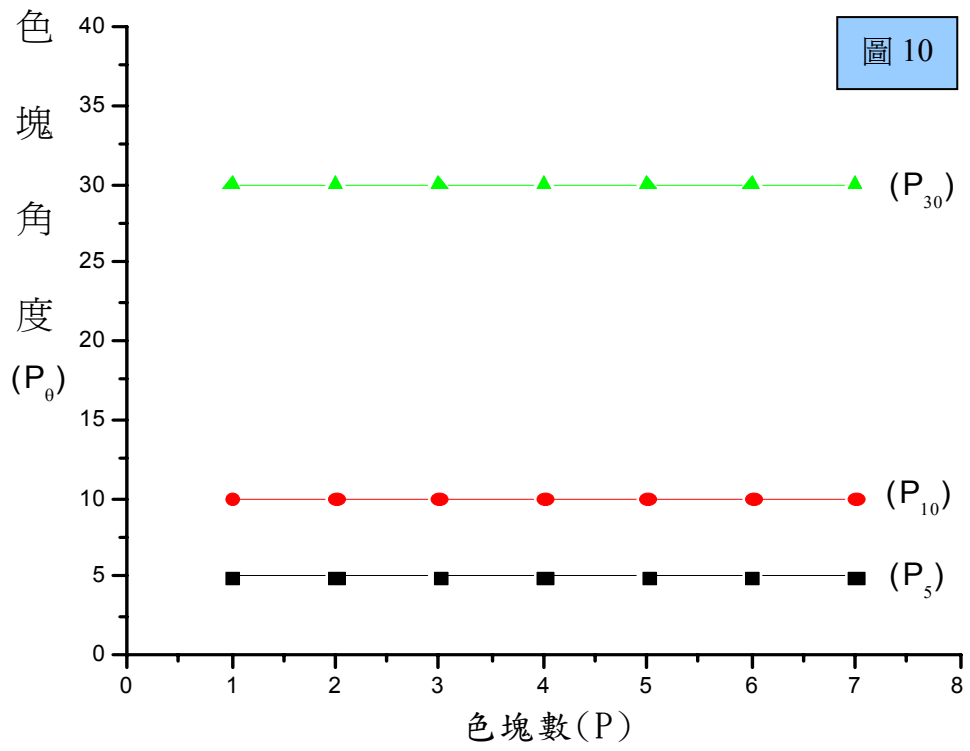
4. 雖然在圖 5 上的點符合經驗式 A，但符合公式的點，卻不一定在圖上找得到。而且以簡單的幾何分析，可以得到色塊的角度 $P_{\theta}=180^{\circ}/P$ 。但是常常有例外出現。(例如 D_1 在 $R=60\text{Hz}$ 時找不到明顯色塊)

例如：



5. 如果將 D 系列的紙盤改為 d 系列的紙盤 (圖 1 1)，結果很顯然的，不管是 d_5 、 d_{10} 、 d_{30} ，在 $R=[120, 10]\text{Hz}$ 之間，皆符合經驗式 A 的： $P \times R = f \times m$ ，而符合公式的點亦可在圖 9 上找到。而且深色塊的角度和白色紙盤的白色區域的角度一樣，不因轉速改變 (如圖 1 0)。





P₃



P₄



P₅



P₆



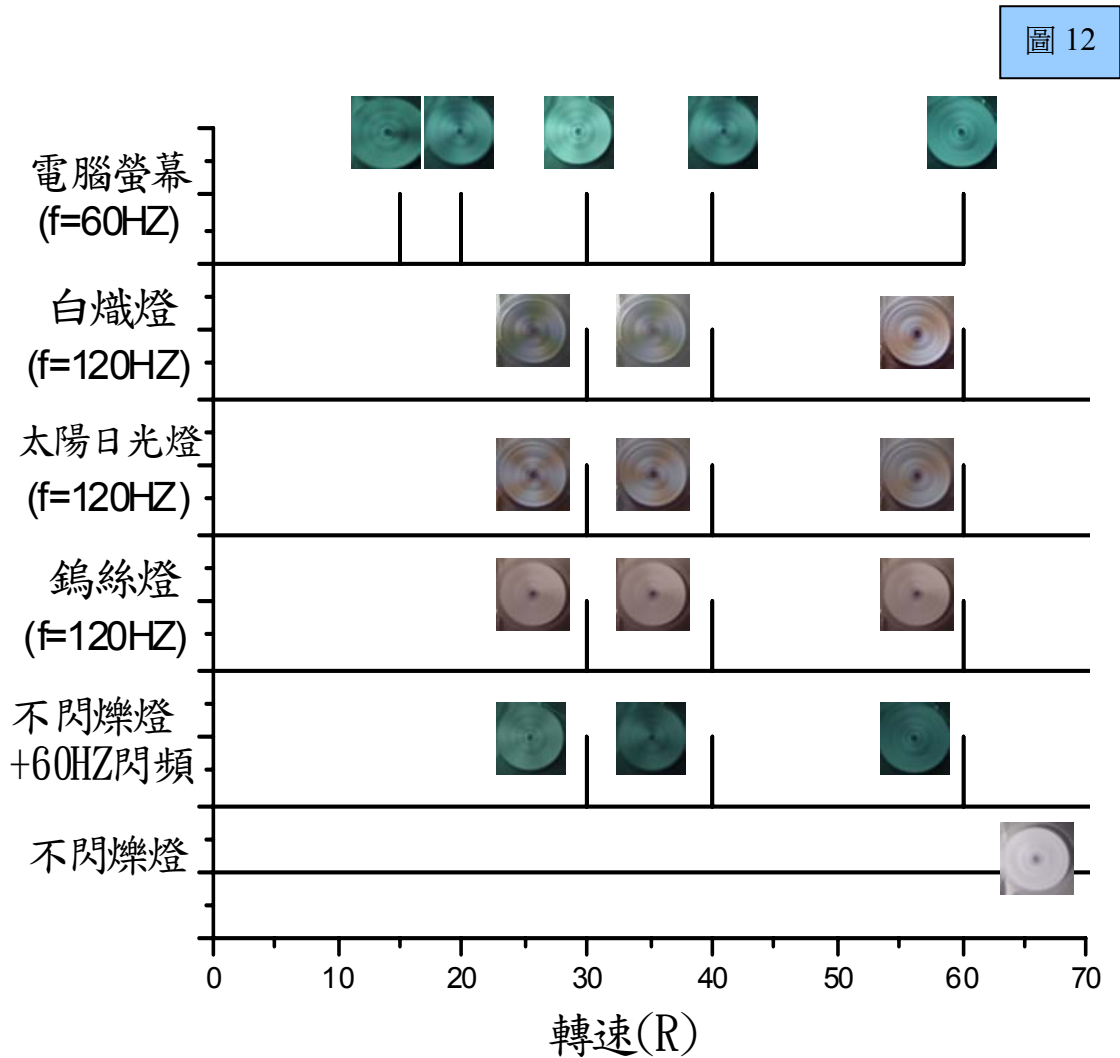
P₇

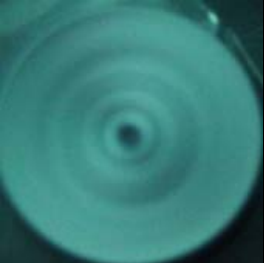
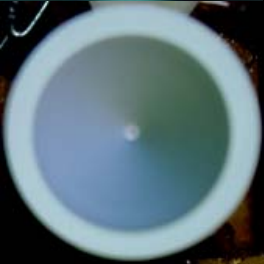






6. 但奇怪的是，在 d 系列中，若原本紙盤中白色的部分，在旋轉後，反生成深色的色塊。

二、在實驗二中，我們為了進一步了解 Prevost 圓盤產生色彩的機制，於是對光源做了一系列的研究，並將結果分述如下：

1. 顯然的，由圖 12 可以得知。如果想在 Prevost 圓盤中看到色彩，則必須使用白熾燈、日光燈等等為光源方可。



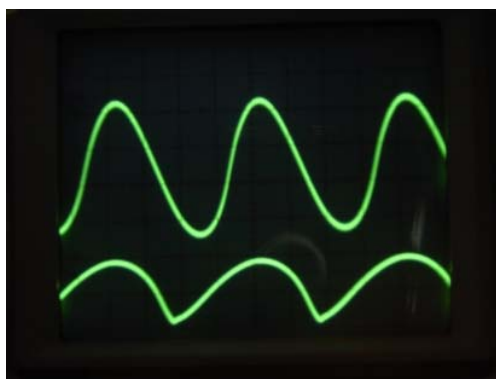
光源	頻率	實驗結果	文字敘述
電腦螢幕	60Hz		白色底、黑色條紋
白熾燈	120Hz		綠色、藍色、白色條紋
日光燈	120Hz		紅色、藍色條紋
鎢絲燈	120 Hz		棕色底、暗棕色條紋
不閃爍燈 +60Hz 閃頻	60 Hz		黑白色塊，無色彩
不閃爍燈	0Hz		白色底、無條紋

2. 若光源是閃爍光源，但不是白熾燈及日光燈種類，則在 Prevost 圓盤上，亦可形成色塊。不過這個色塊只能是具黑白兩色為主。

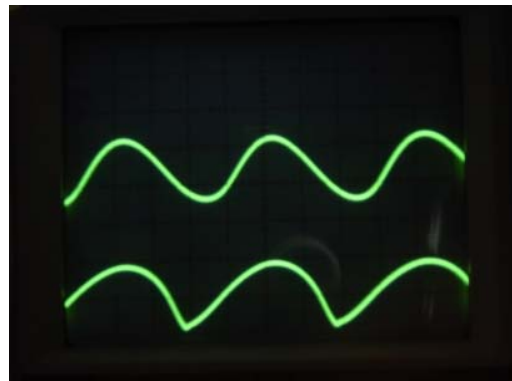
3. 為了更清楚了解各種光色的亮度在瞬時間的變化，我們用光敏電阻 (cds) 外接示波器，觀看其波形隨時間的變化 (如圖 13)，但因為 (1) 光敏電阻的電阻值是隨亮度增加而減少，並且 (2) 對 red、green、blue 等三原色靈敏度不同 (如圖 14)，因此無法由示波器得到正確的亮度波形。

圖 13

白熾燈波形



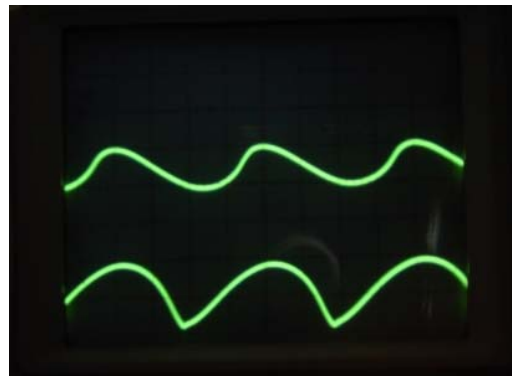
原始



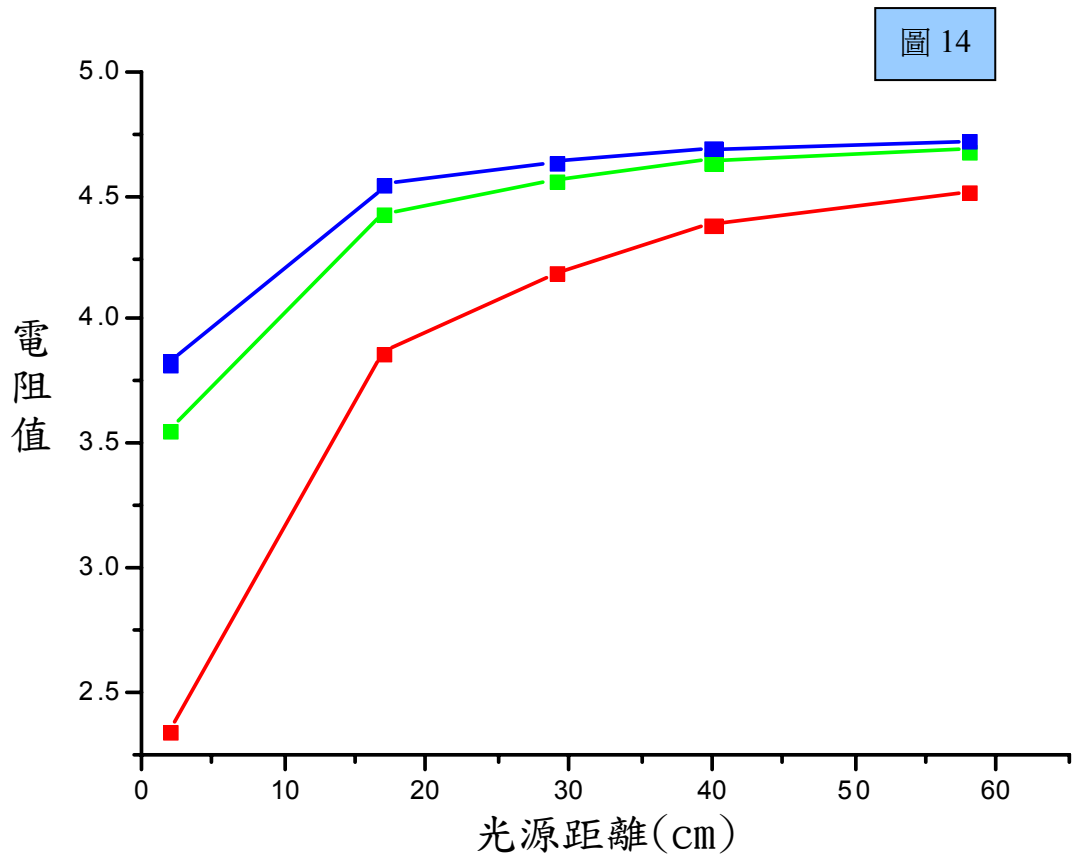
加上紅色濾光片



加上綠色濾光片



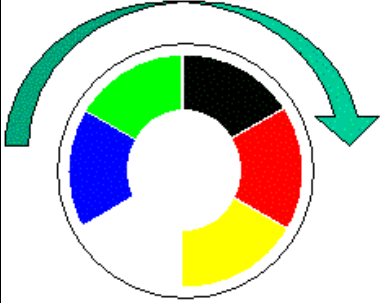
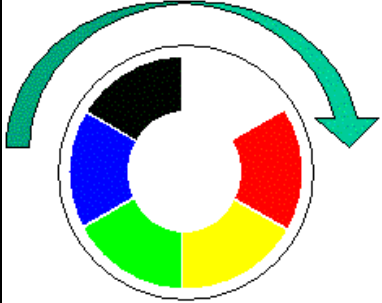





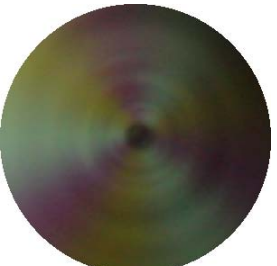
加上藍色濾光片



三、在實驗三中，我們利用自己產生的閃爍光源，觀看在此種光

源下。Prevost 圓盤所反映的顏色，並將實驗結果分述如下：

1. 由圖 15 可以得知 d_{30} 在兩種具有不同時間光譜的光源照射下各自呈現不同的顏色，而且在轉速不同的情況下，其表面的顏色亦不同。

圖 15		
	濾光盤 R=25HZ 紅→黃→白→藍→綠→無	濾光盤 R=75HZ 紅→黃→綠→藍→無→白
R=15Hz		
R=17Hz		
R=25Hz		

2. 另外，若將圓盤挖空，並反向觀看光源（白熾燈），亦可以看到色塊的產生，如下圖所示，而且尚可觀察到”宛若”水波條紋的明亮條紋出現（如圖 16、17）

圖 16

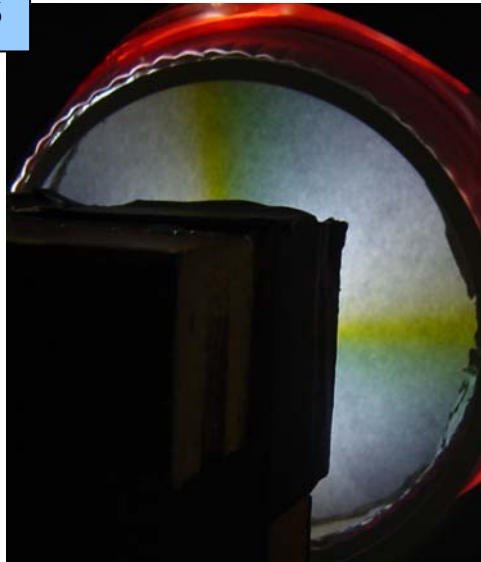
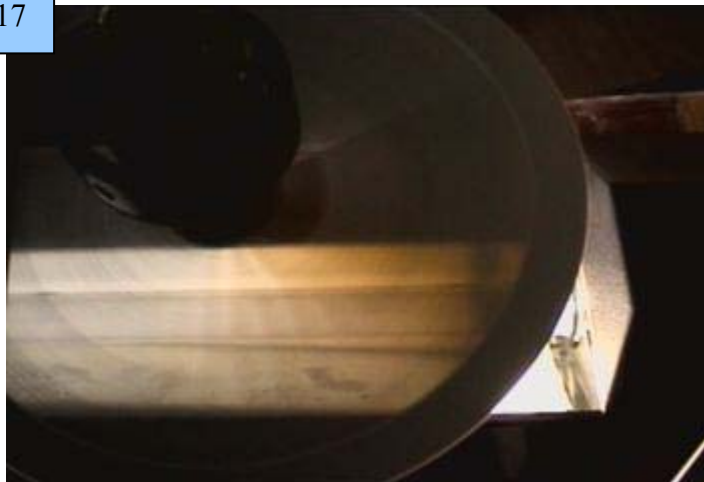



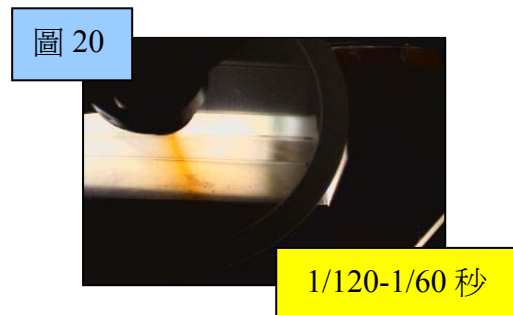
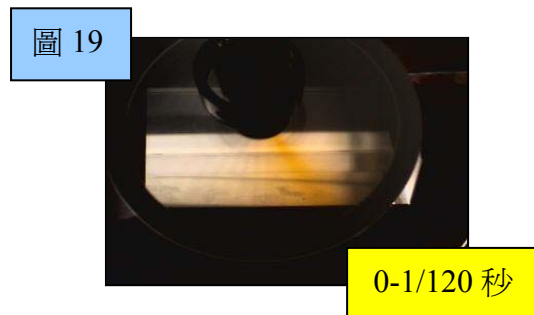
圖 17



四、從實驗四的結果我們可以看到，紙盤 r_3 、 r_5 及 r_{30} 時的波紋實驗變化（如下圖）

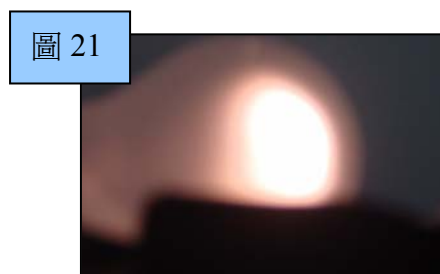
圖 18			
紅色部份	4 cm	4 cm	1.5 cm
紅線寬度	1 cm	1 cm	0 cm
白線寬度	1 cm	1 cm	0 cm

2. 如果改變觀測位置，則可發現在 $0-1/120$ 秒內是燈管的一側有波紋，另一側沒有波紋。但在 $1/120-1/60$ 秒內，則剛好相反。

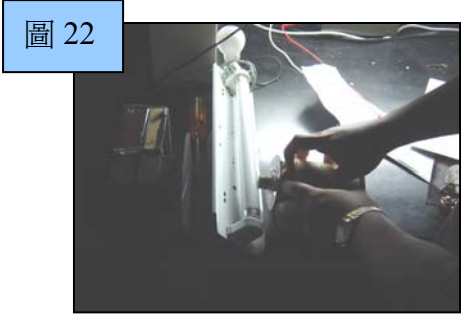


3. 如果我們改換光源，如鎢絲燈，則沒有波紋產生，如下

圖



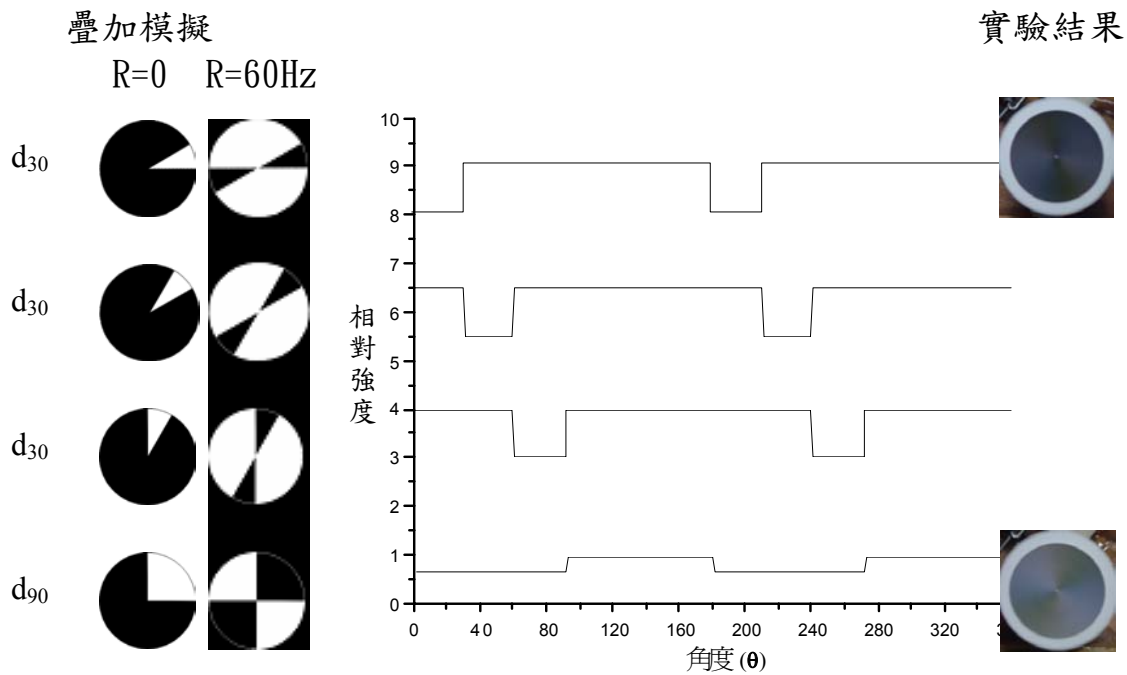
4. 加上磁場時，其波紋會有出在磁場開關的瞬間急速跳動的現象出現



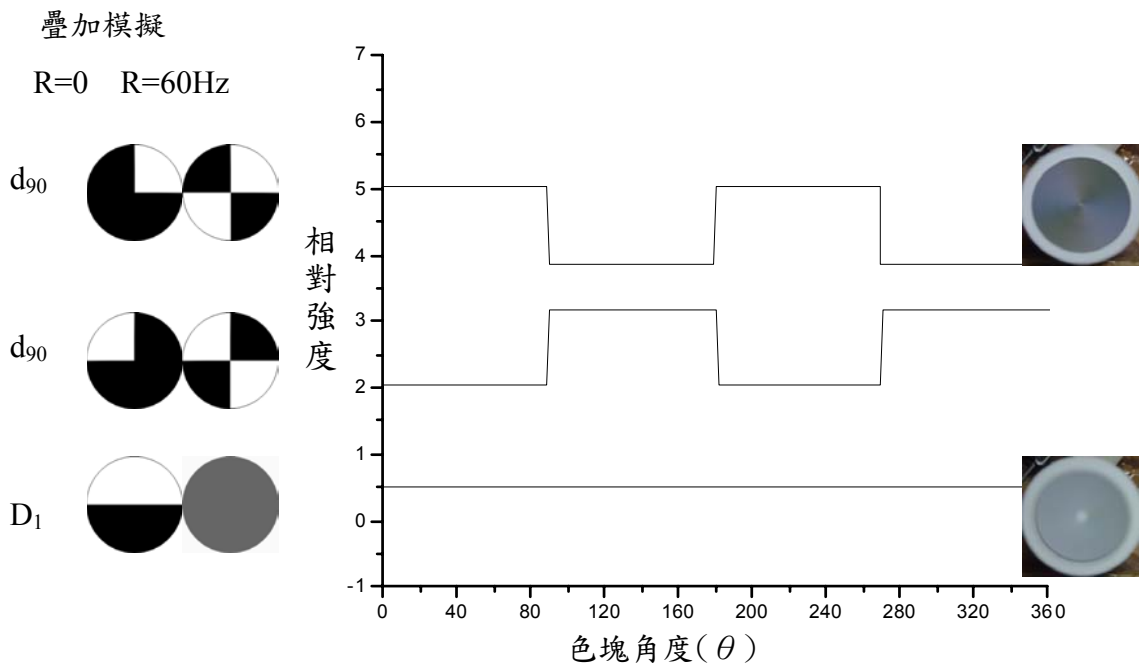
陸·討論

一·色塊形成的理論說明

1. 由實驗一的結果顯示，經驗式 A 並不能完全解決色塊形成的問題，在經過多次的嘗試錯誤後，我們發現可以用 Part-1B 的結果進行疊加。疊加後的結果和實驗結果極為相似，舉例來說，我們想知道 d_{90} 在 $R=60\text{Hz}$ 的色塊分布，那麼，我們可以用三個 d_{30} 在 $R=60\text{Hz}$ 時的顏色分布疊加，而且看來相似度很高，如下所示：



而如果我們想知道 D_1 在 60Hz 時的色塊分布，我們可以用兩個 d_{90} 來進行疊加，其結果如下所示：



而從前二例可以得知，經驗式 $P \times R = m \times f$ 失效的原因，並不是該式子不成立，而是其結果因重疊效應給“掩蓋”了。

2. 顯然的，如果我們知道 d_i 在不同轉速下的色彩分布，那麼我們可以用疊加原理得到不同 w 值、而由疊加的 d 一系列色塊圖形，更可得到 D 一系列的圖形，故由此推論，可以得到兩個特別的結果：其一是：若圓盤上的色塊，互相不重疊的填補畫面，則色塊將失去對比色而消失。(如圖 24)



其二是，若圓盤上的色塊完全重疊，則色塊將因對比色清楚，而極易辨別。(如圖 25)

圖 25



D₅ R=24Hz

舉例來說：在 D 一系列中，若其產生之色塊數 P 和 q 相同，則會因對稱和完全重疊而呈現最大亮度差，又

$P \times R = m \times f \Rightarrow$ 故最大亮度差發生在 $P \times q = f$ 時。

3. 為了方便起見，我們在不考慮 d_1 的色塊圖形的重疊問題之下（只需轉速不要太低即可），直接使用疊加原理，故可得 d 一系列中，任意角度的色塊分佈方程式，同理，亦可得 D 系列中任意 x 值的色塊分布方程式，再寫入電腦程式中，即可快速得到結果，而不須繁雜計算。方程式如下：

$$T(\theta) = \sum_{q_i=0}^{q-1} \sum_{p_i=0}^{p-1} S(\theta) \left[\begin{array}{c} 360^o \left[\frac{p_i}{p} + \frac{q_i}{q} \right] + k \\ 360^o \left[\frac{p_i}{p} + \frac{q_i}{q} \right] \end{array} \right] / p \times q$$

p = 色塊數目

q = 黑白對數

s(θ) = step function

T = 色塊分布方程式

定義 $s(\theta) \left[\begin{array}{c} a \\ | \\ b \end{array} \right]$ 指若 $b \leq \theta \leq a$, 則 $s(\theta) \left[\begin{array}{c} a \\ | \\ b \end{array} \right] = 1$

$K = \frac{180}{q} \dots D$ 系列

= $W \dots d$ 系列

= $S \dots r$ 系列

二· 色彩形成的理論說明

- 1 · 從實驗二的結果看來，好像要有色塊產生，則光源至少須要有閃爍的條件，但在實驗二-2 中，我們發現若將黑也視為一種顏色，則光源成為一種沒有閃爍，而只是黑白交換的連續光源，而盤上也將會出現具有顏色的 pattern。
- 2 · 近來光波在時間軸向的分布，愈來愈受到重視【5】【6】，但我們從以上的推論發現：若紙盤上要有顏色產生，不僅光源在時間軸向上須有亮度變化，而且外加光源的顏色，必須隨時間變化而變化。也就是說，該光源“宛若好像”有光譜分布在時間軸上。於是我們稱之為“時軸光譜”

(time-axis spectra 圖 26)。

圖 26



- 3 · 由許多文獻得知〔7〕〔8〕由於光波變動的速度很快所以我們看到的顏色亮度都是一個時間區段的平均值。
- 4 · 由上述之推論，若已知時軸光譜的方程式 $g(t)$ ，那麼便可利用一些積分技巧，畫出盤上的顏色分布。因此，如果有一個具有時軸光譜 $g(t)$ 的光源照射在 d_{30} 的紙盤上，那麼在盤上某一點顏色，應該是 $g(t)$ 在某一段的平均值，以此例來說。若將圖 27 的紙盤以 $f = \frac{1}{T}$ 的頻率旋轉，那麼點 x 上的顏色應該就是 $g(t)$ 上在 $\left[\frac{11}{36}T, \frac{14}{36}T \right]$ 之間的顏色平均，而如果寫成一

般式，則右盤在旋轉後點 x 的顏色分布，為

$$w(t) = \frac{1}{\Delta \theta} \int_x^{x+w} g(t) d\theta \quad \text{——顏色公式 B}$$

但此方程式不好解，因為我們並不知道 $g(t)$ 的形式，不過還好電腦程式幫我們計算（直接算三原色的個數及強度），那問題就變得很簡單。舉例來說，知道日光燈的時軸光譜，就可以模擬其顏色的分布。

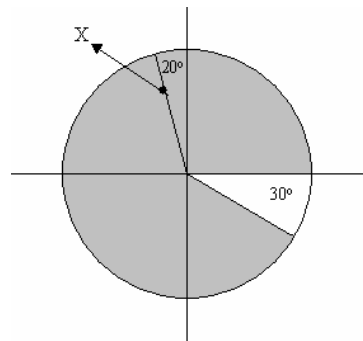


圖 27

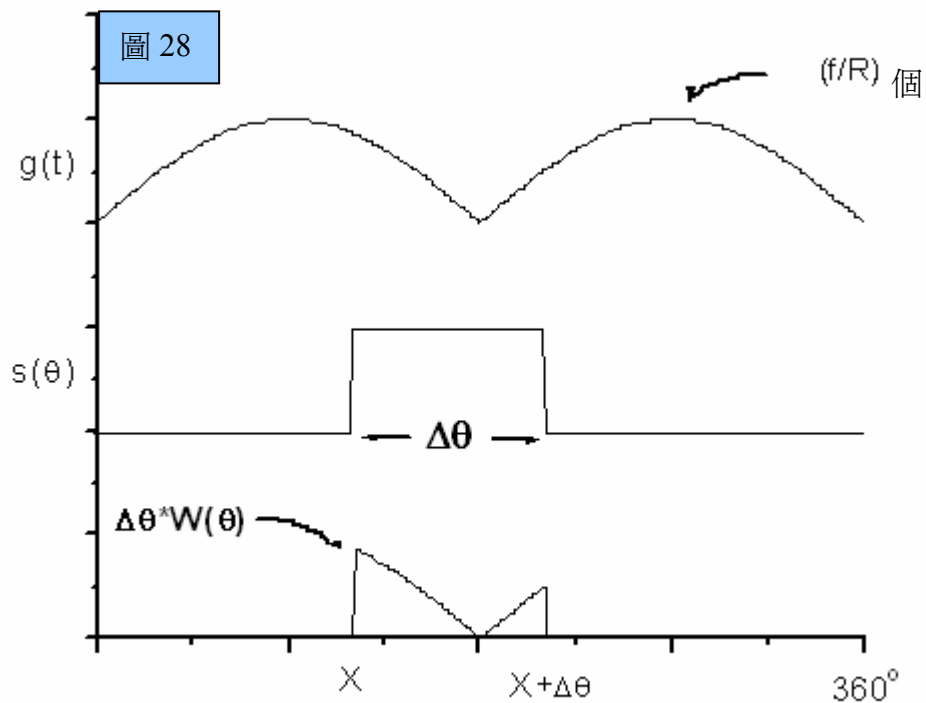
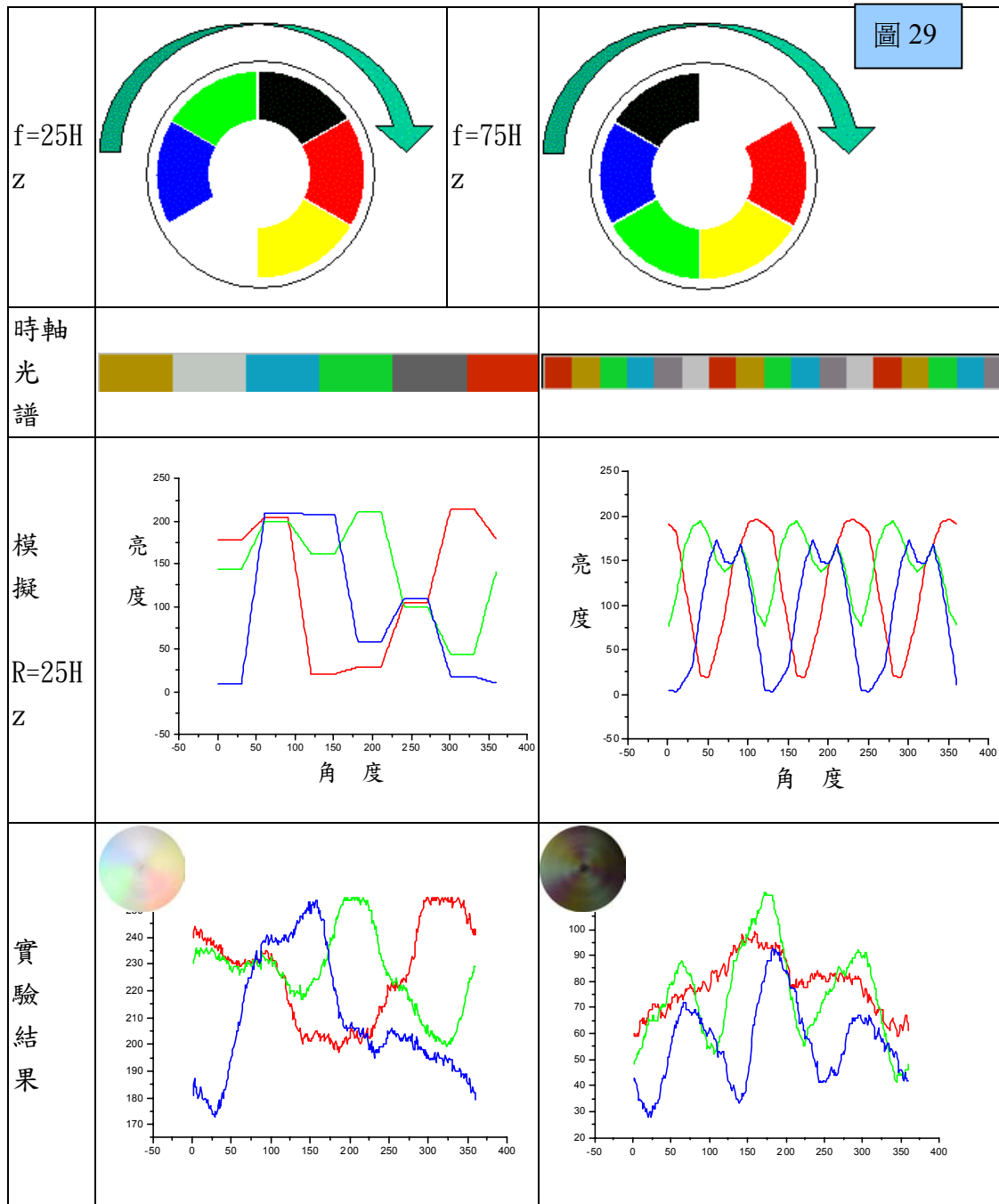


圖 28

三·從上述顏色公式 B 中，我們可以馬上看到兩個結果：

其一就是剛才我們推論的，若已知時軸光譜 $g(t)$ ，以及 W 的值，那麼圓盤上任一點的顏色和轉速的關係，即可得知這個推論，可以從實驗三 Part-A 的數據獲得證明（如圖 29）。

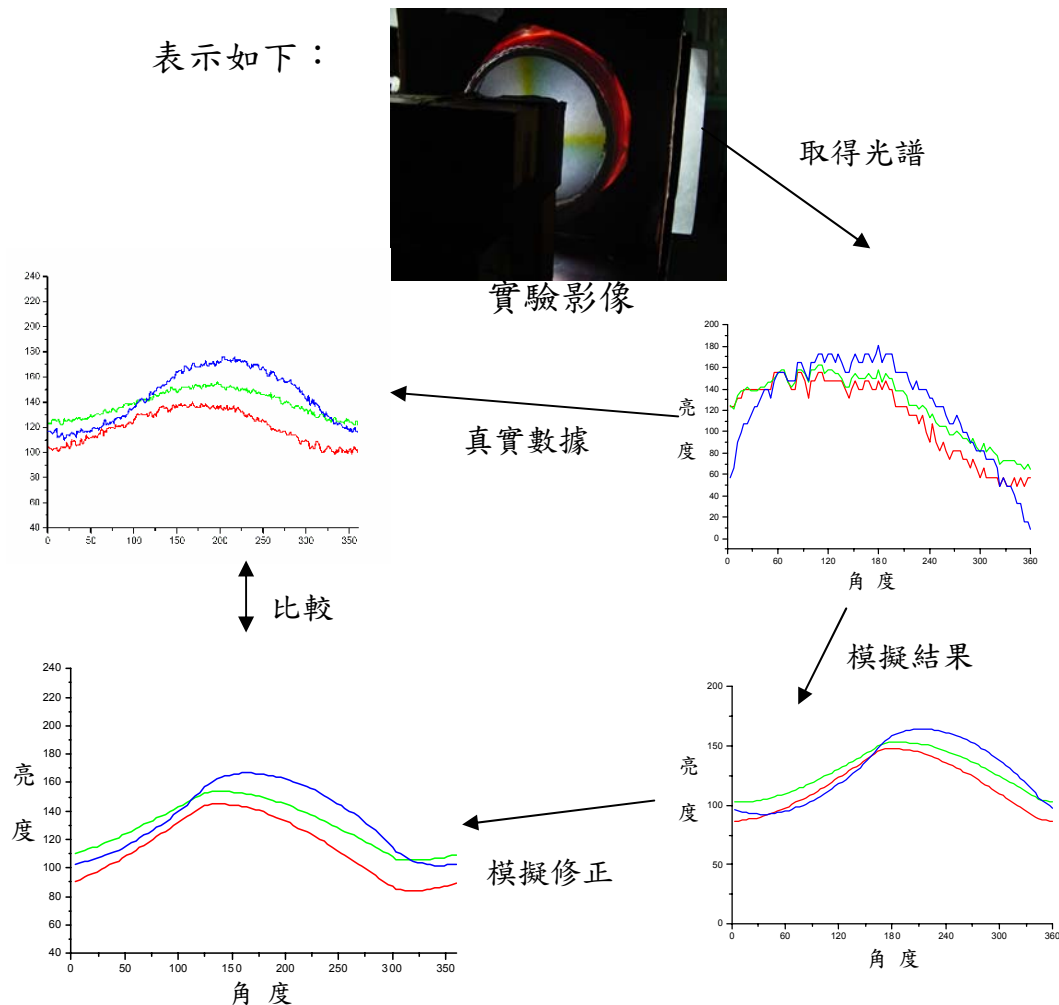


其二就是當公式C中的 $W \rightarrow 0$ ，則 $w(t) = \frac{1}{\Delta\theta} \int_x^{x+w} g(t) d\theta = g(t) \Rightarrow W(t) = g(t)$

也就是說，如果我們使 d 系列圓盤上的白色扇形縮得很小，那麼，我們即可看到 “整個時軸光譜”，而不是 “平均的時軸光譜”，但是如此一來會因反射光太小，而使顏色對比太弱以至於無法分辨。於是我們採用鏤空的 r 系列圓盤，直接觀察光源，便可獲得較好的實驗結果。

而由實驗三 part-B 的數據顯示，我們獲得了白熾燈的”時軸光譜” 而我們亦利用公式 C 模擬 D1 R=120Hz 時的情形，

表示如下：



三、關於圓盤上的第二道彩虹—時軸波紋

1. 可以在 Prevost 圓盤上看到第二條波紋，實在令人意想不到，但由於不是一般常見的物理現象，而且也不易於觀測，所以到目前為止，我們對時軸波紋的發生尚無確切的證據。

2. 會不會是因為繞射引起的？我們認為不是，因為：

① r_3 的狹縫未細到有可觀的繞形成條件 [9]

② 條紋會隨時間變化而左右移動，而繞射不會。

③ 外加磁場會對波紋有所影響，而繞射不會。

3. 我們認為，最有可能的原因是來自於燈管內部的 plasma 所引起的，因為 plasma 會因外加電場而產生左右移動（實驗結果 4-2），由於離子較重，會跟不上電子的動作，所以會另外產生一個電荷吸引力，吸引電子，以保持電中性，因此產生了一個特殊的振盪頻率 ω_p （離子體頻率）[3] 而 ω_p 是微弱高頻，所以平時不易被觀測到。

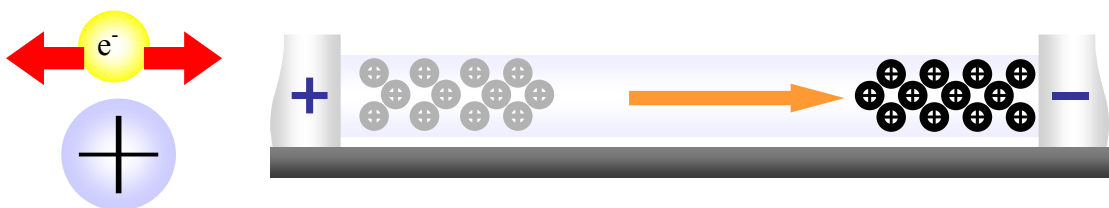
$$\text{其中 } \omega_p = \sqrt{Ne^2 / m \epsilon_0}$$






N ：指平衡時的電子密度

e ：電子電荷

m ：電子質量

ϵ_0 ：介電常數



現象	解釋
<p>波紋會隨時間改變出現位置</p> 	<p>因為交流電會隨時間改變電流方向，使得正離子隨著電流的負極移動，而造成波紋出現的位置隨電流方向不同而變動。</p>
<p>紅色條紋特別寬</p> 	<p>因為日光燈啓動的瞬間，能量很低，僅能形成較少的電漿離子。而由公式中得知，電漿的濃度越低，電漿頻率也越低，所產生的條紋就越寬。</p>
<p>改用鎢絲燈看不見條紋</p> 	<p>因為鎢絲燈不靠電漿發光，所以不能產生波紋。</p>
<p>外加磁場時波紋會急速跳動</p> 	<p>因為在日光燈管中移動的離子會被外加磁場影響，所以外加磁場時波紋會急速跳動。</p>
<p>紅色區塊前端仍有少量波紋</p> 	<p>當負極的電壓由極大值下降時，會因之前吸引了過多的正離子，使得負極端的總電位由負轉正，讓管內的正離子反向正極端集中，因而能看到波紋。</p>

柒、結論

1. 在本次實驗中，我們主要探討在 prevost disc 上能由黑白條紋變成彩色圖紋的神奇機制為何？也討論這些彩色圖紋出現時的分布法則和本身結構組成的限制。
2. 在 prevost disc 上所形成的顏色色塊、其區塊大小理應固定，但實驗結果並非如此，原因是圖像的重疊現象所造成，但另一方面。我們卻可以反過來利用已知的重疊效應，去推估實驗結果。
3. 在 prevost disc 上所形成的顏色，其主要的的原因有兩個，一是光源的“時軸光譜”為如何分布，另一個則視轉盤的旋轉頻率而定，其運作模式，則以轉盤的旋轉頻率對光源的時軸光譜進行截取。而此時在轉盤上的顏色，則為此段截取的顏色的總平均值。
4. 另外，我們在這次實驗中，不僅看到了 prevost disc 將黑白變成彩色的神奇效果，同時也看到其所呈現的色彩圖紋中，尚有一連串像水波波紋出現。而且奇特的是該波紋並不是在空間軸向形成，而是分布在時間軸向上，故我們簡稱他為“時軸波紋”。經由實驗分析後發現，此波紋的產生並非來自於繞射或干涉，而應該是日光燈管內的 Plasma frequency 所引起。

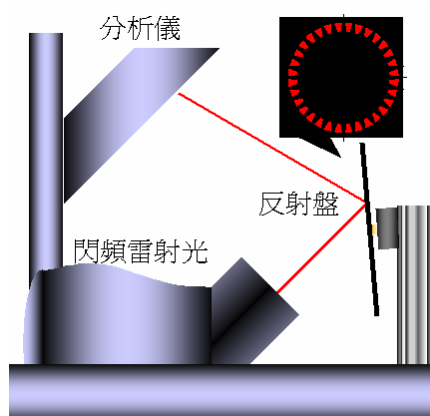
捌、應用與展望

關於這次的研究內容，我們覺得十分有趣，但也因此留下更多的疑問。例如形成**時軸波紋**的真正原因為何？若將圓盤改為條狀後，其現象是否依然明顯…

但因為實驗儀器及時間的因素，使我們不得不就此打住，希望以後能有機會再作更深入的研究，以下我們列舉了一些 prevost disc 的有趣應用：

1．提昇飛秒分析的層級：

因為 prevost disc 可以將具有閃頻的 Laser 分布在廣大的空間中，讓人們更好分析。



2．視覺密碼：

將所要知道的顏色變化，藏在白光（或其他混合色光），使敵人不能接收。

3 · 精密測量：

由於 prevost disc 上的圖像會因外界之微小擾動而旋轉，故以 $R_1=1000\text{Hz}$ (基準) 及 $R_2=1001\text{Hz}$ 為例比較，則兩者每秒相差一圈，故可準確到 10^{-3} ，若 $R_2=1000.0001\text{Hz}$ ，則 10 秒後，圖像差距達 0.3 度以上 (達可辨識範圍)，其兩者誤差可達 10^{-7} ，是極好的頻差測量儀！

4 · 辨識光源種類：

因為在 prevost disc 上，如果有色塊形成，則有閃爍燈源，反之則否。如果有色彩形成，則可知其光色究竟是以紅黃為主、還是藍綠為主。

玖·參考資料：

- 1 · The Retin theory of Color Vision, by Edwin H. land ,
Scientitfic American 237-108 .1977 Page108-128
- 2 · Color me Human , by Vincent P. Mallette, Optics &
Photonics News / 1996 Page 44-45
- 3 · David J.Griffits “Introduction to Electrodynamics”
Second Edition, Prentice-Hall International , Inc
(摘自科學刊物)
- 4 · 台大物理實驗手冊 (理學院、物理系) 1999
- 5 · 經典現代光學(易明/台灣高等教育出版社)民 84. 2. 15 page
237-242
- 6 · 視覺圖形也有頻率性 (莫淑麗/科學月刊 第十三卷第十期)
民 71.10
- 7 · 色彩與視覺,(陳君彥/中華民國光學工程學會會刊) 第 57
期 86.3
- 8 · 彩色和視覺(牟中原/科學月刊第十四卷、第十二期)民 72.12
- 9 · 近代光學 (李冠卿/大學科學叢書) 民 76.10 page 108

[註一]

各家說法

項目 提出解釋	解釋的來源	疑點
光源閃爍頻率為 60Hz	Optics & Photonics News / 1996 page 45	1 · 日光燈為 120Hz。 2 · 電腦螢幕閃爍頻率為 60Hz 但沒有顏色。
三原色的 閃爍頻率不同	物理馬戲團 Q&A III	經測頻器測得其三原色光源之振動頻率為 120Hz。
原因不明	1. 伽利略工房 II 2. 科學月刊 (2000.10)	不予置評。

評語

作者具有強烈的好奇心與探究的精神，對實驗很投入及用心。能找出黑白兩色之轉盤旋轉時出現色塊的原因是螢光灯的光譜會隨時間改變，配合轉盤之頻率（由白色部分的反射）所形成，推論合理。而將 prevost 圓盤上的第二條波紋歸因於灯管的 plasma 則有待證實。結論下得快較不符合科學態度。