

# 物質的光譜學-探究與實作

*Spectroscopy of Condensed Matter : Inquiry and Practice*

講 師：張玉明 特聘研究員

主聘單位：台灣大學凝態科學研究中心

兼任單位：成功大學物理系 (兼任教授)

教學助教：黃鈺淳 研究助理 台灣大學凝態中心光電工坊

教學助教：林孟逸 碩研究生 成功大學物理所

# OFFICE HOURS

講 師：張玉明 特聘研究員

主聘單位：台灣大學凝態科學研究中心

兼任單位：成功大學物理系 (兼任教授)

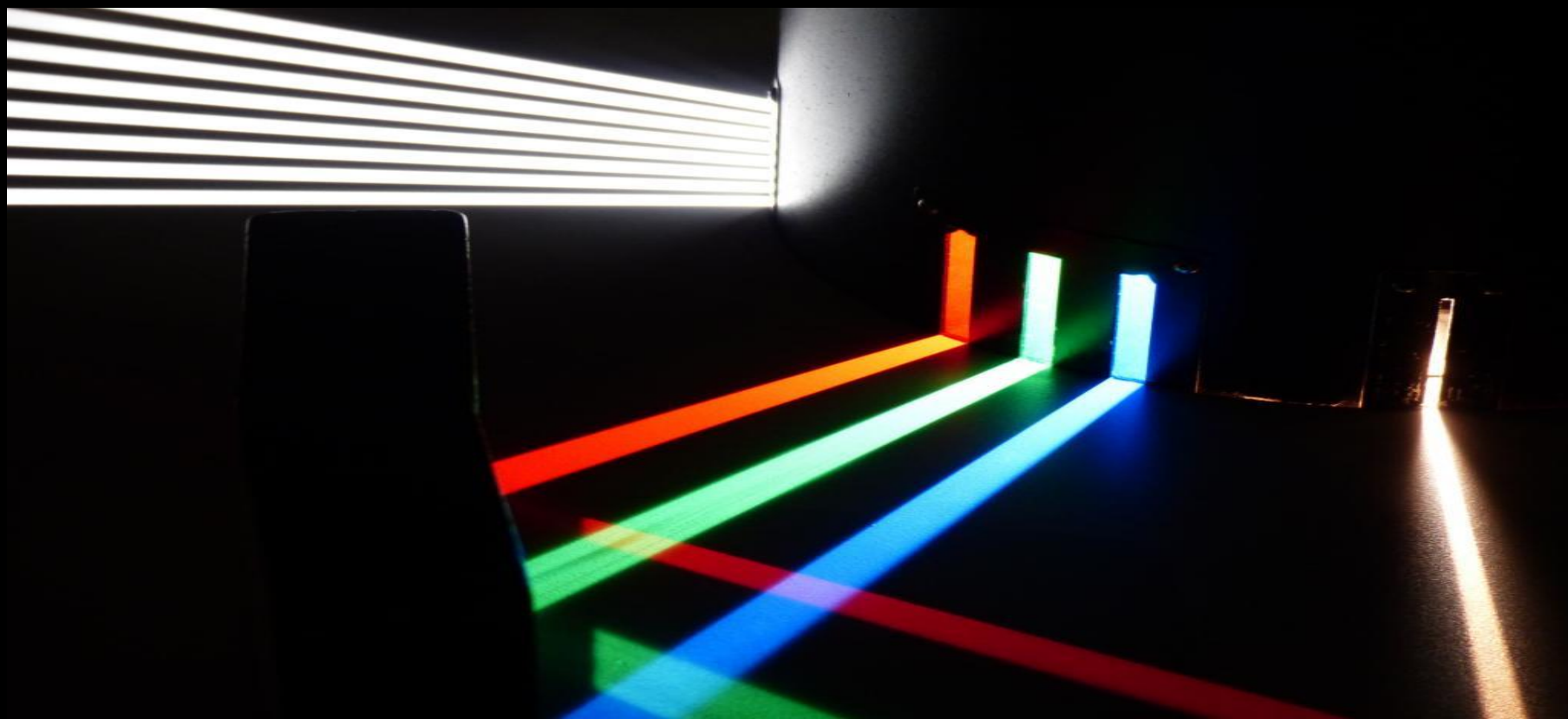
E-Mail : [ymchang@ntu.edu.tw](mailto:ymchang@ntu.edu.tw)

辦 公 室：物理系新館五樓 RM 36574

辦公時間：每週四 14:00-17:00 及 每週五 9:00-17:00

課程目標：

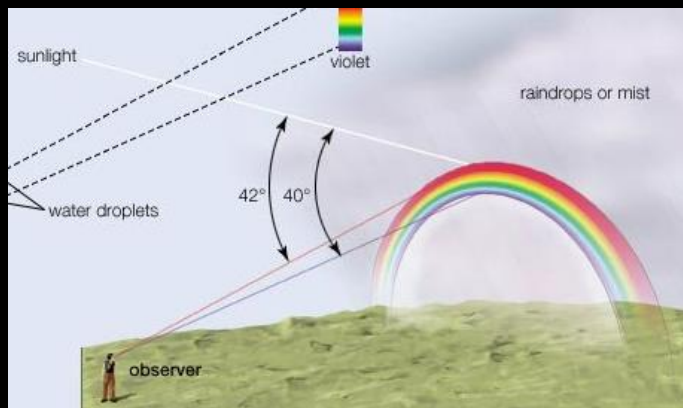
物質光譜量測技術的探究與實作



# 補充資料



## 看彩虹的另一個視角



日暈照片提供：呂俊逸

## 為什麼太陽週邊有個大光圈？

那是 **日暈** 喔！若是在月亮週邊、就稱為「月暈」，這是日/月光穿過天空的冰晶時，折射或反射的現象

「暈」有很多種，較常見的是「22°暈」

當天空有六角冰柱時，陽光透過2次折射，不同顏色的光會以「約22°」的角度分散

因不同顏色的光、偏折角度略不同，故我們眼中的「日暈」，會呈現內環偏紅、外環偏藍的大光圈~



！提醒：看太陽不要直接以眼睛直視哦！

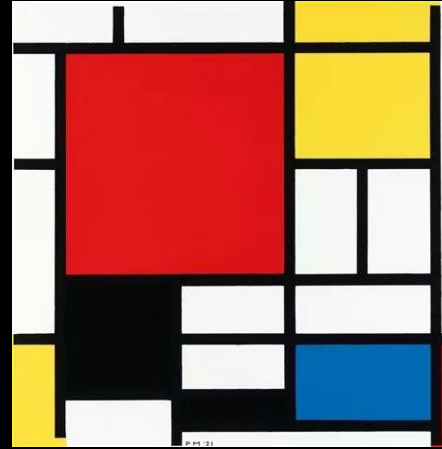


中央氣象署 2024/05/09 發布

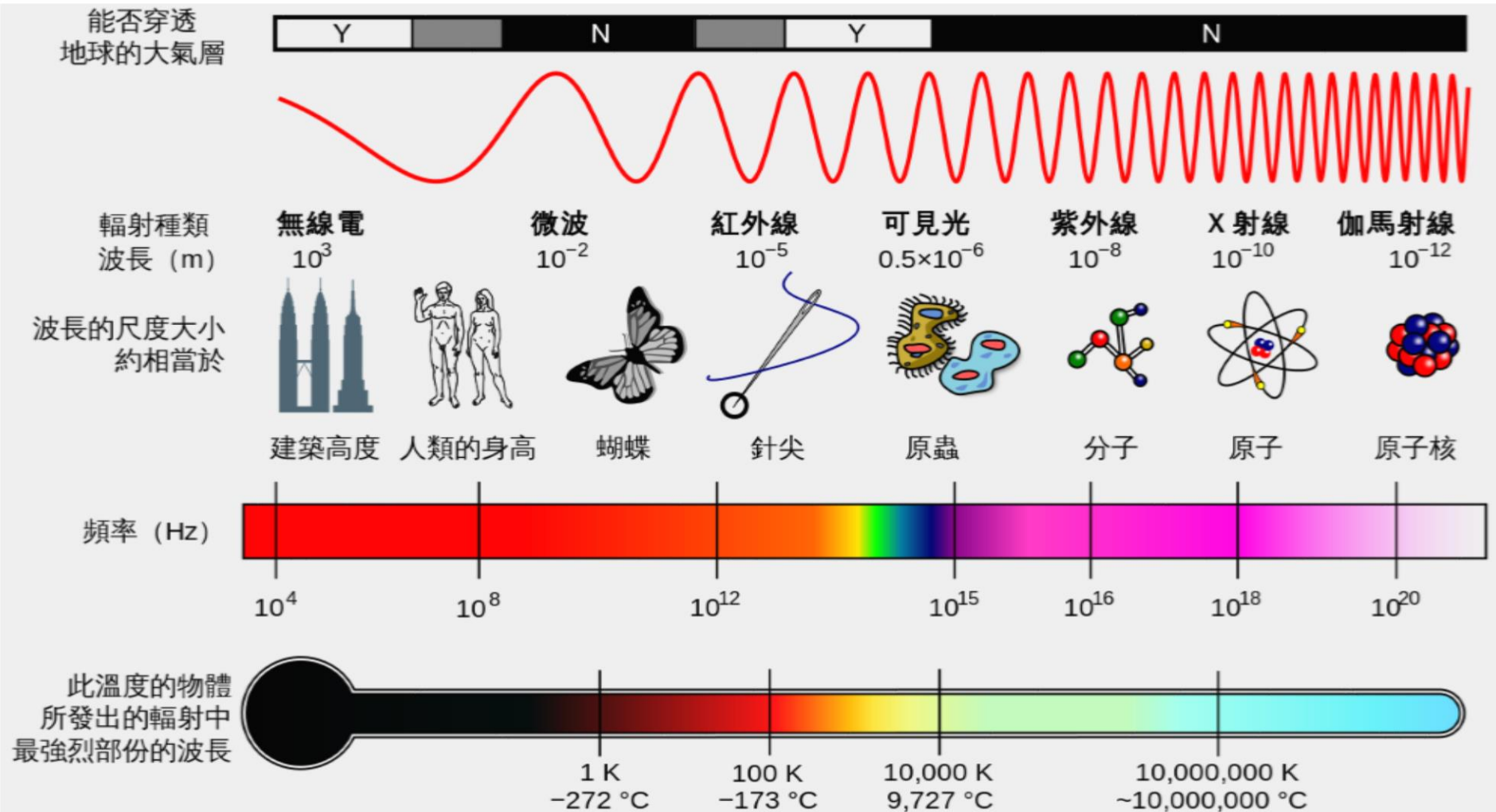
# 本週授課內容

| 週數 | 課堂內容                                         |
|----|----------------------------------------------|
| 1  | 光的本質 / What is light ?                       |
| 2  | 光與物質的交互作用 / Light and Matter Interaction     |
| 3  | 光源與光譜學 / Light Source and Spectroscopy       |
| 4  | 光譜量測技術 / Spectroscopy Measurement Techniques |

# 物質的顏色



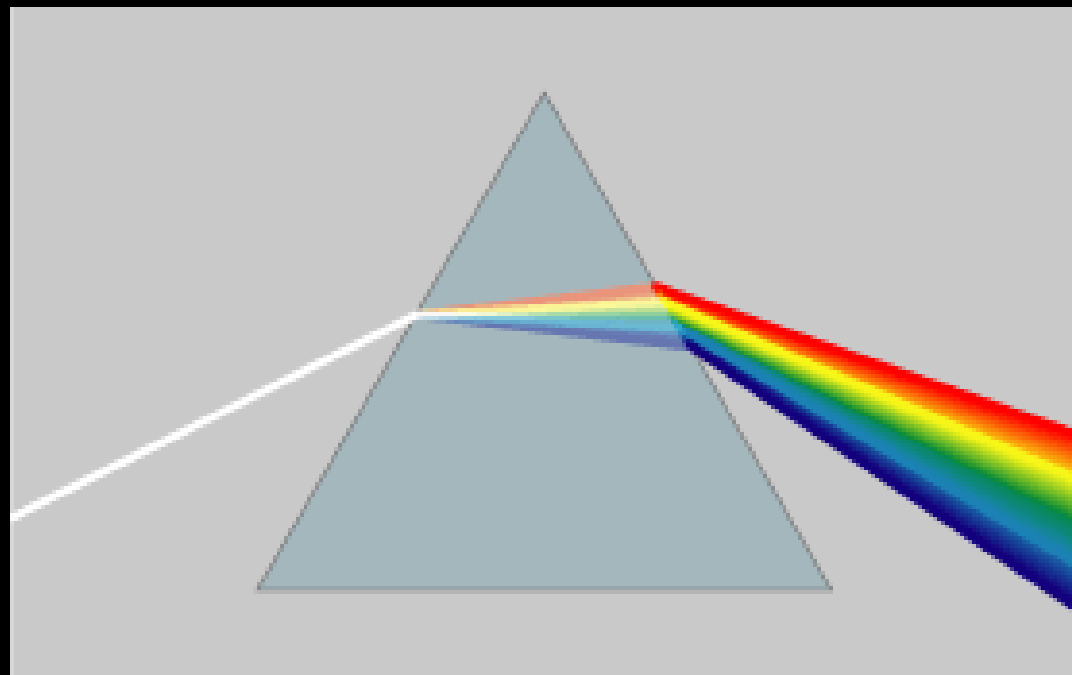
# 電磁波的光譜地圖



# 光的基础物理特性

# 光的基礎物理特性

- 光的粒子性與波動性
- 光的反射與折射現象
- 光的干涉與繞射現象
- 光的色散現象
- 光的散射現象



# 光的研究歷史：粒子 vs. 波動

## 研究歷史 [編輯]

光的繞射效應最早是由**弗朗西斯科·格里馬第** ( Francesco Grimaldi ) 發現並加以描述，他也是「繞射」一詞的創始人。<sup>[6][7]</sup>這個詞源於拉丁語詞彙 *diffringere*，意為「成為碎片」，即波原來的傳播方向被「打碎」、彎散至不同的方向。格里馬第觀察到的現象直到1665年才被發表，這時他已經去世。他提出

「光不僅會沿直線傳播、折射和反射，還能夠以第四種方式傳播，即透過繞射的形式傳播。」

( "Propositio I. Lumen propagatur seu diffunditur non solum directe, refracte, ac reflexe, sed etiam alio quodam quarto modo, diffracte." ) <sup>[6][8]:149[9]:95</sup>

英國科學家**艾薩克·牛頓**對這些現象進行了研究，他認為光線發生了彎曲，並認為光是由粒子構成。在19世紀以前，由於牛頓在學界的權威，**光微粒說**在很長一段時間占有主流位置。這樣的情況直到19世紀幾項理論和實驗結果的發表，才得以改變。1803年，**托馬斯·楊**進行了一項非常著名的實驗，這項實驗展示了兩條緊密相鄰的狹縫造成的干涉現象，後人稱之為「**雙縫實驗**」。<sup>[10]</sup>在這個實驗中，一束光照射到具有緊挨的兩條狹縫的遮光擋板上，當光穿過狹縫並照射到擋板後面的觀察屏上，可以產生明暗相間的條紋。他把這歸因於光束透過兩條狹縫後繞射產生的干涉現象，並進一步推測光一定具有波動的性質。**奧古斯丁·菲涅耳**則對繞射做了更多權威的計算研究，他的結果分別於1815年<sup>[11]:卷1, 239-281</sup>和1818年<sup>[12]:33-475</sup>被發表，他提到

「這樣，我就展示了人們能夠透過何種方式來構想光以球面波連續不斷地傳播出去……」 ( "J'ai donc montré de quelle façon l'on peut concevoir que la lumière s'étend successivement par des ondes sphériques, ..." ) <sup>[13]:章1,p18</sup>



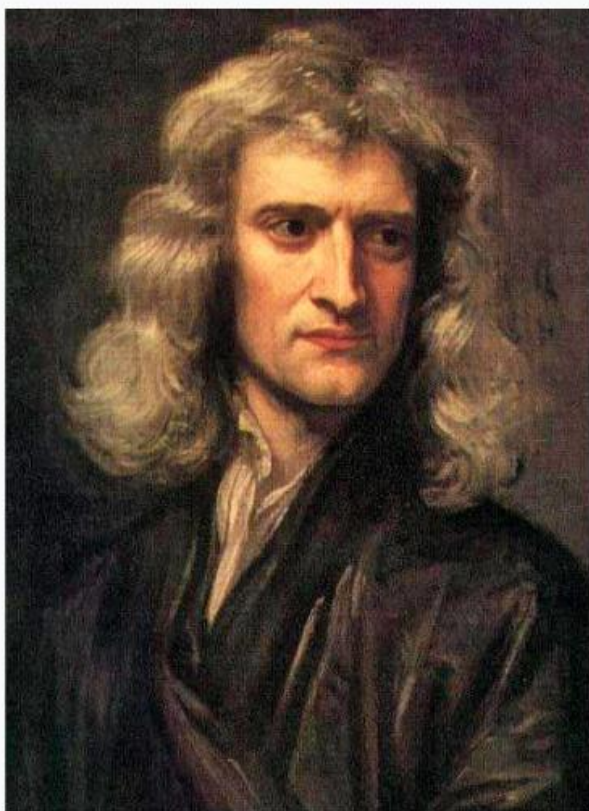
義大利物理學者**弗朗西斯科·格里馬第** ( 1618-1663 ) 。



維基百科  
自由的百科全書

# 光的科學

艾薩克·牛頓  
Isaac Newton



戈弗雷·內勒作於1689年



1663-1727 (光是粒子)

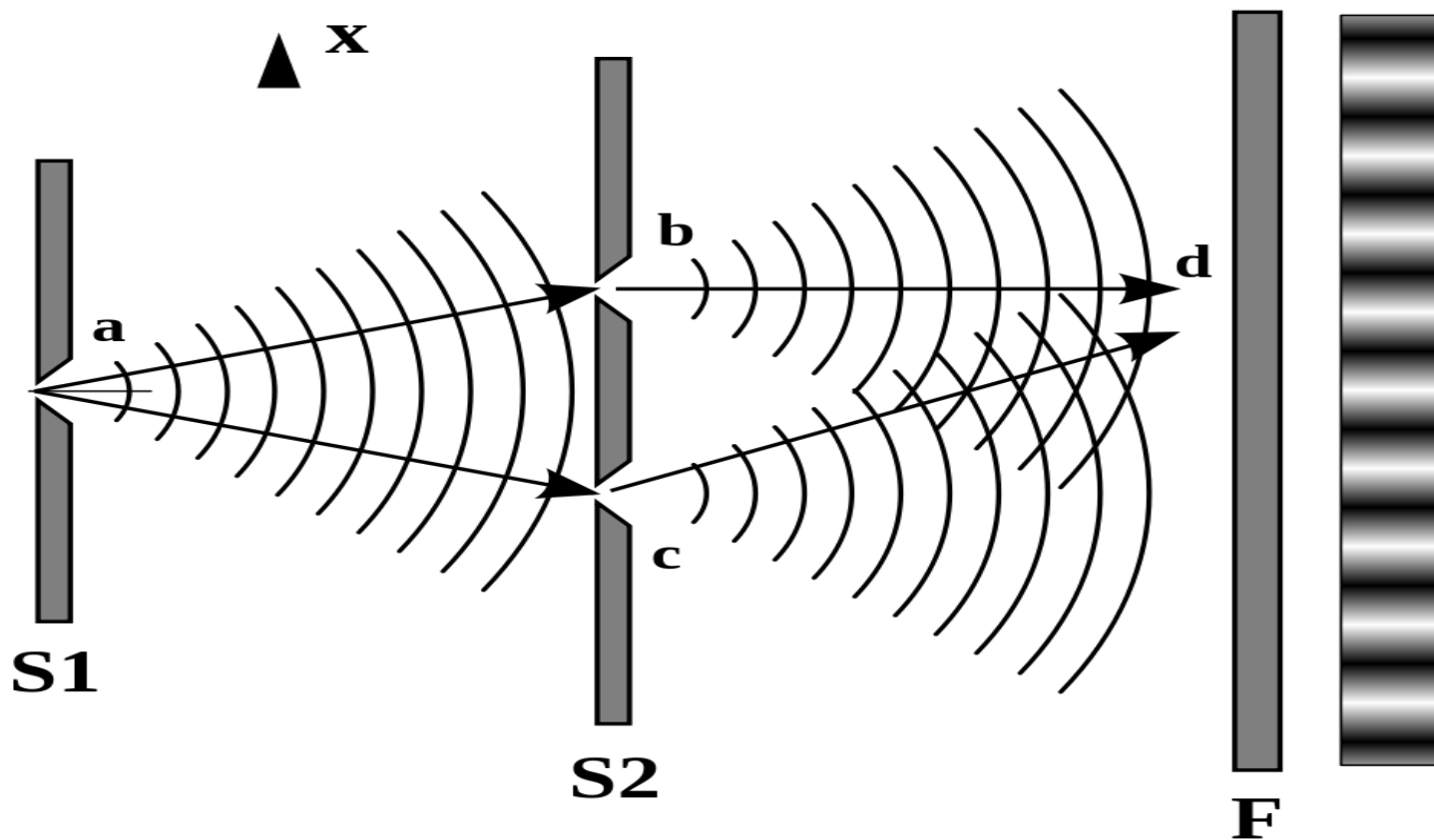
Thomas Young



1773-1829 (光是波動)

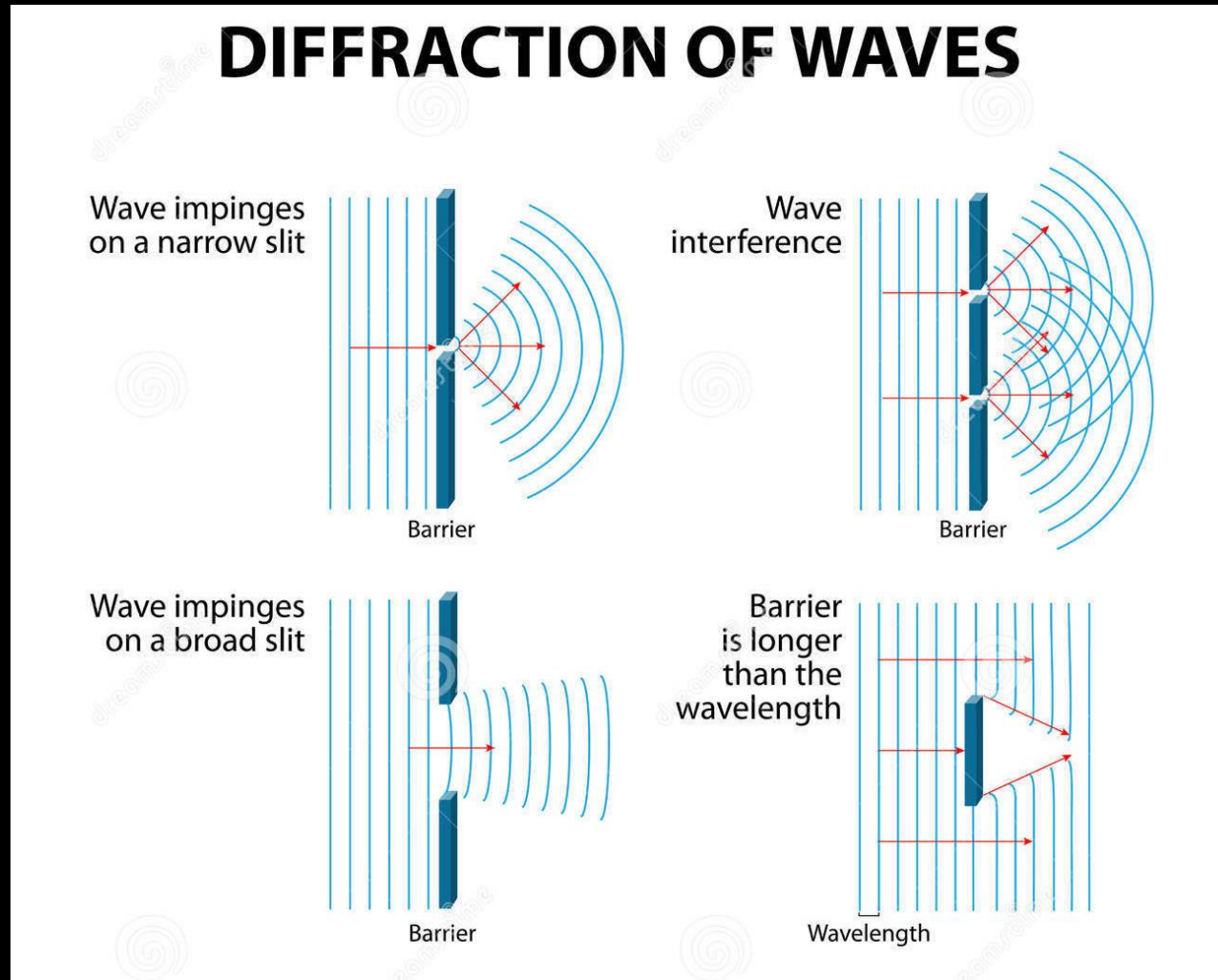
# 光的波動特性

- 光的干涉現象 (@理想狀況下)



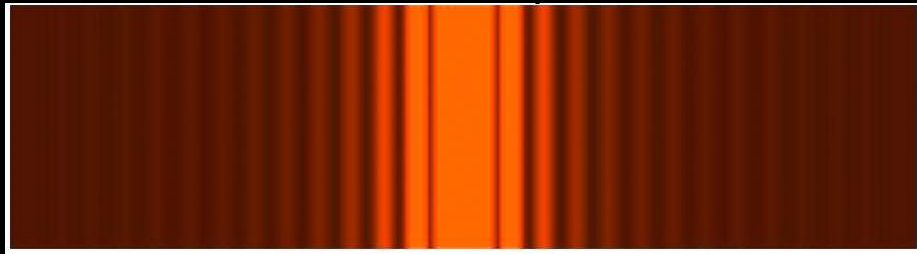
# 光的基本特性

- 光的干涉與繞射現象

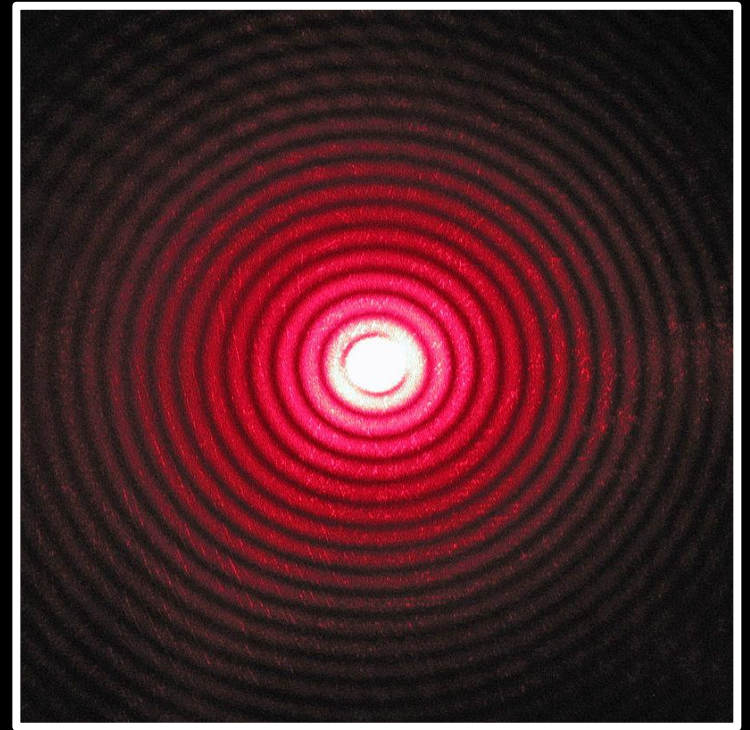


# 光的波動特性

- 光的繞射現象

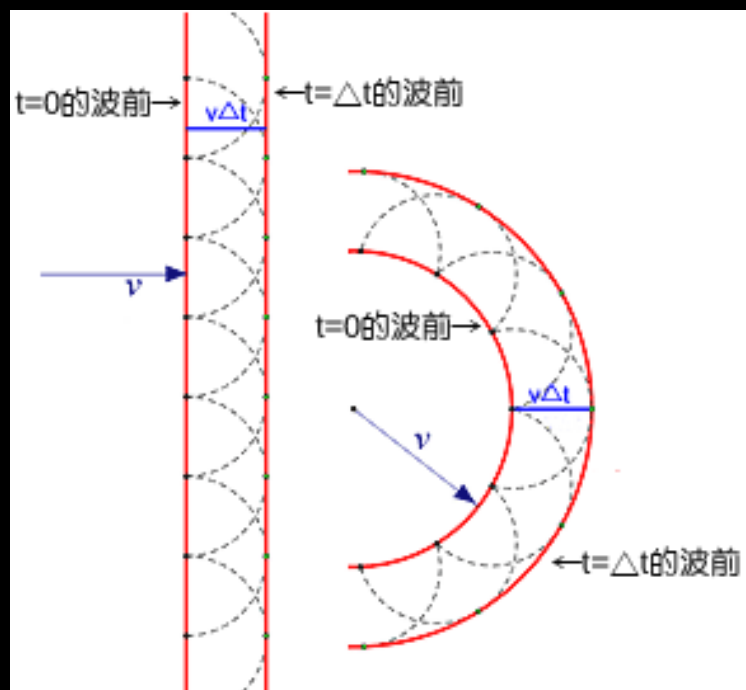


單狹縫繞射圖形

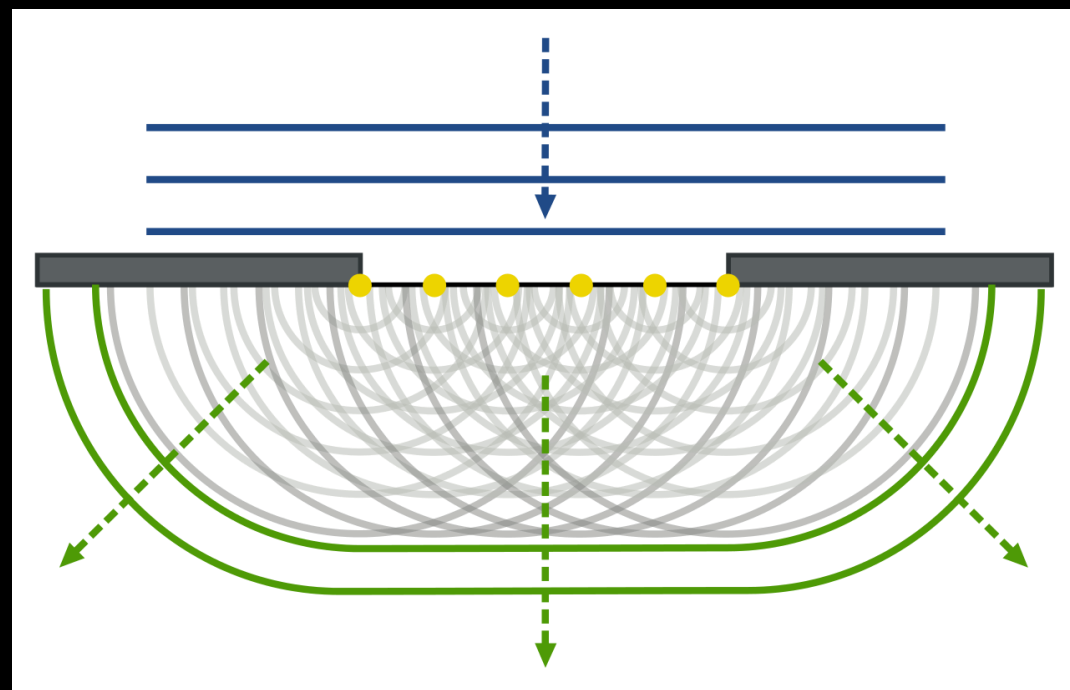


單針孔繞射圖形

# 補充資料：惠更斯 - 菲涅耳原理



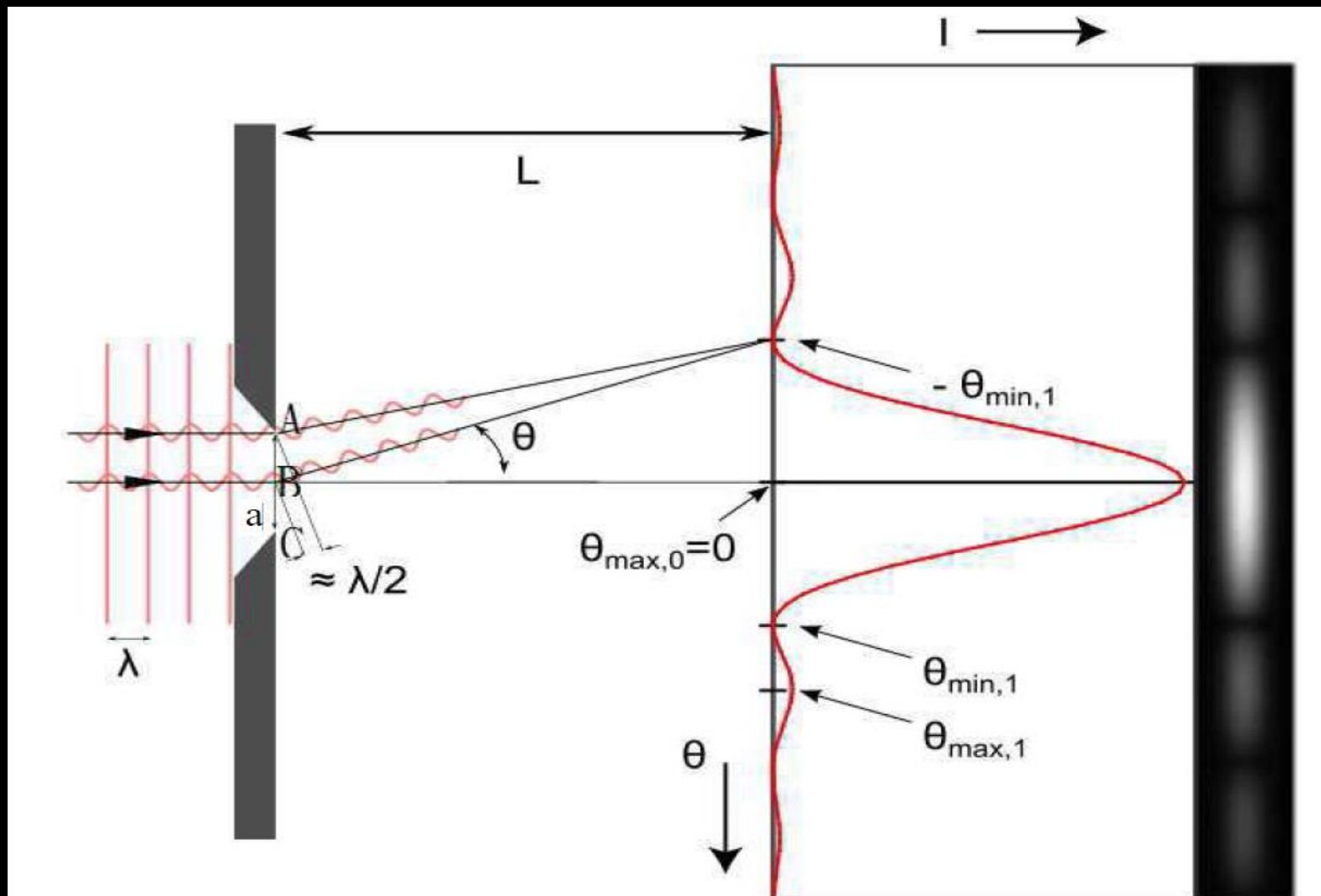
平行光 vs. 點光源



單狹縫的繞射現象

$$d \sin(\theta) = n\lambda$$

## 單狹縫的繞射現象

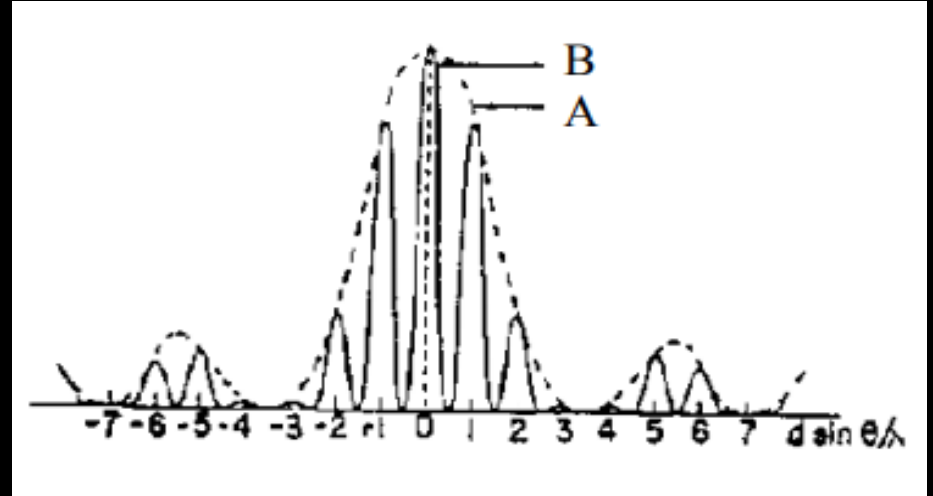
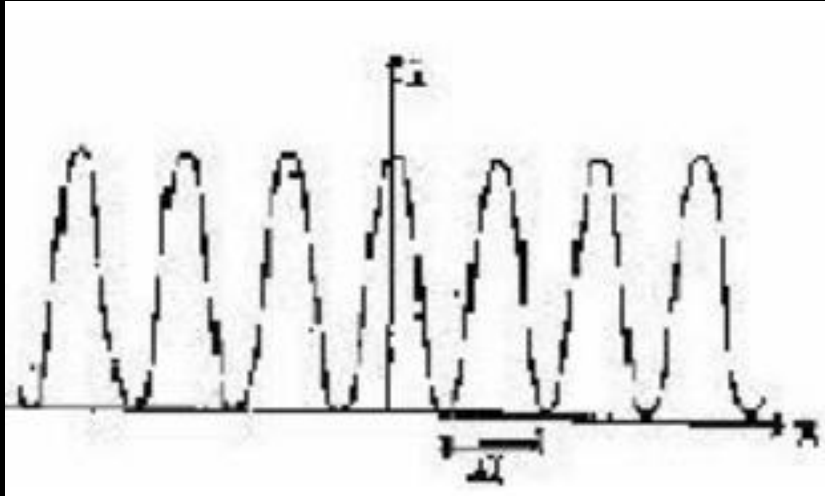


# 雙狹縫的干涉與繞射

只要狹縫有寬度，除了考慮狹縫之間的干涉，也須考慮每一個狹縫的繞射情況！下圖左為理想雙狹縫干涉圖案，不考慮繞射情形，純粹只有兩個狹縫的干涉。但實際情形，由於狹縫都有一定的寬度，所以楊式雙狹縫干涉實驗結果必須加上單狹縫繞射的影響，所以我們實際看到的是雙狹縫的干涉及單狹縫的繞射疊加在一起的條紋，如下圖右，

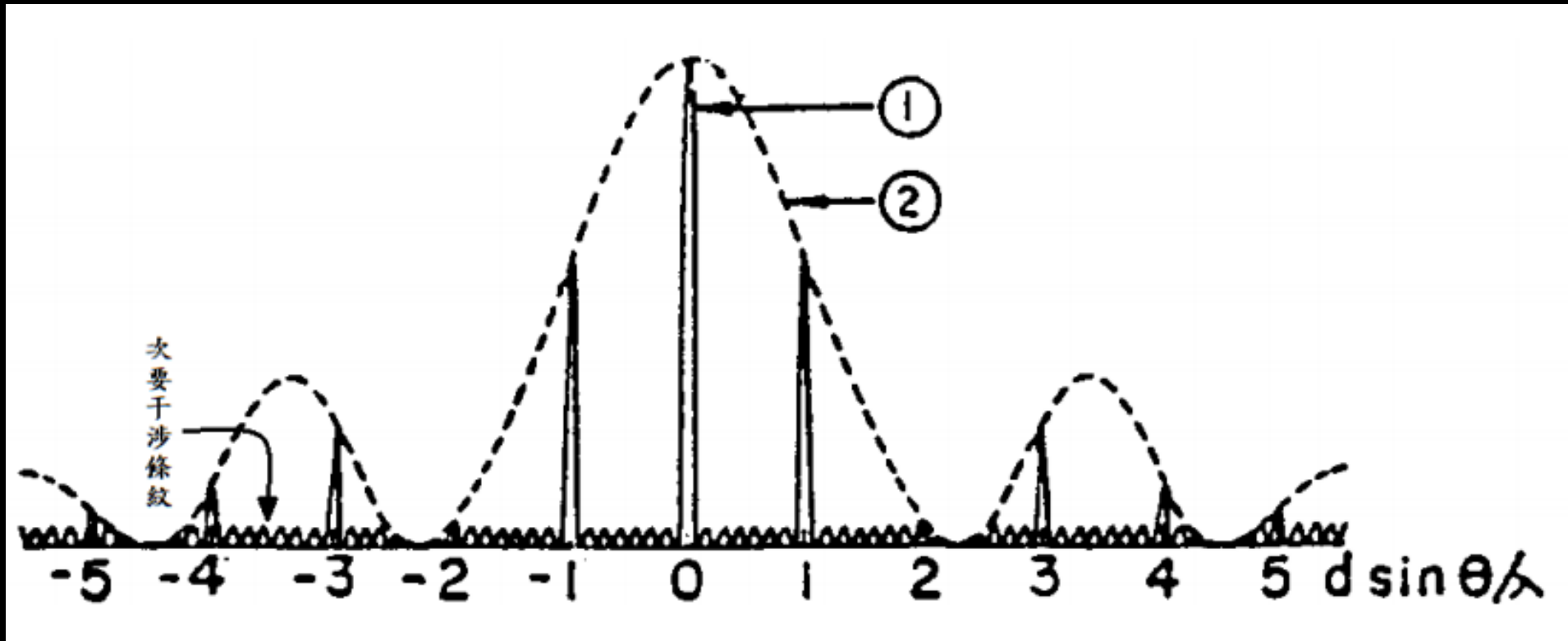
A 虛線為繞射的條紋，B 實線為干涉的條紋。

$$n\lambda = d \sin(\theta)$$



# 多狹縫的干涉&繞射

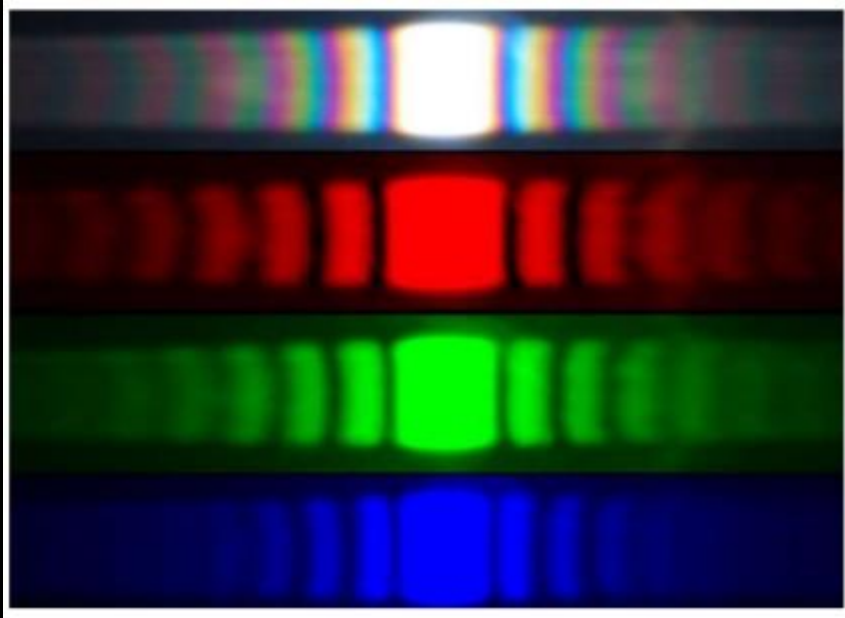
光透過一系列寬度相同，互相平行且等距離的狹縫後，形成一系列相同的繞射紋。若狹縫之間的距離很小，這一系列的光束會重疊而互相干涉，使繞射紋裡出現非常狹窄的干涉亮紋。當狹縫的數目極多時，主要的干涉亮紋會變得非常狹窄而明亮，次要干涉亮紋會變得微弱而不可見，也就是說，這時候光被集中在狹窄的亮紋上。其實多狹縫原理跟雙狹縫原理一樣，唯一差在多狹縫有更多的干涉，造成亮紋更狹窄。下圖為理想多狹縫( $N \gg 2$ )的干涉圖案，這裡一樣必須考慮單狹縫繞射情形喔！



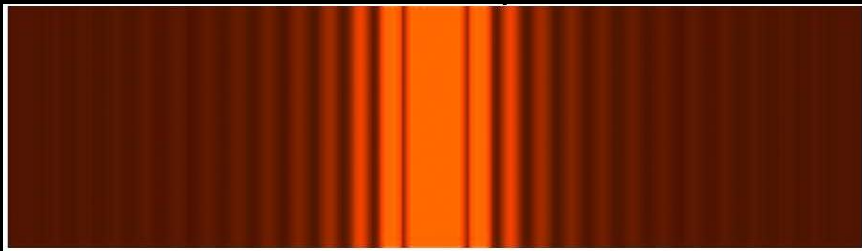
# 請完成本次課程學習單

## 物質的光譜學-探究與實作 學習單

姓名： \_\_\_\_\_ 日期： 2024 / \_\_\_\_ / \_\_\_\_



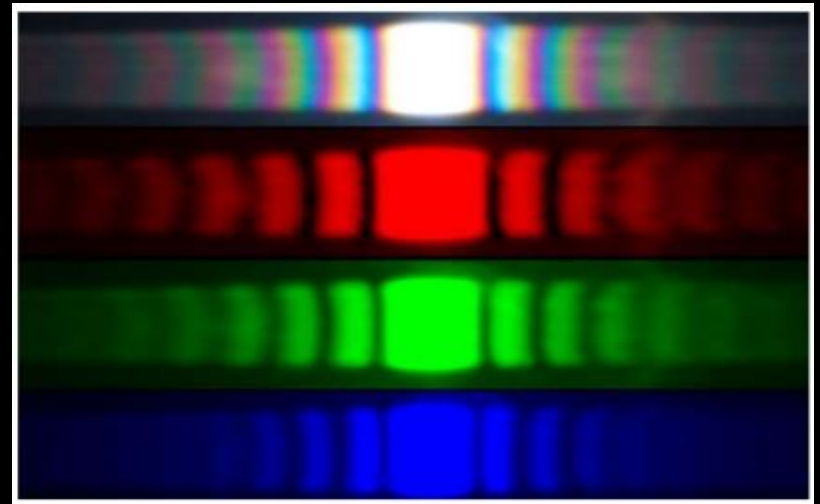
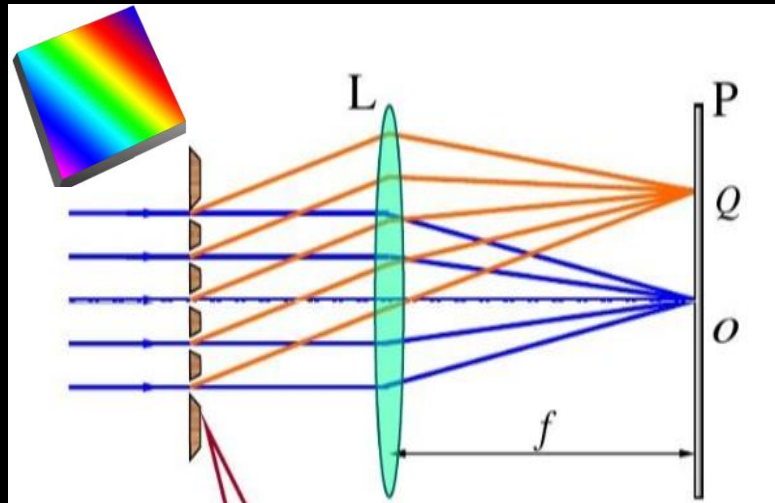
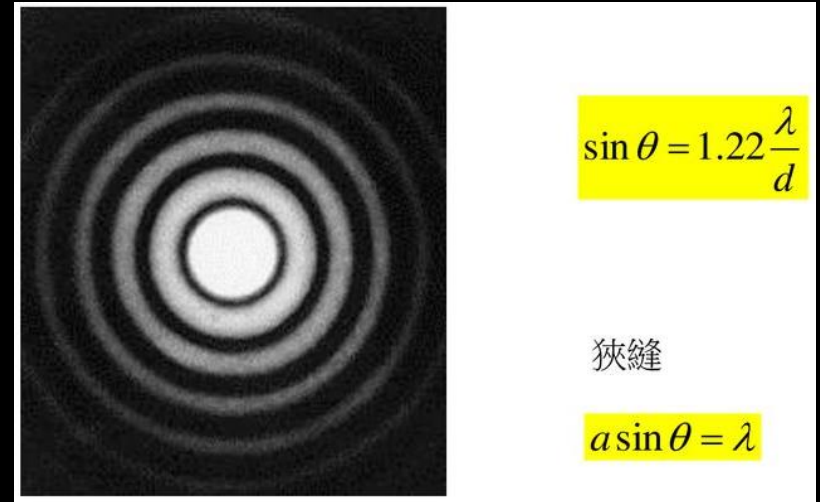
Q1. 試描述單狹縫的繞射原理。



Q2. 試描述雙狹縫的干涉與繞射原理。

# 演示實驗 (II)

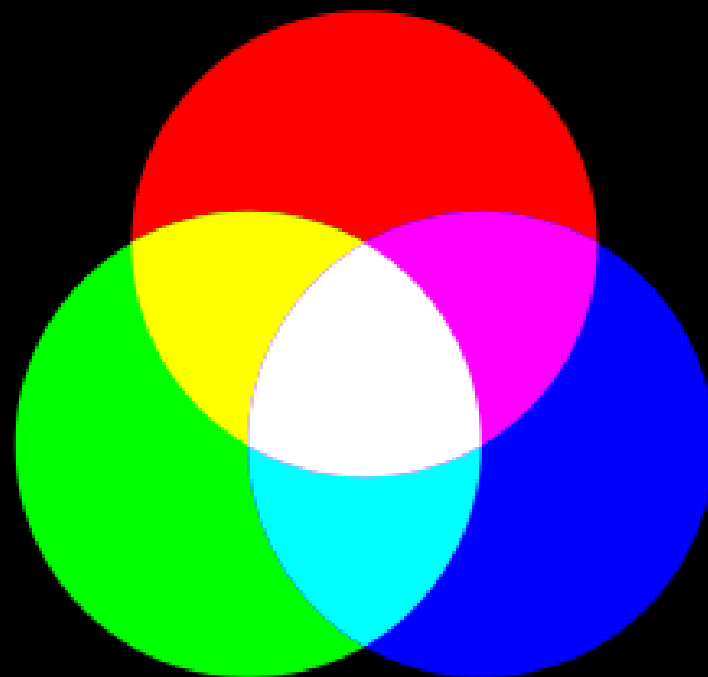
- 針孔繞射
- 單狹縫繞射
- 多狹縫 (光柵) 分光



# 演示實驗 (I)

## 光的三原色？

光的三原色是紅色、綠色和藍色，三種光相加會成為白色光。這是由於人類有三種視錐細胞分別對紅、綠和藍光最敏感。

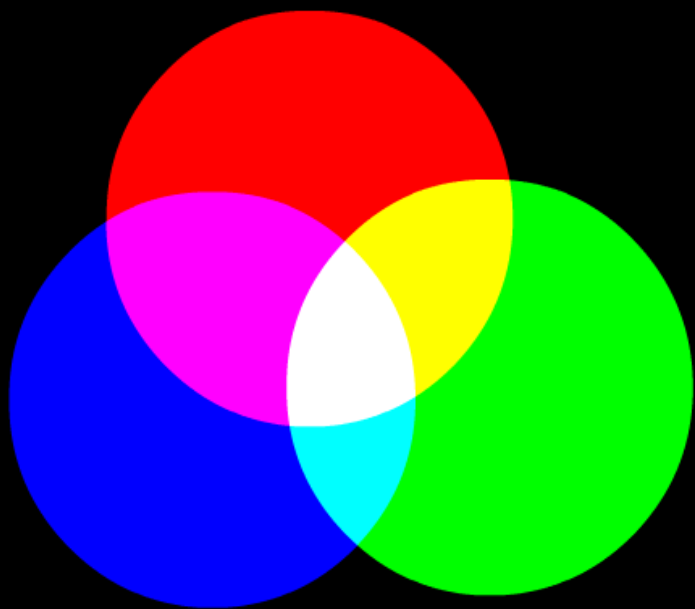


[參考資料連接 >>>](#)



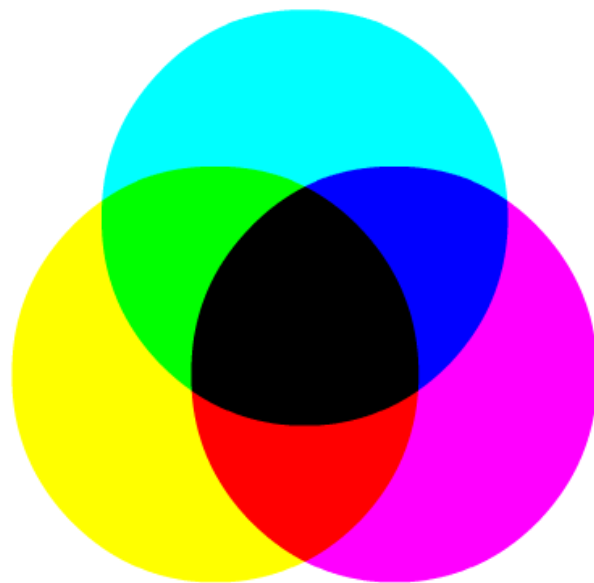
## 光的三原色

重疊後，色光變亮



## 顏料三原色

重疊後，顏料變暗



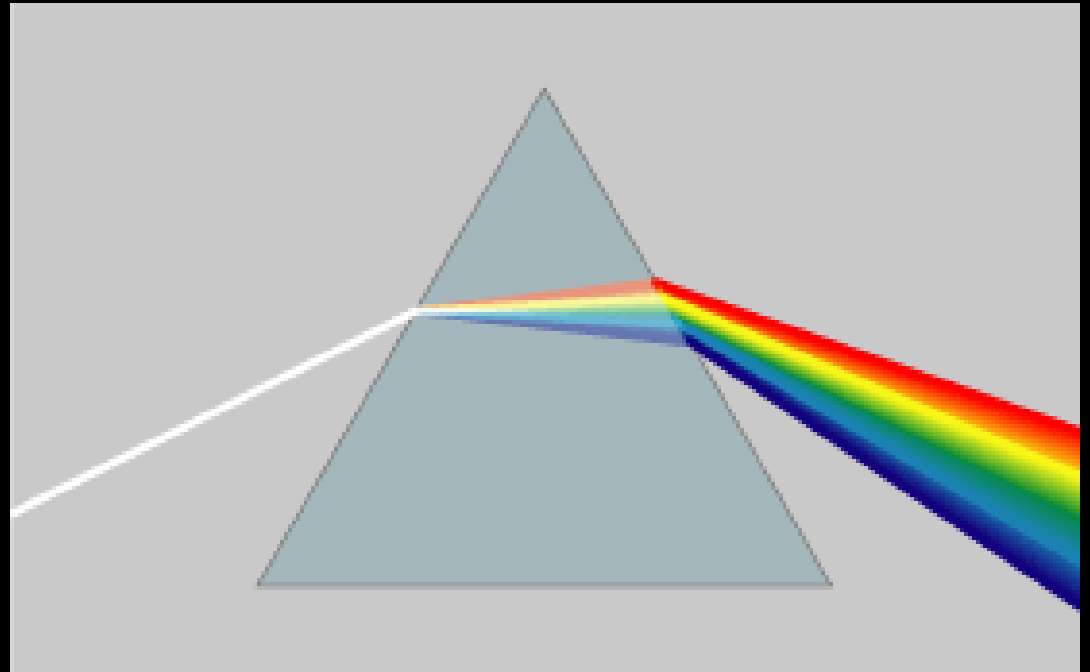


演示實驗的探究實作練習 20 分鐘

( 包含中場休息時間 )

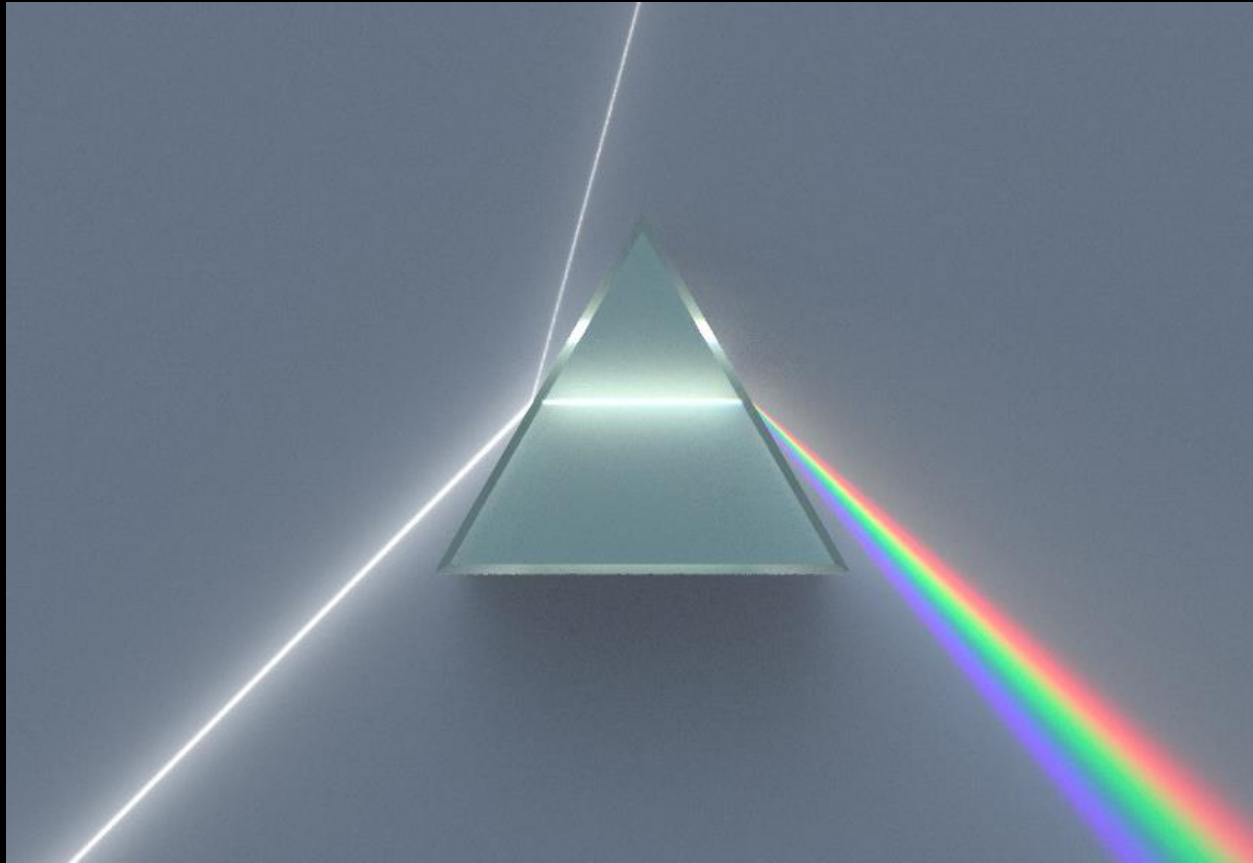
# 光的基本特性

- 光的粒子性與波動性
- 光的反射與折射現象
- 光的干涉與繞射現象
- 光的色散現象
- 光的散射現象



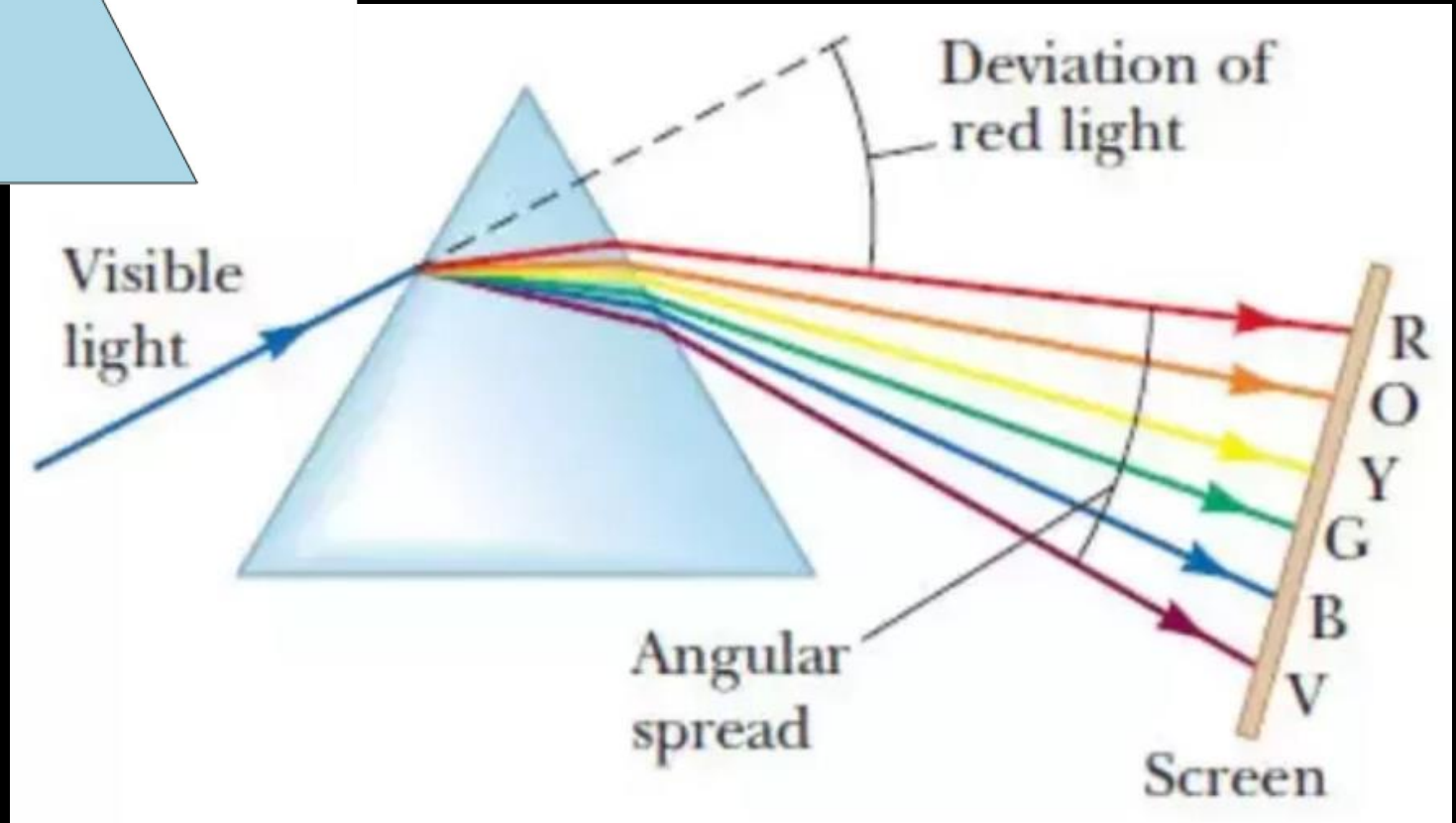
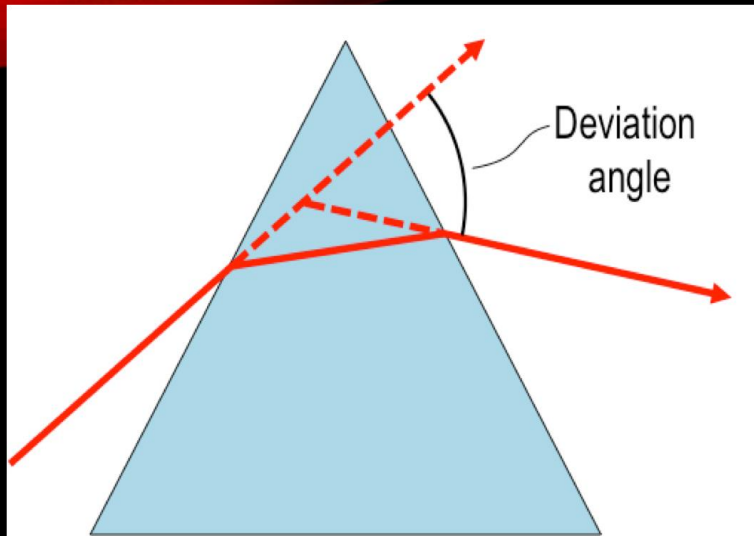
# 光的基本特性

觀察光在菱鏡與空氣介面的反射與折射現象

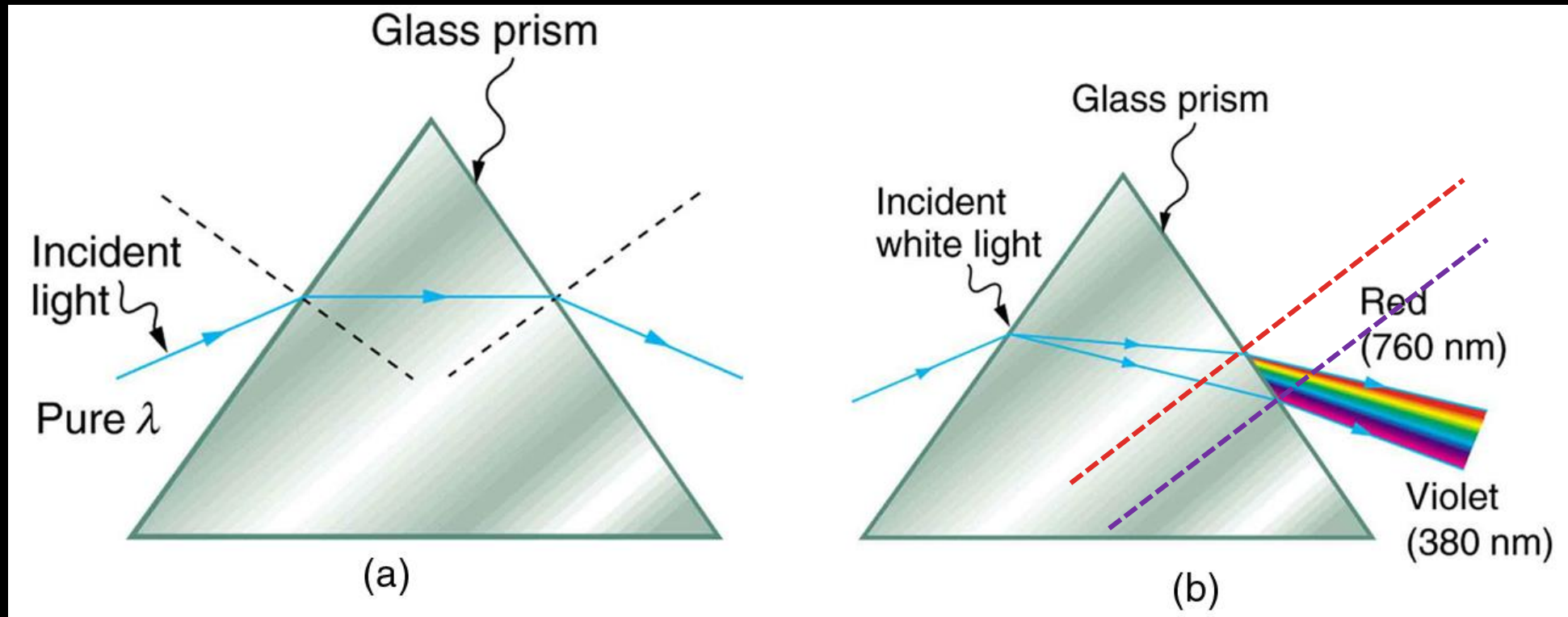


還記得這張圖哪裡怪怪的嗎？

# 光的色散現象



# 光的色散現象



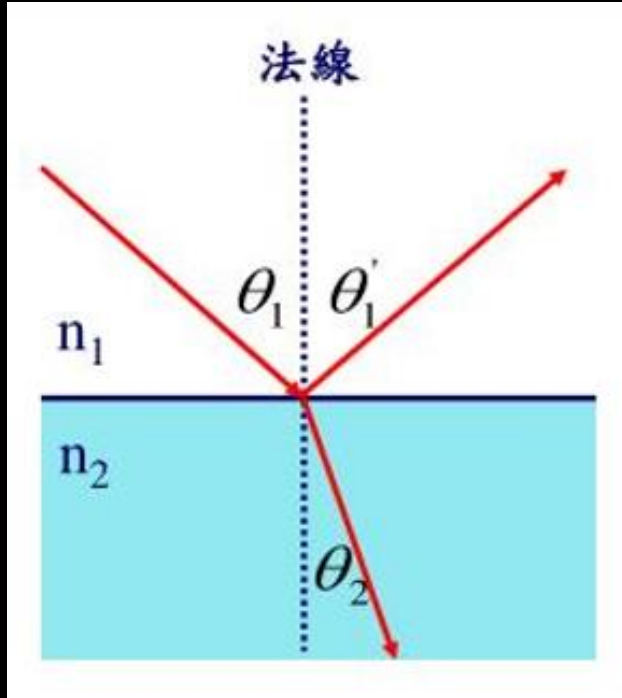
# 光的色散現象

當考慮  $n_2$  介質折射率跟光的波長有關：

$n_1=1$  ,  $\sin(\theta_1)$  固定不變 ,  $n_2=n_2(\lambda)$

則不同波長的折射角  $\theta_2(\lambda)$  就會出現在不同的角度了！

$$\sin(\theta_2) = n_1 \sin(\theta_1) / n_2(\lambda)$$

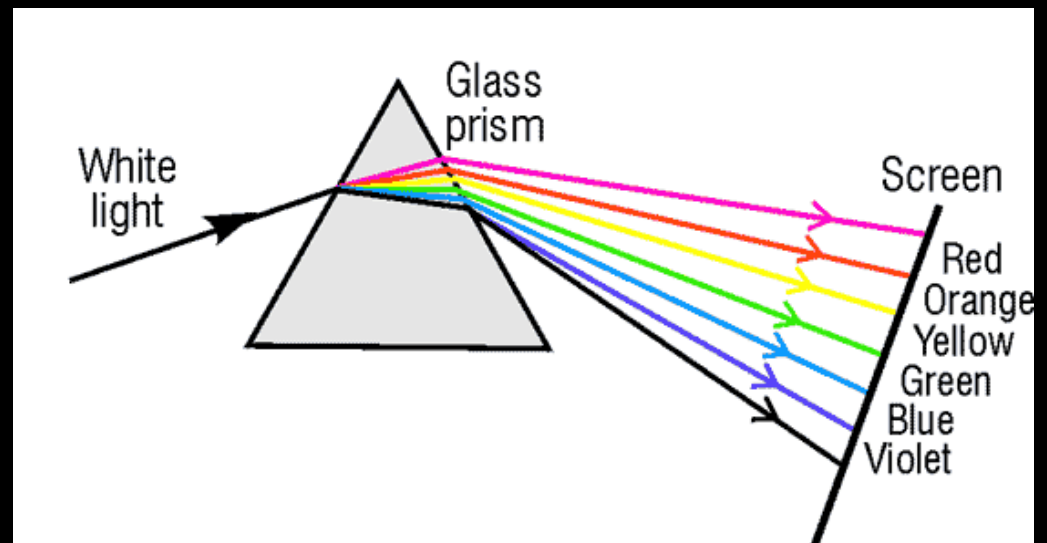


## 折射定律

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$\theta_1$  : 入射角  $\theta_2$  : 折射角

$n_1, n_2$  : 不同介質的折射率



# 光的基本特性

- 光的粒子性與波動性
- 光的反射與折射現象
- 光的干涉與繞射現象
- 光的色散現象
- 光的散射現象



Q3. 請問為何我們可以看得到雷射光束？

# 2021.03.18-22 阿里山區森林大火



# 光的散射現象

國際

## 燒掉半個台灣！美國奧勒岡州野火蔓延 50萬人被迫緊急撤離

王穎芝

+ 追蹤

2020-09-11 21:47 4989 人氣



# 瑞利散射

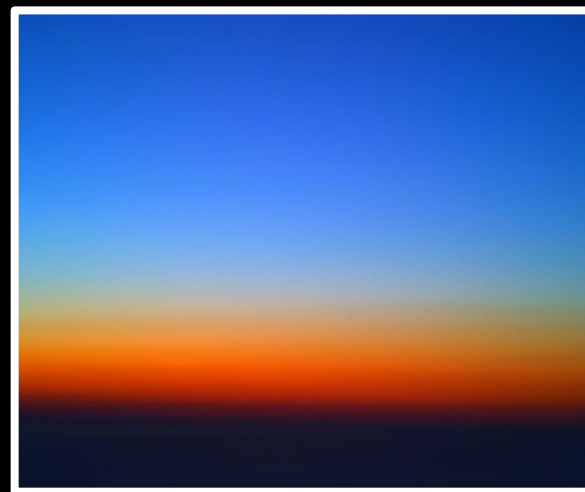
瑞利散射 ( Rayleigh scattering )，由英國物理學家約翰·斯特拉特，第三代瑞利男爵 ( John Strutt, 3rd Baron Rayleigh ) 的名字命名。它是半徑比光或其他電磁輻射的波長小很多的微小顆粒 ( 例如單個原子或分子 ) 對入射光束的散射。瑞利散射在光通過透明的固體和液體時也都會發生，但以氣體最為顯著。在大氣中，太陽光的瑞利散射會導致瀰漫天空輻射，這也是天空為藍色和太陽偏黃色的原因。

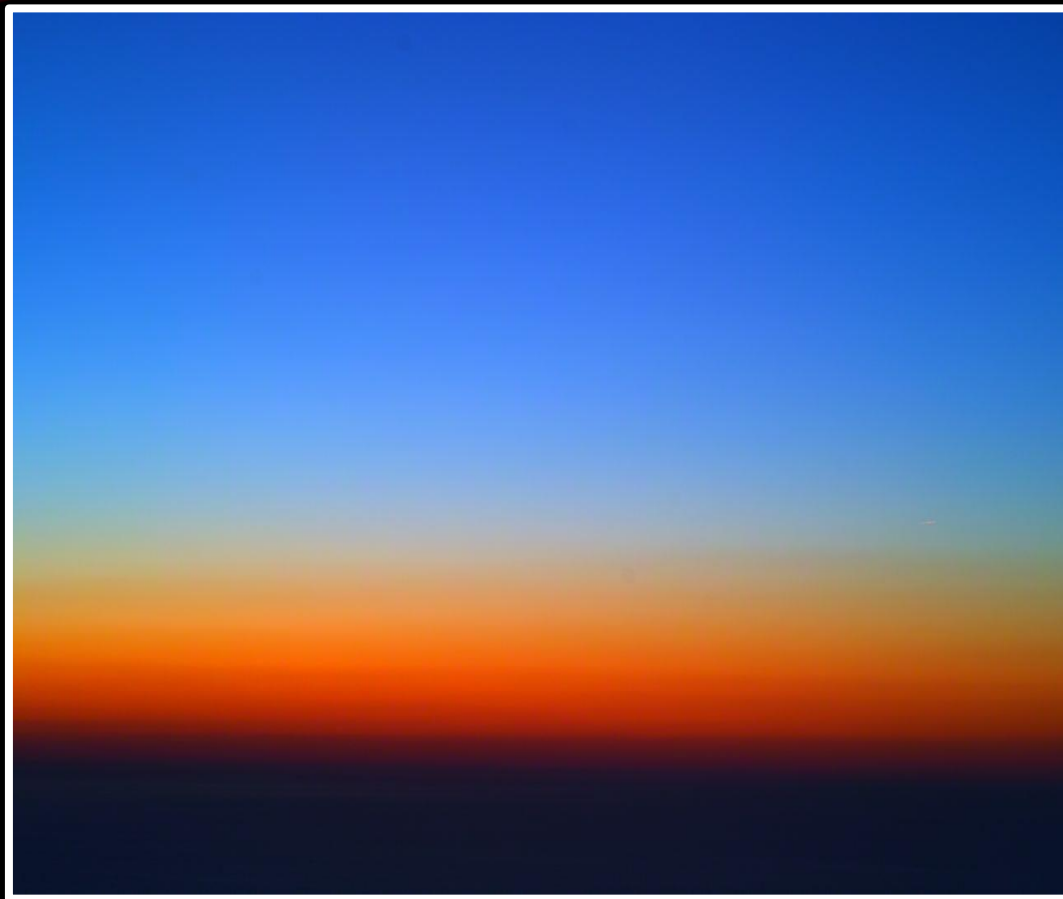
瑞利散射光的強度和入射光波長 $\lambda$ 的四次方成反比：

$$I(\lambda)_{scattering} \propto \frac{I(\lambda)_{incident}}{\lambda^4}$$

其中  $I(\lambda)_{incident}$  為入射光的光強分布函數。

因此，波長較短的藍光比波長較長的紅光更易產生瑞利散射。





Q4: 當傍晚時刻太陽已下山 ,請問為何接近地平線的天空顏色呈現橘紅色 ? 然而隨著視角愈高天空的顏色逐漸變成藍紫色呢 ?

# 本週授課內容

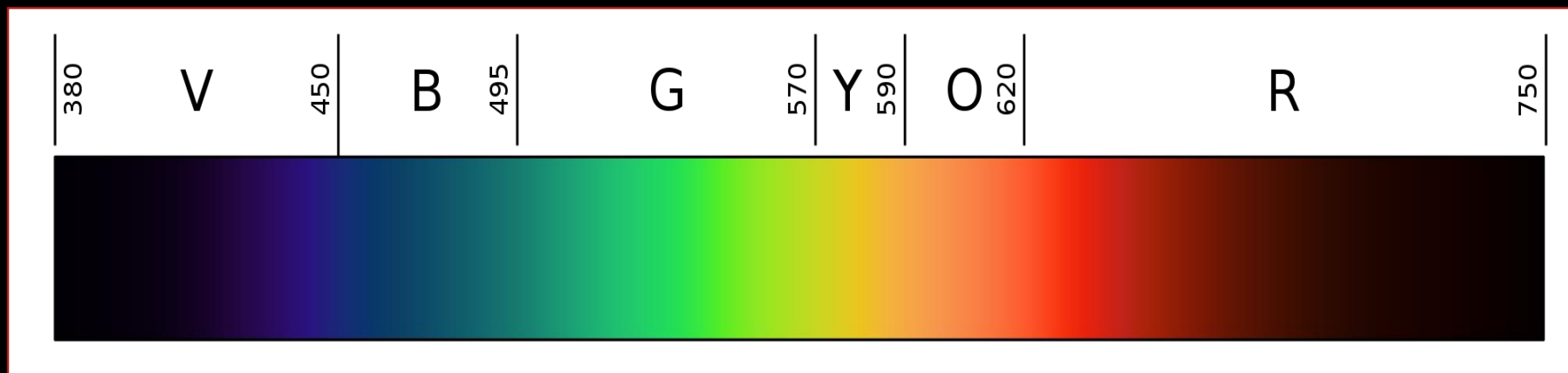
| 週數 | 課堂內容                                         |
|----|----------------------------------------------|
| 1  | 光的本質 / What is light ?                       |
| 2  | 光與物質的交互作用 / Light and Matter Interaction     |
| 3  | 光源與光譜學 / Light Source and Spectroscopy       |
| 4  | 光譜量測技術 / Spectroscopy Measurement Techniques |

# 何謂物質的光譜？

**歷史** 西元1666年，牛頓發現：太陽光(或日光燈等白色光)通過三稜鏡折射後，會被折射分散成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種主要顏色的彩色光 → 稱為光的色散現象，而在空間中分散出來的可見光帶即可稱之為「**光譜**」。

**光譜學** 透過探討物質吸收、發射、或散射的光、聲或粒子來了解物質的特性；也可被定義為研究**光和物質相互作用**的一門學科 (Spectroscopy)。

**光譜種類** 根據光譜的波長範圍分類：紫外光譜、可見光譜、紅外光譜。根據光譜產生的方式分類：發射光譜、吸收光譜、散射光譜。





# 光譜分類

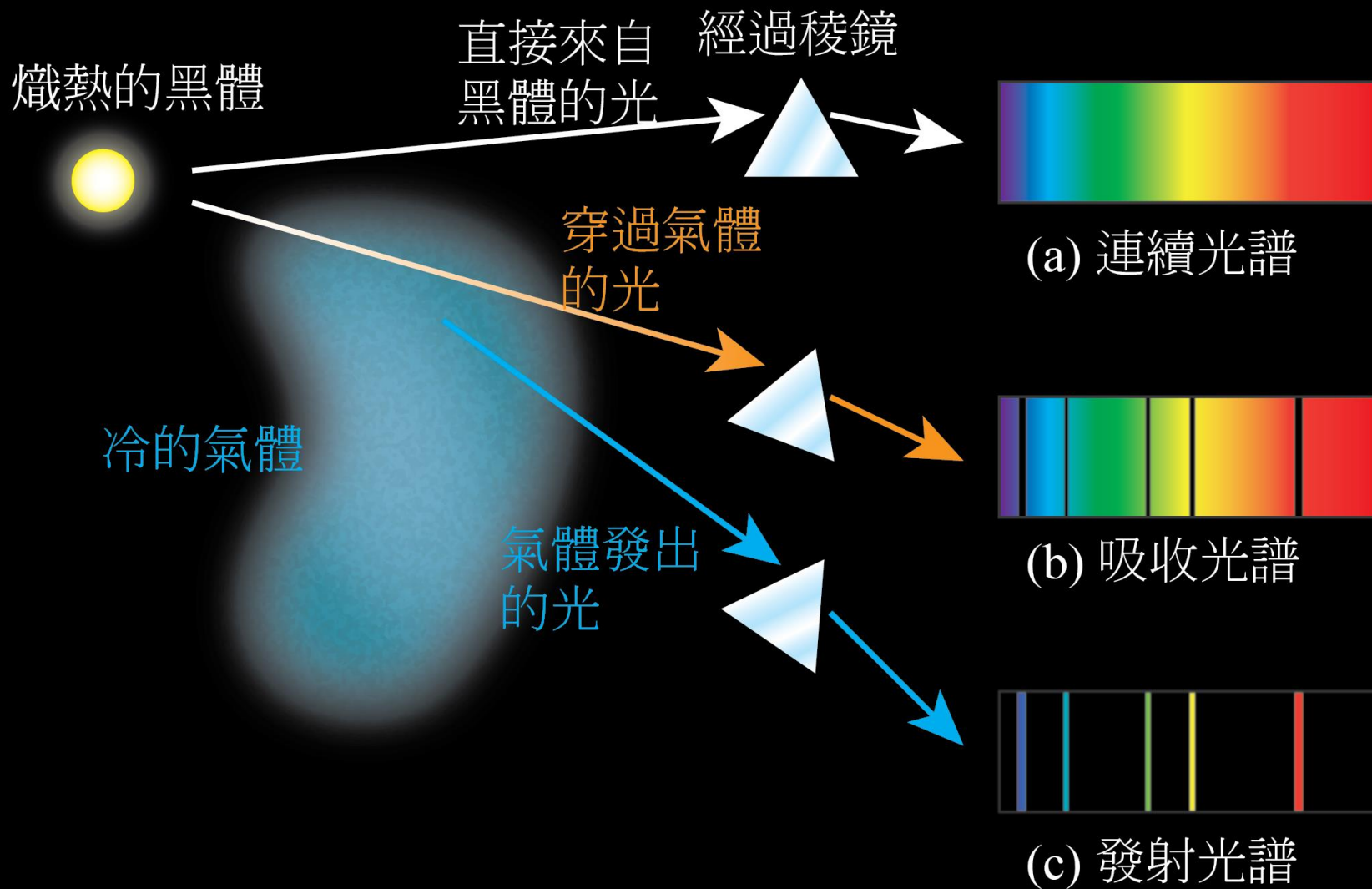
## 根據光譜產生方式分類

**發射光譜** 有的物體能自行發光，由它直接產生的光形成的光譜叫做發射光譜。可分為三種不同類別的光譜：線狀光譜、帶狀光譜和連續光譜。**線狀光譜**主要產生於原子，由一些不連續的亮線組成；**帶狀光譜**主要產生於分子，由一些密集的某個波長範圍內的光組成；**連續光譜**則主要產生於白熾的固體、液體或高壓氣體受激發發射電磁輻射，由連續分布的一切波長的光組成。

**吸收光譜** 在白光通過物體時，物體將從通過它的白光中吸收與其特徵譜線波長相同的光，使白光形成的連續譜中出現暗線。此時，這種在連續光譜中某些波長的光被物質吸收後產生的光譜被稱作**吸收光譜**。NOTE: **吸收光譜**常需透過量測**反射光譜**及**穿透光譜**來獲得。在光照射下，物質對光的吸收率 (A)、反射率 (R)、及穿透率(T) 之間，存在數學上互補的關係： $A+R+T=1$ 。

**散射光譜** 當光照射到物質上時，會發生非彈性散射，在散射光中除有與激發光波長相同的彈性成分（**瑞利散射**）外，還有比激發光波長長的和短的成分，後一現象統稱為拉曼效應。這種現象於1928年由印度科學家拉曼所發現，因此這種產生新波長的光的散射被稱為拉曼散射，所產生的光譜被稱為**拉曼光譜**或拉曼散射光譜。

# 各式光譜如何產生？



# 如何觀測物質的光譜？

光譜偵測器

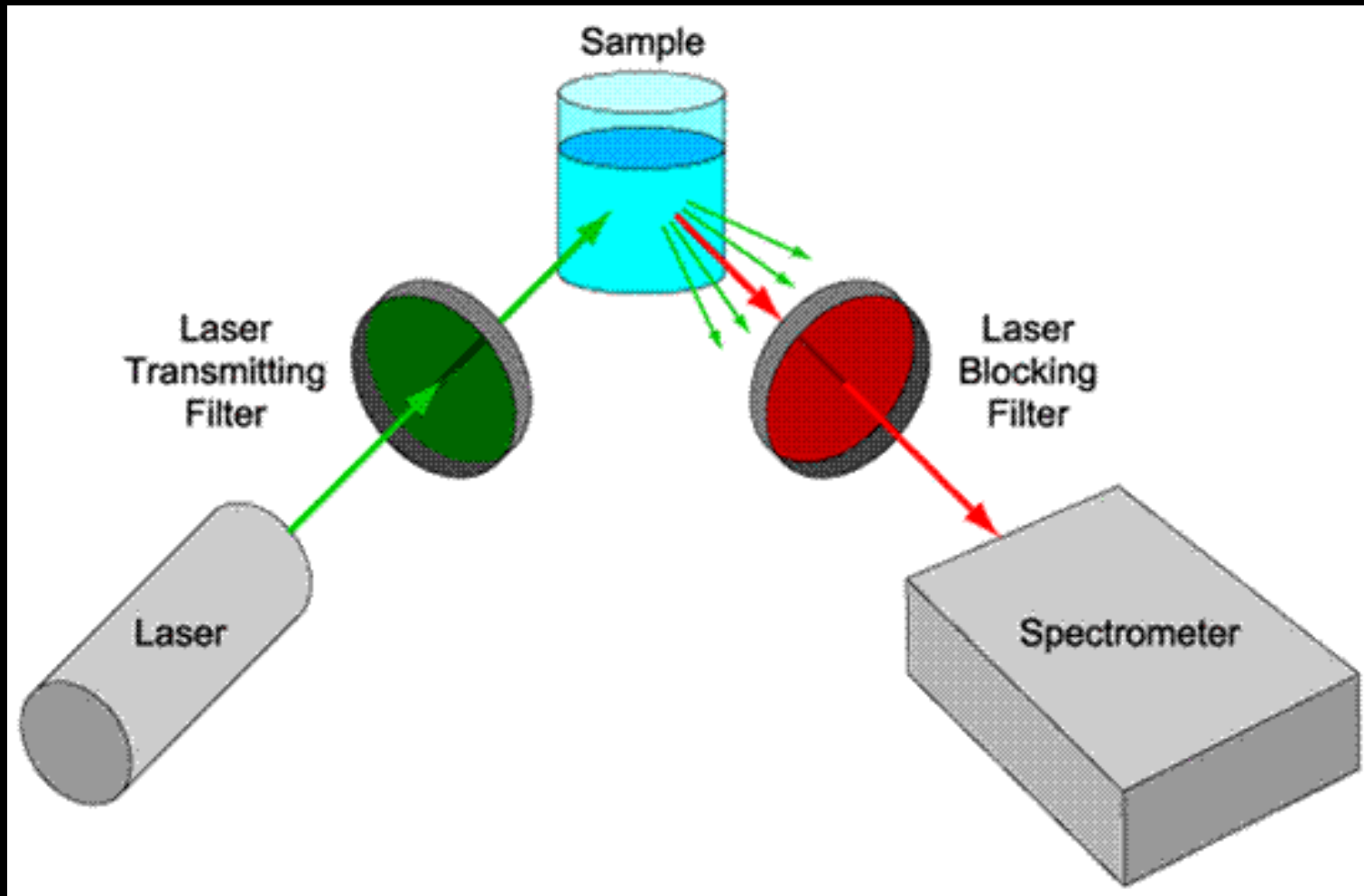


待測物質

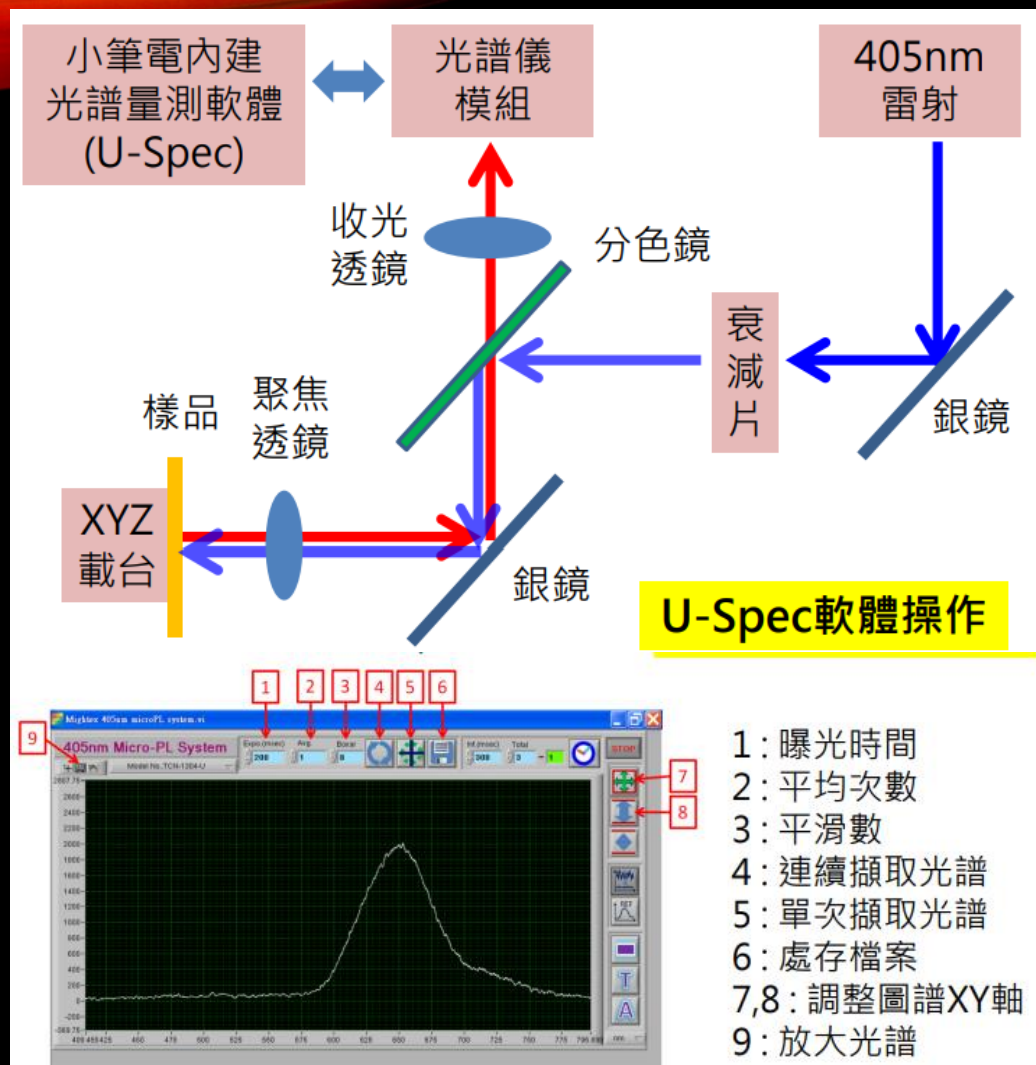


光源

# 雷射光譜量測技術



# 演示實驗 (III)



## 螢光光譜儀：光學系統介紹與操作示範



2024-09-27 星期五 ..... 再見囉！