

當哈利波特遇上物理——光學篇



鄭永銘老師◆ http://www.balloon.com.tw

- 一、序曲 (http://www.balloon.com.tw/light1.htm)
- 1. 哈利波特魔法書:請參考連結之影音。
- 2. 光的直進



2009 年7 月 22 日發生的日蝕,提供了一個印證所 學的難得機會。影片中陽光透過樹葉縫隙所成的針孔成 像,每一個影像都像是微笑著的嘴形,而此時(10:10 AM)的太陽卻是上面亮的彎眉形狀。由此可以印證針孔 成像所呈現的是上下左右皆顛倒的影像,而證實了光線 的直進。圖二是從太空中所見的地球,黑影則是正在發 生日全蝕的區域。發生日偏蝕的半影區在圖片中並無明 顯的界線,而是由黑影區向外延伸且亮度逐漸變亮的區域。圖二 太空中見地球的日全蝕(註②)



二、色光混合(http://www.balloon.com.tw/light2.htm)

1. 以螢光棒來演示色光混合

將市售紅、綠、藍三種螢光棒內的溶液以適當比例混合,原則上可調出各種色光。並可 嘗試以不同互補色的組合來調製白光,例如黃光與藍光、洋紅光與綠光等(溶液使用後請交 由化學實驗室回收處理)。

2. 以投射燈來演示色光混合

將投射燈分別貼上紅、綠、藍瀛光片,也可用來演示色光混合。瀛光片請使用舞臺專用 濾片(波長 λ_R =700.0 nm, λ_G =546.1 nm, λ_B =435.8 nm),因為若使用文具行所售的彩色玻璃 紙,則會有高溫導致燃燒的危險。

3. 光的混合方式

(1) 加法混合——混合光總亮度等於相混各色光亮度之和, 這是 LCD 液晶投影機的混色方式。



- (2) 減法混合——顏料的色彩混合時,兩次減光的結果,混合色光的總亮度會下降。
- (3) 顏色旋轉混合——將各種顏色畫在轉盤上旋轉時,在色相與加法混合的規律相似,但在明度上卻是相混各色的平均值。
- (4) 時間混色法——將色光三原色按一定比例輪流投射到同一螢幕上,由於人眼的視覺暫留特性,只要交替速度夠快,產生的彩色視覺與三原色直接相混相同,這是輪流成像的單片式數位光學處理(Digital Light Processing, DLP)投影機採用的混色方式。
- (5) 空間混色法——將三原色同時投射到彼此距離很近的點上,利用人眼分辨力有限的特性而產生混色,這是電視和電腦的顯示基礎。
- (6) 生理混色法——利用兩隻眼睛分別觀看兩個不同顏色的同一景象,也可獲得混色效果,這是 3D 紅青立體像的顯示方式。

三、光的反射 (http://www.balloon.com.tw/light3.htm)

1. 桌上人頭

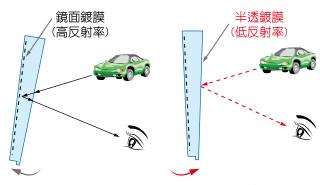
有很多魔術使用了光學的技巧,桌上人頭就是其中一個例子。這項有趣的裝置在國內外的遊樂區中都有設置,下次有機會遇到時就留影做紀念吧!

2. 神奇存錢筒

這個光學玩具在海峽對岸有人將它做成大型的裝置,將一位女生藏進其中而顯示出人頭蛇身的駭人景象,並且不人道的收取門票來供人觀賞。

3. 防眩光的車內後視鏡

汽車於夜間行駛時,常會因後方汽車的 大燈照在內後視鏡,形成眩光令人感覺刺 眼。有一種扳動型的內後視鏡就可以避免這 種眩光可能造成的危險。這種後視鏡的下方 有一個小扳片,當扳動時強光就改由低反射 率的玻璃表面來反射進入駕駛者眼中,因此 反射光就會變暗,其構造如右圖。



具防炫光功能的內後視鏡之操作示意圖

4. 雙向鏡

玻璃表面鍍上半透鍍膜時,就會形成雙向鏡。我們都曾有過這樣的經驗——白天時透過教室玻璃觀看窗外,我們看不見自己由玻璃表面反射的虛像。但是晚上教室內開燈時,就可以看見自己的像。這是因為此時戶外的黑暗背景,襯托出低反射率的玻璃表面所反射之虛像。另外,有些大樓的玻璃帷幕會貼上隔熱貼紙,這些大樓的窗戶在白天由戶外看起來就像是一面鏡子,但是到了晚上我們卻可以由戶外看見開燈時的屋內擺設。由於雙向鏡具有這種隱匿觀察者的特性,因此在警方的訊問室常裝設此裝置。讓雙向鏡後方的證人由於身處暗處,因此不會被訊問室內的嫌疑犯所看見,如此即可保護證人身分不曝光。

5. 回歸鏡

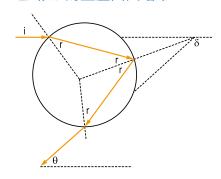
回歸反射是指無論入射光角度不管如何改變時,均能將遠方直射光線反射回發光處。其



構造是由三面彼此正交的反射鏡所組成,當光線由光源處照射到鏡面時,經由三次的反射, 光線將以平行於入射的方向而返回,並且回歸光線會匯集在一個很小的範圍內而呈現高強度 的照度。關於數學上的證明,教師不妨拋球給學生,若有人能證出,那麼就可以邀請這位程 度不錯的學生來當物理小老師!

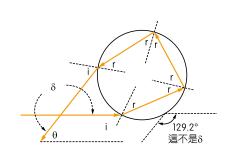
四、光的折射: (http://www.balloon.com.tw/light4.htm)

1. 彩虹的亞歷山大暗帶



如圖,對於一次虹而言,當總偏向角 δ 有極小值時,

$$\frac{\mathrm{d}\delta}{\mathrm{d}i} = 0 \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}i} (\pi + 2i - 4r) = 2 - 4 \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}i} = 0 , \exists 1 \times \sin i = n \times \sin r ,$$
可得 $\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$ 。



對於水珠而言,代入 n=1.332(紅光) $\Rightarrow i=59.4$ °, r=40.2°, $\delta=138$ °,仰角 $\theta=42$ °。因此沒有任何一條射入水滴中的光線在經過一次折射、一次反射、再一次折射之後,其所呈現在天空的仰角會超過虹的高度,所以虹上方的天空就會呈現暗區。另外,由於 r=40.2° 小於水的臨界角48.5°,所以這種內反射並非全反射。

同理,在水珠內進行N次反射的N次虹,可推導出

$$\cos i = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{N(N+2)}}$$
。對於兩次反射所產生的霓, $i = 71.9^{\circ}$,

 $r=45.5^\circ$, $\delta=2\pi+2i-6r=230.8^\circ$,仰角 $\theta=50.8^\circ$ 。因此,也沒有任何一條射入水滴中的光線在經過一次折射、二次反射、再一次折射之後,其所呈現在天空的仰角會低於霓的高度,因此虰與霓之間的天空就會呈現暗區,這種黑暗區域即稱為亞力山大暗帶。

2. 消失的硬幣

生活中有許多全反射的例子,教師可藉著先演示其中一個有趣的實驗來營造課堂氛圍, 然後開始教理論的部分,這樣就能提高學生參與課堂教學的積極性。

3. 消失的燒杯

由於玻璃燒杯與某些食用油的折射率相同,若將一小燒杯放入油中時,燒杯就會隱匿消失。這一招還可以這麼玩:

- (1) 先將小燒杯放入裝油的大燒杯中,這一幕準備工作不要讓學生看見。
- (2) 拿出另一小燒杯以榔頭敲碎,然後將玻璃碎片丟入大燒杯中。
- (3) 略施魔術手勢,然後從大燒杯中取出原先藏於其中的完整小燒杯,此時學生就會瞠目結 舌。
- (4) 開始上折射率的單元。



4. 以三稜鏡的最小偏向角來說明日量形成的原因

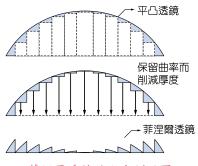
在進行三稜鏡的最小偏向角實驗時,若固定入射光的方向而轉動三稜鏡,可以觀察到光跡有折返的現象。因為折返處的光點運動速率為零,所以折返處的光點亮度最亮。接著將稜鏡接在馬達上使其轉動,並將雷射光打入此稜鏡中。由於沒有任何一條通過三稜鏡的光線,會射進小於最小偏向角的區域內,因此就能解釋為何日暈的暈環內部也會呈現如同亞歷山大暗帶一般的黑暗區域。

5. 以裝水燒杯來說明亞歷山大暗帶形成的原因

以裝水的燒杯來模擬虹與霓的光路變化,可實際觀察到射 出的光跡也有折返的現象,並可藉此印證數學理論的正確性。

6. Fresnel 放大鏡

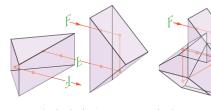
如右圖,這是名片型放大鏡的結構,因為光線通過其中的各個矩形部分只能產生平行側位移,因此被挖除捨棄以節省其空間體積。臺灣普遍利用在路燈玻璃罩上,藉以擴大光源照射到地面的範圍。在歐洲則有很多燈塔使用這種大型的 Fresnel lens 來聚光,白天當太陽能集光器使用,到了夜晚就提供發出平行光至遠方海面的功能。



菲涅爾透鏡的縱向剖面圖

7. 雙筒望遠鏡的稜鏡轉像系統

由於天文望遠鏡最後形成倒立像,因此做為地面觀測使用的望遠鏡就需要轉像系統來反轉物像。左圖為兩個互相正交的直角稜鏡 Double porro prism,右圖則為變形的款式 Porro abbe prism。靠著水平與鉛直方向的二次反轉,即能形成正立像於觀察者眼中。此種



雙普羅稜鏡

普羅-阿貝稜鏡

轉向系統由於沒有產生色散的問題,因此比透鏡式轉向系統為優。

五、光的干涉與繞射: (http://www.balloon.com.tw/light5.htm)

1. 肥皂泡的薄膜干涉

薄膜干涉是由薄膜上、下表面反射的光束相遇而產生的干涉,通常是由很薄的透明介質所形成,例如肥皂泡、水面上的油膜、兩片玻璃間所夾的空氣膜、照相機鏡頭上所鍍的薄膜等。由於重力的因素,肥皂泡的頂端會愈來愈薄,當頂端的薄膜薄到無法支撐肥皂泡內外的壓力差時,肥皂泡即會由此頂端破裂。教師可讓學生觀察肥皂泡即將破裂時,從正上方所觀察到的顏色,並試著讓學生利用輕重繩反射波的相位變化來解釋為何頂端會呈現此種顏色。

圖三的肥皂泡之邊緣呈現偏紅的色調,有別於球面中央所反射的天空藍,這是因為入射光以幾乎是切線方向射入薄膜所形成的干涉現象。另外,圖四在主虹的下端緊鄰出現的複虹(Supernumerary bows),這也是入射光以幾乎是切線的方向射入雨滴所形成的干涉現象。



圖三 肥皂泡(註③)



圖四 複虹(註4)



2. 透鏡的鍍膜

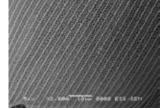
在使用閃光燈拍照時,我們發現有些人的眼鏡不會反光。這是因為該眼鏡的表面採用了透光鍍膜,因此就形成防反光的效果。此膜層厚度是人眼敏感度較高之黃光(555 nm)波長的 1/4,使用的膜層材料折射率是鏡片材料折射率的平方根(請思考為何如此設計?提示:振幅)。利用薄膜干涉的原理,由於二束反射光的相位差 =0,光程差 = \(\lambda/2\),因此反射光就會因破壞性干涉而被消去。不過雖然人眼敏感度較高之黃光可完全透過,但可見光兩端的紅光與藍光卻會部分反射,而使鏡片表面有殘留洋紅的顏色。因此為了讓各種可見光波長以及各種入射的角度都能有效降低反射光量,表面施作兩層以上的多層鍍膜,其反射率即可抑制到 0.5%以下。另外,可以運用不同折射率的多層薄膜堆疊,以產生我們所要求的光學特性,常見的如鍍膜濾色片、反射鏡、分光鏡、截止濾光鏡、帶通濾光鏡等。

3. 叩頭蟲的虹彩效應

大自然中有些生物的顏色是由繞射所造成,例如圖五的藍閃蝶,在蝶翅上有著溝紋與刻

痕等構造。這些構造就會使照射的光線產 生繞射之現象,而形成所謂「結構色」的 耀眼金屬色澤。另外,鴿子脖子上的綠色 光澤與叩頭蟲外殼上的金屬性光澤,可以 在不同的觀察角度下由綠轉成紅色,這是 由於其中含有類似蛋白石的光子晶體結構 物,經由布拉格繞射效應所形成。





圖五 藍閃蝶(註⑤)

圖六 蝶翅構造(註⑥)

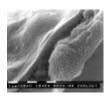
圖九是甲蟲幾丁質內部所具有的蛋白石晶體結構的掃描電子顯微影像,這些結構中含有



圖七 鴿子 (註(7))



圖八 叩頭蟲 (註®)



圖九 晶體結構 (註9)

幾十層直徑 250 奈米的透明球體。而這些球體是以六方最密堆積緊密地排列。因此經由布拉格繞射效應,在不同的視角觀察下就能產生顏色的變化。

4. 視角變色油墨

輕轉新臺幣 100 元鈔券的角度時,

正面左下角「100」面額數字顏色會由紫紅色變至綠色,此種防偽油墨(OVI)的變色原理與叩頭蟲的虹彩效應相似。光學變色油墨由具有特定光譜特性的薄膜碎片組成,此種光學變色薄膜是由多層薄膜的干涉效應來設計出特定的反射光特性。它由多種不同折射率的物質,利用真空鍍膜技術,依次澱積在同一載體上而形成。因此其反射光譜隨著入射角的改變而發生變化。第一種顏色是在垂直紙面觀察時所見,此時 $2d\sin 90^\circ = 2d = 1 \times \lambda$ 光程差。而鈔券扭轉60°直到視線與紙面呈30°時,光程差 $2d\sin 30^\circ = d = \lambda/2$,原先的第一種色彩就會產生破壞性干涉而消失,因此形成第二種色彩。

5. 透過旗幟觀看繞射圖樣

日常生活中隨處可見繞射現象,以照相所拍到的星芒為例,當光圈愈小時繞射現象 (Fraunhofer 繞射)就會愈明顯,因此星芒會拉的愈長。譬如筆者使用 Sony HandyCam,其



調整光圈大小的葉片數為四片,形成四邊形的菱形光圈,因此拍照時就會拉出四條星芒。同理,光圈葉片數六片的相機就會拉出六條星芒。但是 Rollei 120 SLR 的五葉片光圈卻可拉出十條星芒,這是因為五邊形的任何一個邊緣均可拉出垂直於邊緣方向的兩條星芒,因此五個邊就會形成漂亮的十條星芒。至於塑膠相機由於使用固定的圓形光圈,因此拍出來反而比較不像星芒而較接近人眼所見的多叉光芒。讀者可以藉由連結的影音,觀察車燈未透過旗幟之前的星芒與透過旗幟之後的方孔繞射圖樣之差異。

6. 透過車窗水霧觀看繞射圖樣

筆者曾與同事健行於南橫檜谷時,看見前方的同事身體被一圈光芒圈住,讓在場所有人噴噴稱奇。這是因為南橫檜谷區經常雲霧裊繞,當陽光穿過濃霧後照射在人身上時,就會在影子周圍形成所謂的「觀音圈」繞射現象。其與彩虹的差異在於彩虹是折射而「觀音圈」是繞射,並且「觀音圈」可看到三圈,每一圈都是外圈紅色。而彩虹的三級虹由於是發生在面對太陽的方位,所以是看不見的。形成「觀音圈」的原理是當人處於濃霧中時,陽光穿過小水滴會被聚焦後形成發散的球形波,這些球形波經過人體邊緣會在背後形成同心圓的多層繞射圖樣。而沒有穿過小水滴的陽光仍遵循光的直進造成人的影子。因此就會以人影為中心形成罕見的「觀音圈」繞射圖樣。另外,還有一種常見的「日華 solar corona」繞射現象,其有別於「觀音圈」要背對著太陽觀察,日華則是須面向太陽來觀察。影片中透過車窗水霧所形成的繞射圖樣,即是「corona」的繞射現象。

7. 以繞射方法測量頭髮直徑

由於光線經過物體邊緣會發生繞射,因此以雷射光照射頭髮時,經過直徑邊緣的兩束光線就會轉彎而在頭髮後方形成干涉,其效應與單狹縫繞射相同。教師不妨在課堂讓學生自行測量其頭髮直徑,然後再以螺旋測微計來比對其測量誤差。

8. 測量撈油濾網的目數

健康新概念是少油多健康,因此有一種市售的撈油濾網能協助人們將雞湯內多餘的油脂 撈除。透過適當目數的濾網,水會受重力影響而通過孔洞流下,但油卻因內聚力大於水而且 密度比水小,因此能被篩網撈起。由於濾網的目數(條/英吋)必須適當,否則太少的目數撈 不起油,而太大的目數則會連水一起撈起。因此我們可以藉由繞射的方式來測量濾網目數, 然後到五金行買相同目數的金屬網,這樣就可以用很便宜的價格來 DIY 撈油濾網了。

9. 繞射光柵:

繞射光柵是表面上有溝槽或刻痕的平板,以使用方式區分為反射式與透射式兩種。影片中以 500 條 /mm 的透射式光柵來觀測路燈的分光效果,此種光柵片是先以雷射刻板技術做出母模,再以透明膠片壓印成型法來完成光柵片的製作。

10. DIY 透射型光譜儀

11. 以自製光譜儀量測省電燈泡的光譜

自製簡易光譜儀是一個十分有趣的活動,不過由於光柵片不易取得,因此網路上的資料 大多使用光碟片來製作反射型的簡易光譜儀。筆者在此提供一種透射型光譜儀的製作方法, 可改善反射型亮度不夠的缺點。



六、光的散射: (http://www.balloon.com.tw/light6.htm)

- 1. 利用熱溶膠條來演示光的散射
- 2. 光在蛋白石中的散射

光束在傳播時部分光線偏離光束原方向而分散的現象稱為光的散射,可分為下列幾種方式:

- (1) 表面散射——光束在兩介質界面上反射和折射時,因表面非光滑,部分光線偏離而分散傳播。日常生活中我們之所以能看見桌子、書本等各種物體,大都是由於它們的表面散射 (漫射)。
- (2) 體內散射——光束在同一介質中傳播時,因介質的非均質,部分光線會偏離原方向分散傳播的現象。牛奶的白色、藍色的天空等,就是體內散射所導致。
- (3) 彈性散射與非彈性散射——主要區別是散射時光子能量是否發生變化。當光束照射物質時,入射光的電場會引起物質本身的電子做相同頻率的週期性振動,振盪的電子隨即成為電磁輻射的新來源而產生散射光,是一種散射光子能量不變的彈性散射,稱為「瑞利散射」。倘若入射光照射物質會使分子的振動或轉動狀態發生改變,則稱為「拉曼散射」,是一種散射光子能量會改變的非彈性散射。瑞利散射是發生在物質粒子直徑小於 1/10 波長時,因此大小約 4 埃的空氣分子經數千埃的可見光照射時會發生瑞利散射。另有由球形微粒所生的「米氏散射」,是在粒子直徑等於或大於波長時所發生,因此大小約數十微米的灰塵或是雲霧水滴均屬於米氏散射。其中的「米氏散射」之散射光強度與入射光波長無關,例如牛奶所呈現的白色。而「瑞利散射」的散射光強度則與入射光波長的四次方成反比。在連結影音中模擬了夕陽的顏色會偏紅,這是因為早、晚的陽光與中午的陽光穿過大氣層的距離不同。光在空氣中傳播時,由於空氣分子會發生瑞利散射,波長愈短,散射程度愈大,藍紫光被散射較多,因此天空呈現藍色(人眼的錐細胞對紫光不敏感),而直射光顏色則偏紅。如右下表所示,中午的陽光穿過空氣的路程約 8 公里,各種波長光的散射損耗都不大。而黎明與黃昏的陽光穿過空氣的路程卻可達 290 公里,因此散射損耗相當嚴重,其中又以短波長的光更明顯。因此夕陽中的藍紫光幾乎全部損失,而所看到的太陽就

是橙紅色的了。至於有人將紅色的夕陽歸因於空氣中的水氣所導致,這種說法是有爭議的,因為小水滴對陽光的米氏散射與波長無關,而這也是白雲之所以呈現白色的原因(但請思考為何颱風來襲前天空偏紅)。

太陽光的相對強度(以進入大氣層前的強度為1)

顏色	波長 nm	中午的強度	早、晚的強度
紅	660 nm	0.96	0.23
綠	540 nm	0.90	0.04
藍	470 nm	0.85	0.003
紫	410 nm	0.76	0.00007

3. 陽光散射後的偏振性

反射和折射都可獲得偏振光,我們可以從太陽偏光眼鏡可有效去除反射的炫光而得到證實。由於光在兩種不同介質的界面反射時,平行於水面方向的電場會迫使水面分子的電荷以相同的頻率做振動,形成感應的電偶極矩,其方向和入射光的電場向量是一致的。這偶極矩作強迫振動而輻射出的電磁波就是散射光。所以自然光入射於界面時,反射和折射都會形成

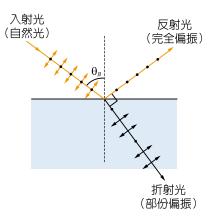


部分偏振光,當入射角改變時,反射光和折射光的偏振度 也會隨之改變。我們在折射率的教學中,會請學生求出在 何種入射角度時反射光與折射光的夾角呈現 90°,這種入射 角度稱為 Brewster's angle,自然光若以此種角度入射時, 就會形成偏振度為 1 的線偏振反射光。

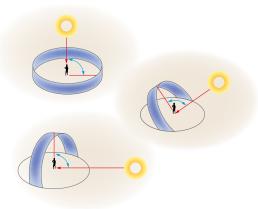
由瑞利散射公式
$$I = (\frac{I_0 V^2}{r^2 \lambda^4}) \cdot a \pi^2 \left(\frac{n_2^2 - n_1^2}{n_2^2 + 2n_2^2}\right) \sin \phi$$
,

可得陽光對空氣分子所造成的散射偏振光之偏振度與觀察 方向有關,在陽光垂直方向上的散射光強度與偏振度均最大,因此會在天空形成一圈環形的偏振帶。由於這種偏振

帶可以被昆蟲複眼中的紫外錐細胞所感測到,瑞典科學家 MARIE DACKE 的研究即發現若將照射在非洲糞金龜身上的偏振光旋轉 90 度時,糞金龜的前進方向就會立即轉了 90 度,因此證實了其與蜜蜂、螞蟻等昆蟲是利用偏振光來進行導航定位。偏光天文羅盤就是從當中所得到的啟發而製成的定向羅盤,使用這種儀器,即使飛機在磁羅盤失靈的南、北極上空,依然能準確地定向飛行。



反射光和折射光的偏振



太陽光的環形偏振帶

七、紫外線&紅外線實驗: (http://www.balloon.com.tw/light7.htm)

1. 利用電蚊拍來自製紫外燈

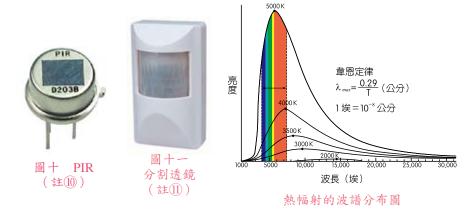
市售驗鈔機之價格動輒上千元,筆者使用十元商店所販售的 99 元電蚊拍來改裝成紫外燈。它除了驗鈔用途,尚可檢驗食品中是否含有不法添加的螢光增白劑。

2. 紅外線二極體

3. 紅外線感應燈

去年 H1N1 疫情嚴峻,各校都拿出了 SARS 流行時所採購的耳溫槍、額溫槍為同學們測

量體溫。它們是藉由內部的電紅外感測元件PIR接收到人體所發出的紅外線以產生電壓,然後經過類比數位訊號轉換後由晶片處理,並對照電壓與溫度的關係而得出體溫數據。而紅外線感應燈也是利用這





樣的原理,PIR 中央的作用範圍由圖十一的 Fresnel 分割透鏡分割成一塊塊的不同區域,以分別感測來自不同方位的紅外線。只要各區域中有一小塊探測到熱源活動就會產生電壓變動,從而啟動照明或其他電氣設備。由於人體 36°C 左右的溫度所輻射出之鋒值波長,依韋恩定律計算約為 9.4 μm 的中紅外線,是在 PIR 感測元件的波長靈敏度 0.2~20 μm 之範圍內。雖然在感測器頂端裝有可通過波長範圍為 8~12 μm 的濾光片,藉以吸收其他波長的紅外線來適合於人體紅外輻射的探測。但是筆者以冰塊來測試時,由於 0°C 的鋒值波長 10.6 μm 仍屬於 8~12 μm 的範圍內,因此冰塊的移動仍可被偵測到。因此,有人說被動式紅外線感應燈只感應超過環境溫度的溫血動物,其實這是不正確的說法。只要是不同於環境溫度的物體,因為移動而造成 PIR 中的任何一個區域偵測到有紅外線的變化,就會被解讀為有移動的物體而啟動照明設備!

4. 物體在紅外線照射下的反射率

當午後的陽光射進教室時,我們隔著窗戶的玻璃仍然可以感受到溫暖的陽光。但是透過

機場安置的紅外線熱影像顯像儀,顯現人的臉部有眼鏡的部位卻是黑色,代表人體所發出的紅外線不能穿過玻璃鏡片。造成這樣的差異是因為玻璃可讓近紅外線通過,但卻會反射中紅外線,此即為玻璃屋溫室效應的成因。既然不同頻率的光波對於玻璃有不同的反射率,因此筆者就嘗試在紅外線的照射下觀察物體的反射率,看看是否與可見光的照射下有所不同,連結的影音是以 Sony HandyCam 的夜攝功能所進行的實驗。數位相機與數位攝影機採



圖十二 紅外線熱像(註①)

用的 CCD 感光元件能感應到紅外線,廠商為了保證正常拍攝不會因紅外線干擾而產生色偏,都會在 CCD 前方裝有 ICF(Infrared Cut Filter)來阻擋紅外線。有夜攝功能的攝影機就是通過機械裝置將這片 ICF 移開使 CCD 能充分接收紅外線,另外再投射出紅外線光源,就能在完全漆黑的夜晚進行夜攝。 提到紅外線攝影,媒體以前曾做過透視相機的報導,其實不論數位 DV、DC、紅外線濾鏡,都不具備透視功能。真正的原因是攝影機主動投射出去的近紅外線穿過了第一層材質,照射到裡面第二層材質後反射回來,然後再穿過第一層材質。這時第一層材質在視覺中看來就會呈現出半透明狀態,也就是所謂的透視現象,接下來才是應用 CCD 將這個已經存在的效果拍攝下來。

八、3D 紅青立體像: (http://www.balloon.com.tw/light8.htm)

- 1. 立體眼鏡的製作
- 2. 立體像的成像原理
- 3. 3D 紅青立體影片

我們能感受到物體的遠近,是靠著雙眼間隔約 65 mm 的距離來實現的。由於左眼所看到的影像與右眼所看到的影像會有些微的差異,這種在兩眼網膜影像之水平位移變化稱為「視



差」。大腦會解讀雙眼的視差,藉以判斷物體遠近來產生立體視覺。 3D 紅青立體眼鏡使用了與立體圖片相同的互補色來製作,當我們雙眼透過不同的鏡片來觀察圖像時,左右眼各自從不同角度觀察而將影像依「生理混色法」做偏色處理重疊,形成兩眼視覺上的視差,在大腦中便產生具有遠近層次感的三度空間立體影像(圖十三)。



圖十三 雙眼的視差(註13)

九、新奇的玩具: (http://www.balloon.com.tw/light9.htm)

1. Message clock

一個利用視覺暫留來呈現訊息的新玩具,訊息內容可自訂。亦可接到電話盒,以跑馬燈 方式顯示來電號碼,有平面式與圓球形等不同款式。

2. 光筆有聲書

市面上的光筆有聲書琳瑯滿目,這隻會說話的魔法筆看似神奇,但其實就是類似雷射條碼掃描器的原理。在光筆前端有一顆雷射二極體,當光筆點選書本的圖案或文字區塊時,由於這些區塊上印有水平與垂直的二維條紋(以放大鏡即可清楚看見),每一段文章或圖案上的條紋間隔彼此不同,當紅光雷射照射到不同的矩形面積時即可產生不同的繞射圖樣。然後光筆將讀入的訊號以光纖輸送回卡匣,即可發出特定的某段發音。它的原理很簡單,效果卻很神奇,缺點則是要有支援這支光筆的昂貴教材。

3. 緊急照明燈

電話線在話筒掛機時的電壓是 55 伏特,有電話撥入時的振鈴電壓為 48 伏特,拿起話筒時的電壓則是 10 伏特。由於電話線能提供的電流很小,只有 30 毫安培左右,而且若將電話線接上燈泡等負載時,交換機就會認為話筒已被拿起而將電壓降至 10 伏特。因此藉由電話線所能擷取的功率,等於電流 30 毫安培乘以電壓 10 伏特,約等於 0.3 瓦。因為白熾燈泡的功率遠大於此而無法被點亮,不過卻可以改用多個高亮度發光二極體並聯起來接在電話線上,一旦停電時若發現手電筒裡的乾電池沒電了,這時它就可以派上用場來當作緊急照明燈。

十、鈔票中的隱藏字:(http://www.balloon.com.tw/light10.htm)

- 1. 隱藏字的凹版印刷
- 2. 檢驗隱藏字的方法

介紹檢視隱藏字來辦認真鈔的幾種方法與顯現的原理。

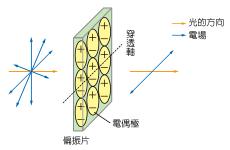
十一、光的偏振與旋光性: (http://www.balloon.com.tw/light11.htm)

1. 偏光畫

高中物理實驗室所使用的人造偏光片,它是由高分子化合物聚乙烯醇 PVA 的薄膜作為基



片,再浸染於碘溶液使碘離子擴散滲入內層的 PVA 中,並經硼酸水溶液還原穩定後,將其單向拉伸 4~5 倍然後烘乾。高分子材料即能由無規則性分布被拉成線狀結構,而吸附於薄膜上的碘離子就能整齊地被定向排列而具有強烈的二向色性,平行於分子方向上之入射光電場可使電子交替振盪,電磁波能量即能被吸收轉為電荷的振動動能。因此長分子方向是消光軸,垂直的方向則因不導電而成為



自然光入射偏振片之示意圖

透射軸,利用此特性即可做為偏振器或檢偏器。這種 H 偏振片的偏振度可達 0.995,筆者在 拍攝日蝕時即以兩個偏振軸互成 90 度的這種偏振片來遮光,由影片中可得知此時陽光仍是無 法完全被消除的。至於深受小朋友喜愛的偏光畫活動,其中最困難的地方就在於偏光片的取 得,筆者在此提供一種不需花錢購買的方法。由於我們看螢幕時,離我們最近的那層表面就 是偏振片,因此可到學校設備組或網管中心取得報廢的液晶螢幕。將其拆開後取出液晶板, 小心地撕下貼在表面的膜片,最後以橡皮擦去除上面的油性不乾膠即大功告成。

2. 檢驗強化玻璃的方法

3. 檢驗玻璃餐盒的內應力分布

強化玻璃(Tempered Glass)是將退火玻璃以高於玻璃轉化溫度(600°C)的強化爐加熱後,表面迅速以空氣冷卻而成。因為此時的玻璃被冷卻至退火溫度以下而快速硬化收縮,表面因而形成壓應力。由於玻璃



玻璃表面因受外力往外張開的張應力

的破壞機制是表面受到張應力的作用,所以強化玻璃受外力時,表面須先克服壓應力之後才能產生張應力狀態,因此其強度就會增加。而原本是光學各向同性(各個方向上的折射率相同)的退火玻璃,在應力的作用下會變成光軸沿應力方向的各向異性(折射率會隨著所受的應力而改變),並且在強化玻璃的四個角落附近產生應力集中的現象。所以藉由偏振片若觀察到玻璃顯現因為應力梯度而形成的條紋時,即可得知此玻璃產品已經過強化處理。

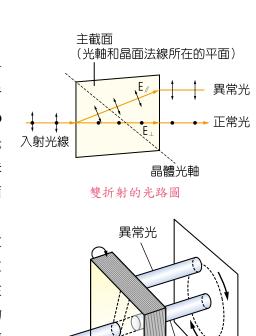
4. 雲母的旋光性

當線偏振光通過某些物質時,偏振光的偏振面會旋轉一定的角度,這種現象稱為旋光性 (optical activity),葡萄糖與蔗糖的旋光性為右旋,果糖則有很強的左旋性,旋光測量即可用於 糖含量的測定和化學結構分析。從物質的分子結構上來分析,旋光性來自於分子本身或分子 在晶體中排列的不對稱性。如果分子本身的結構既無對稱中心又無對稱平面,則分子將以互 為鏡像的兩種形態存在,分別對應右旋和左旋兩種結構。有機分子的不對稱性大多與其碳原子鍵有關,由於碳原子與四個原子或原子團結合構成一個四面體,原子或原子團位於四面體 的頂點,碳原子位於中心。如果四個頂點有不同的原子或原子團,分子就沒有對稱性。例如 醣類中的分子含有多個非對稱性的碳原子,因此形成好幾種光學同分異構物。當線偏振光在 旋光物質中傳播時可分解成左旋和右旋圓偏振光,它們的傳播速度略有不同,所以產生不同的相位延滯,從而使合成之線偏振光的電場向量造成角度的旋轉。旋光角度 $\varphi = \frac{\pi d}{\lambda} (n_l - n_d)$ 與光傳播的距離成正比,與光波長成反比。



5. 方解石的雙折射現象

對於六方晶系、三角晶系和正方晶系,如方解石、 石英、冰等單軸晶體,一束入射光射入這類晶體時會 分解為兩束偏振軸正交的折射光,此現象稱為雙折 射。其中一束折射光遵守司乃耳定律,稱為正常光(O 光)。另一束折射光不遵守司乃耳定律,稱為異常光 (E光),兩者的折射率不同。單軸晶體裡有一個特殊 方向,這個方向叫作晶體光軸,當光軸垂直於晶體表面 時,若光線沿著光軸方向入射,則不發生雙折射現象。 由連結之影音中可觀察到一個有趣的現象,將方解石放 在白紙的紅點上方時,由於這時入射線與晶面法線重 合,O 光依司乃耳定律沿入射光線的方向透射。E 光在 晶體內卻不遵守司乃耳定律而偏離法線。由於方解石的 前後晶面互相平行,所以從方解石透射出來的 O、E 兩 線互相平行,且都與入射線平行,只是透射的 E 線有側 向位移。如果此時以入射光線為軸旋轉方解石,便能見 到E光的紅點圍繞著O光的紅點旋轉的有趣畫面。



會旋轉的異常光

正常光

屏幕

入射光線

十二、液晶投影機的趣味實驗:(http://www.balloon.com.tw/light12.htm)

- 1. 以偏振片來玩一個小魔術
- 2. LCD內部構造
- 3. 分析形成這個現象的因素

這是筆者在進行光線的偏振實驗時偶然發現的有趣現象,如果學校的投影機屬於液晶型式,讀者們就可以利用它來玩這個魔術。若有興趣進一步瞭解其成因,歡迎進入連結的影音,其中介紹了 LCD 內部構造,以及筆者試圖尋找形成此現象的實驗過程。

十三、給學生的光學作業:(http://www.balloon.com.tw/light13.htm)

這是筆者進行光線在各種溶液中的散射時,偶然間所發現的現象。我們認為樹葉之所以會呈現綠色,是因為陽光照在樹葉時,葉綠素吸收了綠光以外的所有色光,只讓綠光反射與透射,樹葉因而呈現綠色,但連結的影音內容似乎推翻了這樣的認知。其實這個有趣的現象背後有著合理的解釋,同學們不妨先進行這類的實驗,找出有哪些溶液也會有這種照光後變色的現象,寫好實驗報告後找您的物理老師請教,您就會發現原來探索真相竟是如此地有趣!



◎附註

- ① 圖片來源: http://www.epochtimes.com/b5/9/7/22/n2598233.htm 中央社,臺灣日偏食奇觀,上網日期: 民99年4月19日。
- ② 圖片來源:http://it.hexun.com/2009-07-14/119586689.html 網易,500年不遇的盛景,上網日期:民99年4月19日。
- ③ 圖片來源:http://www.redbots.cn/fun/2009/07/02/11427.htm Eric,奇趣科學,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ④ 圖片來源:http://www.atoptics.co.uk/rainbows/supers.htm

 Mark Nankman,Supernumerary Rainbows,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ⑤ 圖片來源:http://photography.nationalgeographic.com/photography/enlarge/blue-morphobutterfly_pod_image.html
 - Cary Wolinsky, Mounted blue morpho butterfly, 上網日期:民99年4月19日。
- ⑥ 圖片來源:http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/269/1499/1417.full.pdf D. G. Stavenga1,Butterfly wing colours,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ⑦ 圖片來源:http://zh.treknature.com/gallery/photo105410.htm Craig Ro, Pigeon kiss, 上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ⑧ 圖片來源:http://www.flickr.com/photos/lionyang/970787136/ Wilson Yang,Beetles 甲蟲,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ⑨ 圖片來源:http://nanotechweb.org/cws/article/tech/18793
 Nanotechweb,Beetle perfects artificial opal growth,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ⑩ 圖片來源:http://www.futurlec.com/PIR_Sensors.shtml Futurlec,Infrared Radial Sensor,上網日期:民 99 年 4 月 19 日。
- ① 圖片來源: http://specosecurity.surveillancecamerasystems.com/product_files/speco_CVC-272PIR. htm
 - Speco Technologies, CVC-272PIR, 上網日期: 民99年4月19日。
- ② 圖片來源: http://www.irpro.com.tw/DL770B.htm立松科技,紅外線熱像測溫系統,上網日期:民99年4月19日。
- ⑤ 圖片來源: http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp9.htm中山大學物理系,物理週演示實驗,上網日期:民99年4月19日。

