



成功大學

光電科技導論(通識中心課程)

Chapter 2

光是什麼 ---光的特性介紹



光電系

大綱

- 科學單位介紹與光學演進史
- 光是什麼？
粒子說、波動說、二相性
- 光的特性與應用實例
幾何光學：反射、折射、色散
物理光學：繞射、干涉、偏振



科學數量級

◆ 微小數量級：微米(μm)製程、奈米(nm)科技

中文	英文	代號	科學表示	傳統表示
毫	mini	m	10^{-3}	0.001
微	micro	μ	10^{-6}	0.000001
奈	nano	n	10^{-9}	0.000000001
皮	pico	p	10^{-12}	依此類推
飛	femto	f	10^{-15}	依此類推

<實例> 長度以公尺(m)為基準

公里	米	毫米	微米	奈米
km	m	mm	μm	nm

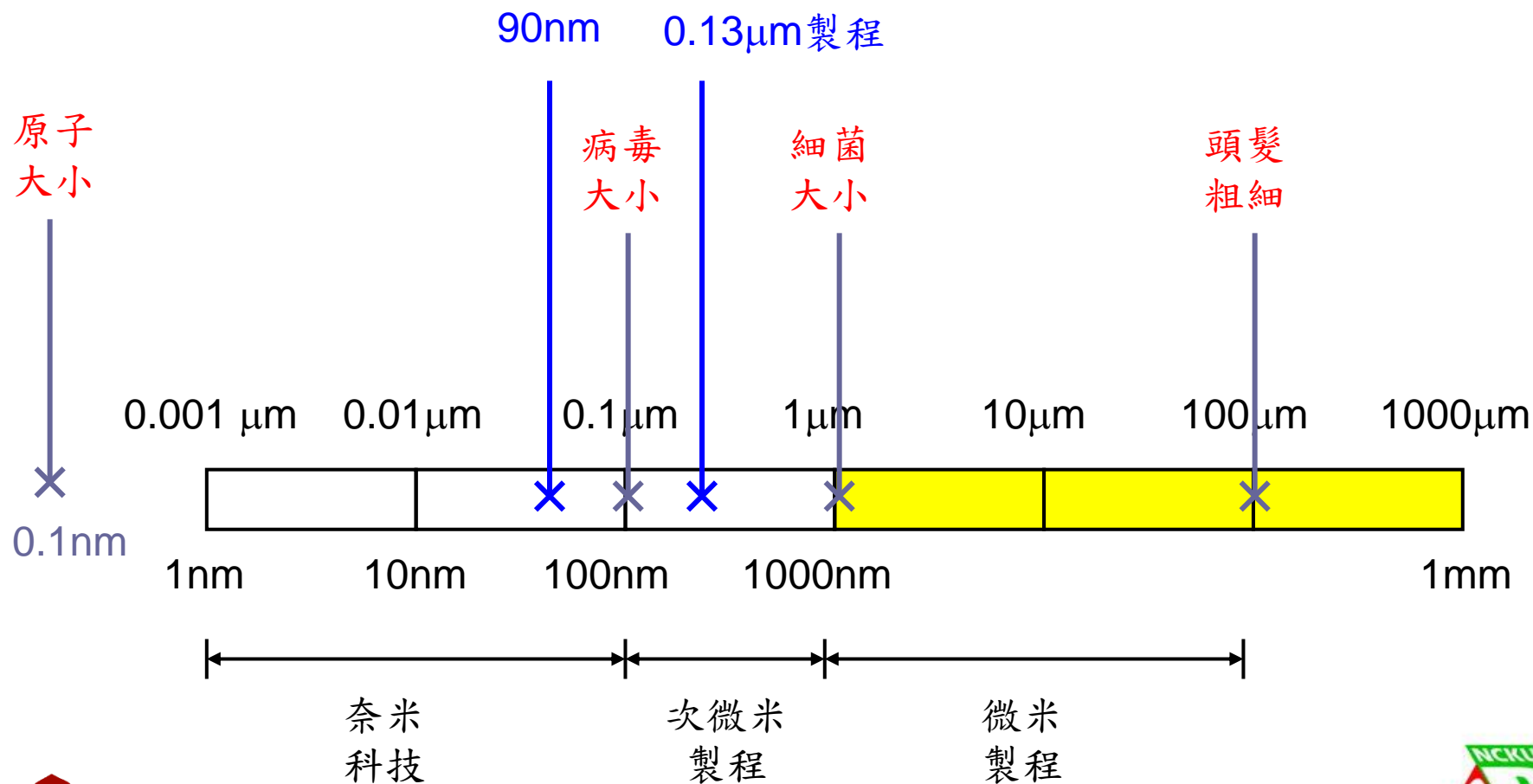
⇒ 1顆原子的大小 = 0.1 奈米(nm) = 1埃(\AA) = 10^{-10} 公尺(m)



光電系



科學數量級

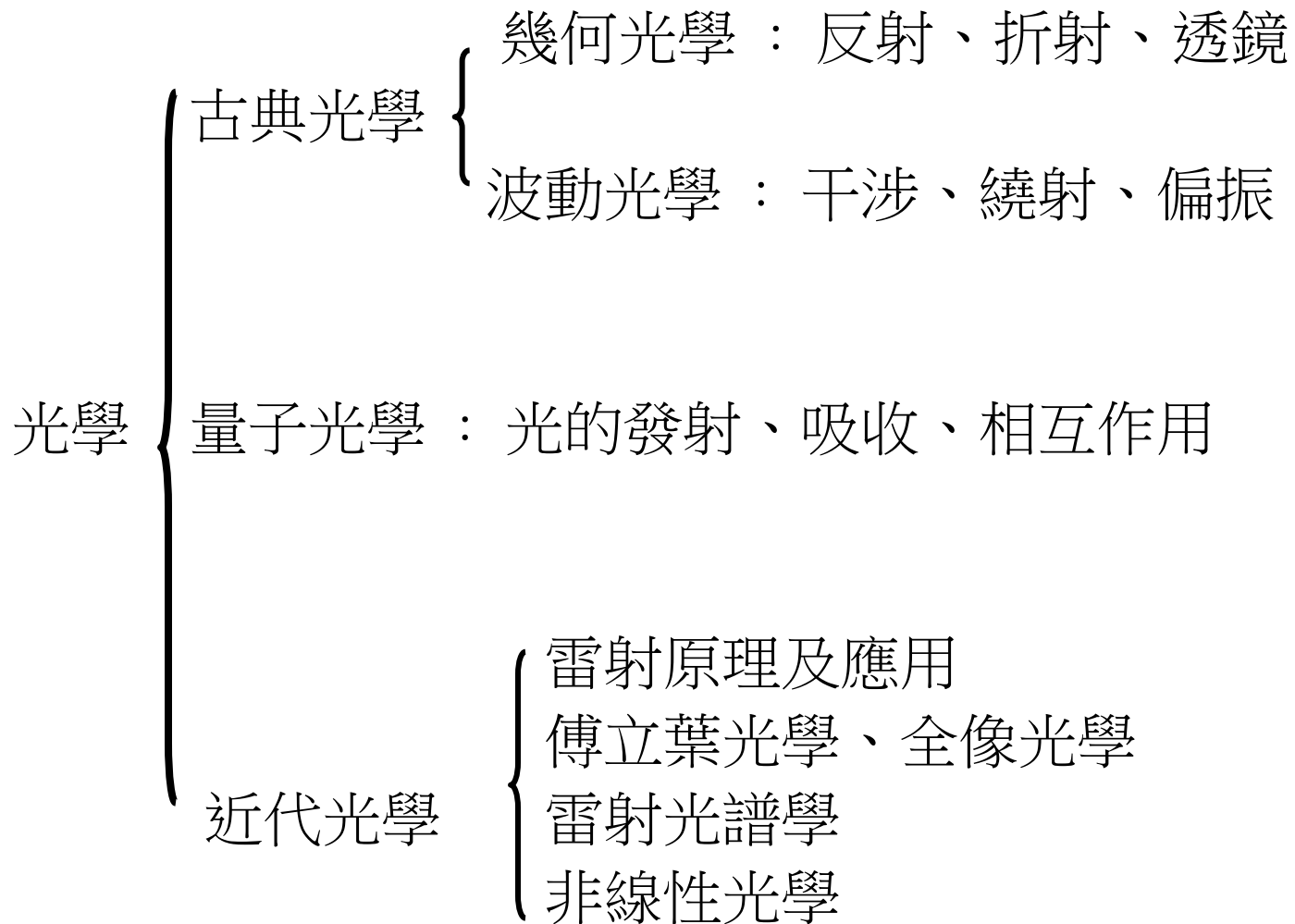


科學數量級

◇ 巨大數量級：硬碟(MB)、頻寬(GHz)

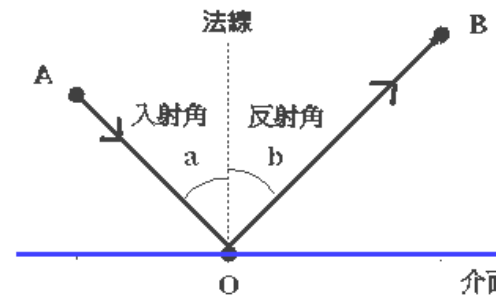
中文	英文	代號	科學表示	傳統表示
千	kilo	K	10^3	1,000
百萬	million	M	10^6	1,000,000
十億	giga	G	10^9	1,000,000,000
兆	tera	T	10^{12}	依此類推

光學理論體系



光學發展簡史_反射定律

- 埃及可追溯到遠古時代（西元前1200年）舊約聖經的出埃及記，當時製作反射鏡的材料為銅(Copper)、青銅(Bronze)等金屬。
- 墨翟（468~376 B.C.）所著的墨子一書，載有光的直線傳播、面鏡成像等現象，並對面鏡成像提出一些經驗規則
- 歐幾里德（Euclid, 330~275 B.C., 希臘人）在光學一書中對平面鏡成像進行研究，並指出反射角與入射角相等的關係

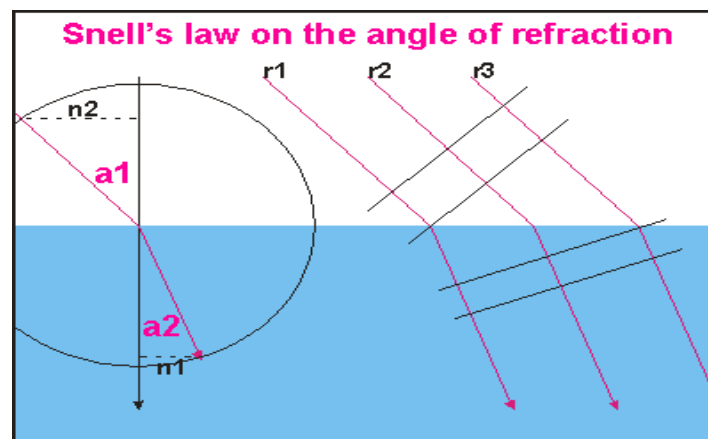


光學發展簡史_折射定律

- 阿爾哈金 (Alhazen, 965~1038, 阿拉伯人) 研究球面鏡、拋物面鏡，並發明凸透鏡以及描繪眼構造
- 伽利略 首先使用天文望遠鏡1607年還嘗試測量光速但未成功；
- 司乃耳 (Willebrord Snell, 1591~1626, 荷蘭人) 由實驗歸納出折射定律



Willebrord Snell
(1580-1626)



光學發展簡史

- 格里馬第（Francesco Grimaldi，1618～1663，義大利人）首先觀察到光的繞射（diffraction）現象。
- 牛頓曾以稜鏡進行光的色散實驗，發現白光是由數種色光所組成——色散現象。
- 隆美耳（Ole RÖmer，1644～1710，丹麥人）由觀測木星的衛星，首次測定光速約為 2.15×10^8 m/s



大綱

- 科學單位介紹與光學演進史
- 光是什麼？
粒子說、波動說、二相性
- 光的特性與應用實例
幾何光學：反射、折射、色散
物理光學：繞射、干涉、偏振



光是什麼？

I. 粒子說(Particle models)

1621 : W. Snell(司乃耳,英國) : 折射(Snell's Law)

1637 : R. Descartes(笛卡兒, 法): 折射, 反射

1664 : P. Fermat(費馬)

觀察 (a)自然界遵行最短距離行為
(b)光速有限

Fermat Principle 為幾何光學基礎

1704 : I. Newton (牛頓) : 稜鏡, 色散現象(Dispersion)



可以解釋：光的直線傳播，光的反射，光的折射等現象。

難以解釋：光在兩介質界面所產生的部分反射與部分折射的現象、光的干涉和繞射現象。



光電系

光是什麼？（續）

II. 波動說(wave theory)

1665: F. M. Grimaldi(格里馬第): 繞射

R. Hooke(虎克): 干涉

1779: C. Huygens(惠更斯): 惠更斯第二波前理論

1802: T. Young (楊格): 雙狹縫干涉

1815: A. Fresnel(菲涅耳):

繞射理論

偏極光反射(Fresnel eq.)

橫波(transverse wave)

1864 : J. C. Maxwell(馬克士威):

建立了電磁波理論，並推算出在真空中電磁波
速度真空中光速相等，推論光為電磁波的一種。

可以解釋：光的反射，光的折射，光的獨立傳播等現象。

難以解釋：光電效應與康卜吞效應。



光電系



光是什麼？（續）

III. 量子論：

□十九世紀末到二十世紀初，光學的研究深入到光的發生、光和物質相互作用的某些現象，例如熾熱黑體輻射中能量按波長分佈的，特別是1887年赫茲發現的光電效應、1900年普朗克（1858-1947年）提出了輻射的量子論，認為各種頻率的電磁波只能是電磁波（或光）的頻率與普朗克常數乘的整數倍，成功地解釋了黑體輻射問題。

□1905年愛因斯坦（1879-1955年）發展了普朗克的能量子假設，把量子論貫穿到整個輻射和吸收過程中，提出光量子（光子 Photon）理論，圓滿解釋了光電效應，並為後來的許多實驗例如康普頓效應所證實。

□1924年德布羅依（L.V.de Broglie，1892-1987）創立了物質波學說。他大膽地設想每一物質的粒子都和一定的波相聯繫，這一假設在1927年為戴維孫（C.J.Davisson，1881-1958）和革末（L.H.Germer，1896-1971年）的電子束繞射實驗所證實。



光電系

波粒二相性 (particle-wave duality)

波動

$$E = h\nu$$

$$P = h / \lambda$$

波傳播

1. 干涉
2. 繞射
3. 偏振

粒子

$$\nu = E / h$$

$$\lambda = h / p$$

與物質互作用

1. 光發射
2. 光吸收
3. 光電效應

波爾 (Niels Bohr) 所提出的互補原理 (the Principle of Complementarity)



光電系

大綱

- 科學單位介紹與光學演進史

- 光是什麼？

粒子說、波動說、二相性

- 光的特性與應用實例

幾何光學：反射、折射、色散

物理光學：繞射、干涉、偏振



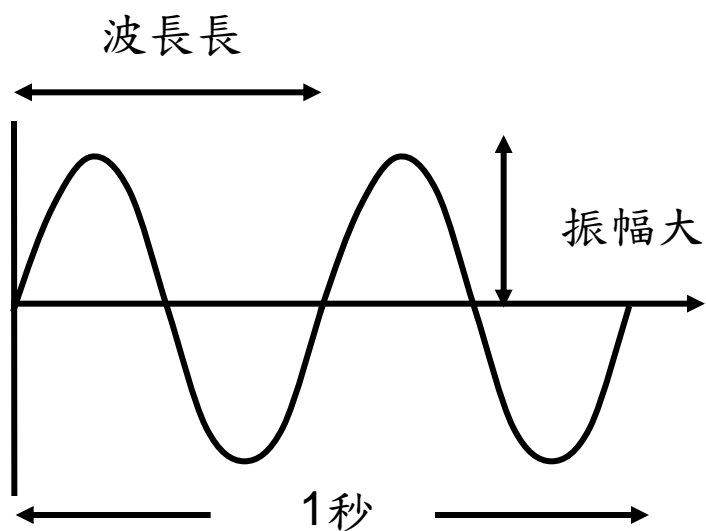
光波的定義

◇ 光是一種電磁波

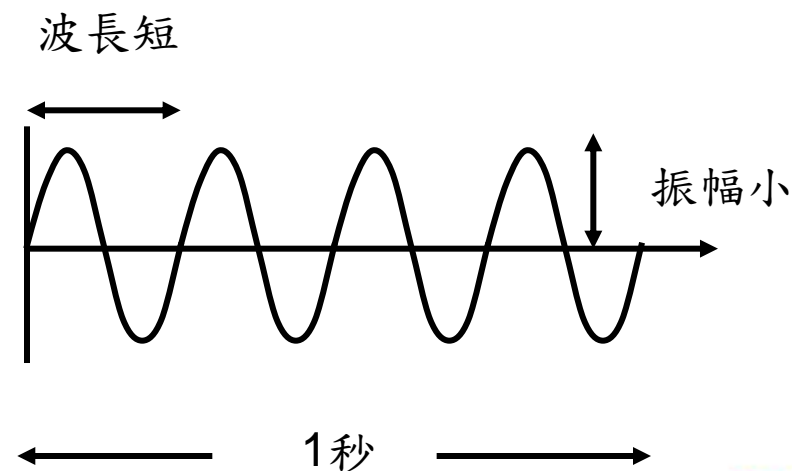
⇒ 波長：波峰到波峰的距離

⇒ 頻率：一秒鐘內電磁波訊號振動的次數(單位：赫茲Hz)

⇒ 振幅：電磁波振動幅度的大小



頻率低 = 2 Hz



頻率高 = 4 Hz

光的波長與頻率

不同顏色的光波長不同

<公式>

$$v(\text{頻率}) = \frac{c(\text{光速})}{\lambda(\text{波長})}$$

$$c = 3 \times 10^8 (\text{m/s})$$

<實例>

第二代行動電話通訊電磁波之中心頻率為1800MHz，
請換算其電磁波之波長為何？

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8 (\text{m/s})}{1800 \times 10^6 (1/\text{s})} = 0.16 (\text{公尺}) = 16 (\text{公分})$$



光電系

光的波長與能量

不同顏色的光能量不同

< 公式 >

$$E(\text{能量}) = h\nu(\text{頻率}) = h \frac{c(\text{光速})}{\lambda(\text{波長})}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} (\text{J} \cdot \text{s})$$

< 公式 >

$$E(\text{eV}) = \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})}$$

< 重要觀念 >

⇒ 光的波長愈長，頻率愈低，能量愈低 → 紅光

⇒ 光的波長愈短，頻率愈高，能量愈高 → 藍光

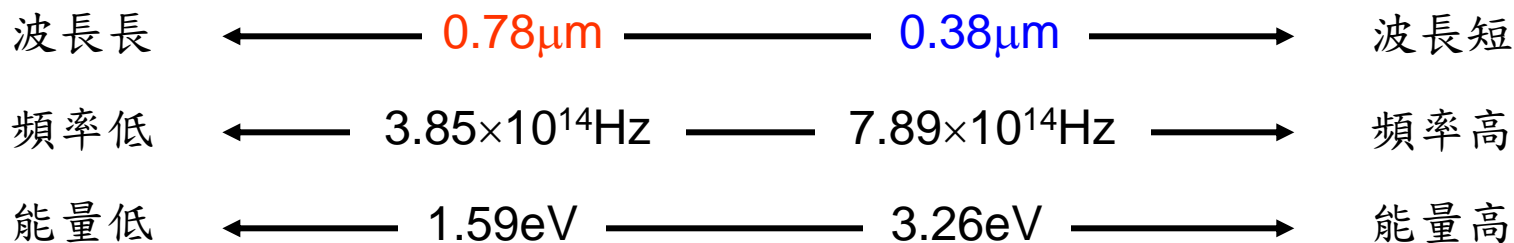


光電系

光的波長與顏色

不同顏色的光波長不同

無線電波	微波	紅外線	可見光				紫外線	X射線	γ 射線
			紅	橙	黃	綠	藍	靛	紫



0.78 0.60 0.58 0.53 0.48 0.45 0.43 0.38 μm

1.59 2.00 2.14 4.04 2.58 2.76 2.88 3.26 eV



光電系



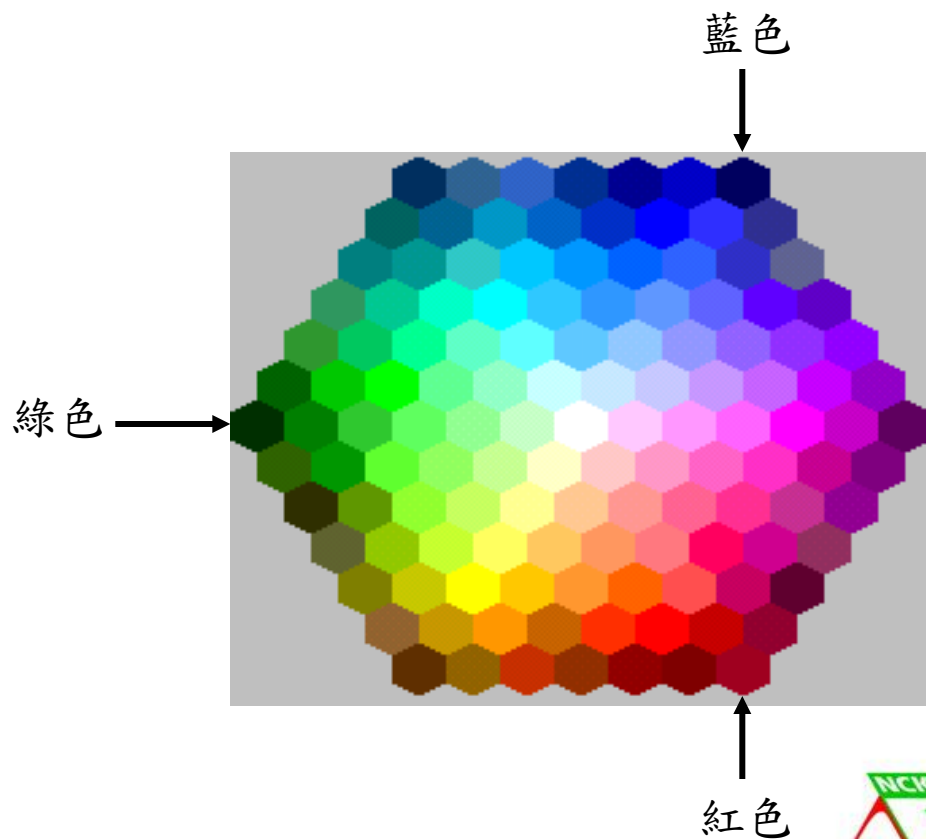
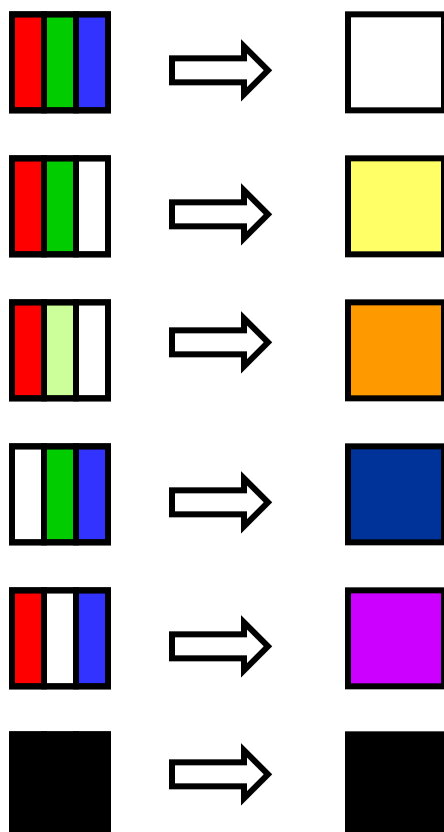
光有無限多種顏色形成連續光譜

光的三原色

◇ 紅色(Red)、綠色(Green)、藍色(Blue)

紅、綠、藍不同亮度可以組合成光譜中所有的顏色

< 實例 >

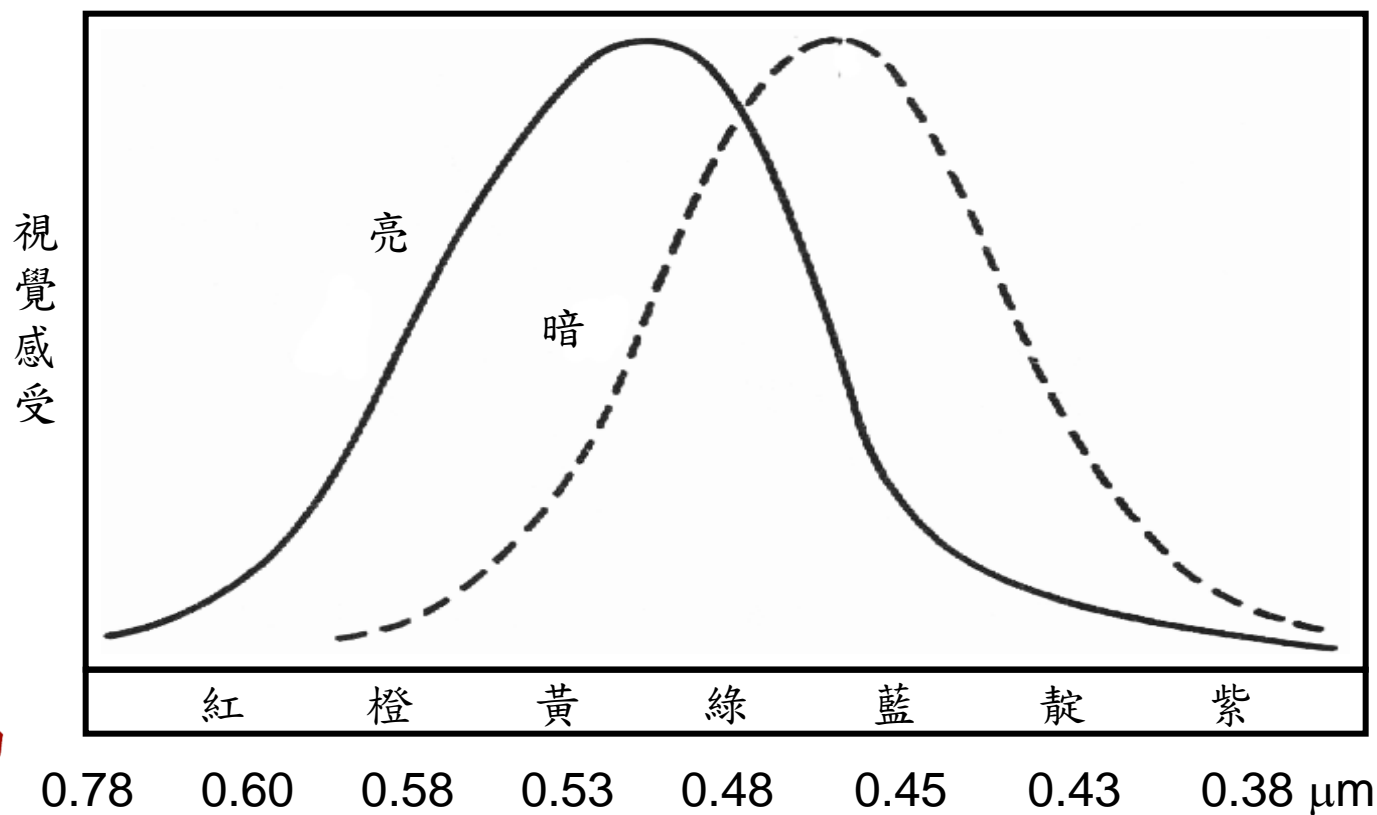


▣ 人類的視覺色彩

◆ 人類視覺神經對色彩之感受程度大小與顏色有關

⇒ 白天人類視覺神經對『黃綠色』感受程度最大

⇒ 夜晚人類視覺神經對『藍綠色』感受程度最大



大綱

- 科學單位介紹與光學演進史

- 光是什麼？

粒子說、波動說、二相性

- 光的特性與應用實例

幾何光學：反射、折射、色散

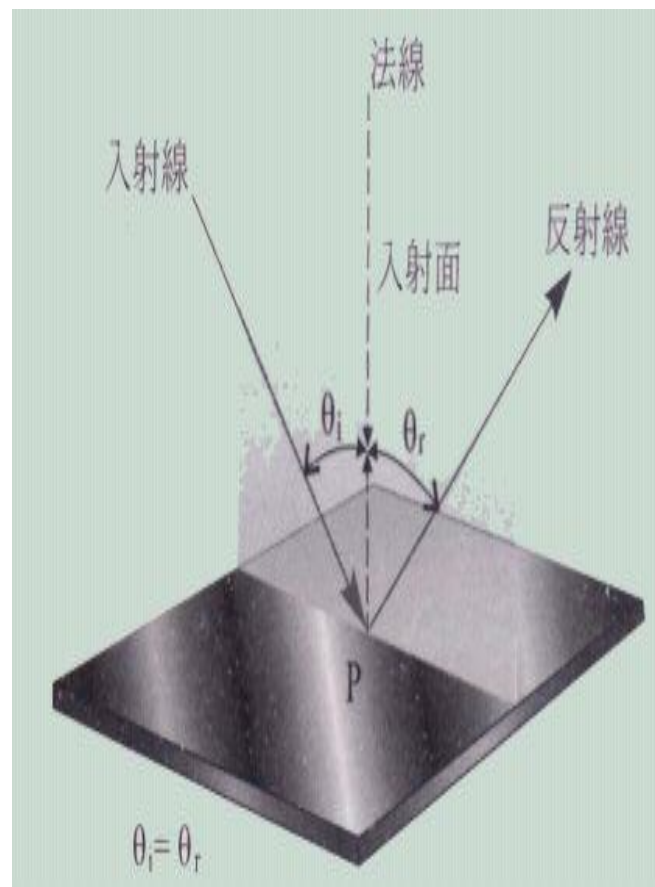
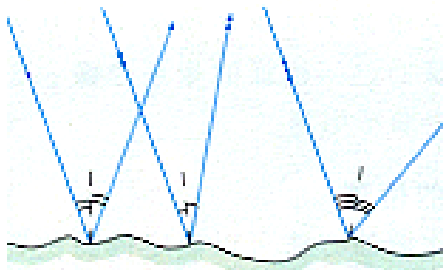
物理光學：繞射、干涉、偏振



光的反射

- 射向鏡面的光線為入射線，反射出來的光線稱為反射線。
- 法線是入射線與反射線交點處與反射面（鏡面）垂直的線。
- 入射線與法線的夾角稱為入射角。
- 反射線與法線的夾角稱為反射角。
- 不平整的材料介面，但其仍然遵守反射定律，稱為“漫射”

非光滑平面 \Rightarrow 漫射



光的反射與平面鏡

■ 面鏡的種類

1. 平面鏡

2. 凸面鏡：反射面是凸的表面

3. 凹面鏡：反射面是凹的表面

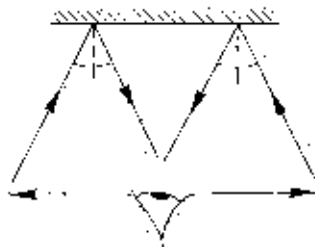
4. 哈哈鏡：平、凹、凸面鏡組合造成趣味效果

■ 凸、凹面鏡用途與性質

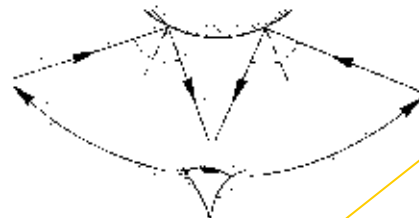
1. 凸面鏡 ⇨ 正立縮小虛像

① 性質：成像範圍廣，有發散光線性質

② 用途：公路轉彎反光鏡、汽車後視鏡



平面鏡



凸面鏡

視野廣



光電系

光的反射與平面鏡

■ 面鏡用途與性質

2. 凹面鏡

① 性質：有會聚光線性質

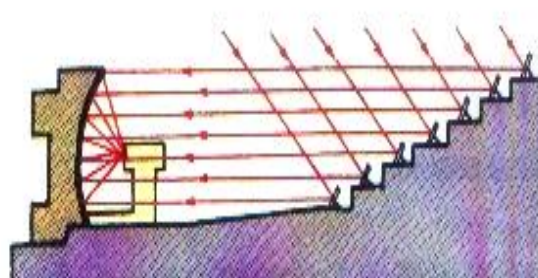
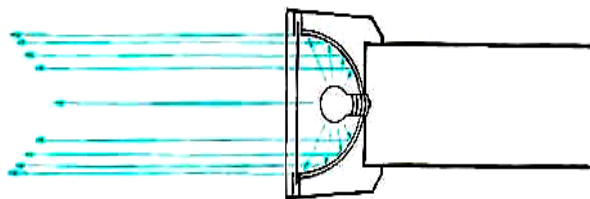
② 用途 ⇨ 光路有可逆性

(1) 手電筒燈頭、汽車車前燈、探照燈

⇨ 光源在焦點，能使光反射平行集中射出

(2) 太陽爐、太陽傘：為利用焦點之光能

⇨ 光源在無窮遠（平行光），能使光會聚於焦點



成功大學



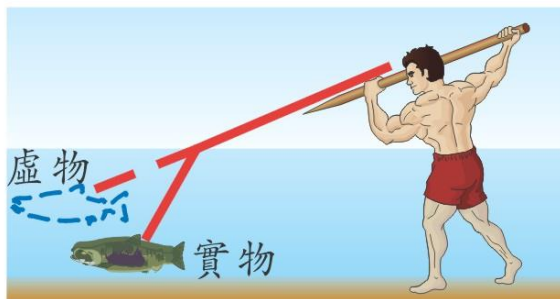
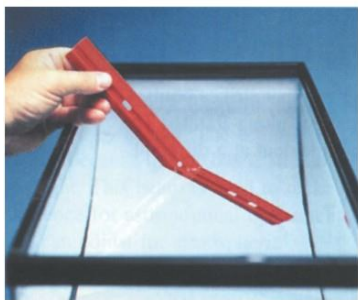
光電系



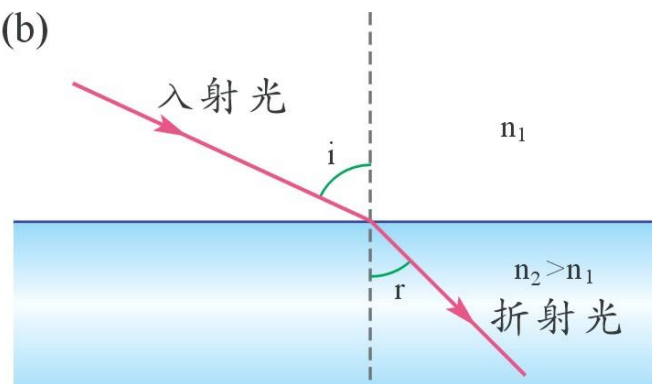
光的折射

❖ 光在不同介質間傳播而改變行進方向的現象稱為
光的折射

(a)



(b)



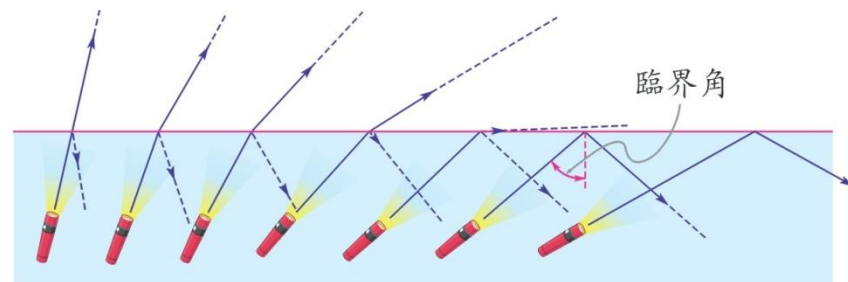
(a)光的折射、(b)示意圖

❖ 入射線、折射線和法線位於同一平面上，入射角和
折射角的sin值成一定的比例

折射率與全反射

介質	折射率
真空	1.0000
空氣	1.0003
水	1.33
矽	3.50
矽玻璃	1.45
塑膠	1.49
砷化鎵	3.60
鍺	4.06

光密介質進入光疏介質時，若入射角增大至某一角度 θ ，我們將會發現折射角為90°



- 折射率亦有關於眼鏡的厚薄問題

全反射的應用

□ 光纖利用全反射來傳輸光線

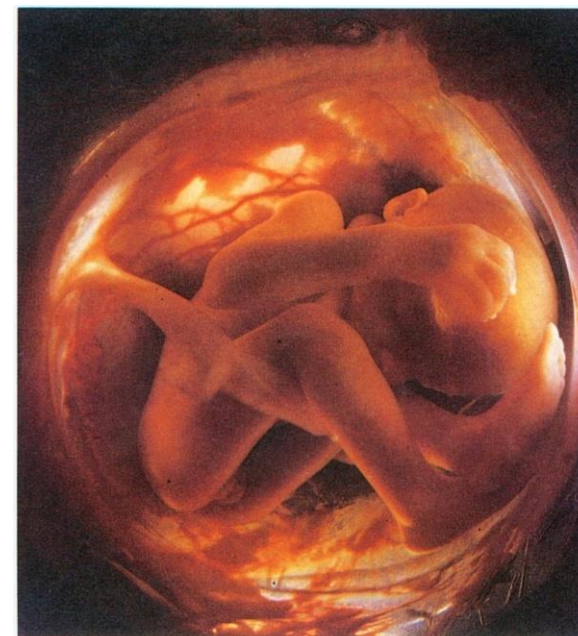
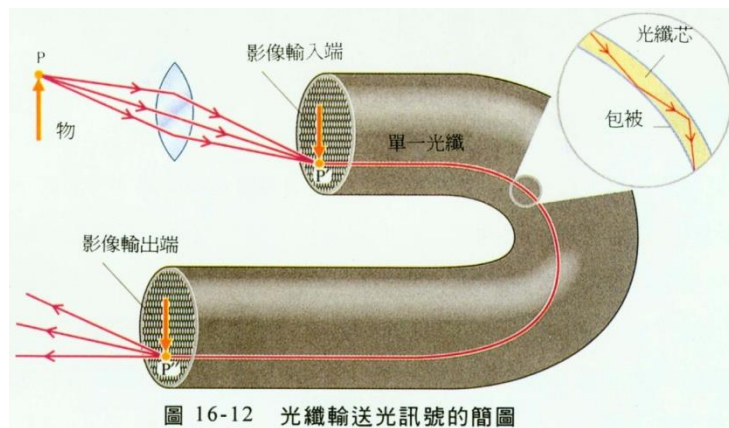
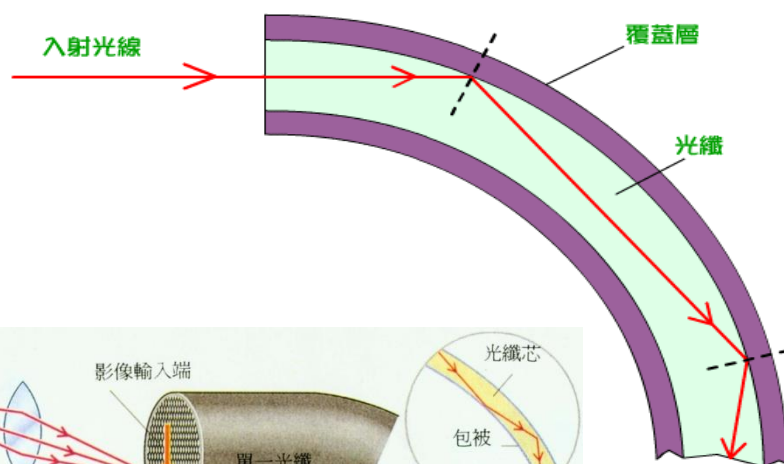
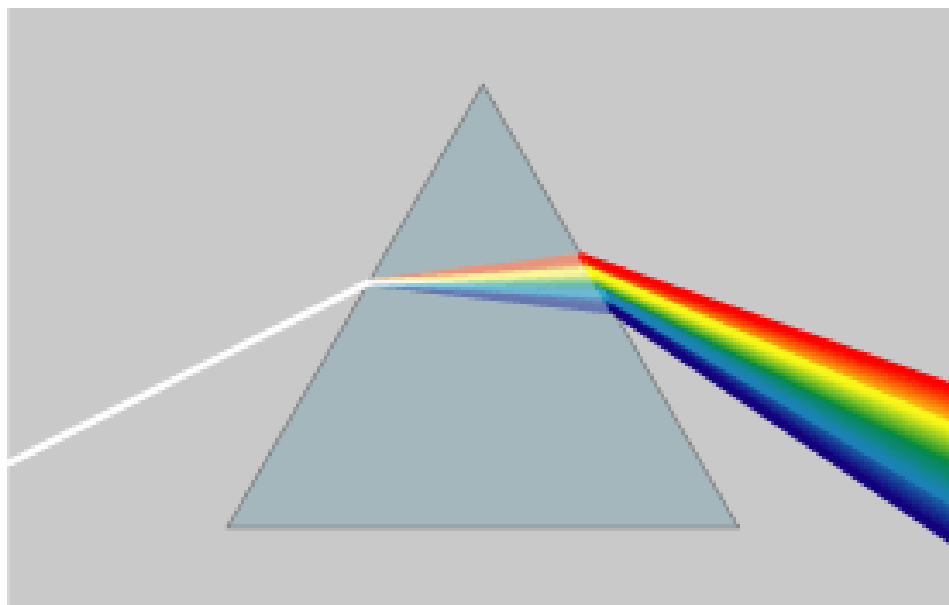


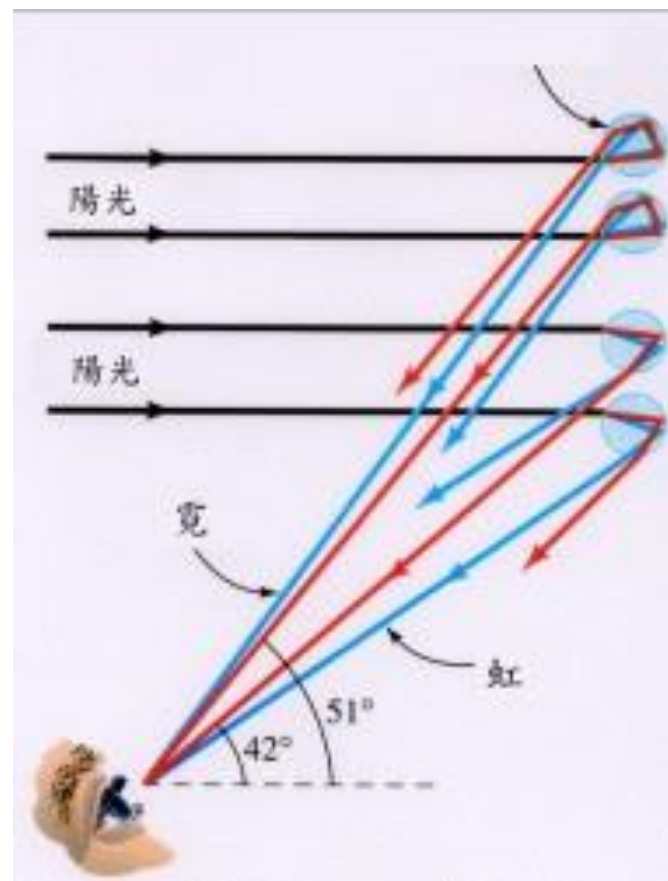
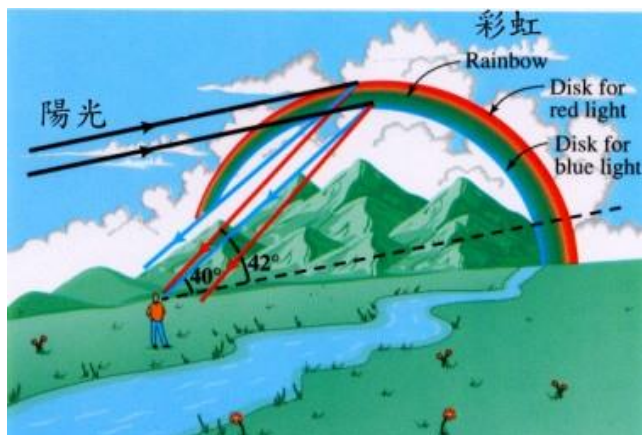
圖 16-13 經由光纖拍攝胎兒所得之照片

光的色散

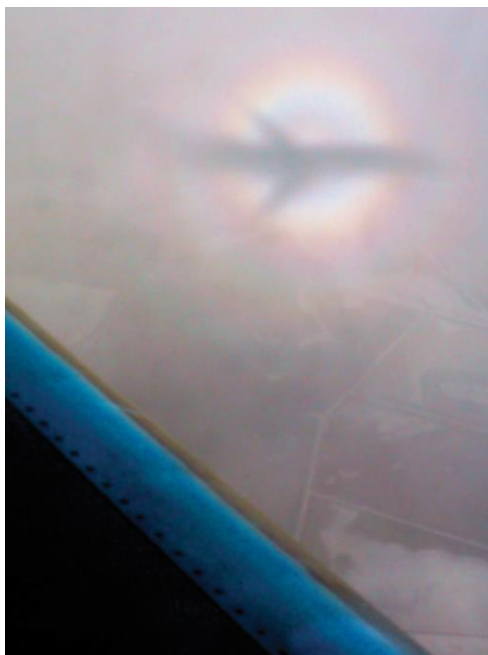
- 不同頻率的色光相對於介質的折射率並不相同，太陽光本身包含有不同顏色（頻率）的色光。
- 產生折射時，不同顏色的光線因折射角不同 而分開，於是形成色散現象。



光的色散：彩虹



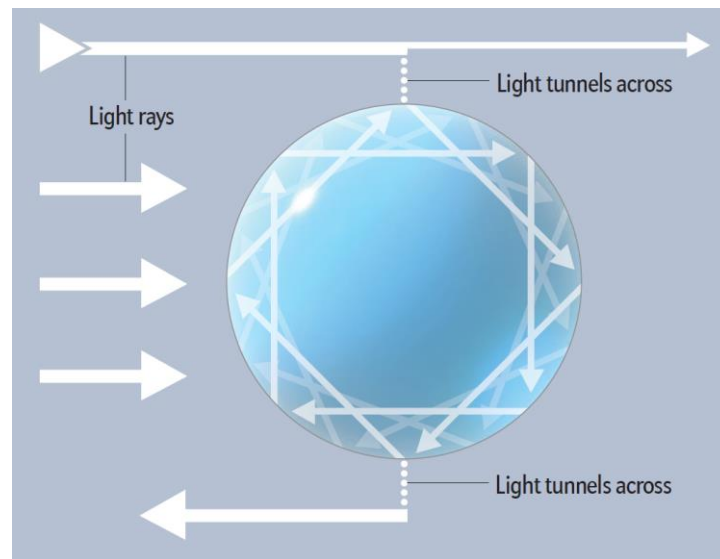
神蹟？彩虹？彩光環(glory) 知多少



1730年代，厄瓜多的潘巴馬爾卡山山頂進行觀測的科學考察隊報告說：我們頭頂的一片雲自行消散，曙光透了出來……後來我們每個人都看見自己的影子投射在雲上……最特別的是影子的頭部周圍出現光環，由三或四個同心圓組成，色彩十分鮮明……最令人驚奇的是當時在場的六、七個人中，每個人都只看見自己的影子頭部周圍有光環，看別人的影子時則什麼都沒有。



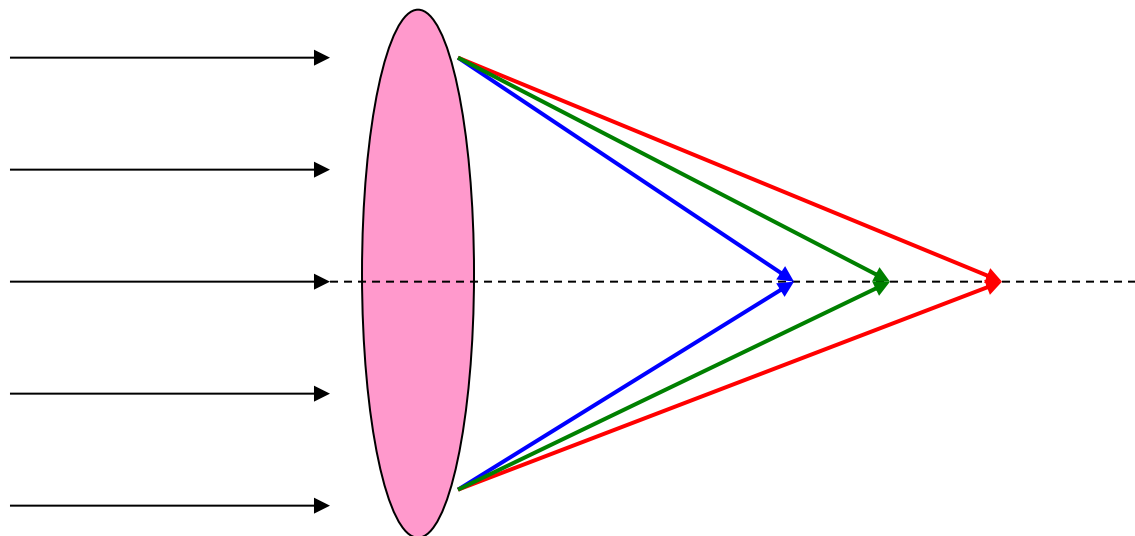
彩光環形成機制



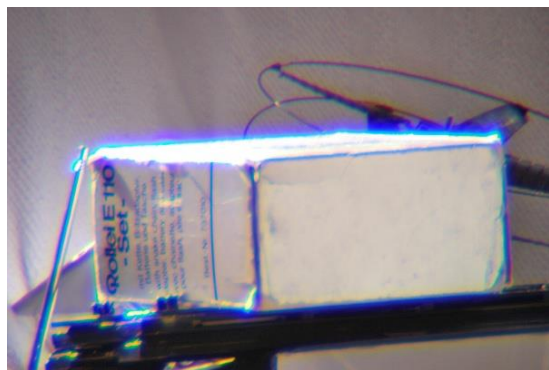
- 彩光環的色彩和彩虹一樣，它由組成雲的細小水珠所產生，但物理現象更複雜。
- 逆向射回的光能大多來自波穿隧效應。在此現象中，光線沒有接觸水珠，但仍可將能量傳入水珠內部。



透鏡色散（色差）



色散嚴重的相機拍攝照片



高對比區域邊緣幾乎都有紫邊或綠邊

<http://blog.dcvie.com/article.php?a=DzFXNFQ1ATM%3D>



光電系

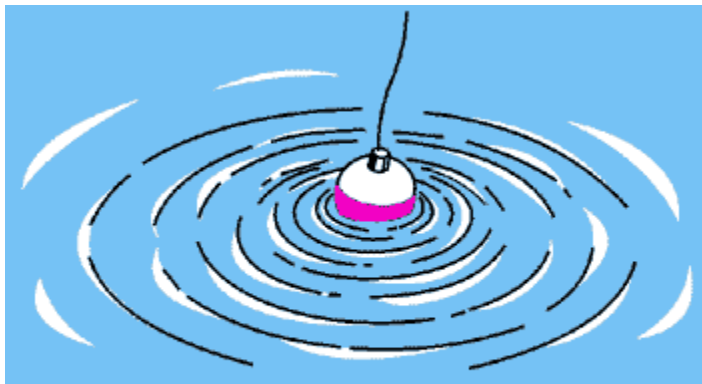


大綱

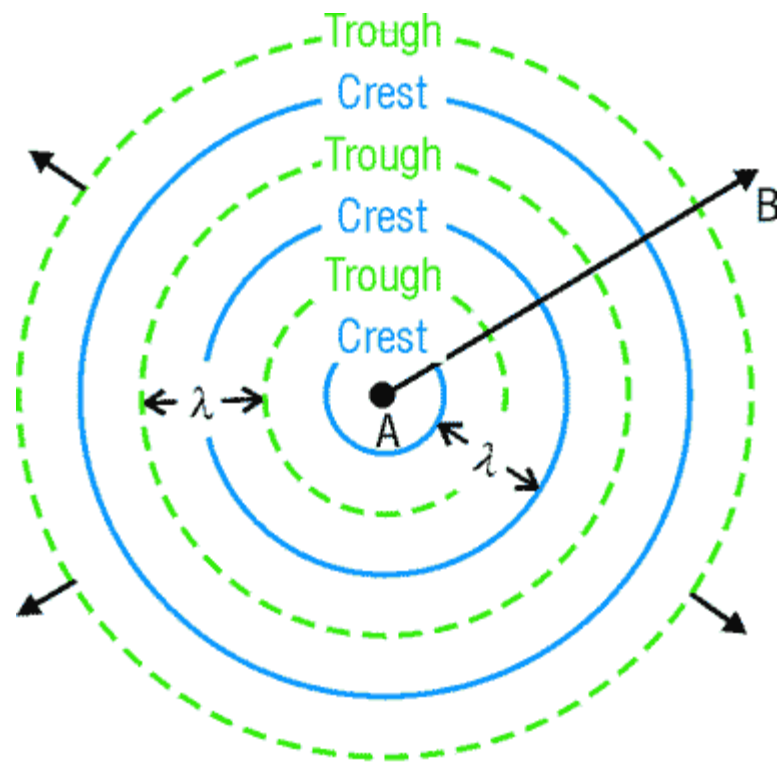
- 科學單位介紹與光學演進史
- 光是什麼？
粒子說、波動說、二相性
- 光的特性與應用實例
幾何光學：反射、折射、色散
物理光學：繞射、干涉及偏振



波動現象

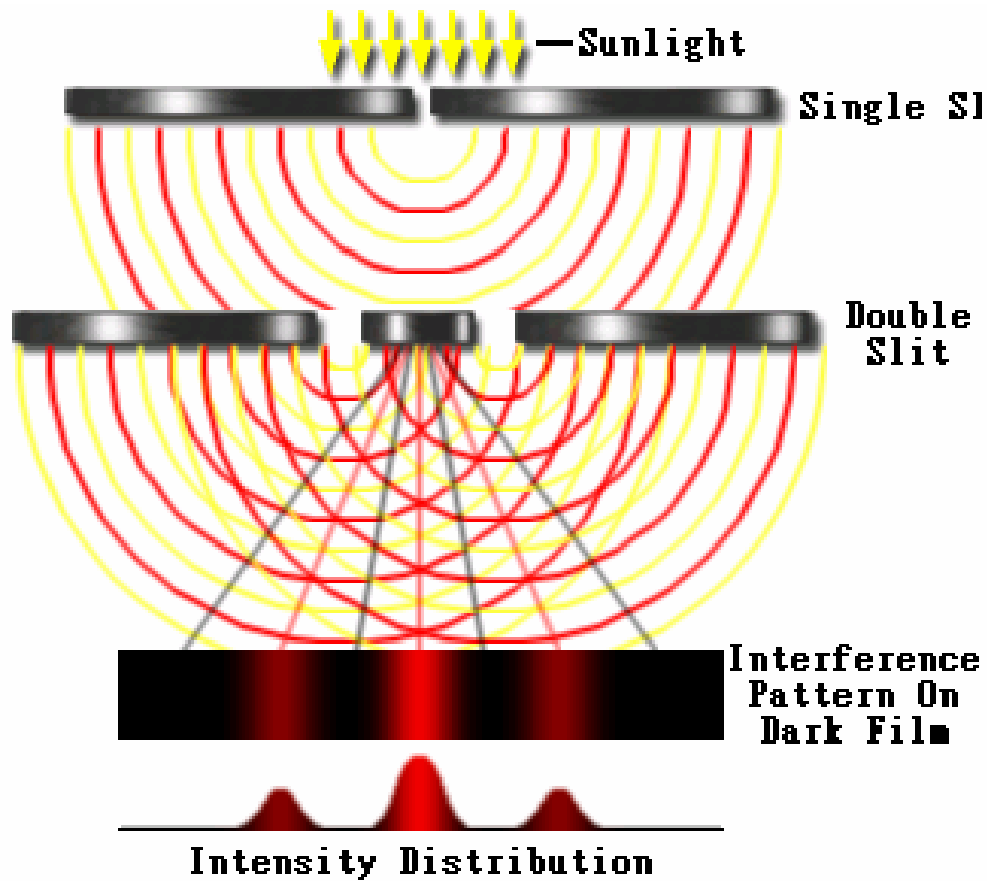


(a) Water waves



(b) Wavefronts

楊式雙狹縫干涉實驗



$$d \sin \theta = m\lambda$$

式中 d 表光柵條紋間距(相當於波程差)、 m 表繞射級數、 λ 表波長。

繞射光柵：分光利器

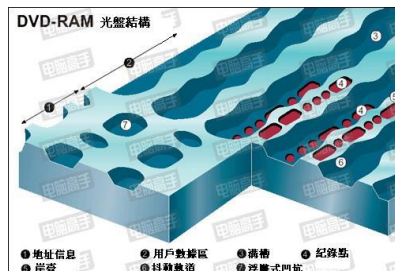
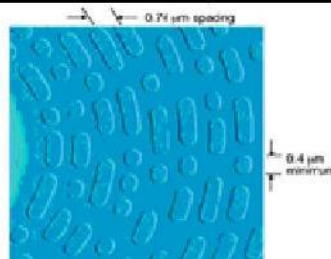
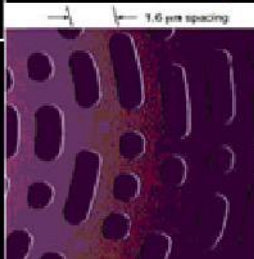
$$d \sin \theta = m\lambda$$



http://en.wikipedia.org/wiki/Diffraction_grating

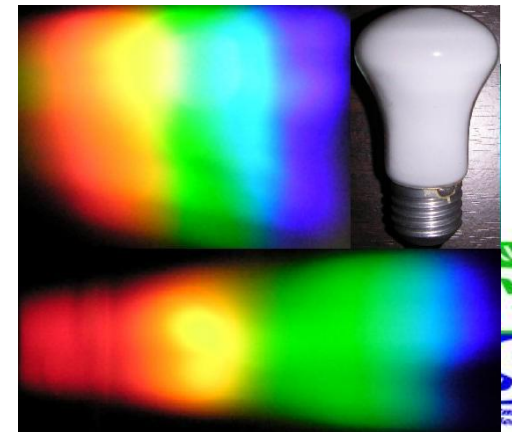
光柵範例：光碟片

	DVD	CD
碟片直徑	120mm	120mm
厚度	1.2mm(0.6mm*2)	0.6mm
容量	4.7GB(單面單層)	650MB
軌跡間隙	0.74μm	1.6μm
Data Rate	1108Kbytes/Sec(平均)	Mode 1: 153.6 Kbytes/sec Mode 2: 176.4 Kbytes/sec
DVD讀取速度 約為CD 8X	576~1600 rpm	200~4500 rpm



VCD

DVD



光電系

光的偏振(極化)方向

◆ 極化方向：電磁波的電場方向

⇒ 非極化光：沒有固定電場方向的光

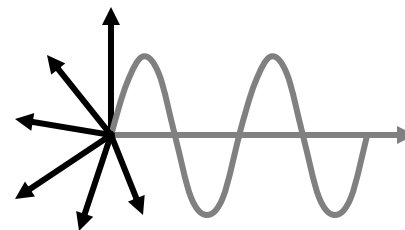
⇒ 極化光：有固定電場方向的光

▶ 垂直極化光：電場方向垂直的光

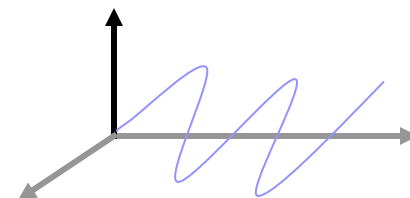
P-polarization(TE)

▶ 水平極化光：電場方向水平的光

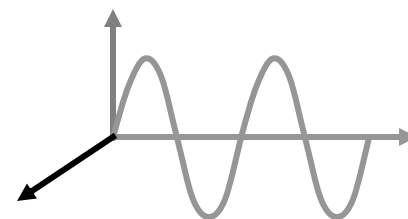
S-polarization(TM)



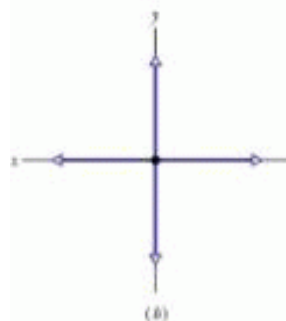
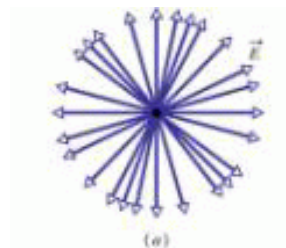
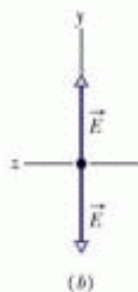
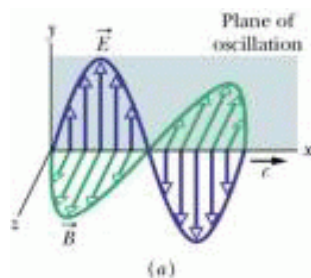
非極化光



垂直極化光



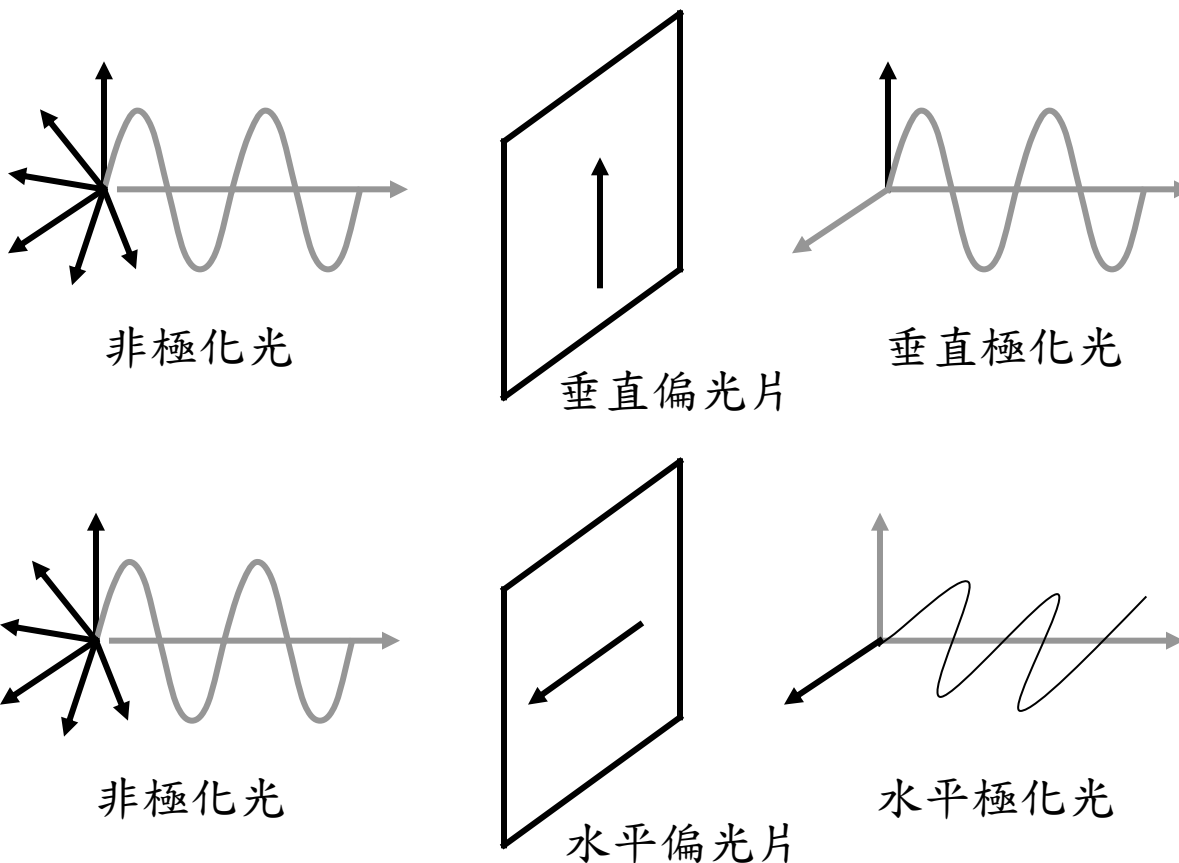
水平極化光



偏光片 (Analyzer)

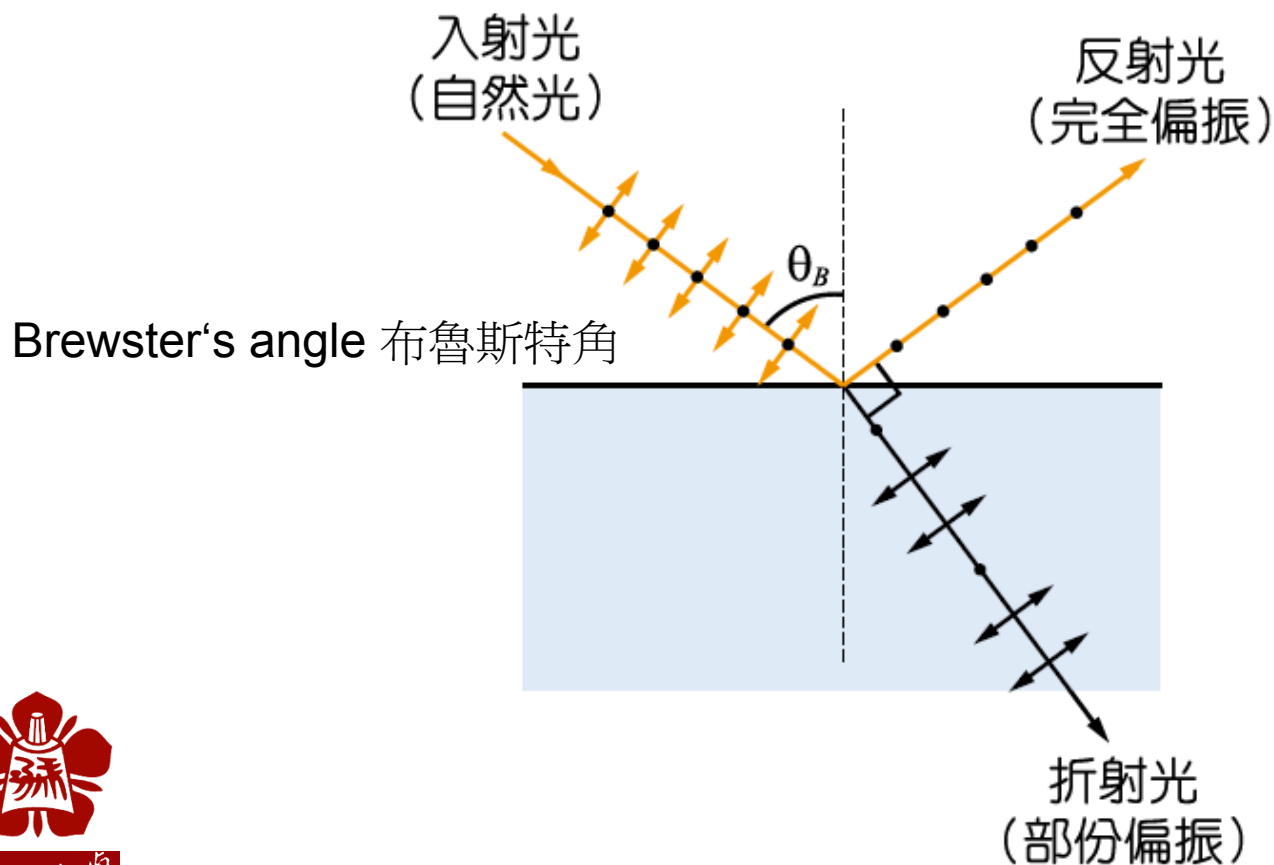
◇ 功能：將非極化光轉變為極化光

＜應用＞液晶顯示器(LCD)、極化分離器(Polarizer)



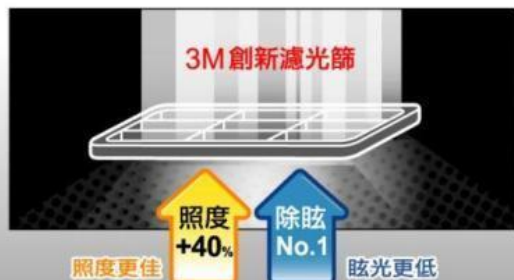
光經介面反射後的偏振性

反射光和折射光的偏振



3M 創新濾光篩

眩光更低 照度更佳



- 照度提升40%，光線好充足，又亮又清楚！
(比較基礎為TL1900系列)
- 除眩效果No1，光線不刺眼，眼睛好舒服！

他牌

SB博視燈



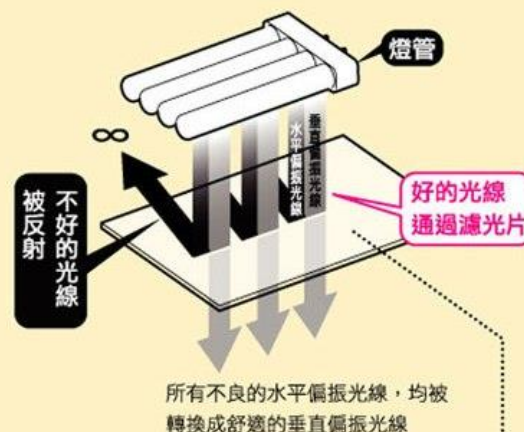
3M Polarizing Light 創新濾光篩

point

1 3M 創新濾光篩如何有效濾過眩光？

防眩光檯燈並無法100%去除眩光，3M創新濾光篩可有效去除刺眼的眩光，其除眩光效果為所有市售檯燈中最佳。

■ 3M創新濾光篩改善反射眩光的原理



Polarizing Light

將近千層具特殊折射率的高分子材料，製成一片僅132釐米的濾光片（Polarizing Light）



光電系



成功大學

【偏光眼鏡】

使用前



使用後



<http://jinjin.com.tw/>



光電系



偏極光幫助昆蟲導航

- 當月光在通過大氣層時，因為會受到大氣層中微粒的散射，使得照射到地表的月光具有特定的偏振方向！
- 瑞典科學家Marie Dacke與其研究團隊首度發現：非洲糞金龜(African Dung beetles)可以在有月色的夜晚，利用月光的偏振來進行導航定位。這是人類研究動物定位系統的重大發現，而他們的研究結果也已發表於《自然》期刊（Nature 424, 33（2003））。
- 令人驚奇的是：當改變月光方向90度後，非洲糞金龜的爬行方向也偏離了90度！！這種突然大轉彎90度的移動行為顯示：非洲糞金龜能夠利用月光的偏振來貫徹其直線路徑的行動。

