

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030104

宜蘭縣立羅東國民中學

指導老師姓名

李鈞育

作者姓名

張尹薰

游郁香

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

參加科別：物 理 科

參加組別：國 中 組

作品名稱：

黑色加白色=彩色

(顏色混合的奇特現象)

關 鍵 詞：(1)視覺暫留

(2)光度計

(3)反射折射

編 號：

目錄

一.	摘要	-----	P.3
二.	實驗動機	-----	P.3
三.	研究目的	-----	P.3
四.	器材及裝置	-----	P.3
五.	過程及方法	-----	P.4
六.	結果	-----	P.5
七.	討論	-----	P.13
八.	結論	-----	P.16
九.	參考資料及其他	-----	P.17

黑色加白色 = 彩色

顏色混合的奇特現象

一.摘要:

實際去觀察及測量旋轉中的圓盤，會發現黑白相間的圓盤在高速旋轉時，轉速到達某些速率時會出現彩色的圖案，這並非視覺疲勞的結果，而是實際出現的色光。而且，使用的光源不同，出現的顏色也會有變化，特別是使用螢光燈會格外明顯。在光的合成，一般認為白光可以分解為多種色光；但是，實驗的結果，產生彩色的位置是在黑色部分而非白色部分，我們以光度計實際測量照度，結果確實十分特別，證明了色光是確實存在的而非以往所認定的視覺的錯覺或互補色。

而有另外一種圖案的圓盤，可以在太陽光底下看出有彩色的圖案出現，那又是另一組不同的現象了。

二.實驗動機:

想必，大家都曾觀察過旋轉中的陀螺(如右圖中的黑白相間圓盤)，你是不是也發現，即使是黑白相間的陀螺，仍會在轉動的時候出現除了原有黑白之外的彩色。

在國中二年級的理化課本中，曾學過光的合成，一般認為白光可以分解為多種色光的組合，但黑白混合不可能出現彩色。我們的實驗，則是試著由多種角度的實驗方式來試著解釋此種現象。

二.研究目的:

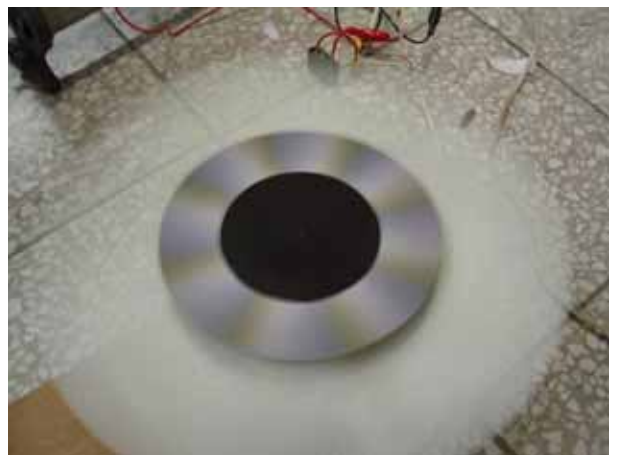
1. 探討黑白陀螺出現彩色是否為視覺暫留及視覺疲勞效果的現象。
2. 試研究產生顏色的成因。
3. 改變光源及轉盤顏色，觀察顏色變化情形。
4. 以光度計測量反射光的照度，試著由數據來推測原因。
5. 比較轉速與色彩形成的關係性。

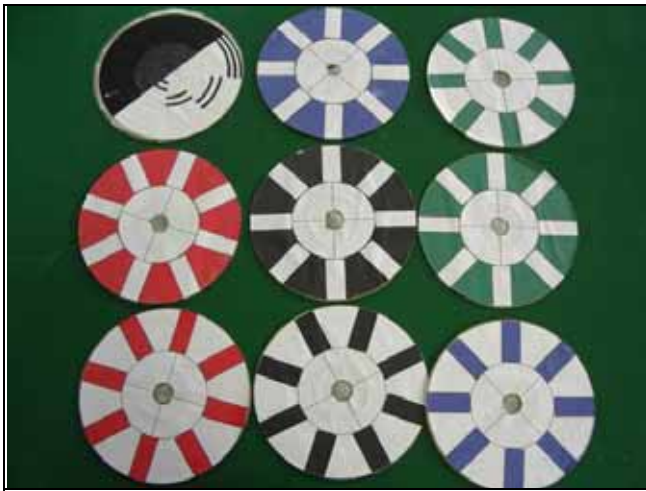
三.實驗器材及裝置:

1.器材:

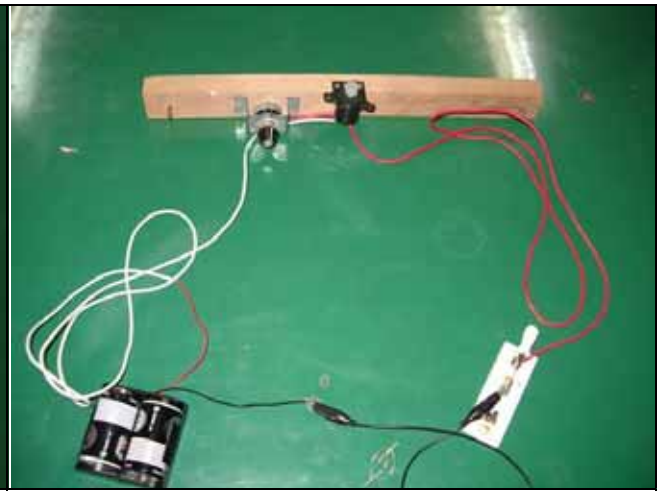
- (1)馬達、可變電阻、電風扇、日光燈、電池組、檯燈(使用白熾燈泡)。
- (2)多種色紙、光碟片(圓盤)、鋁箔紙、漏斗。
- (3)紅、綠、藍色透明玻璃紙、光度計。
- (4)數位相機、攝影機。

2.裝置:





1.使用各種圓盤及顏色做比較



2.



1 以光度計測量反射光強度



2.改變光源顏色，再以光度計測量反射光強度

- 1.以數位相機及攝影機分別拍下圓盤轉動前後的圖案變化。
- 2.以光度計測量圓盤各處的反射光強度。

四.實驗步驟:

1.試驗證彩色是否為視覺暫留的現象

- (1)將黑白相間的圓盤固定在馬達上，連接至直流電源上，在用可變電阻調整電流大小以控制馬達轉速，使圓盤在日光燈照射下能出現定格的圖案。
- (2)以肉眼觀察圓盤在轉動前及轉動時是否出現顏色的變化。
- (3)使用相機及攝影機，將圓盤旋轉前及旋轉時的圖案拍攝下來，比較與肉眼觀察的差異。
- (4)再將圓盤的顏色依序更換為紅白、藍白及綠白等顏色相間的圖案，同上述步驟(2)、(3)，將觀察結果紀錄下來，並拍照以供比較。

2.探討顏色的成因

- (1) 以日光燈源及太陽光分別做上述實驗，比較其差異性。
- (2) 隔絕周圍光源，以日光燈照射圓盤，並將光度計固定懸掛在圓盤上方。
- (3) 將漏斗固定在光度計測量端上，並以鋁箔紙包覆在漏斗外圍。
- (4) 以光度計測量圓盤上方黑色部分及白色部分位置的反射光強度(漏斗的目的，在於減少周圍光線的干擾，並可測量小部分位置的反射光強度)

- (5) 測量圓盤轉動前及轉動時各處位置的反射光強度，並記錄下來。
- (6) 再將圓盤的顏色依序更換為紅白、藍白及綠白等顏色相間的圖案，同上述步驟(4)、(5)，將觀察結果紀錄下來，並拍照以供比較。

3.改變光源顏色及圓盤顏色

- (1)同上述的實驗步驟，將日光燈管分別以紅、綠、藍三種顏色的玻璃紙加以覆蓋，使日光燈分別發出紅光、綠光以及藍光。
- (2)首先使用紅色光源，分別照射(黑色白色)、(紅色白色)、(藍色白色)及(白色綠色)等顏色組合之圓盤。
- (3)同上步驟(2)，將光度計放置在圓盤正上方，測量圓盤旋轉前、旋轉時，白色位置及其他顏色位置的反射光強度。
- (4)改為其他顏色(藍色、綠色)的光源，重複上述的實驗步驟。

4.觀察改變轉速時圓盤出現的顏色

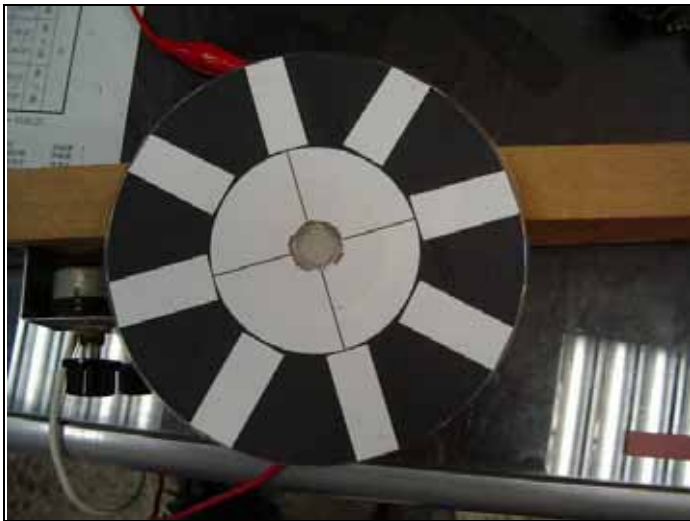
- (1)將圓盤依等比例區分，將圓盤由外而內劃分為 32、16、8、4、2 等黑白相間的圖案。
- (2)調整圓盤轉速，觀察不同比例的圖案，何時會出現彩色圖案，並紀錄其倍數關係有無影響。

五.實驗結果:

- 1.試驗證彩色是否為視覺暫留的現象(以相片表示結果)

2.光度計測得的亮度值(靜止及旋轉時)

(1) 黑白相間的轉盤靜止及旋轉的相片



1.黑白相間圓盤靜止相片



2.圓盤轉至定速時出現的顏色



3.黑白相間圓盤靜止相片 2



4.圓盤轉至定速時出現的顏色 2

使用正常日光燈照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	黑色部分
旋轉前亮度	5.02	4.52
旋轉時亮度	4.72	4.68

(2) 紅白相間的轉盤靜止及旋轉的相片



1.紅白相間圓盤靜止相片



2.圓盤轉至定速時出現的顏色



3.紅白相間圓盤靜止相片



2.圓盤轉至定速時出現的顏色

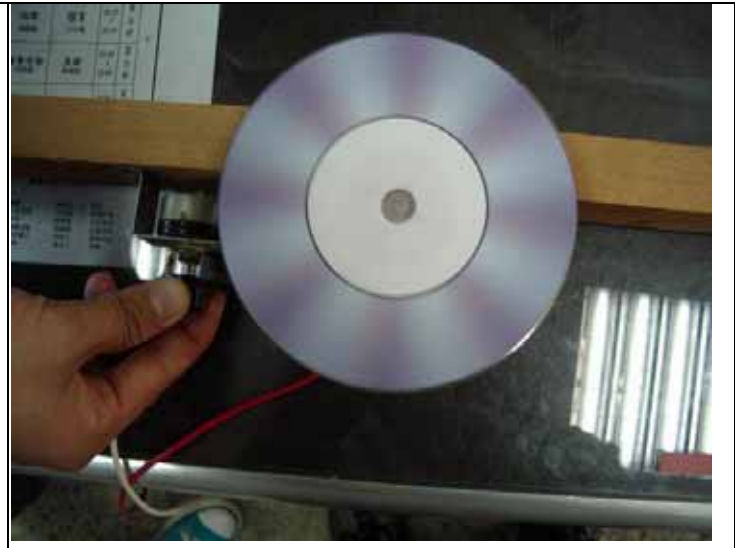
使用正常日光燈照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	紅色部分
旋轉前亮度	5.04	4.61
旋轉時亮度	4.84	4.78

(2)藍白相間的轉盤靜止及旋轉的相片



1.藍白相間圓盤靜止相片



2.圓盤轉至定速時出現的顏色



3.藍白相間圓盤靜止相片

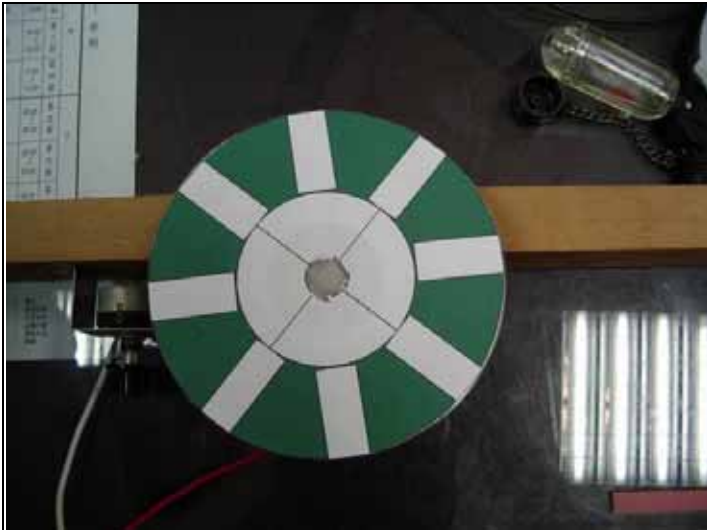


4.圓盤轉至定速時出現的顏色

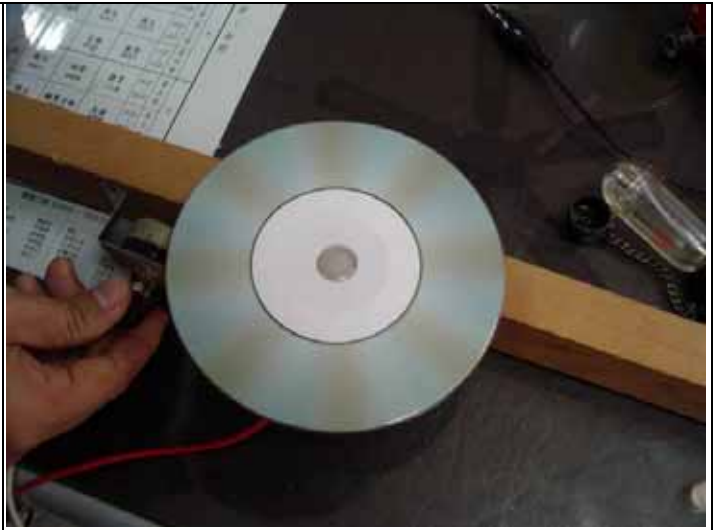
使用正常日光燈照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	藍色部分
旋轉前亮度	5.01	4.47
旋轉時亮度	4.80	4.71

(4)綠白相間的轉盤靜止及旋轉的相片



1.綠白相間圓盤靜止相片



2.圓盤轉至定速時出現的顏色



3.綠白相間圓盤靜止相片



4.圓盤轉至定速時出現的顏色

使用正常日光燈照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	綠色部分
旋轉前亮度	5.02	4.59
旋轉時亮度	4.83	4.76

3.改變光源顏色及圓盤顏色

(1).將光源改爲紅光，再分別旋轉各種顏色的圓盤，以光度計測量各處的反射光強度



使用紅色光源照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

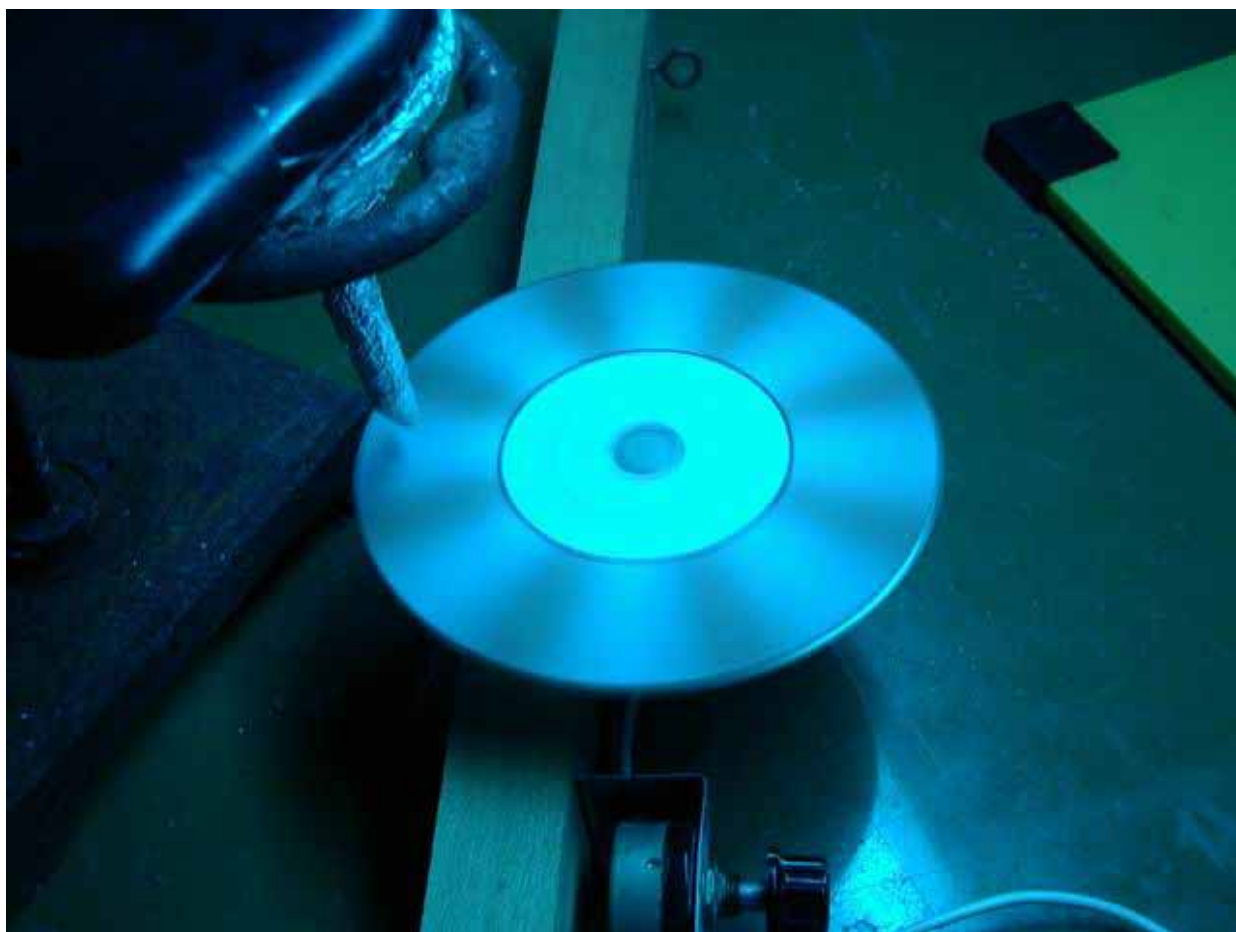
	白色部分	黑色部分
旋轉前亮度	0.34	0.27
旋轉時亮度	0.30	0.29

	白色部分	紅色部分
旋轉前亮度	0.34	0.31
旋轉時亮度	0.32	0.31

	白色部分	藍色部分
旋轉前亮度	0.34	0.27
旋轉時亮度	0.30	0.30

	白色部分	綠色部分
旋轉前亮度	0.34	0.27
旋轉時亮度	0.29	0.29

(2)將光源改爲藍光，再分別旋轉各種顏色的圓盤，以光度計測量各處的反射光強度



使用藍色光源照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	黑色部分
旋轉前亮度	1.02	0.88
旋轉時亮度	0.92	0.94

	白色部分	紅色部分
旋轉前亮度	1.02	0.90
旋轉時亮度	0.95	0.93

	白色部分	藍色部分
旋轉前亮度	1.04	0.92
旋轉時亮度	0.95	0.96

	白色部分	綠色部分
旋轉前亮度	1.03	0.91
旋轉時亮度	0.95	0.93

(3)將光源改爲綠光，再分別旋轉各種顏色的圓盤，以光度計測量各處的反射光強度



使用綠色光源照射時，光度計在上方所測得的反射光強度(Lux)

	白色部分	黑色部分
旋轉前亮度	1.27	1.03
旋轉時亮度	1.14	1.09

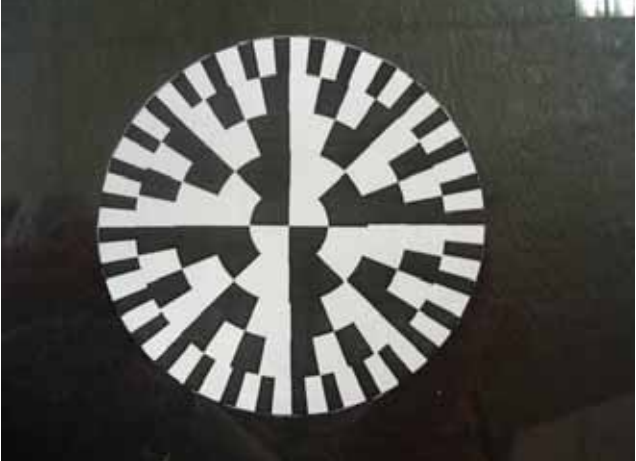





	白色部分	紅色部分
旋轉前亮度	1.30	1.08
旋轉時亮度	1.16	1.13

	白色部分	藍色部分
旋轉前亮度	1.28	1.05
旋轉時亮度	1.15	1.12

	白色部分	綠色部分
旋轉前亮度	1.28	1.06
旋轉時亮度	1.15	1.12

4.比較轉速與色彩形成的關係性

日光燈的閃爍頻率與交流電的變化頻率相同，因此，當圓盤轉速到達一定時，可以見到接近定格的畫面，根據上述結果，黑白交換的時間為 $1/60$ 秒時可以見到靜止及彩色圖案，若轉速加快，間隔頻率為原來的整數倍，應該也能見到同樣的彩色圖案出現。

	
<p>1.靜止的原始圖案由內而外將圓周分為 32、16、8、4、2 格</p>	<p>2.最低轉速(f)時，32 格處出現彩色</p>
	
<p>3.轉速($2f$)時，32 格處及 16 格處分別出現彩色</p>	<p>4. 轉速($3f$)時，32 格、16 格及 8 格處分別出現彩色</p>
	
<p>5. 轉速($4f$)時，32 格、16 格、8 格及 4 格處分別出現彩色</p>	<p>6. 轉速($5f$)時，32 格、16 格、8 格、4 格及 2 格處分別出現彩色</p>

六.討論:

由上述的實驗中,我們發現:

1.一般認為，黑白雙色的圓盤，在轉速到達一定的情形下，所出現的彩色圖案，只是大腦的視覺暫留所造成的。在實驗的過程中，我們發現此種彩色的圖案，除了每個人均可用肉眼觀察的到之外，使用攝影機及相機拍攝時亦可以觀察到同樣的現象。

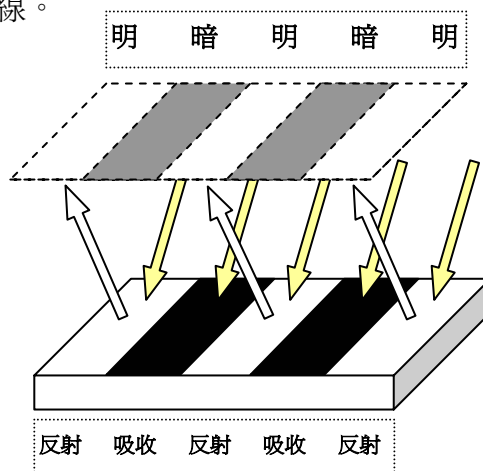
肉眼所觀察到的顏色，確實有可能是視覺暫留或是大腦的互補色差效果，但是相機底片感光，須有實際光線成像在底片上，方能出現影像。若單純為錯覺所形成，則不可能以相機拍攝出其他彩色圖案。

2.當圓盤旋轉時，不一定會出現顏色，我們分別在日光燈下以及太陽光下重複此實驗，發現在太陽光下並沒有此種現象；而日光燈下，當轉速到達一定值時，可以明顯看到定格的現象出現。這是因為日光燈的頻率為 60Hz，即每秒閃動 60 次，若圓盤的黑白間隔配合圓盤的轉速正好符合日光燈光源的閃動頻率(或其倍數)，即可出現類似固定的條紋形狀。而太陽光或使用白熾燈炮時為連續光源，因此無法看出有相似的效果。

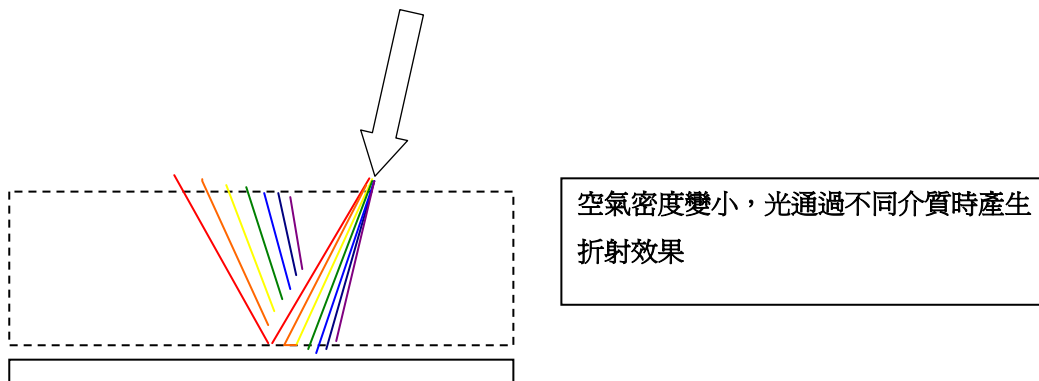
3.根據以往所教導的知識，白光可以分成多種色光的組合，如太陽光可以經過三菱鏡的折射分出紅、橙、黃、綠、藍、紫等多種顏色。同樣的，我們認為，旋轉的圓盤出現彩色，應該是白光經由類似透鏡的折射效果而形成的分光。

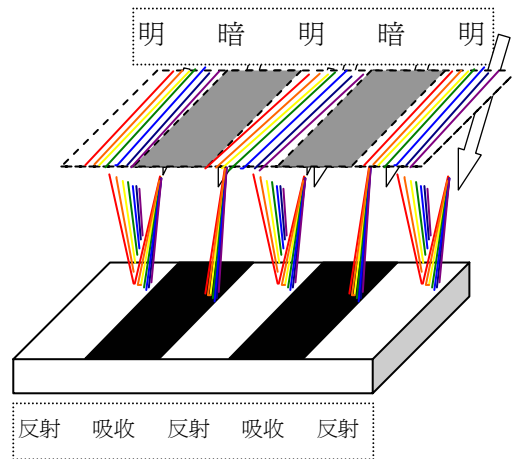
藉此我們先做出下列的假設

假設 1:正常未旋轉的狀態，黑白相間的圓盤，黑色部分吸收大部分的光線出現暗紋，而白色部分則反射大部分的光線。



圓盤高速旋轉時，會造成圓盤上方的部分空氣隨之帶動，因此產生空氣密度改變，而出現類似玻璃般的折射效果(但空氣密度變小，折射率會較一般空氣來的小一點)。(類似的現象，在火焰的上方可看到物體扭曲晃動，即是空氣折射光線造成的)。

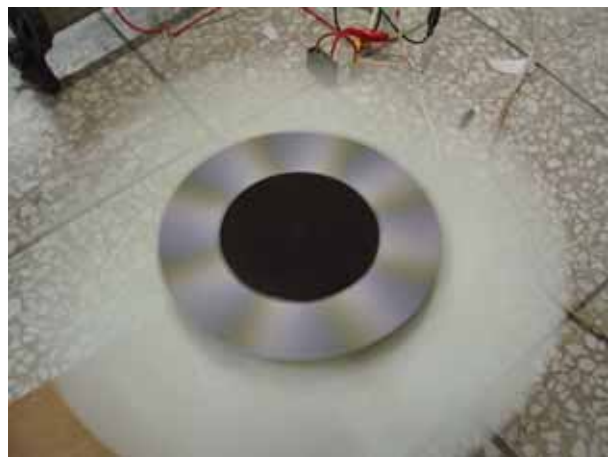




旋轉時，空氣密度改變產生折射效果
因此出現彩色

假設高速旋轉圓盤使得上方空氣密度變小，因此產生類似玻璃的折射效果(改成由光疏進入光密介質)，而白色部分反射光線，黑色部分吸收光線，則在圓盤上方，應該可以看到**彩色**與**暗色**相間的圖形。

驗證假設: 但我們觀察相片，卻發現出現的圖案，似乎不是預期的彩色與黑色相間，而是**白色與彩色的相間圖形**。



我們爲了確認此點，嘗試以相機拍攝 1/60 秒的瞬間影像得到如下的結果



4.仔細觀看，可以看出出現彩色的位置，竟然是在黑色部分，而非預期的白色位置。顯然與假設不符。於是我們做了第二個假設：

假設 2:黑色位置會出現彩色的影像，可能是黑色部分因某些原因並未完全吸收光線，產生了部分吸收與部分反射的現象。若真是如此，在旋轉時黑色部分位置的反射光亮度，應該會比靜止時的亮度增加。

- (1)將光度計架設在圓盤上方，在暗室內做實驗(避免外界光線影響實驗數據)如實驗結果，可以發現在高速旋轉的情況下，原先黑色部分的照度由 4.52 增加為 4.68。改以其他顏色的圖案作對比，在高速轉動的情況下測量亮度，會發現均有增加的情況。
- (2)改用紅，綠，藍三種顏色的日光燈光源(光的三原色)，重複上述實驗，例如在綠光的照射之下，紅色部分會明顯亮度降低很多，因為綠色光大部分被吸收，使亮度減少許多。但在轉動的情況之下，會發現紅色部分出現黃色光，同時光度計測得的亮度較靜止時增加了一些。黃色光是由紅色及綠色光組合產生，顯然在旋轉的時候，部分綠色光並未被吸收而反射出來，因此才會出現其他的顏色，同時照度也增加了。
- (3)我們搜尋的資料中，有一篇提到螢光燈的光源：螢光燈中，產生藍綠螢光的能階的生命期較短，故基本上藍綠光是隨著交流電的兩倍頻率閃爍；然而產生紅黃光的能階生命期較長，故紅黃光不隨著交流電的兩倍頻率閃爍。若轉盤黑白交替的頻率恰為交流電兩倍頻率閃爍的倍數，即可恰將藍綠光擋住，而只反射紅黃光，故有顏色產生。

在我們以 1/60 秒的快門攝影時，確實看到在黑色部分出現紅黃光，只是，一般攝影時轉盤仍會出現紅黃與藍綠光，就較難解釋其他光線的生成原因了。

- (4)我們因為沒有足夠的裝置可以測量紅黃光以及藍綠光的週期及頻率，同時，也沒有辦法測量圓盤的轉速(除非有光電計時器)；因此我們在同一圓盤上，劃分為不同比例的黑白間隔，分別是 32、16、8、4、2 格。因為日光燈的閃爍頻率與交流電的變化頻率相同，因此，當圓盤轉速到達一定時，可以見到接近定格的畫面，根據上述結果，黑白交換的時間為 1/60 秒時可以見到靜止及彩色圖案，若轉速加快，間隔頻率為原來的**整數倍**，應該也能見到同樣的彩色圖案出現。由結果可看出確實如此。

當圓盤轉速為最低轉速(32 格可見彩色圖案)的整數倍時，間隔為 32 格及其他比例間格的圖案的位置均會有彩色圖案出現。

七.結論:

我們的實驗，曾經找了很久的資料，卻一直未發現較合理的解釋有關旋轉黑白相間圖案的色彩形成原因。大部分的敘述，均是以視覺暫留或是大腦及眼睛感光的錯覺來解釋，而實際上，能在相片上出現彩色，證明此種色彩是真實的光線成像

- (1)旋轉圓盤出現的彩色，並非視覺暫留或視覺疲勞(互補色)產生的效果。
- (2)根據我們實驗所觀察到的現象，圓盤中出現彩色的原因，可能並非預期的白光反射及折射的分光效果，而是黑色部分僅有部分吸收，而未被吸收的光線造成的顏色變化。
- (3)除了黑、白兩色對比會出現類似的色彩之外，其他顏色一樣會有類似的現象，使用紅、綠、藍三種顏色日光燈照射的原因，是因為物體出現顏色，將同種顏色的光線反射，而吸收不同顏色的光。圓盤及相片上出現色紙及燈光以外的顏色時，代表有部分應被吸收的光未吸收而反射出來。
- (4)轉速到達一定值時，會出現彩色圖案，應是光源本身所造成真實現象。如果使用太陽光或白熾燈泡，因其為連續光，無法出現彩色圖案，若使用日光燈等光源，只要黑白相間的頻率為交流電的頻率(或整數倍)，應都可見到顏色出現。
- (5)上述的推論，僅是我們實驗得到的結果，但我們還未能實驗證實形成的原因，只能就結果及數據來分析討論。

實驗需改進的部分:

1. 我們實驗時是假設日光燈光源的頻率完全固定。而實際上日光燈的頻率並非那麼穩定，如果能用閃頻儀能確定光源的閃動頻率，並改變頻率來做觀察比較結果，。
2. 我們使用紅、綠、藍三種顏色的光源來照射不同顏色圓盤時，是認定光源為單純的色光(無其他色光存在)。實際上，這卻是很難克服的一點，我們的設備與器材不足以製造單一色光，這可能是實驗誤差的最大原因。
3. 我們尚無法解釋實驗的結果，但光度計測得的照度增加卻是不爭的事實。同樣的物體，卻因為某些條件造成反射及吸收光線的狀況有所差異，也許能有更好的說法來解釋才對。
4. 圓盤的轉速測量一直是我們較大的困難，因為沒有足夠的裝置(如光電計時器等)可以測量。
5. 我們最後發現有個解釋形成彩色的原因(討論的最後一段)，只是我們的設備並無法證明螢光燈中，藍綠光及紅黃光的能階生命期。只能以結果來說明確實有此種現象。

八.參考資料:

1. 問題 <http://knight.fcu.edu.tw/~physics/Q/q.htm>
2. 物理教具及示範單元D-5 knight.fcu.edu.tw/~physics/meeting/88meeting/white-black.htm
3. 書香門第網絡圖書館www.bookhome.net
4. 人類與動物心理學論稿 www.yifan.net/yihe/novels/zatan/rlydwxlxlglxlx07.html
5. 物理問題討論區- 觀看討論主題 www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=635&forum=11&7
6. 國中理化(一) 第4章 光
7. 陀螺分類 www.toymuseum.idv.tw/menu02-2-05-03-5.htm
8. 何定樑, 生活的物理, 九章出版社
9. 沃克, 物理馬戲團 IIIQ&A, 天下文化出版社
10. 林佳蓉 譯, 365 個簡單有趣的科學實驗, 方智出版社

評語

030104 國中組物理科

黑色加白色=彩色

本作品僅止於較為定性的觀察和探究，主題的創意性、學術性或實用性不高。