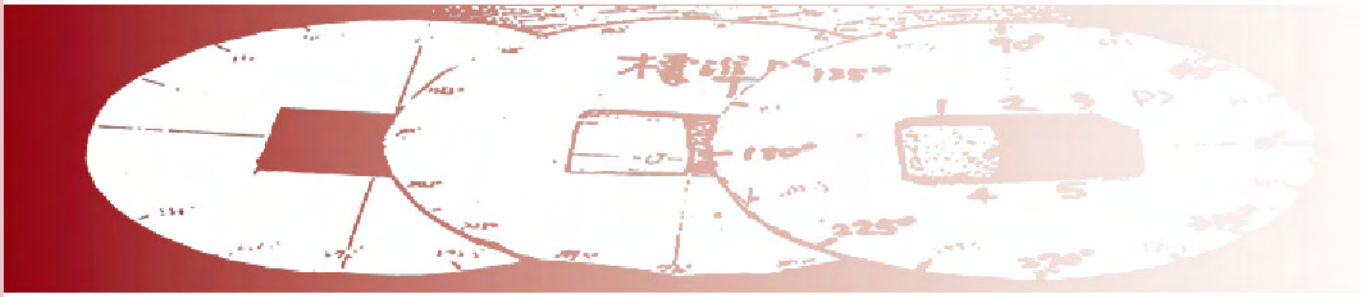
神奇的偏光效應
—透明變彩色

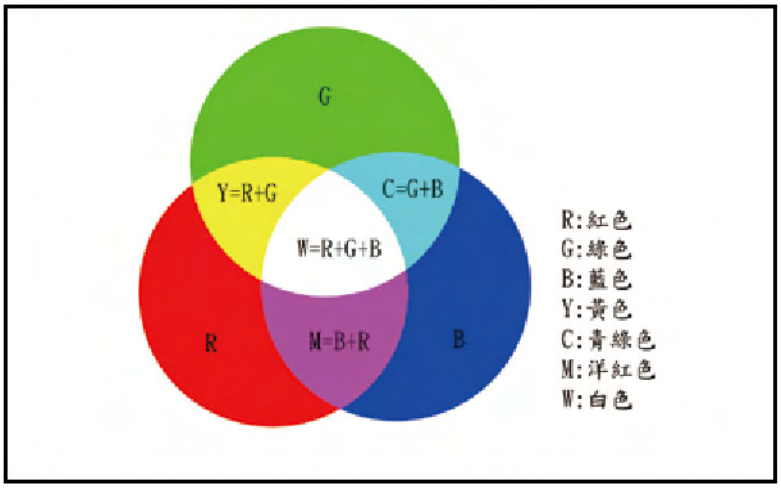
文：李義評、紀慶隆　臺中市龍海國小教師
林家君　彰化縣大同國小教師
吳守仁　彰化縣伸仁國小教師



前言

有一天上自然課下課時，老師拿了一些看立體（3D）電影的眼鏡（偏光片）和貼在塑膠片的透明膠帶給我們玩。明明只是貼一些透明膠帶而已，爲什麼會五彩繽紛呢？爲什麼轉動偏光片或者塑膠片會造成顏色改變呢？真是太神奇了。同學們對那些五顏六色的現象，簡直又驚奇又興奮。到底是怎麼做的呢？又可以怎麼應用呢？

查詢資料，鄭老師的科學萬花筒中，說明不同的膠帶，因爲厚度、韌性、層數、結構、及偏光片的角度不同，產生的光彩顏色也不相同。光透過膠帶後爲什麼會有彩色出現？林教授說，玻璃紙膠帶或玻璃紙，在製造形成紙狀過程時，其分子會被排列而形成具有沿著膠帶長與寬方向的雙折射（ Birefrigence ）特性。對於入射光爲白光而言，經歷以上過程某一色光會被散射或吸收掉，因此我們所看到的折射光便是它的互補色光，自然便出現彩色了。



圖一 色光混合圖，紅光+綠光=黃光，黃光的互補色爲藍光，對應互補色的光可混合成白光，如 黃光+藍光=白光。

所需材料

起偏片（P1）、檢偏片（P2）、膠帶片（T）的製作：

材料：瓦愣紙、美工刀、偏光鏡（觀賞立體電影用）、圓規、鉛筆。

1.先將一張瓦愣紙畫三個直徑10公分的圓。

2.再將三個圓剪下來。

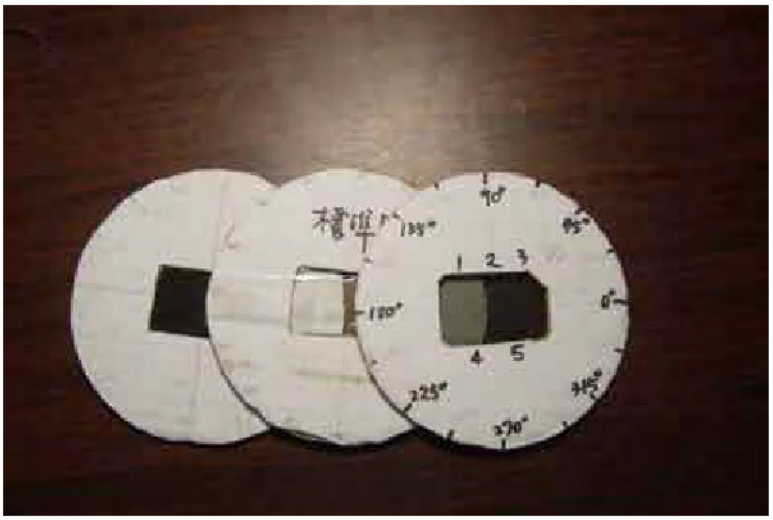
3.然後，把偏光鏡片取下來，把框框留下。

4.再把三個圓畫上刻度。

5.將邊框放在圓的中間，畫下來。

6.把尺放在線上，用美工刀小心割下來。

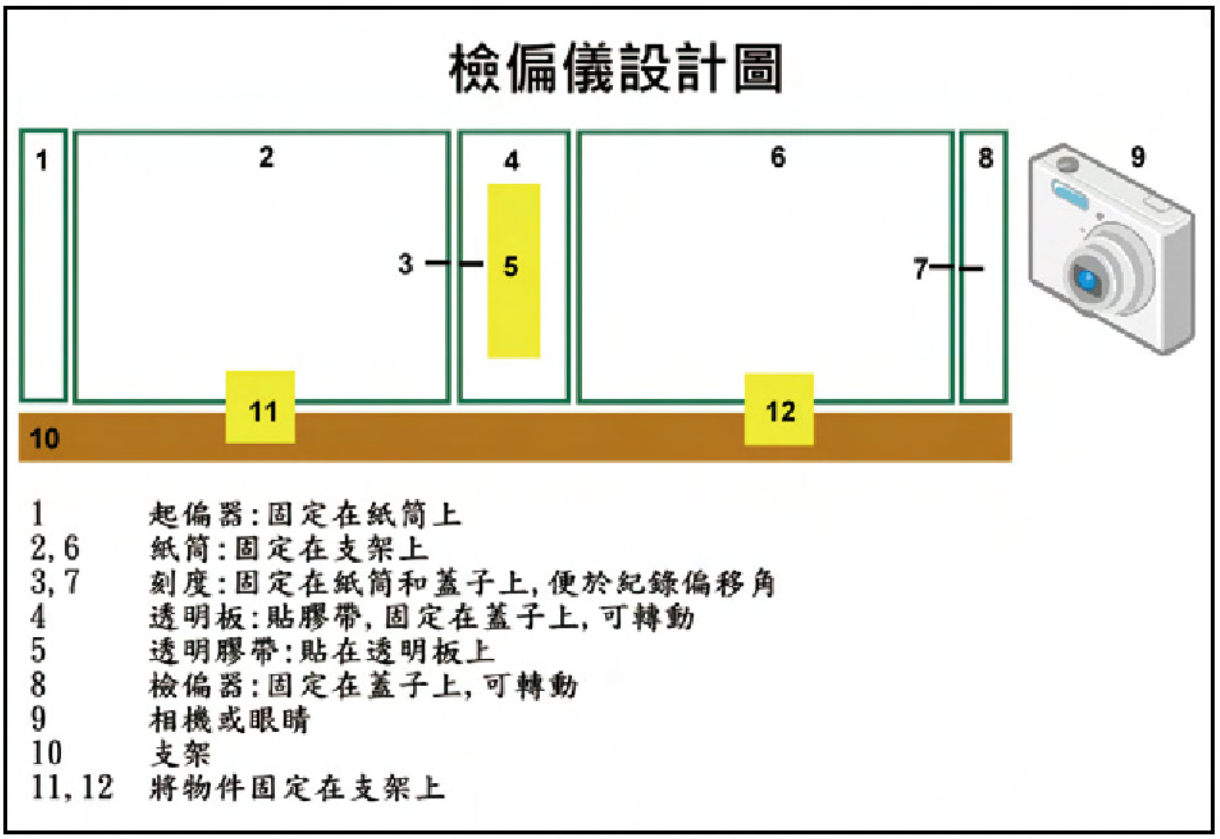
7. 再把偏光片連框剪下，貼在圓心，就完成了。其成品示於圖二。



圖二 由左至右依序為所製作完成的P1起偏片、T膠帶片與P2偏光片。

實驗方法及結果

如圖三，將圖二的三項基本元件組合成此實驗的儀器—檢偏儀。使用不同膠帶層數、旋轉起偏片、旋轉檢偏片、旋轉膠帶片及觀測角度共五種參數變化對膠帶所呈現顏色的影響。

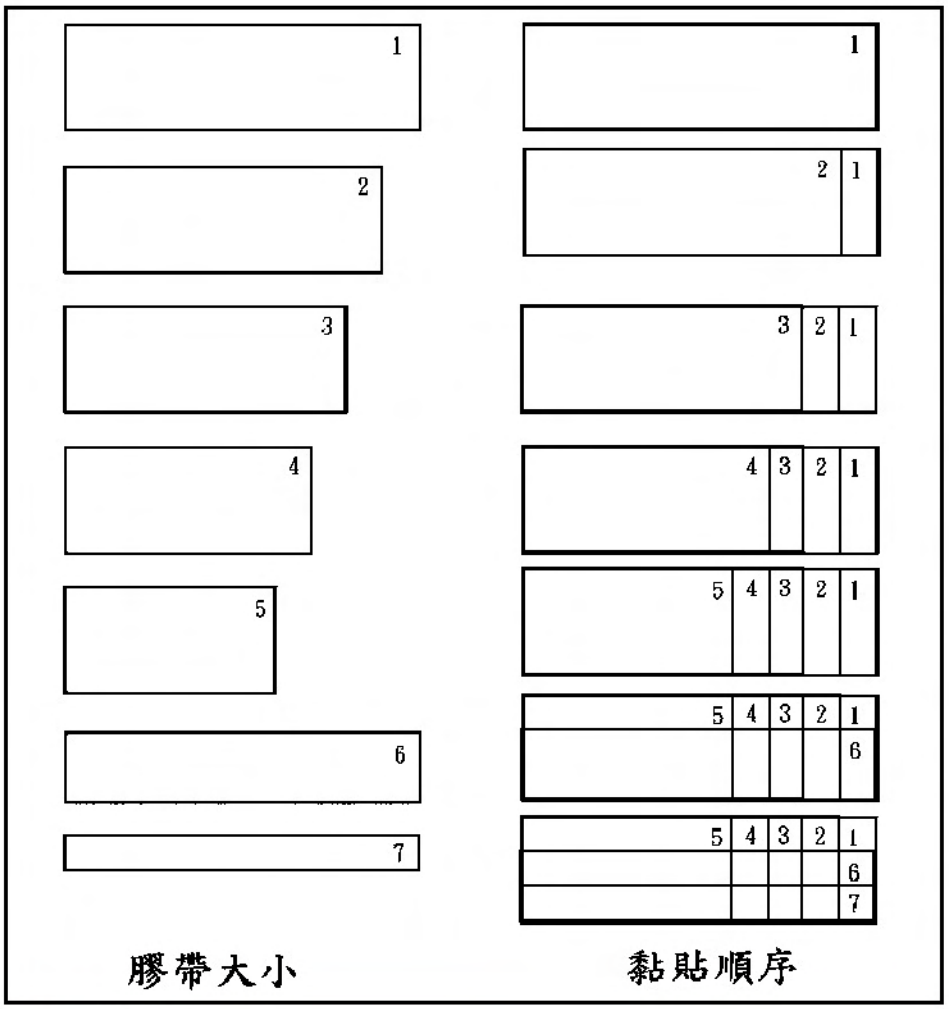


圖三 將圖二的三個基本元件加以組合固定，成為檢偏儀—即實驗的儀器，其中1即P1起偏片，4即膠帶片，8即P2即偏光片。

一、膠帶層數對膠帶顏色的影響

膠帶貼法（如圖四）：

1.先貼一整張的膠帶，2.貼第2層 ，3.貼第三層 ，4.貼第4層， 5.貼第5層，6.從下面再貼1層， 7.從下面再貼一層比剛才小1/2的膠帶。



圖四　膠帶貼法

不同層數的位置				
5	4	3	2	1
6	5	4	3	2
7	6	5	4	3

圖五

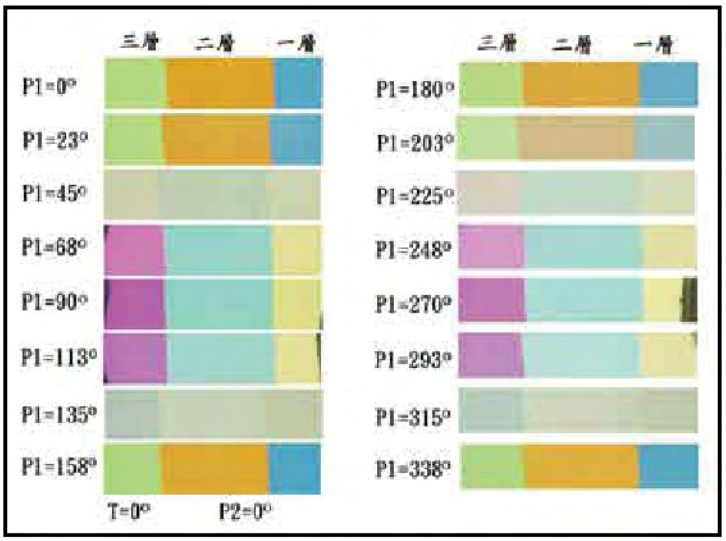
實驗結果：

如圖五，層數不同會影響膠帶所呈現的顏色；而層數一樣時，膠帶的顏色一樣。第7層和第5層的顏色很相近，但是看不出膠帶所呈現顏色在光透過不同層數時，有明顯重複的現象。

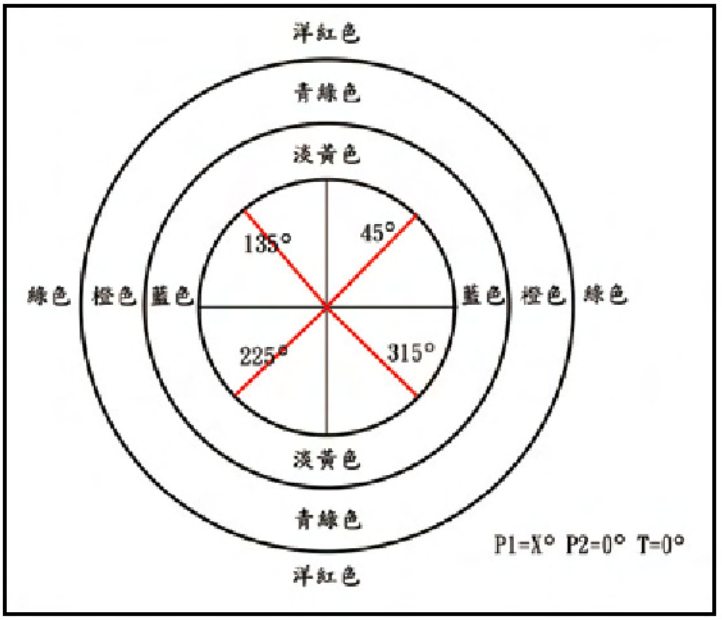
二、旋轉起偏片對膠帶顏色的影響

固定住檢偏片（P2=0），膠帶片（T=0）；旋轉起偏片（P1），每22.5度照相紀錄。

實驗結果：



圖六



圖七

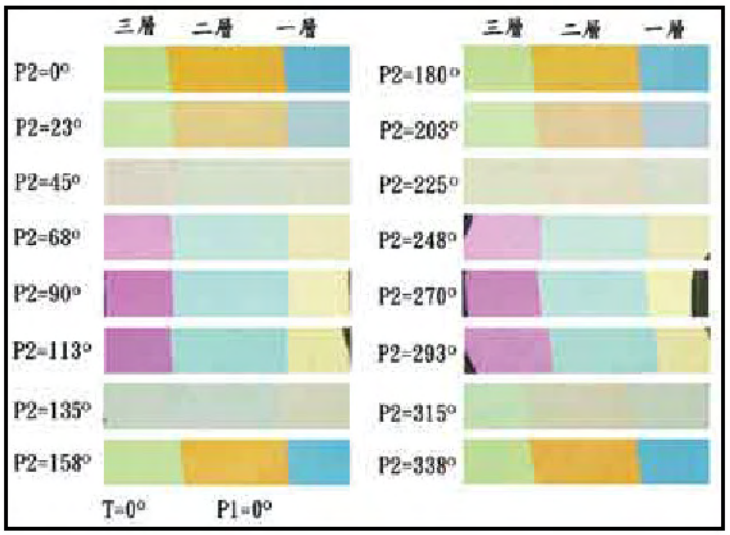
如圖六所示，顏色變化週期爲180度。任何一層的顏色都可分解成由一對互補色所

構成。隨著角度變化，顏色會由深而淡，通過無色帶，再由互補色由淺而深。兩互補色夾角約90度。將結果彙整如圖七，其中紅線區域代表無色帶。

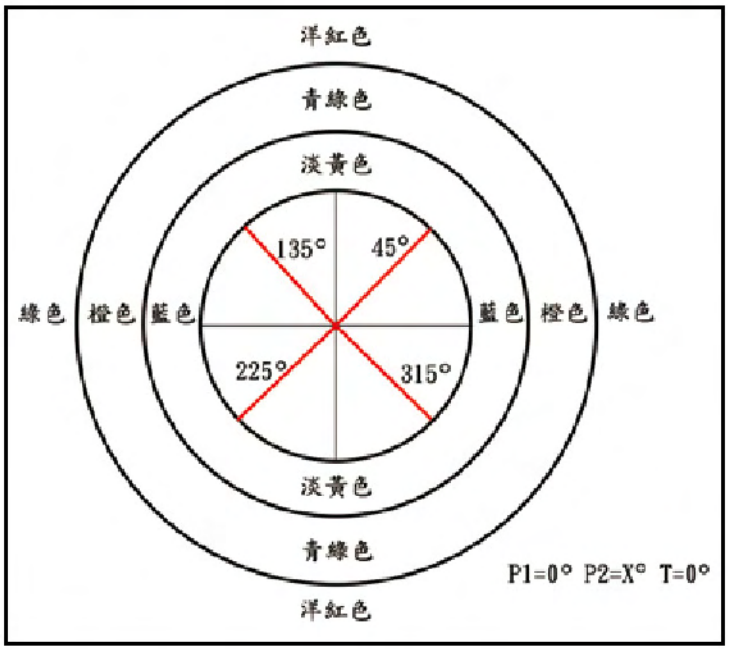
三、旋轉檢偏片對膠帶顏色的影響

固定住起偏片(P1=0)，膠帶片(T=0)；旋轉檢偏片(P2)，每22.5度照相紀錄。

實驗結果：



圖八



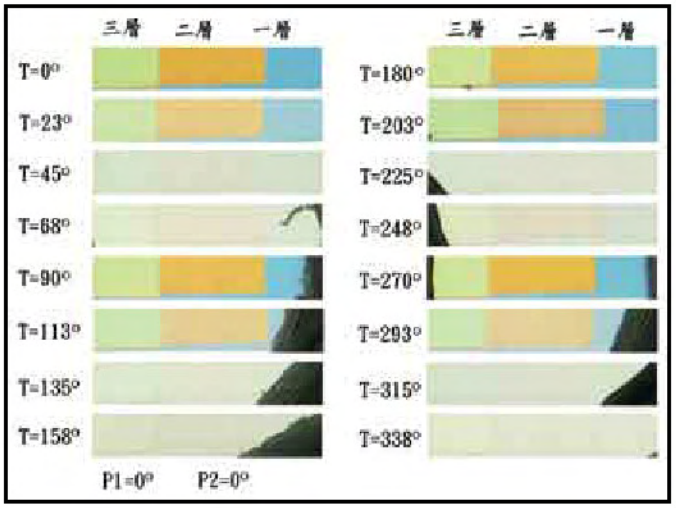
圖九

如圖八所示，顏色變化週期爲180度。任何一層的顏色都可分解成由一對互補色所構成。隨著角度變化，顏色會由深而淡，通過無色帶，再由互補色由淺而深。兩互補色夾角約90度。將結果彙整如圖九，其中紅線區域代表無色帶。

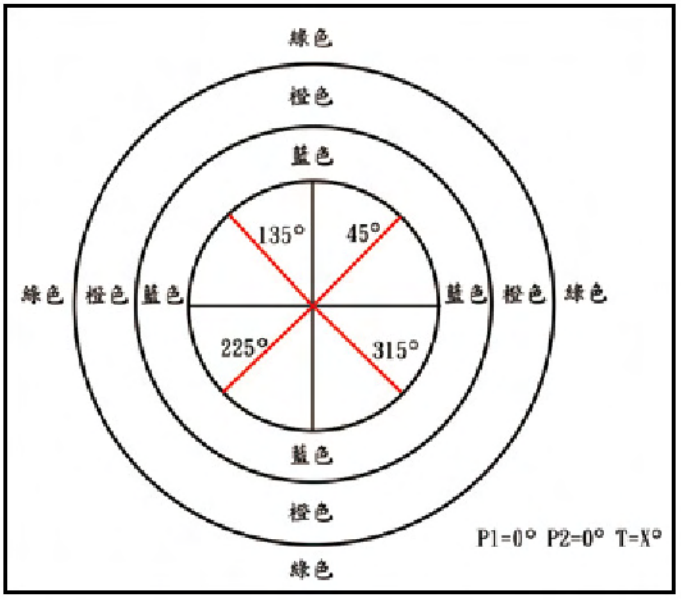
四、旋轉膠帶片對膠帶顏色的影響

圖定住起偏片(P1=0)，檢偏片(P2=0)；旋轉膠帶片(T)，每22.5度照相紀錄。

實驗結果：



圖十

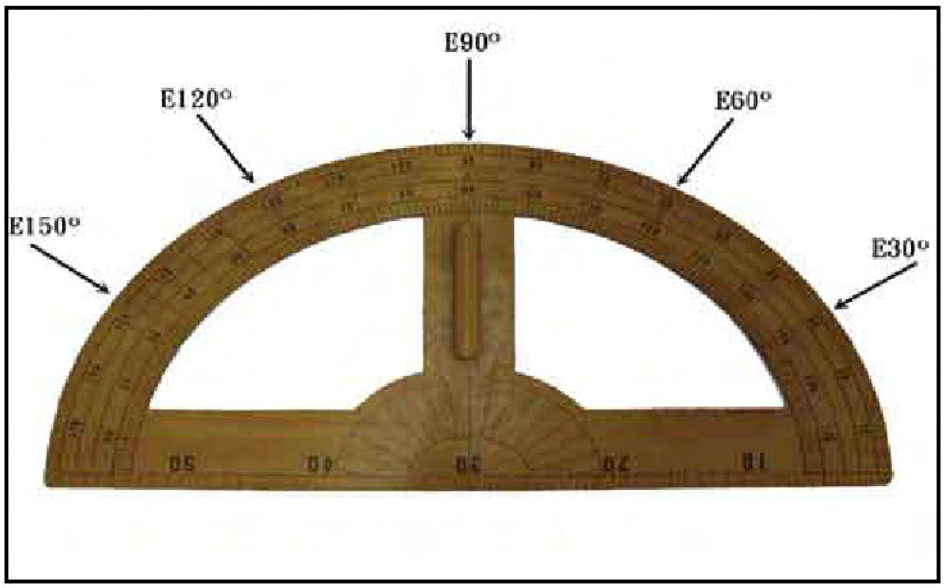


圖十一

如圖十所示，顏色變化週期爲90度。任何一層的顏色都由單色所構成。隨著角度變化，顏色會由深而淡，通過無色帶，再由淺而深。將結果彙整如圖十一，其中紅線區域代表無色帶。

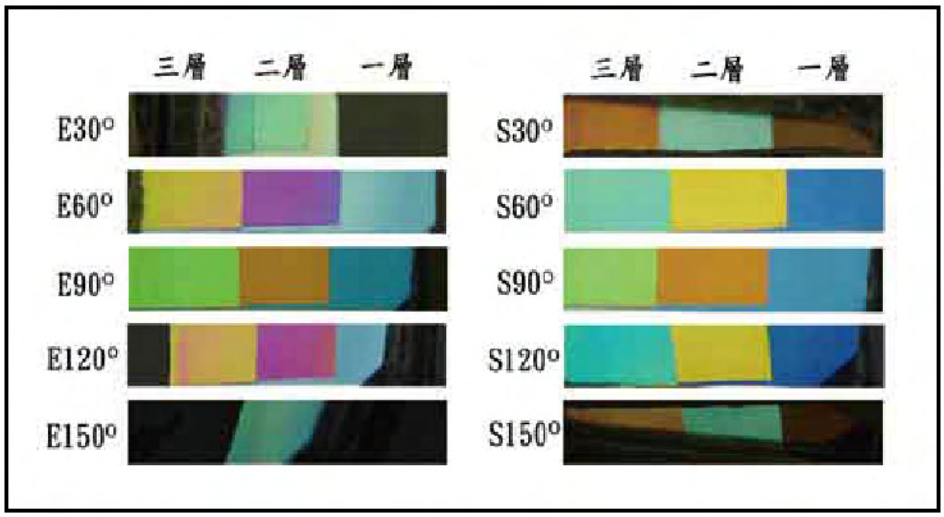
五、觀測角度對膠帶顏色的影響

在偏光片組合上放一個量角器。從30度至150度，每30度測量一次顏色。一組資料由東至西，一組資料由南至北，如圖十二所示。



圖十二

實驗結果：

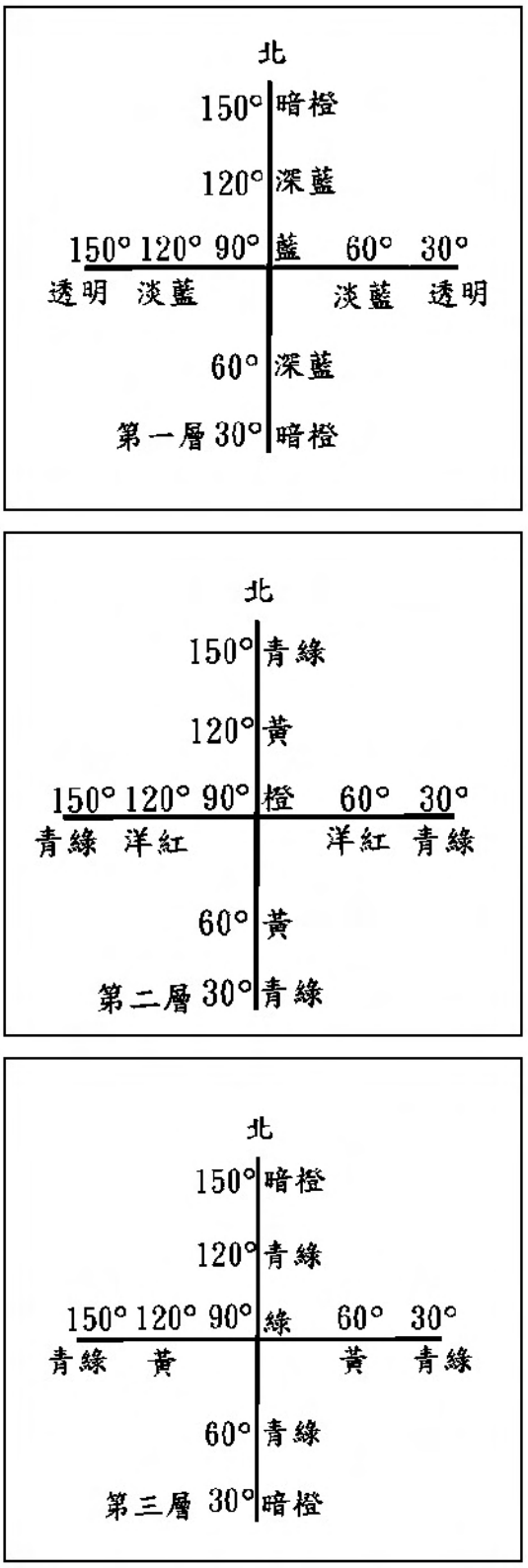


圖十三

如圖十三所示，E30度 - E150 度由東往西觀察，S30度 - S150 度由南往北觀察，色帶三種顏色由左而右分別爲第一層、第二層、第三層。

以東西向整組資料來看，E30=E150,E60=E120，距離垂直線（E90）的觀測角度相等，顏色變化也相同。透過實物的觀察，南北向整組資料來看也一樣，圖中的差異應該是拍攝的誤差。但兩組變化有顯著的不同。

以東西向整組資料來看，以第二層的變化有橙色-洋紅-淺藍，實物觀察由眼睛解析色澤時變化更大。此現象與P1，T或P2旋轉所造成的顏色變化有很大的不同。如圖十四所示。



圖十四

自己動手做作品

試著運用膠帶顏色變化特性，來做個有趣的偏光片小作品吧！如圖十五、十六所示，是小朋友自己動手做出來的呢！

圖十五

圖十六

結語

影響膠帶所呈現的顏色變化之主要因子以膠帶層數、起偏片旋轉角度、檢偏片旋轉角度、膠帶片旋轉角度和觀測角度變化最明顯。在7層膠帶試驗，約可分出6種顏色。旋轉檢偏片和起偏片可看到互補色，且週期爲180度。旋轉膠帶片則從有色到無色，無色到有色，週期爲90度。觀測角度在同一垂直面（東西向）上，距離垂直線的觀測角度相等，顏色變化也相同；在另一個垂直面（南北向）上，距離垂直線的觀測角度相等，顏色變化也相同；但與垂直面（東西向）的顏色變化明顯不同。觀測角度不同，膠帶所呈現的顏色變化更爲多樣。

雖然我們目前並沒有從光的本質，來解釋千變萬化的顏色；但是能過從千變萬化的顏色，找出一些規律性，對於偏光畫顏色變化的認識，仍有許多幫助，也可成爲一項有趣的實驗。

參考資料

1.科學萬花筒 鄭家祥 林柏州 黃彥康 謝明原
http://home.kimo.com.tw/pj8559/e/e009.htm
2.可變顏色的風景畫—以光作畫 林泰生
http://knight.fcu.edu.tw/~physics/change%20colar.htm
3. RGB三色光混合
http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html