

工程光學-課程目標

- 教授學生具有基本工程光學之學識
- 培養學生具有基本光學設計及工程規劃與整合能力
- 培養學生終身學習的習慣

應用光學： 授課進度

週次	日期起迄	內容 (Subject/Topics)	備註
1	104/09/14~ 104/09/20	工程光學導論	
2	104/09/21~ 104/09/27	波動原理	
3	104/09/28~ 104/10/04	電磁理論與光子	
4	104/10/05~ 104/10/11	光的傳播	
5	104/10/12~ 104/10/18	幾何光學：透鏡與成像	
6	104/10/19~ 104/10/25	幾何光學：光學系統分析	
7	104/10/26~ 104/11/01	幾何光學：光機整合	
8	104/11/02~ 104/11/08	產業實例講解	
9	104/11/09~ 104/11/15	波動光學：光波的疊加	
10	104/11/16~ 104/11/22	期中考試週	
11	104/11/23~ 104/11/29	波動光學：偏振與散射	
12	104/11/30~ 104/12/06	波動光學：干涉	
13	104/12/07~ 104/12/13	波動光學：繞射	
14	104/12/14~ 104/12/20	波動光學：光的同調性	
15	104/12/21~ 104/12/27	現代光學：雷射	
16	104/12/28~ 105/01/03	現代光學：奈米光子學	
17	105/01/04~ 105/01/10	產業實例講解	
18	105/01/11~ 105/01/17	期末考試週	

應用光學-參考書籍

- E. Hecht, Optics, Addison Wesley, 2002.
- A. Ghatak, Optics, Tata McGraw-Hill, 2010.
- F.L Pedrotti, L. M. Pedrotti, L. S. Pedrotti, Introduction to optics, Pearson Education, 2008.

應用光學-學期成績計算方式

- 平時成績：40%
- 期中考成績：30%
- 期末考成績：30%

光學

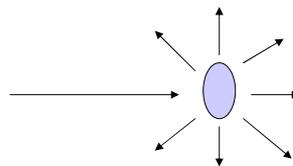
- 研究光的特性，通常可分成三部份：
 1. 幾何光學：以光線的方法來研討
 2. 物理光學：以波動學來研討
 3. 量子光學：以量子力學來研討

光的本質

- 十七世紀，**Newton**首創光的粒子說。光是由光源射出一種無質量的微粒，以極大的速度像四面八方發射所形成，以達於眼中便產生光的感覺，此種說法僅可解釋光的直進及反射。
- 1678年，**Huygen**證明反射和折射定律可由波動理論的基礎去解釋，但是對於光電效應卻無法解釋。
- 1873年，**Maxwell**證明振盪電路會輻射電磁波，此種波的傳遞速度接近 3×10^8 m/s，此數值等於光的傳播速度，因此光是一種非常短的電磁波。
- 1905年，**Einstein**提出光之傳播是輻射不連續的光量子學說，而光電效應則證明光的粒子說。
- 1930年，經由量子力學的證明，光同時具有波動和粒子的性質。

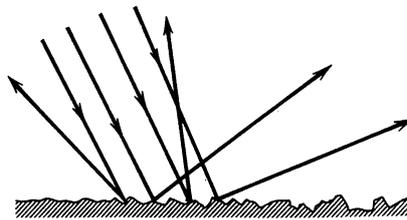
光的散射

- 當太陽光穿越地球的大氣層時，部份的光被大氣分子所吸收，然後將其往其他方向發射的現象稱為散射(scattering)。
- 散射光的強度與其波長的四次方成反比。
- 空氣分子對藍光的散射能力較強，所以天空呈現藍色。



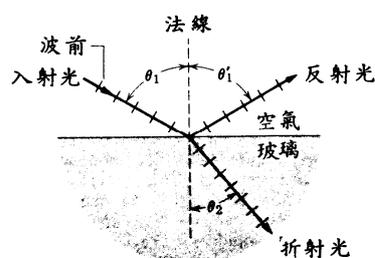
光的反射(reflection)

- 漫射(diffuse reflection)：我們之所以可以看到大部分的物體，乃是因為大部分的物體會將光線反射而進入我們的眼睛。
- 鏡面反射(specular reflection)：將光束朝一個方向反射。



光的折射(refraction)

- 光入射進入可透光材料時，會產生反射光和折射光。
- 入射光、反射光和折射光均與法線在同一平面上。
- 反射角等於入射角。
- 入射光與折射光的關係，Snell定律：



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

n為折射率

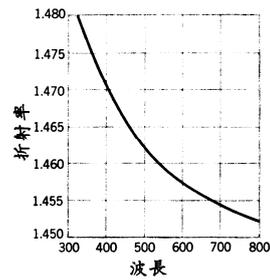
折射率(refractive index)

- 真空中光線行進的速度 / 測試物中光線行進的速度

$$n = \frac{c}{v}$$

黃光(589 nm)的折射率

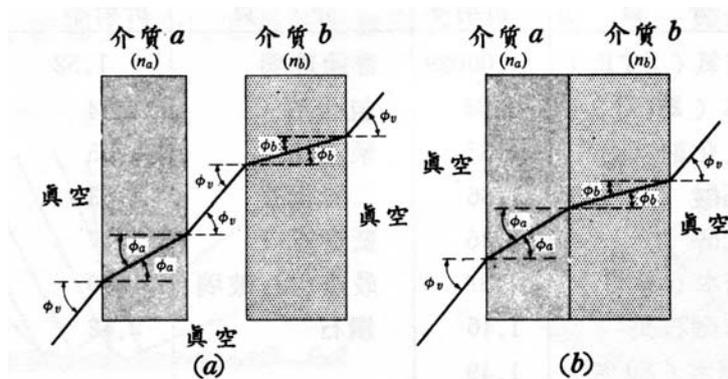
介質	折射率	介質	折射率
空氣 (STP)	1.00029	普通玻璃	1.52
水 (20°C)	1.33	氯化鈉	1.54
氯化鈉	1.33	聚乙烯	1.55
乙酸	1.36	二硫化碳	1.63
乙醇	1.36	藍寶石	1.77
糖水 (30%)	1.38	最重火石玻璃	1.89
熔融石英	1.46	鑽石	2.42
糖水 (80%)	1.49		



石英的折射率

折射角

- 當光線由真空進入折射率大於1的介質時，折射角均小於入射角。

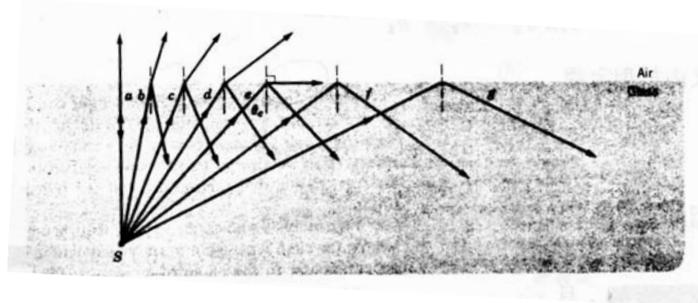


全反射(total internal reflection)

- 若光線在折射率為 n_1 的玻璃內射出經過界面折射至折射率為 n_2 的空氣內，由Snell定律

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 \quad \text{且 } n_1 > n_2 \quad \Rightarrow \quad \sin \theta_2 > \sin \theta_1$$

$$\Rightarrow \sin \theta_2 = 1 \quad \theta_2 = 90^\circ \quad \text{為臨界角 } \theta_c$$



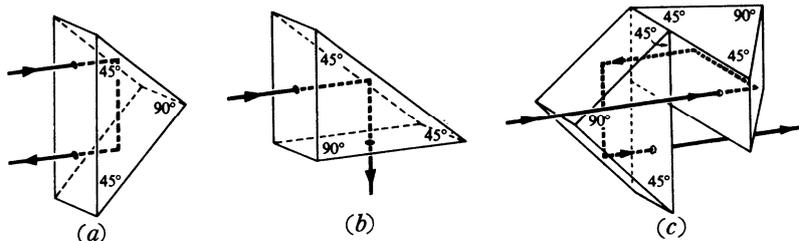
全反射(total internal reflection)

- 全反射只發生在光由折射率較大之介質中發出的情況。

- 臨界角 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$

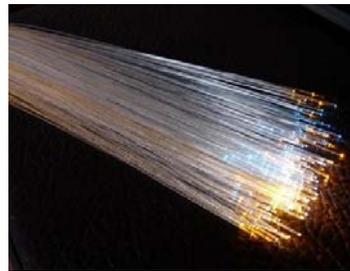
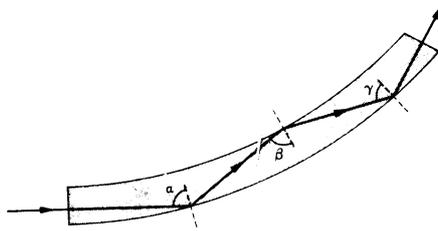
- 玻璃之臨界角，假設其折射率為1.5

$$\sin \theta_c = \frac{1}{1.5} = 0.667 \Rightarrow \theta_c = 41.8^\circ$$



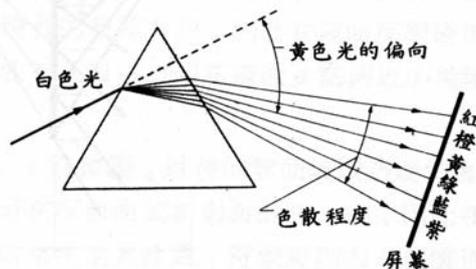
全反射(total internal reflection)

- 使用三菱鏡(45度-90度-45度)來反射光線比金屬好，因為：
 1. 光線可以全部反射
 2. 反射特性不受表面情況影響
- 光纖(fiber)



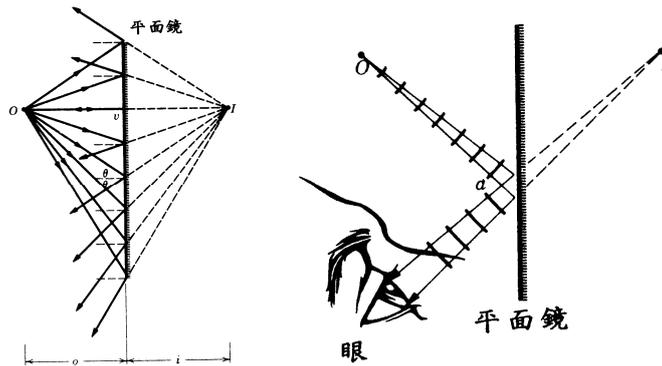
色散(dispersion)

- 大部分的可見光是由一些波長不同的光混合而成。
- 這些光在真空中的傳播速度均相同，但是當其進入某一介質時，其速度隨著波長而有所改變，這種特性稱之為色散。



平面鏡的反射

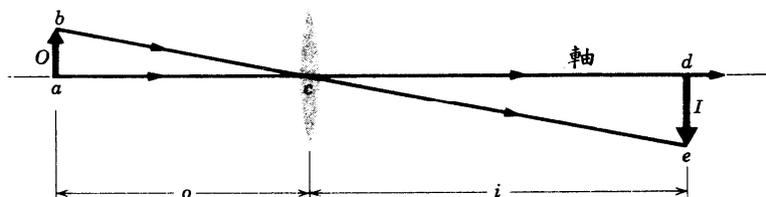
- 不同折射率物質的界面均會有反射現象，只是反射程度不同而已。
- 反射程度高的光滑面稱為鏡面。



薄透鏡

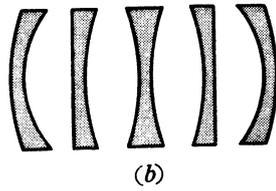
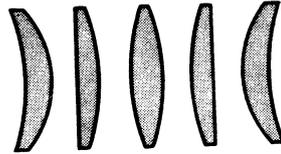
- 高斯的薄透鏡方程式

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$



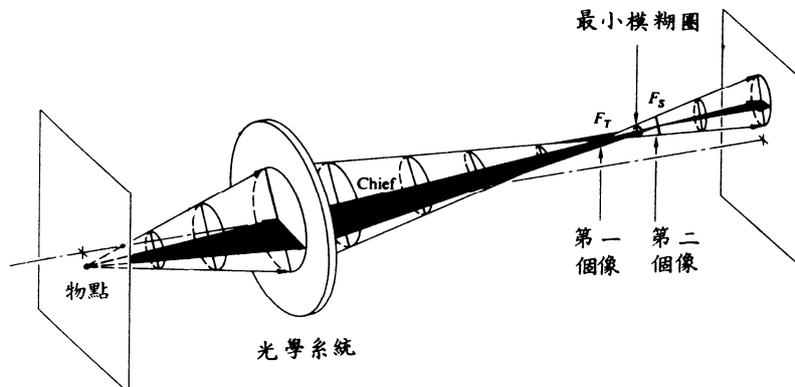
薄透鏡種類

- 會聚透鏡(converging lens)
- 發散透鏡(diverging lens)

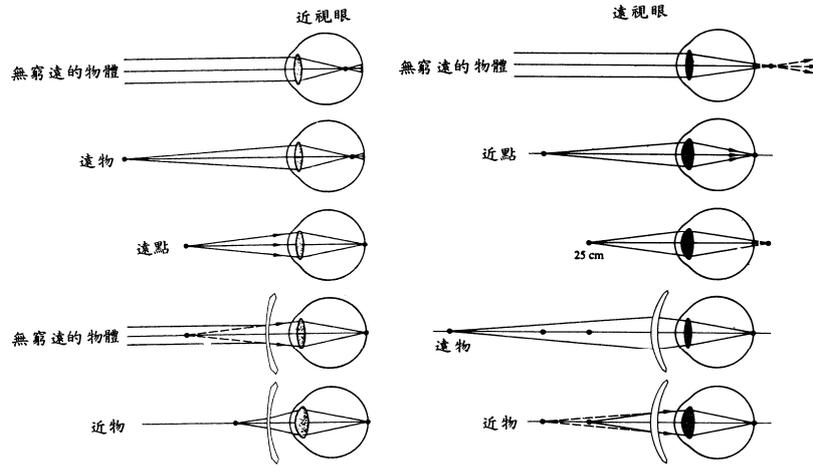


透鏡像差

- 由物體上發出的光源不同，經過透鏡所形成的像會有不同的色彩，且位置和大小均不相同。

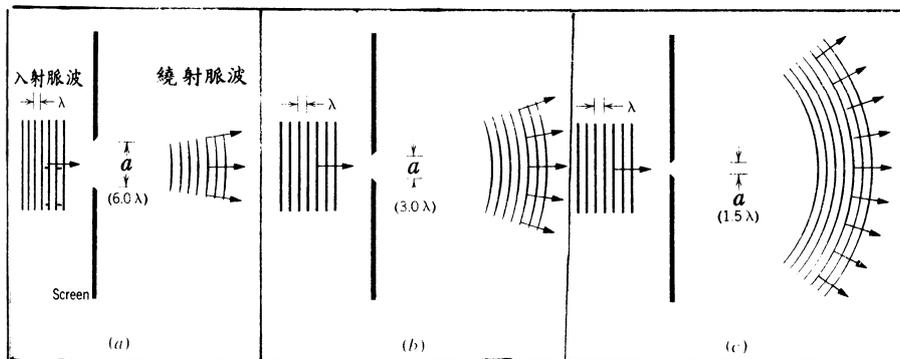


眼睛的矯正



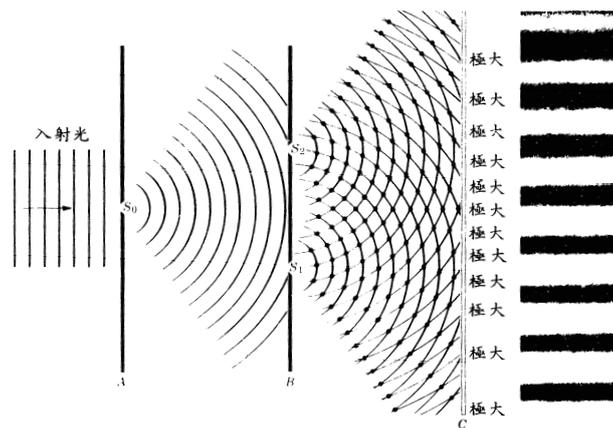
波動光學(wave optics)

● 狹縫繞射(diffraction)



光的干涉(interference)

- 1801年，Young實驗，雙狹縫干涉



相干性(coherent)

- 光波的干涉就是二個以上的光波互相疊加產生的現象
- 光波產生干涉現象則需有三個條件
 - 光波頻率一致
 - 有相互平行的振動分量
 - 光波相位差穩定

薄膜的干涉

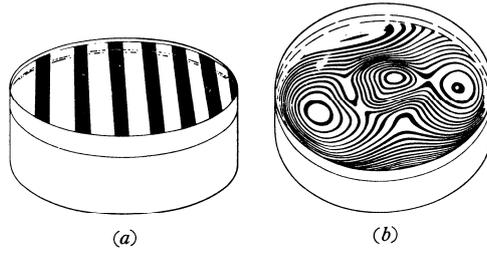
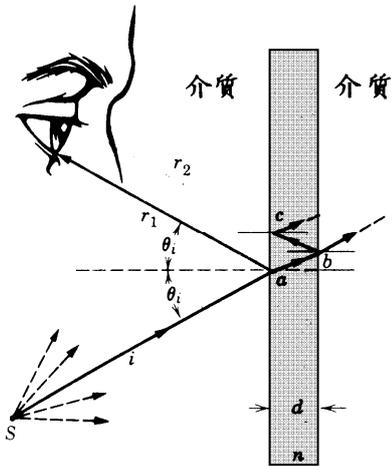
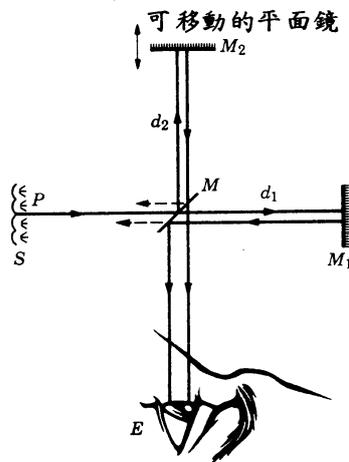


圖 2-11 (a) 薄膜均勻平坦所產生的干涉條紋；(b) 薄膜不均勻且不平坦所產生的干涉條紋

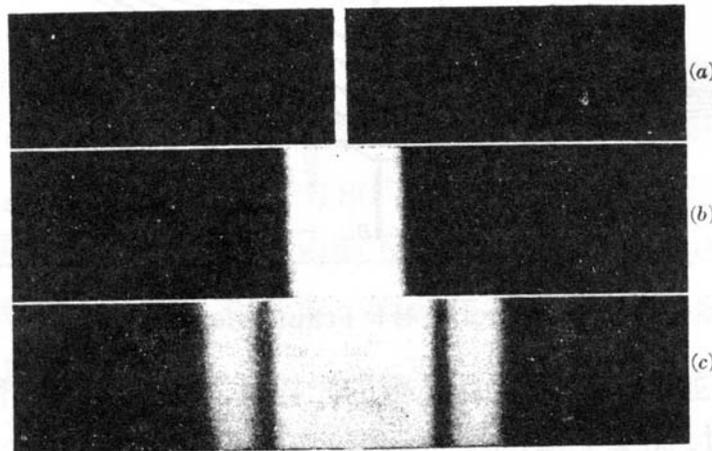
Michelson干涉儀

- 利用干涉條紋來精確量測長度變化



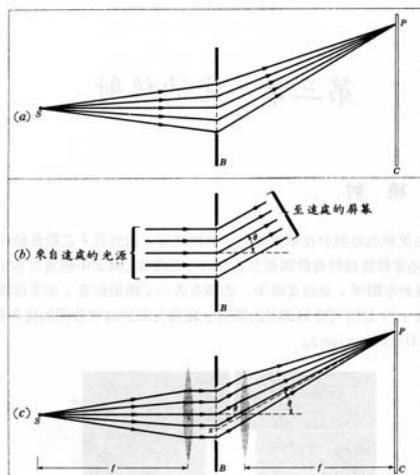
光的繞射(diffraction)

- 單狹縫繞射



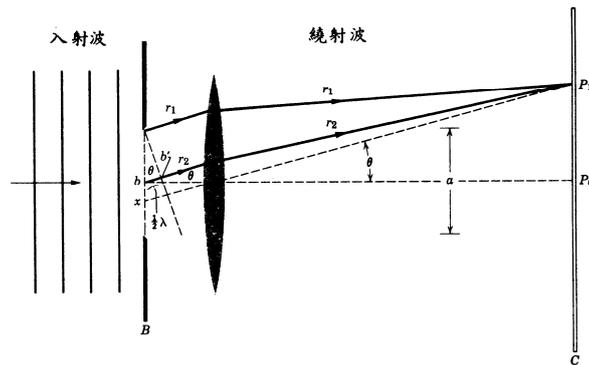
光的繞射(diffraction)

- Fresnel繞射和Fraunhofer繞射



單狹縫繞射

- 產生第一極小的條件： $\frac{1}{2}a \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$
 - 產生第二極小的條件： $\frac{1}{4}a \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$
- 產生極小的條件
 $a \sin \theta = m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$



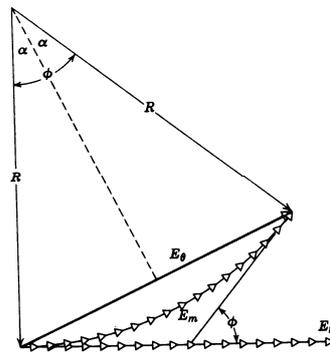
單狹縫繞射公式

$$E_{\theta} = E_m \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

$$I_{\theta} = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

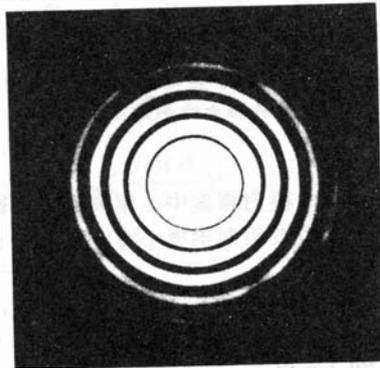
$$\alpha \left(= \frac{1}{2} \phi \right) = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$$

$$a \sin \theta = m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$



圓孔繞射

- 繞射程度取決為透鏡的直徑 d
- 產生第一極小的條件：
$$\sin \theta = 1.22 \frac{\lambda}{d}$$



圓孔繞射的鑑別率

- 兩光源之一的繞射條紋的中央最亮部份與另一光源的第一暗圈剛接觸時，此兩點光源恰可鑑別。

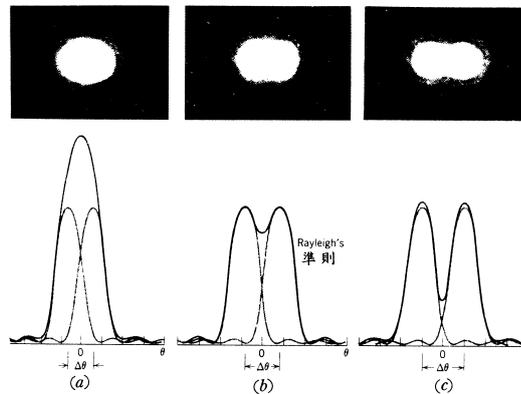
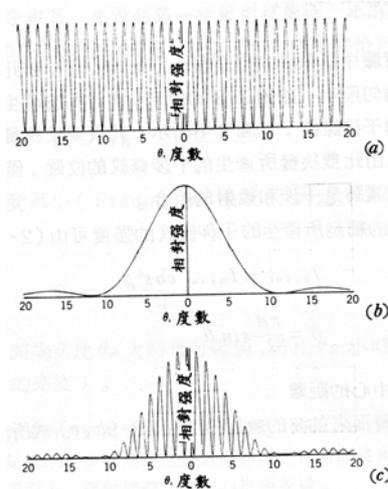


圖 3-10 (a) 不可鑑別 (b) 恰可鑑別 (c) 可鑑別

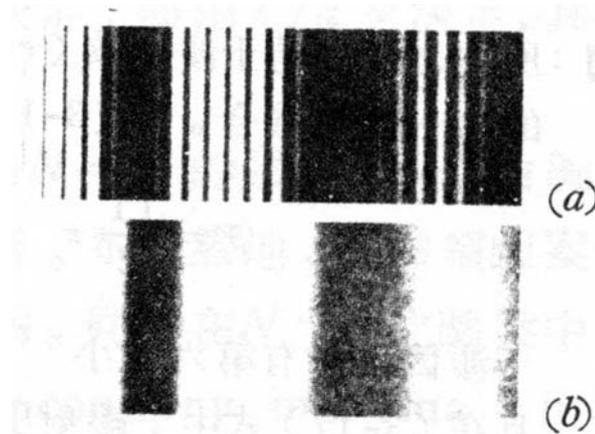
雙狹縫繞射

- 干涉和繞射的組合，僅會改變強度



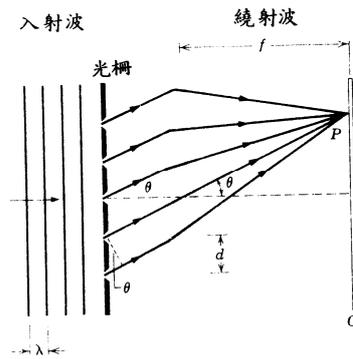
雙狹縫繞射

- (a) 雙狹縫繞射圖案，(b) 蓋上其中一狹縫，干涉條紋消失，只剩單狹縫繞射條紋



多狹縫繞射

- 狹縫數 N
- 干涉條紋間隔由 λ/d 決定
- 條紋強度由繞射圖案決定，即 λ/a



多狹縫繞射

- 繞射條件： $d \sin \theta = m\lambda, m = 0, 1, 2, 3, \dots$



圖3-14a (a) $N=2$ 之干涉條紋 (b) $N=5$ 的干涉條紋

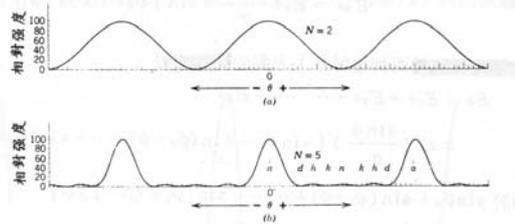
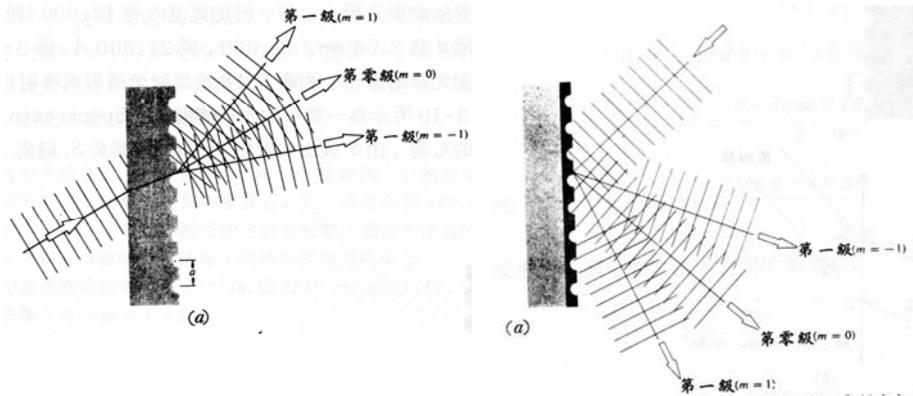


圖3-14b (a) $N=2$ 之干涉條紋強度 (b) $N=5$ 之干涉條紋強度

繞射光柵 (grating)

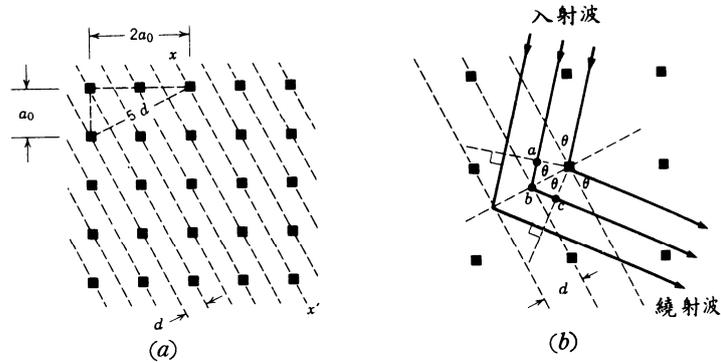
- 透射光柵和反射光柵



X-ray的繞射

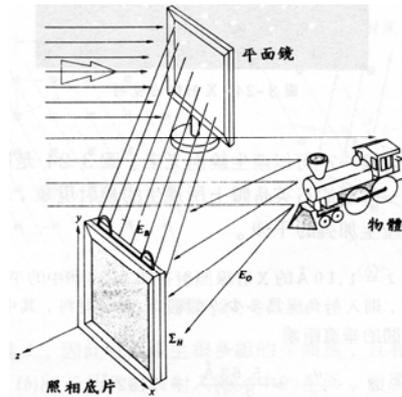
- X-ray的波長為0.1 nm，電磁輻射
- Bragg定律：

$$2d \sin \theta = m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$



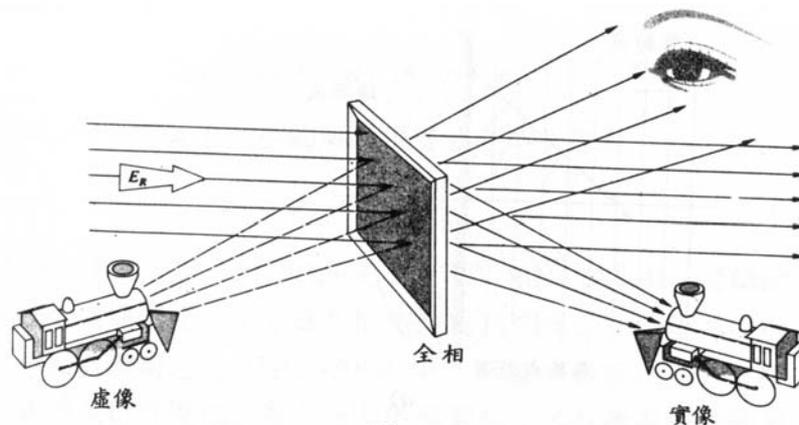
全相學(holography)

- 真正三度空間的像
- 將底片放在由物體散射的光以及直接由光源照射的光可到達之處，直射和散射的光在底片上產生干涉而形成複雜的干涉圖形。



全相學(holography)

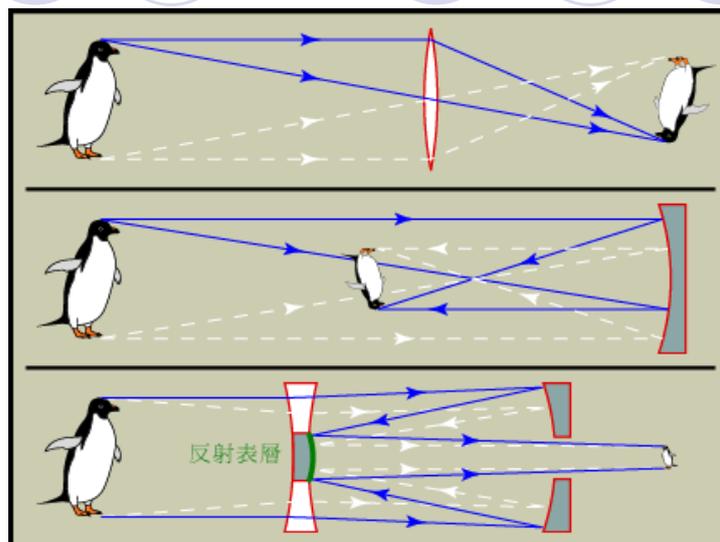
- 要產生全相時，僅需將雷射光照射在沖洗過的底片即可得到影像，若以不同角度觀看，會有不同的圖案。



望遠鏡

- 夜空中大部分天體皆十分昏暗，望遠鏡能有效收集光線，讓我們可以看見更暗的天體。
- 由於望遠鏡主鏡口徑越大，便意味著它的集光能力越強，即它的能力亦越強。
- 大口徑望遠鏡亦會提供更佳的分辨率，就算用和小口徑望遠鏡一樣的倍率，影像看來也較細緻和清晰。
- 基本來說，望遠鏡主要有三大類：折射望遠鏡、反射望遠鏡和折反射式望遠鏡。
 - 折射式望遠鏡利用一塊凸透鏡作主鏡，以收集及屈折光線到焦點上。
 - 反射式望遠鏡則使用一塊凹鏡作主鏡。
 - 折反射式則在入口處有一塊稱為修正鏡的透鏡及在底部有一塊凹鏡。

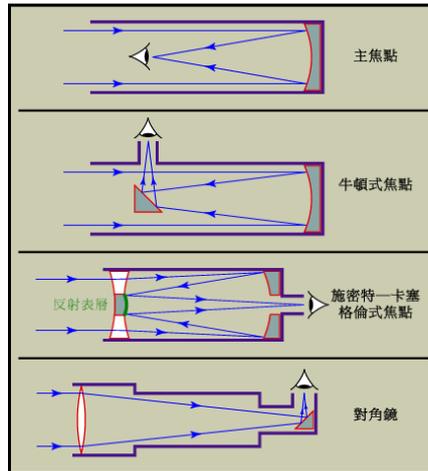
望遠鏡



望遠鏡



- 通常來說，除了一塊主鏡之外，望遠鏡內有很多其他透鏡及反射鏡，把光線導引及屈折到一個方便觀看的位置上。



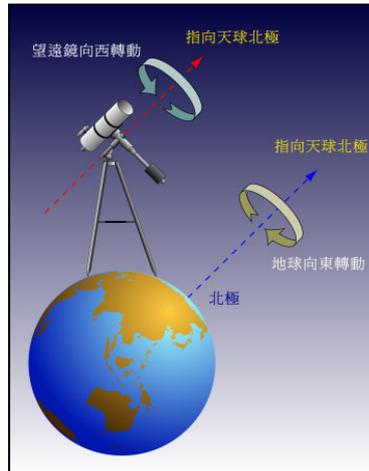
望遠鏡



- 常見的誤解：
- 很多人以為大型望遠鏡可以把天體放得更大，事實上望遠鏡的目鏡便可以了，但就算是大型望遠鏡，倍率也極少超過500倍，一般都只是使用100至200倍。其實大望遠鏡並不是把天體放得更大，而只是提供一個較光和較清晰的影像罷了（倍率是物體視大小的放大比率，例如一個直徑為1角秒的物體，若放大後的視大小為30角秒，那麼倍率便是30倍）。
- 「究竟望遠鏡可以看到多遠？這是一條常見但沒有意義的問題。其實，只要一個物體足夠亮，無論距離多遠，我們都可以看到。」

望遠鏡

- 望遠鏡的支撐系統亦非常重要，除了提供穩固的基座，更有抵銷地球轉動，從而追蹤天體的功用。



望遠鏡

- 除了我們討論過的可見光望遠鏡外，有些望遠鏡是用來觀測無線電波、紅外線、X射線或伽瑪射線的。望遠鏡亦可固定在地面或在太空中繞地球運行。太空望遠鏡其中一個好處是不受大氣層(如密雲或大氣擾動)的影響，下圖是位於波多黎各一個山谷中、世界上口徑最大、直徑300米的阿雷西博射電望遠鏡。



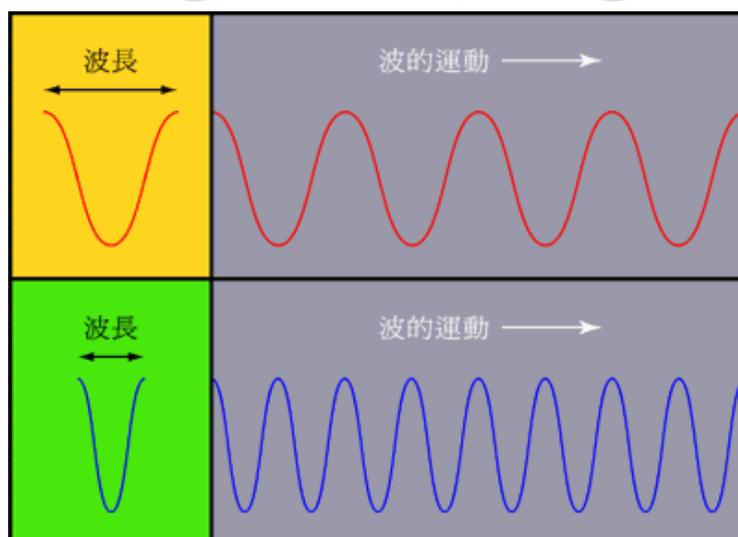
光的性質

- 可見光、紅外線、無線電波等，其實全部屬於電磁波。
- 電磁波是電場和磁場的震動。
- 和水波一樣，這些震動會產生波峰和波谷。
- 所有電磁波在真空中皆以同一速度傳播(光速， $c = 299792450$ 米/秒)。
- 兩個連續波峰之間的距離稱為波長，而電磁場每秒的震動次數則稱為頻率。
- 在真空中，電磁波的傳播速度(c)、波長和頻率，有以下的簡單關係：

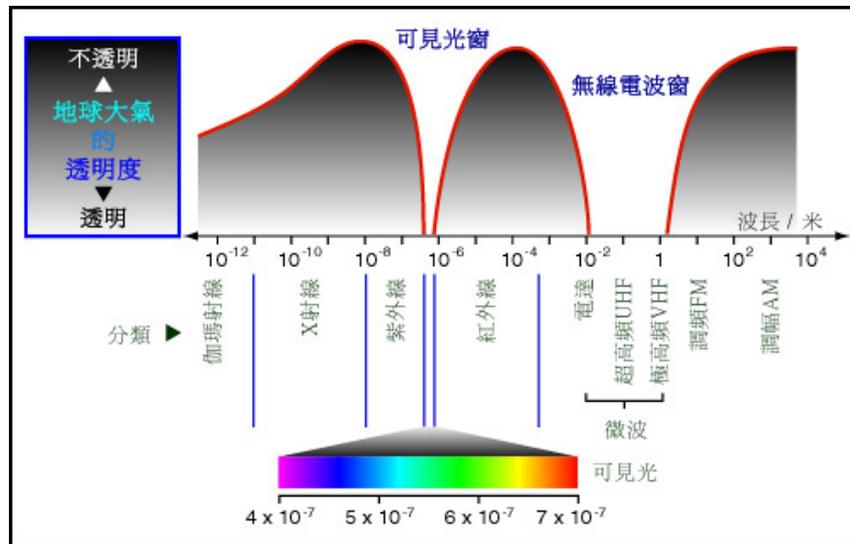
$$(\text{波長}) \times (\text{頻率}) = c$$

- 光的顏色是由光的頻率所決定。

光的性質

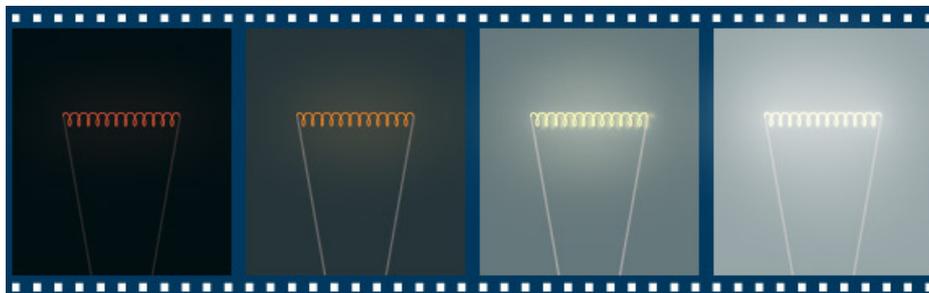


光的性質



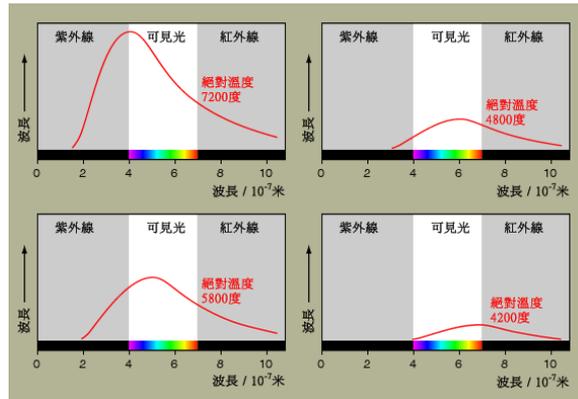
光的性質

- 製造光，只要我們把一些物件加熱便行。溫度低時發放的是紅外線，但當溫度繼續上升，物件會首先燒得通紅，發出紅光，然後是黃光、白光，最後是藍光。



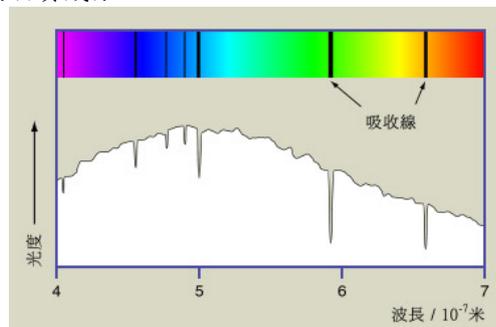
光的性質

- 只要溫度高於絕對零度，物體皆會放出不同頻率的電磁波。若我們以輻射的強度為縱軸，輻射頻率為橫軸，繪畫出一幅圖表，我們會得出輻射的光譜，這圖表又稱為黑體輻射光譜。對於溫暖的物體，光譜的峰值為紅光；較熾熱的物體，峰值會移至黃光，如此類推。因此，我們可以根據恆星的顏色，得知它的表面溫度。

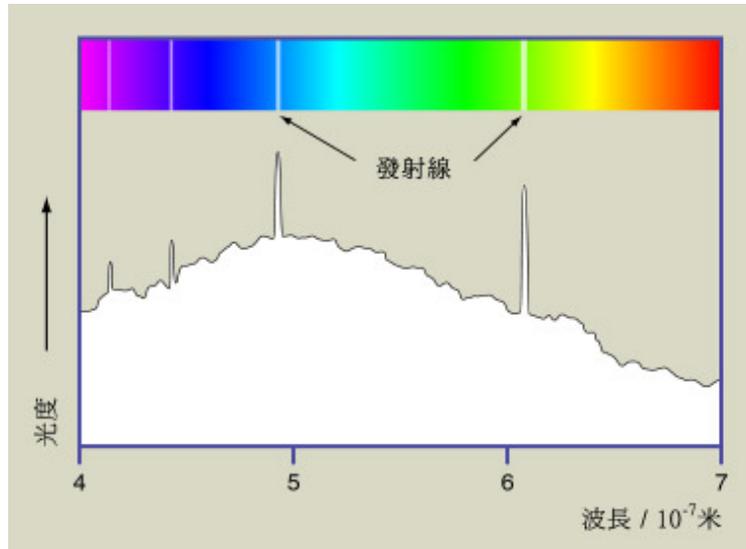


光的性質

- 在現實世界中，通常光譜都不會如上圖所示般連續，例如恆星的光譜中，便有大量的吸收線或發射線。這是由於低壓原子會吸收或發射特定頻率的光線，假若有譜線為連續的光通過這些原子(例如恆星的表面大氣)，這些原子便會吸收了特定頻率的光線，形成在光譜中有吸收線的現象。同理，假若這些低壓原子發射光線，便會成為發射線。不同的物質會有不同的吸收或發射線。只要小心分析恆星光譜中的吸收線，便可以找出恆星表面的物質成分。



光的性質



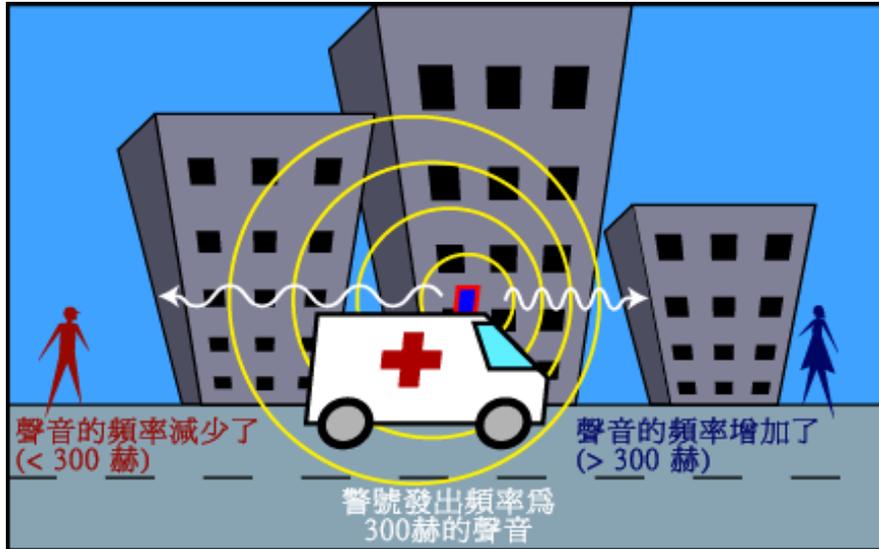
多普勒效應

- 當的物這譜中移這表發頻體現中，。個達射率正象頻我如天：波將離稱為最稱天所動會開為最高恆體發的高你多恆體發物於時普及星的出體發，勒最光移光正射你效低的動的多普度長向頻量。兩普度長移，的於，效光改動但頻藍所應速變時當率及以為小可你射會為天移多下測波較可文或，列量動低見學藍那公得的。光麼式

$$(\text{量度波長} - \text{真正波長}) / \text{真正波長} = v/c$$

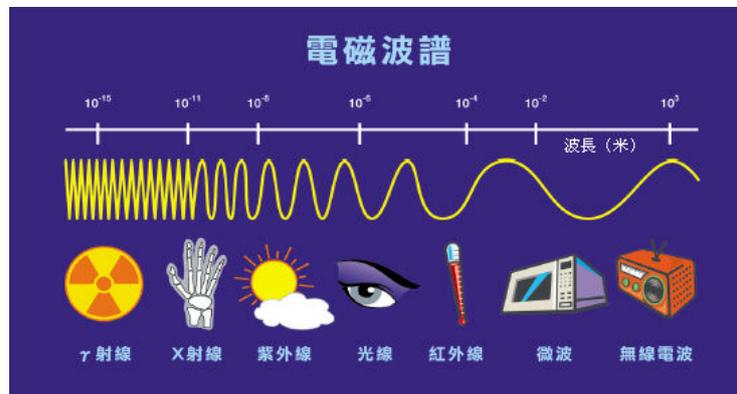
- 在光速室出公速算式，中同體要一究竟，v是恆星以甚遠離我們的速度，c則為實計光線中波長或接近我們。的波長可和以。

多普勒效應



紫外線

- 太陽放出不同能量或波長的輻射，有些是人眼可見，如彩虹的各種顏色。紫外線是人眼看不到的輻射，其波長剛在可見光的紫色部份以外。



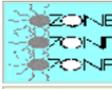
紫外線A、紫外線B 和紫外線C

紫外線可根據其能量或波長分為紫外線A、B、C三類。由於所有紫外線C和大部分紫外線B會被大氣層所吸收，因此到達地面的紫外線大多是紫外線A和小部分紫外線B，它們的特徵可見下表。

	紫外線A	紫外線B	紫外線C
波長(納米)	315-400	280-315	100-280
被臭氧層吸收的程度	無，即紫外線A能穿透臭氧層	大部分被臭氧層吸收	差不多全部被臭氧層吸收
到達地面的數量	超過百分之九十八的紫外線是紫外線A	不足百分之二的紫外線是紫外線B	幾乎零

(1 納米 = 0.000000001 米或 1×10^{-9} 米)

影響地面紫外線強度的因素

	因素	對地面紫外線強度的影響
	太陽的位置隨每年的不同日子、每日的不同時間及緯度的高低而變化	太陽的位置越高，紫外線的強度越高。
	大氣中的臭氧量	臭氧吸收紫外線，大氣中的臭氧越多，越少紫外線能到達地面。
	雲、雨、霧和煙霞	雲、雨、霧和煙霞會吸收和散射紫外線。
	地面反射	自然界中大多表面如草地、泥地和水面反射不足百分之十的紫外線，但雪地會強烈反射多達百分之八十的紫外線，而沙地也會反射百分之十至二十五的紫外線。
	離海平面的高度	海拔越高，紫外線強度越高。這是因為隨著海拔高度增加，大氣會變得較薄，對紫外線的吸收亦會減少。

紫外線在日常生活中的應用

在日常生活中，有很多時都會應用到紫外線，以下列舉一些例子。

應用	原理	使用的紫外線種類
替食水和器具殺菌	高能量的紫外線可以破壞細菌和微生物的脫氧核糖核酸(即DNA)	紫外線C
辨別偽鈔	紫外光可照出真鈔的螢光印記	紫外線A
油墨和塗料的固化	一些油墨和塗料經紫外線照射後會迅速固化	紫外線A或B
防治蟲害	捕蚊蠅器利用紫外光吸引蚊蠅，然後用電流把它們殺死	紫外線A
醫學用途，例如治療牛皮癬(一種令皮膚出現紅疹和鱗屑的疾病)	紫外線可抑制免疫系統，減低發炎反應	紫外線A或B



用來辨別偽鈔的紫外光燈



捕蚊蠅器

紫外線對健康的影響

適量的陽光有助身體製造維生素D，令骨骼更強壯，減少骨折的機會。但過量的話，太陽的紫外線會曬傷皮膚及導致皮膚老化，催生皺紋，同時亦會增加患上皮膚癌和白內障的機會。

估計約有八成皮膚癌是由於過度曝曬所引致。研究顯示紫外線A會導致皮膚老化、催生皺紋和使皮膚曬黑，亦有可能導致皮膚癌。而吸收過量紫外線B會曬傷皮膚，亦是引致皮膚癌的主要原因之一。

再者，世界衛生組織指出，有兩成白內障病例可能與過度曝曬於紫外線下有關。所以市民不可輕視紫外線可能引致的傷害。

防曬措施

- 要減低紫外線對身體所造成的傷害，最重要是減少陽光直接照射皮膚或眼睛。
- 在紫外線指數偏高的日子，市民應盡量避免長時間在戶外曝曬。

防曬系數(SPF)：紫外線B的防護

防曬系數SPF是用來量度防護紫外線B的能力。簡單地說，它與要多久才在太陽光下被紫外線B曬傷有關。舉例來說，使用SPF15太陽油，在10分鐘出現明顯曬傷的情況會延長至150分鐘才出現。

SPF亦適用於其他防曬措施。一般來說，闊邊帽的SPF約為3至6，而普通夏天衣服為6至7。可見它們的防曬效能比塗太陽油(通常SPF為15或以上)為低。

	留意最新的紫外線觀測及預測
	戴闊邊帽
	選擇有樹蔭的地方
	使用能阻隔紫外線的太陽眼鏡
	利用傘子
	塗上可阻隔紫外線A及紫外線B的廣譜防曬液(與紫外線B相關的防曬系數為15或以上)，並在出汗或泳後再塗上
	穿長袖而寬鬆的衣物

PA值：紫外線A 的防護

太陽油的SPF值只反映延遲皮膚受紫外線B 曬傷的能力，有關紫外線A 的防護，現時仍未有統一指標，在亞洲區比較普遍是以PA（Protection Grade of UVA）值來表示。此指標分為三級：PA+、PA++ 和 PA+++，加號愈多代表防曬效能愈高。所以購買太陽油應同時注意SPF及PA值。



在護膚產品上顯示PA值的例子

衣料的防曬指數(UPF)

衣料的防曬指數（Ultraviolet Protection Factor, UPF）是用來量度其防禦紫外線的能力。UPF描述表示衣料對紫外線A和紫外線B的防護能力，這與防曬系數SPF只量度對紫外線B的防護能力有所不同，例如一件UPF為50的衣料只會讓五十分之一的紫外線穿過，換句話說，該衣料阻擋了五十分之四十九或98%的紫外線。直至目前為止，UPF仍未是一個國際所採用的標準。

參考文獻：

"Individual protection against UV: Is it true that clothing always provides good UV protection?", World Health Organization website, 2009. (只提供英文版本)



在衣料的標籤上顯示UPF值的例子