

# 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)

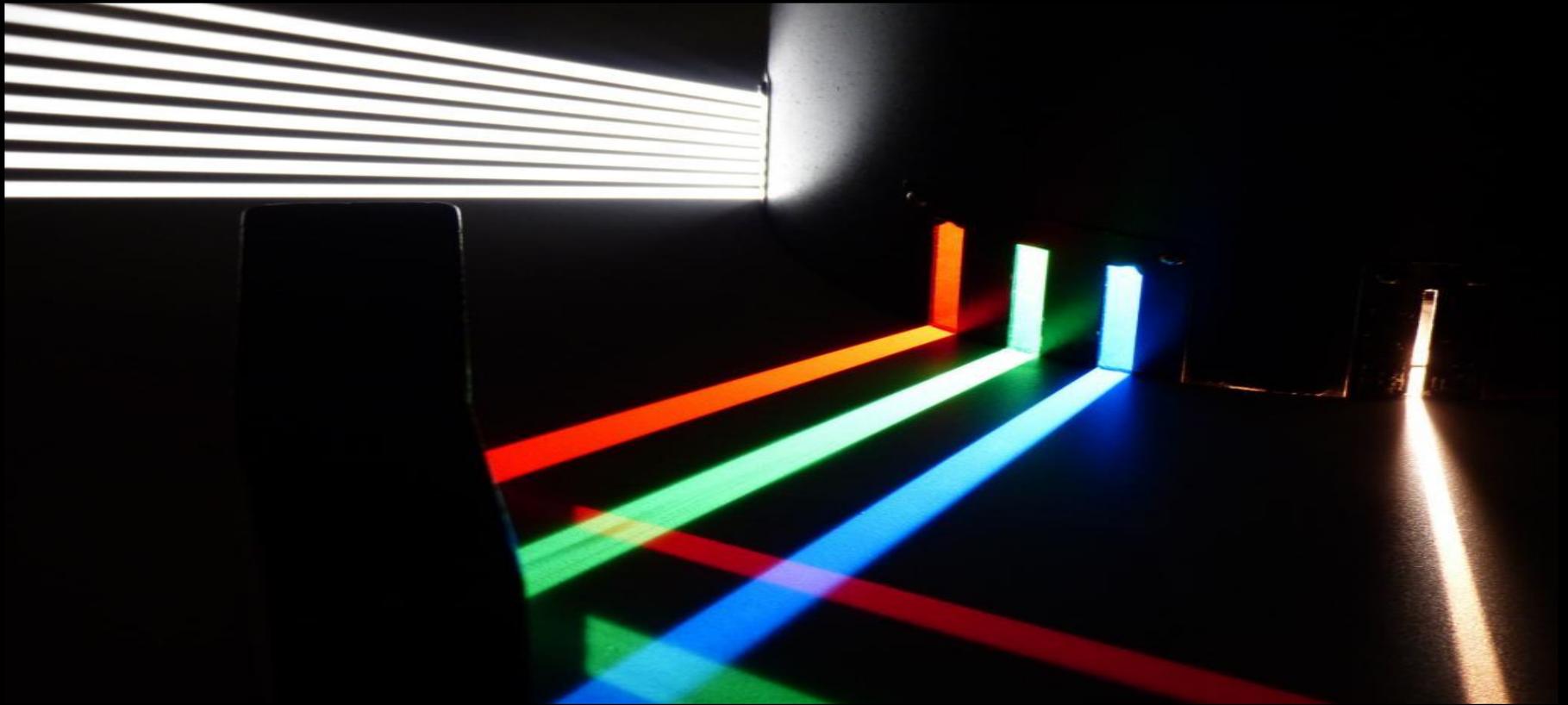
E-Mail : [ymchang@ntu.edu.tw](mailto:ymchang@ntu.edu.tw)

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



# 本週授課內容

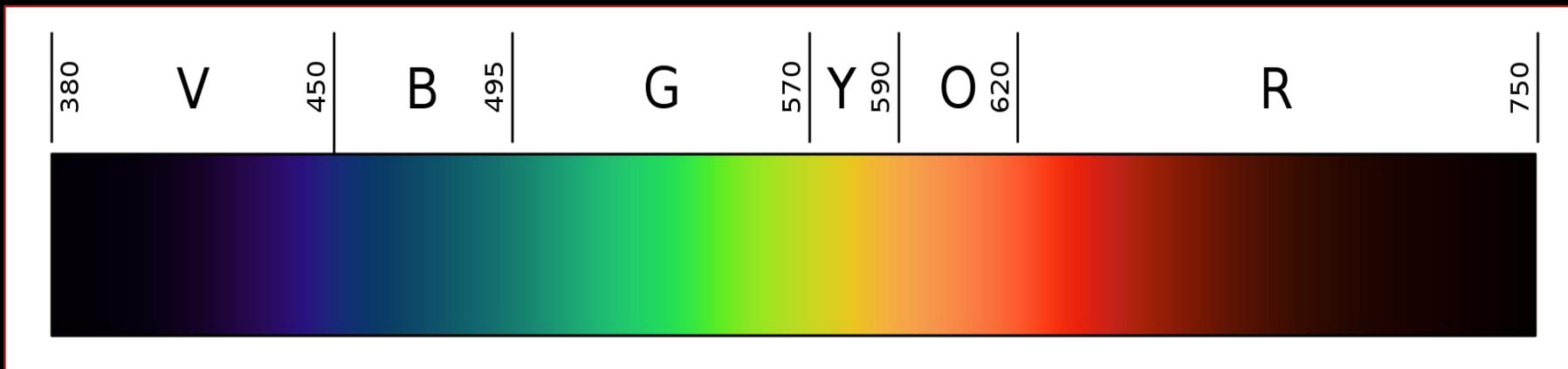
| 週數 | 課堂內容   |
|----|--|
| 1  | 光的本質 / What is light ?                       |
| 2  | 光與物質的交互作用 / Light and Matter Interaction     |
| 3  | 光源與光譜學 / Light Source and Spectroscopy       |
| 4  | 光譜量測技術 / Spectroscopy Measurement Techniques |

# 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

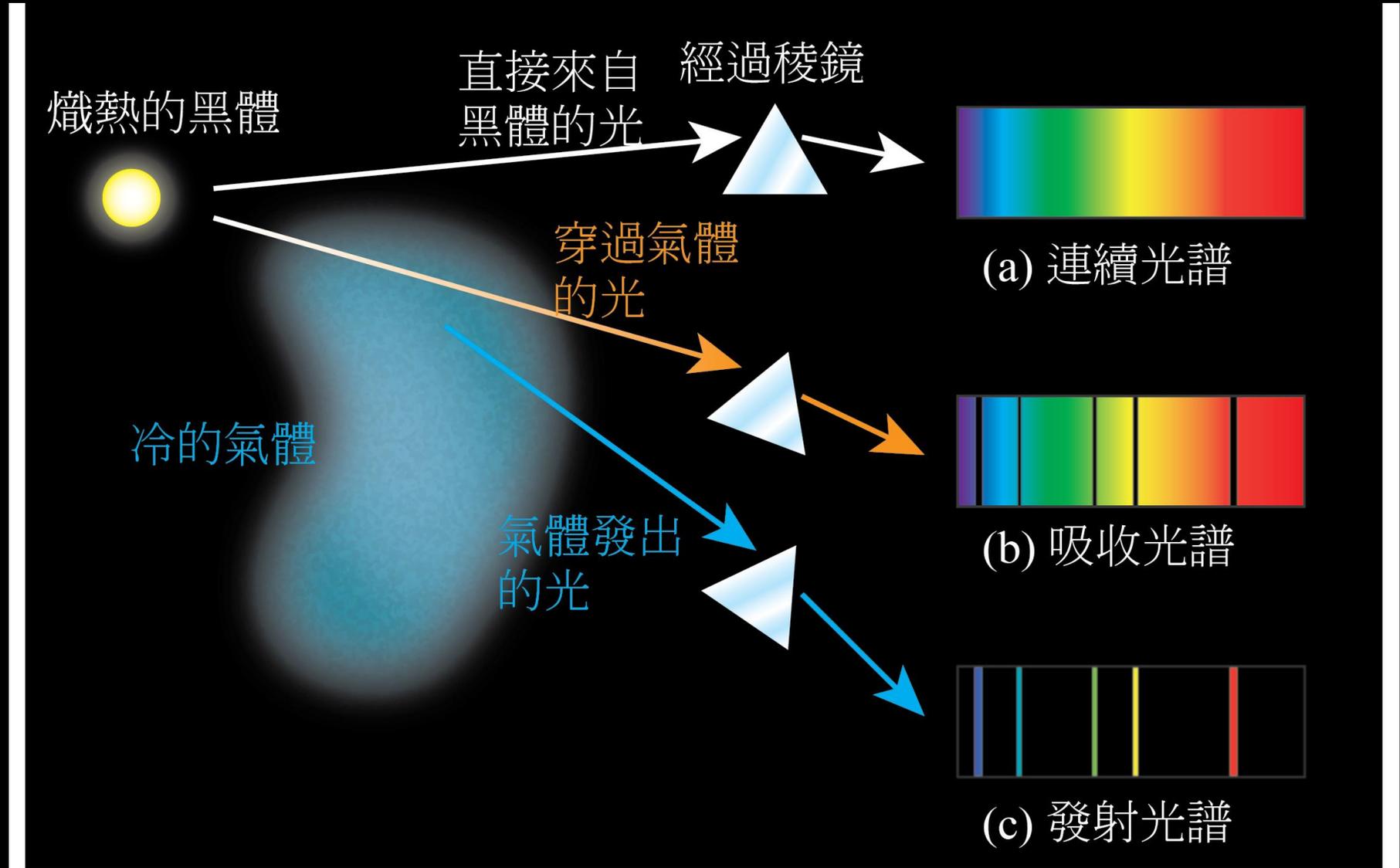
## 根據光譜產生方式分類

**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

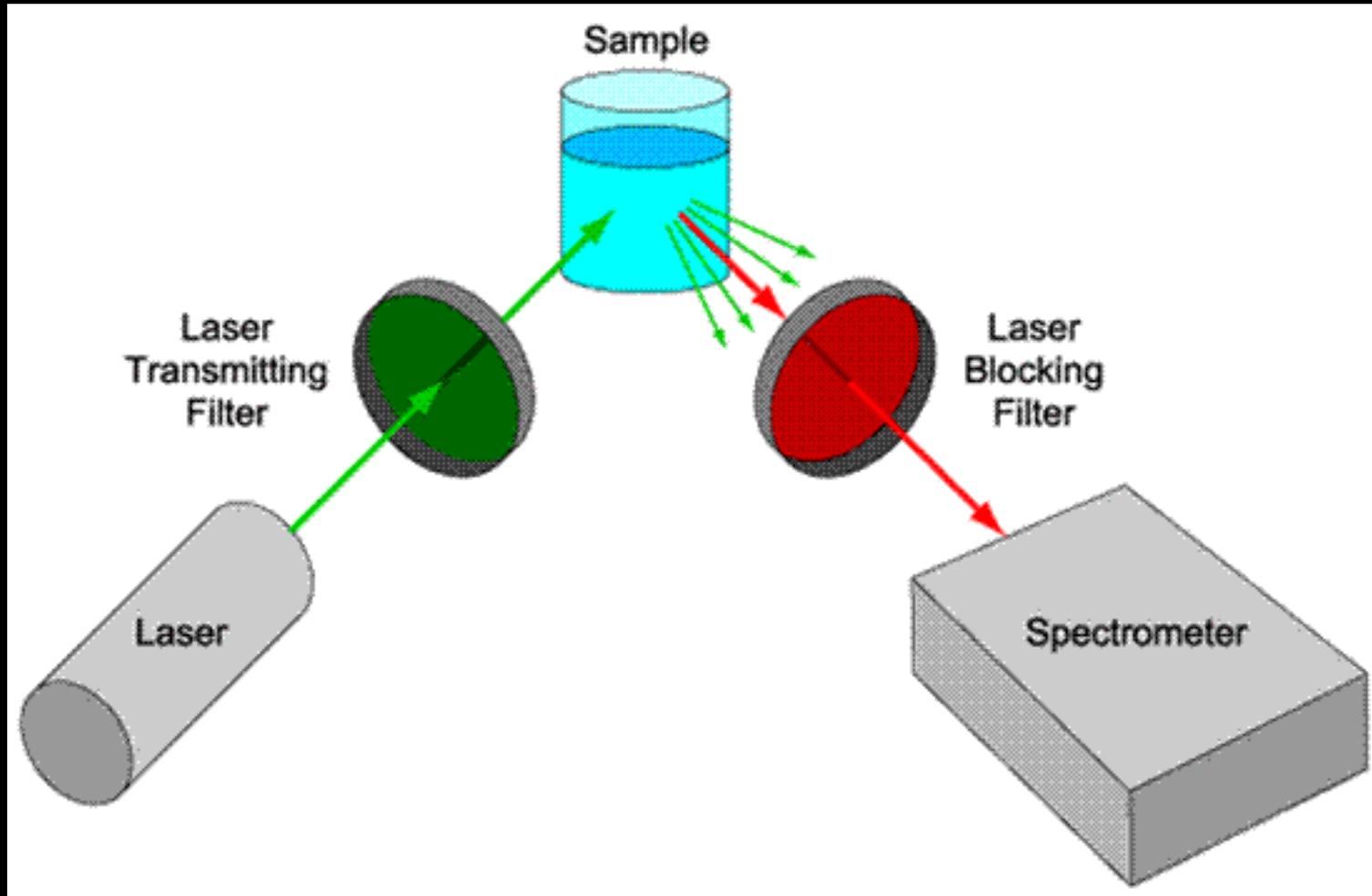


待測物質

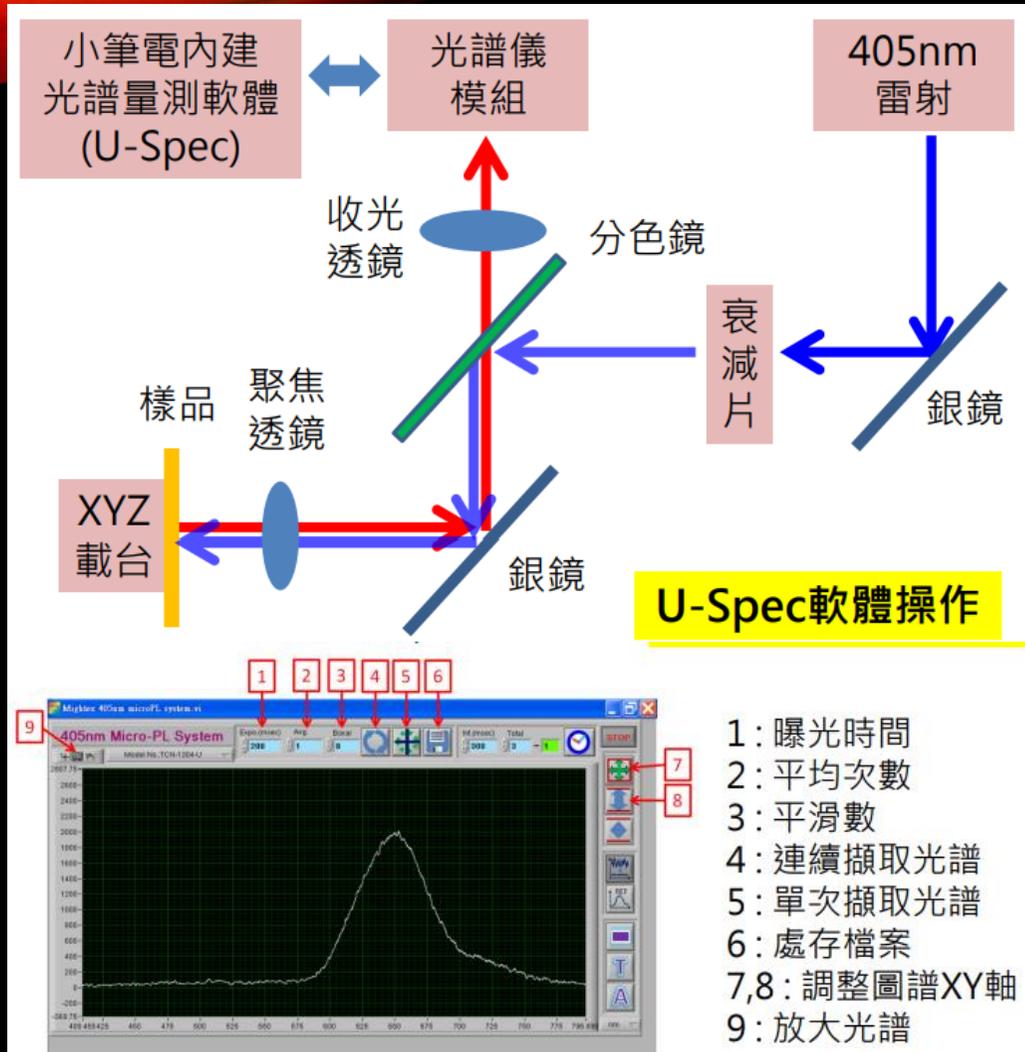


光源

# 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



# 物質光譜學：物理領域

# 物質光譜學：物理領域

**物質組成**：原子結構與原子模型、物質的光譜, 例如 .....

**光波特性的**：光與電磁波、光的特性 (i.e. 反射, 折射, 干涉, 繞射, 偏振)、由於光的特性展現出來的特殊現象, 例如 .....

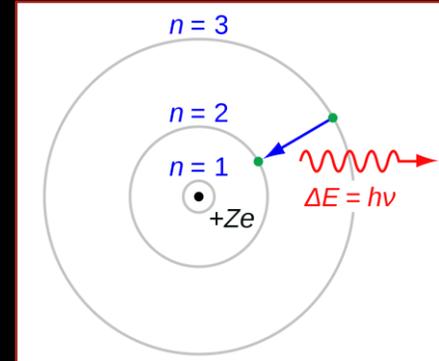
**量子現象**：光電效應 (光的粒子性) 與其日常應用、原子能階與能階躍遷、原子光譜、火焰的顏色

**宇宙星際**：星系特徵元素光譜、哈伯定律 (光波的都普勒效應)、太陽光譜

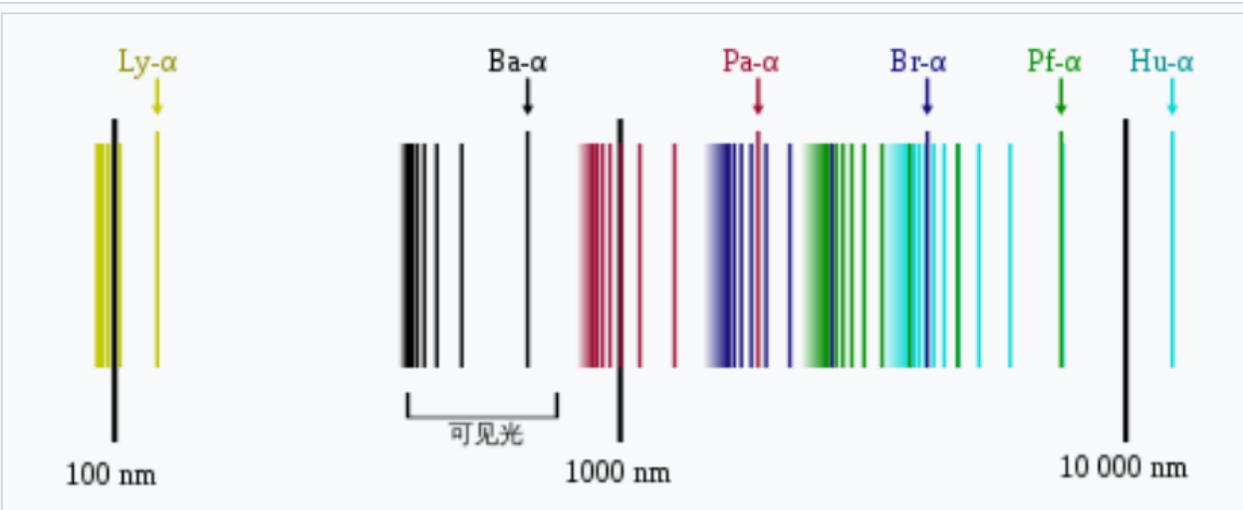


維基百科  
自由的百科全書

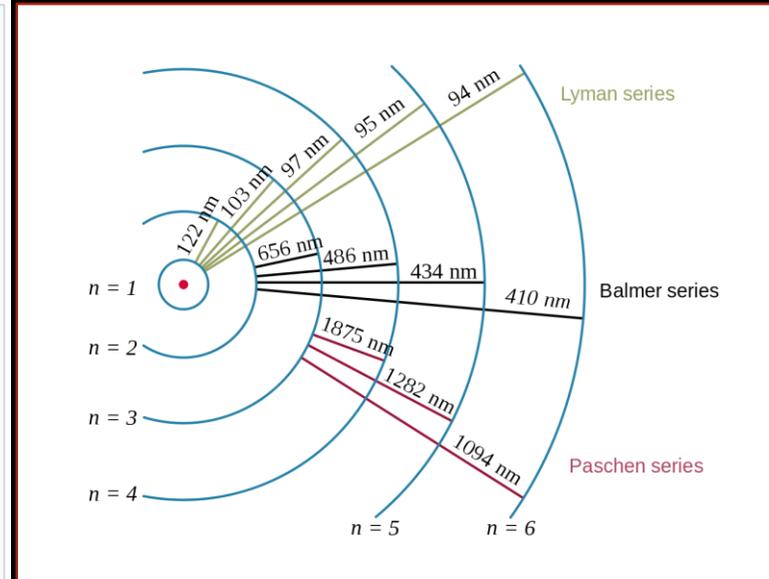
# 波爾的原子模型



丹麥物理學家尼爾斯·波耳  
(1885—1962)



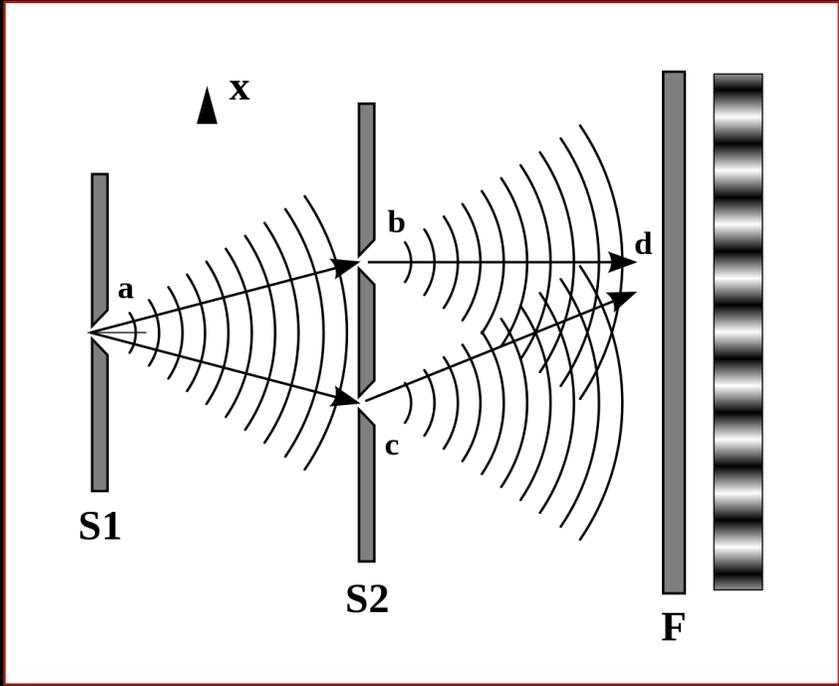
氫光譜的序列，座標採用對數標尺。



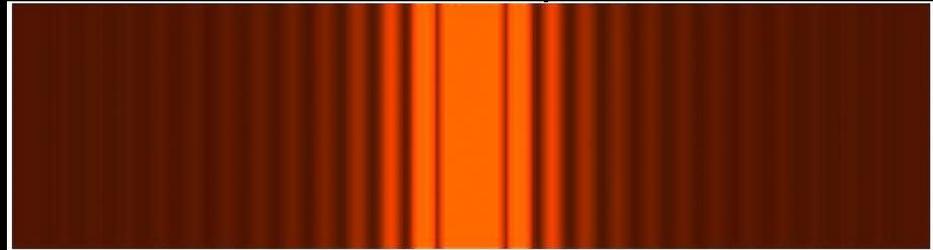


維基百科  
自由的百科全書

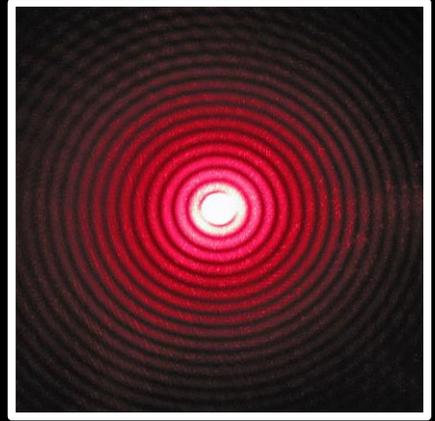
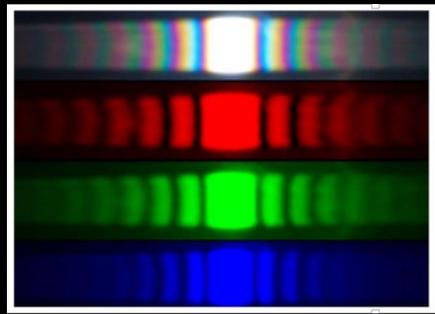
# 光的波動性



雙狹縫的干涉&繞射

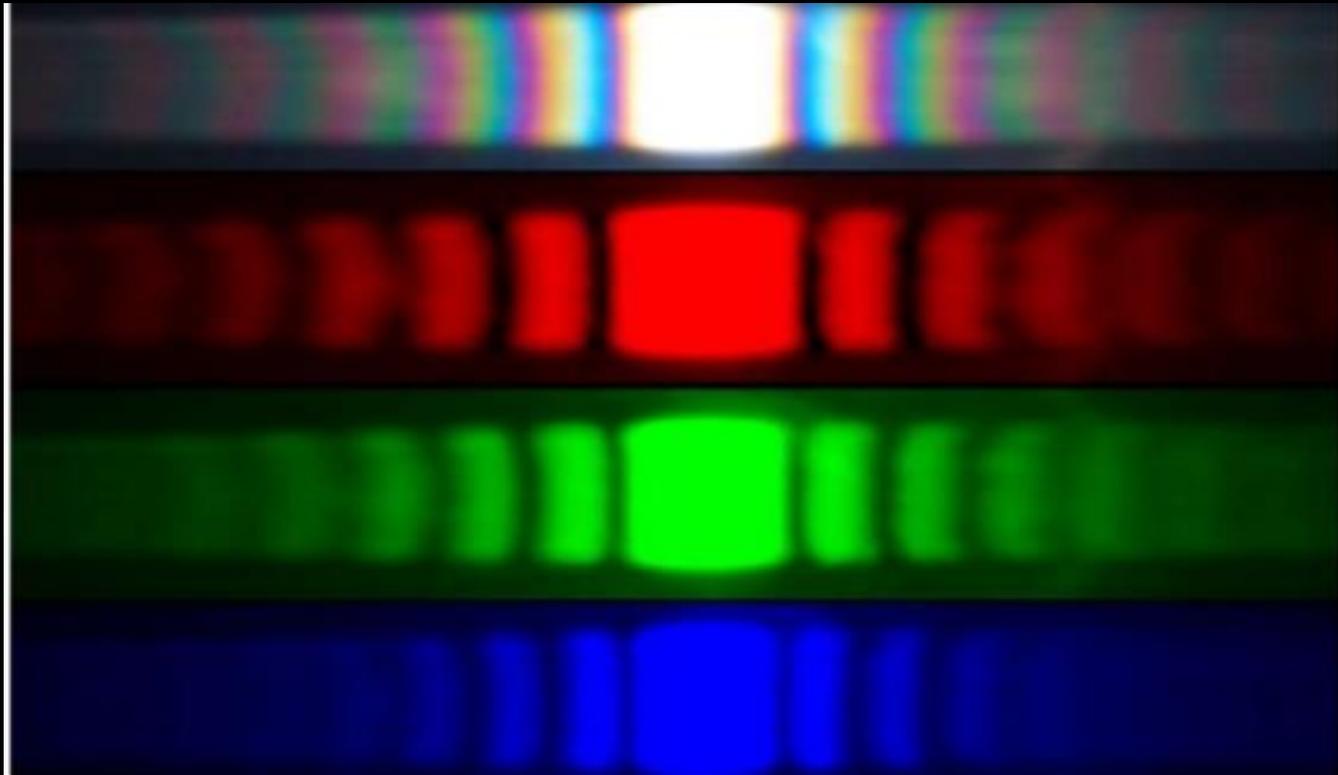


單狹縫的干涉&繞射



針孔繞射

# 光的波動性

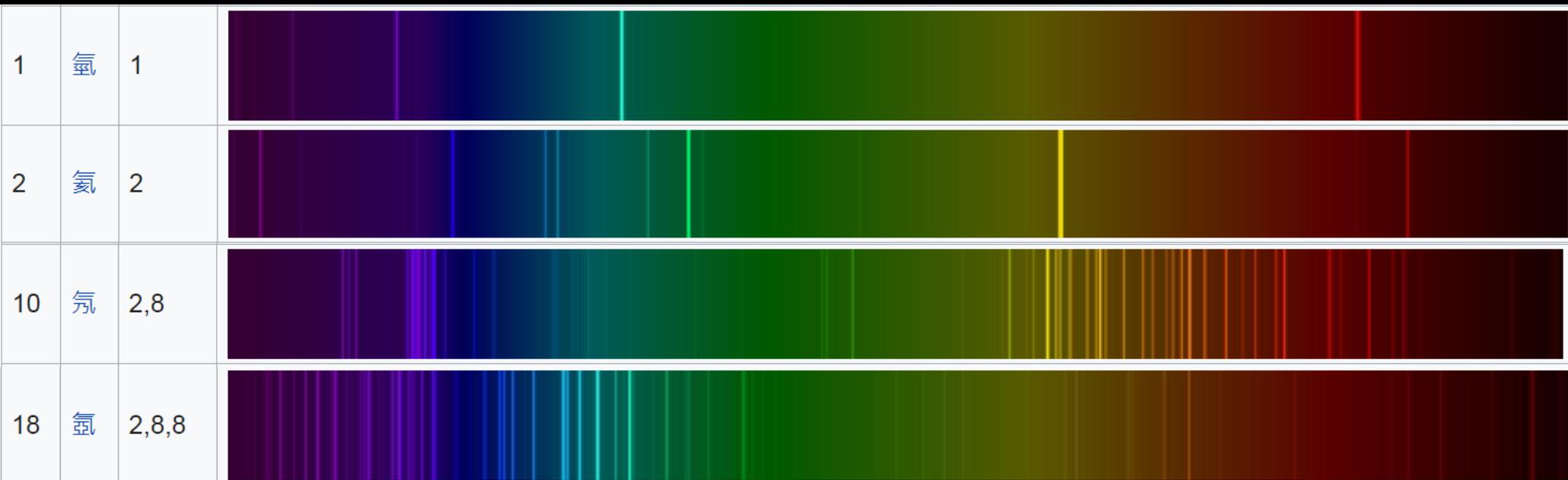


Q1：試描述白光與單色光之單狹縫繞射圖形彼此有何關聯性？



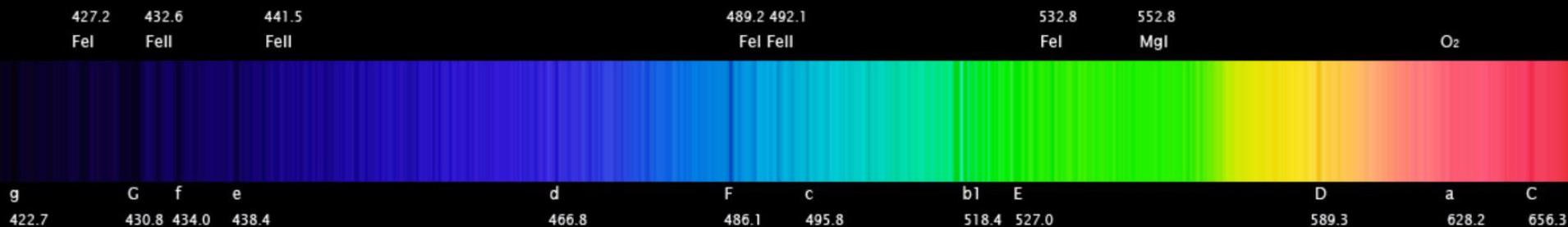
# 原子光譜

原子光譜 ( atomic emission spectrum ) 是由原子中的電子在能量變化時所發射或吸收的一系列光所組成的光譜。原子光譜的不連續表明了電子的能量是量子化的，對原子光譜的研究是探索原子核外電子組態的重要手段之一。



# 太陽光譜

## Solar Spectrum



太陽的連續光譜上有非常多的**暗黑吸收線**，在可見光的範圍內就有二萬多條，這些吸收線幾乎全起源於光球層。由太陽的吸收譜推斷，太陽的大氣至少含有五十七種以上的元素。





# 物質光譜學：化學領域

# 物質光譜學：化學領域

化學色彩學：焰色反應

物質的組成：原子結構與元素週期表、化學鍵結、例如石墨、鑽石、石墨烯的光譜, .....

物質間反應：化學反應過程、例如醇類、醚類的拉曼光譜, ...

溶液與反應：溶液的種類、特性、與濃度、例如溶液的成分與濃度量測...

生活中化學：醣類、蛋白質、油脂、核酸、藥物、環境化學、再生能源、空氣汙染...的各式光譜量測

# 化學元素的焰色反應

焰色反應或稱作焰色測試及焰色試驗，是化學上用來測試某種金屬是否存在於化合物的方法，該反應為物理變化。其原理是每種元素都有其個別的光譜，當受熱時原子的電子會躍遷至較高的不穩定能級，並以釋放一定頻率的光子的方式回到基態，從而發生焰色反應。樣本通常是粉或小塊的形式。以一條清潔且對化學惰性的金屬線（例如鉑或鎳鉻合金）盛載樣本，再放到本生燈的無光焰（藍色火焰）中。



無光焰（藍色火焰）



利用鈷藍玻璃觀察無光焰（藍色火焰）



利用鈷藍玻璃觀察硫酸銅的焰色反應



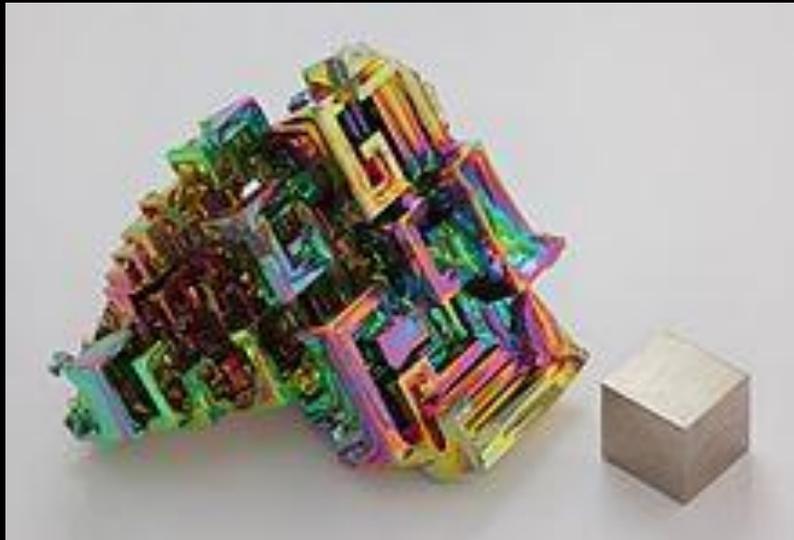
利用鈷藍玻璃觀察碳酸鈉的焰色反應

# 花火

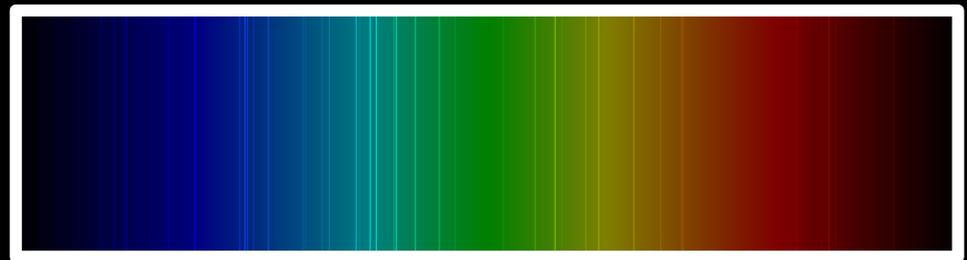


# 元素的光譜特徵

## Bismuth (鉍的故事)

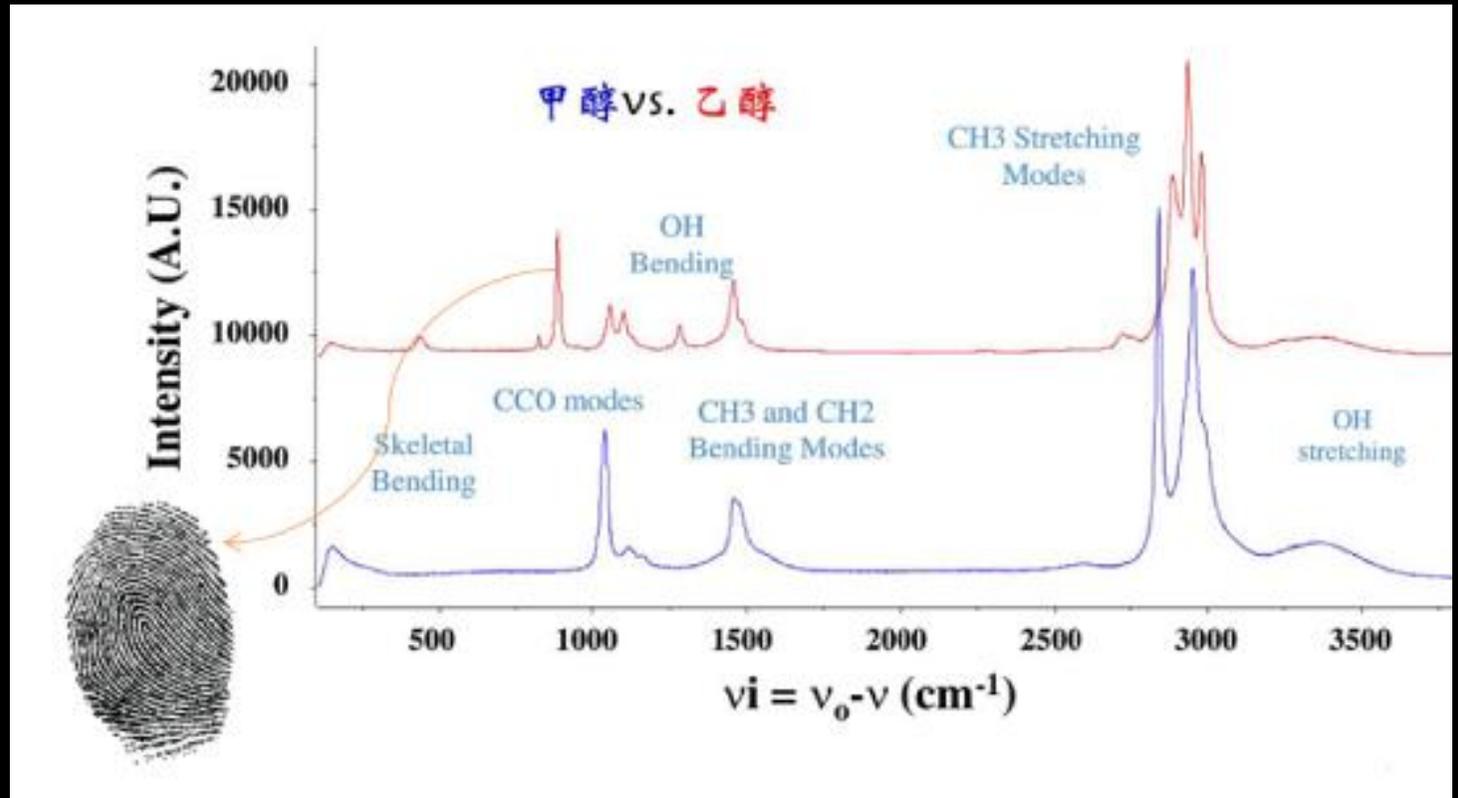
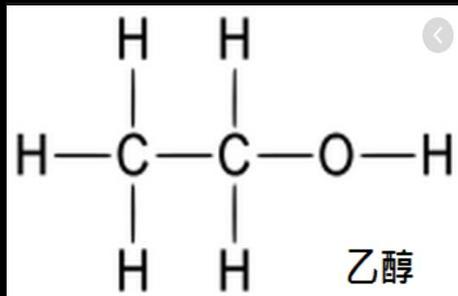


Left: synthetic bismuth crystal exhibiting the stairstep crystal structure and iridescence colors, which are produced by interference of light within the oxide film on its surface. Right: a 1 cm<sup>3</sup> cube of unoxidised bismuth metal



<https://www.nextbigfuture.com/2016/01/the-colors-of-elements.html>

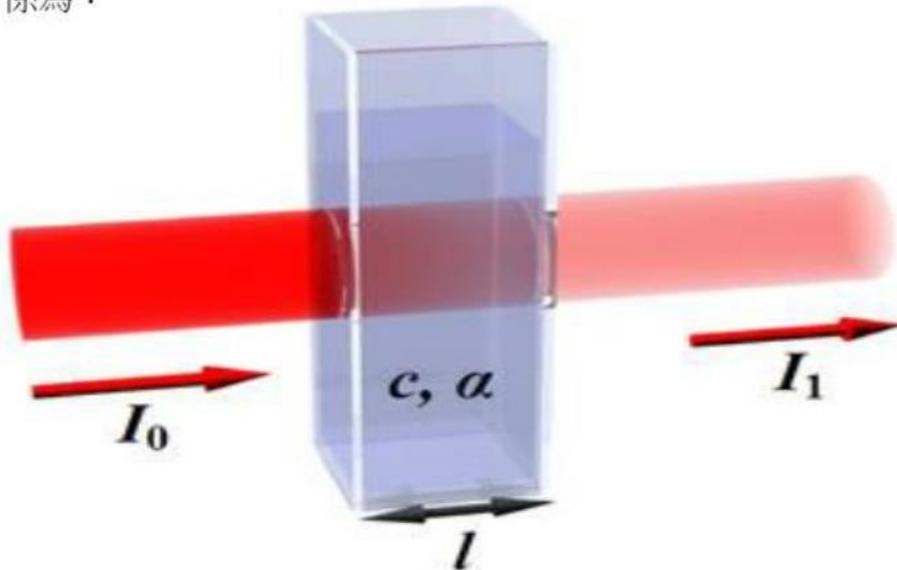
# 醇類的拉曼光譜



# 溶液濃度量測：Beer-Lambert Law

## 比爾-朗伯定律 (BEER-LAMBERT LAW)

一束單色光照射於一吸收介質表面，在通過一定厚度的介質後，由於介質吸收了一部分光能，透射光的強度就要減弱。吸收介質的濃度愈大，介質的厚度愈大，則光強度的減弱愈顯著，其關係為：



$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I_t} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$

A：吸光度

$I_0$ ：入射光的強度

$I_t$ ：透射光的強度

T：透射比，或稱透光度

K：係數，可以是吸收係數或摩爾吸收係數

l：吸收介質的厚度，一般以 cm 為單位

C：吸光物質的濃度，單位可以是 g/L 或 mol/L

透光度(透光率T):  $T = \frac{I_t}{I_0}$

吸光度(A):  $A = -\lg \frac{I_t}{I_0}$



# 物質光譜學：生物領域

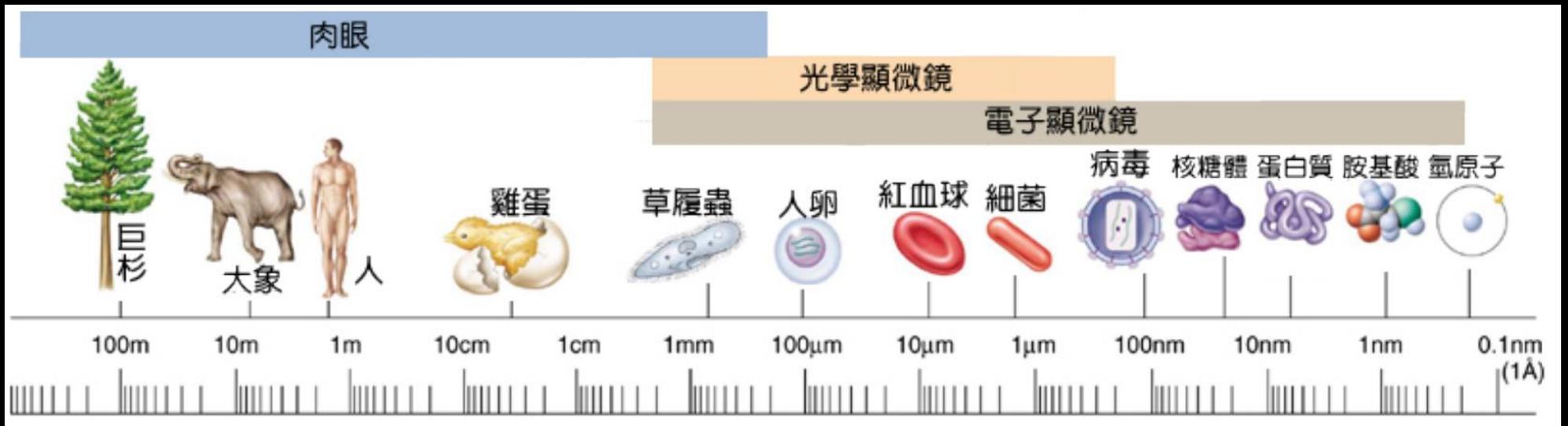
# 物質光譜學：生物領域

細胞結構與功能：顯微鏡下的世界、動物細胞結構、植物細胞結構、光合作用、例如可以利用顯微鏡觀察植物細胞、血球、動物細胞、洋蔥細胞、例如花粉、葉子、花朵的螢光光譜.....

植物葉子及花的顏色：化學成分的光譜探究

生物分子成分鑑定：吸收、螢光、與拉曼光譜量測 .....

# 光學顯微鏡下的世界



# 光學顯微鏡下的細胞結構

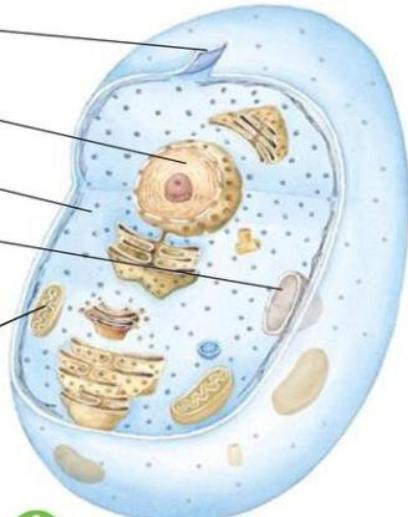
## • 動物細胞

細胞膜

細胞核

細胞質

液泡



## • 植物細胞

細胞壁

葉綠體

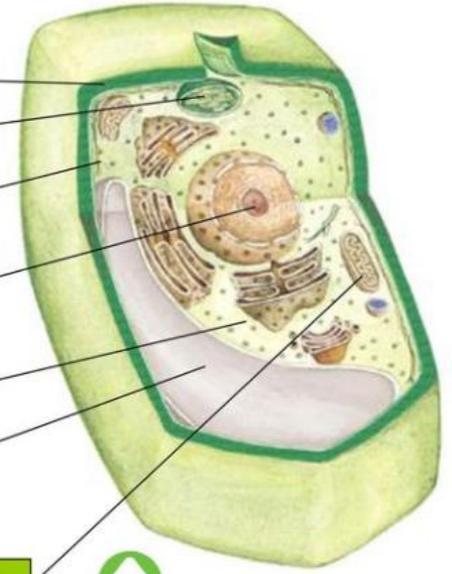
細胞膜

細胞核

細胞質

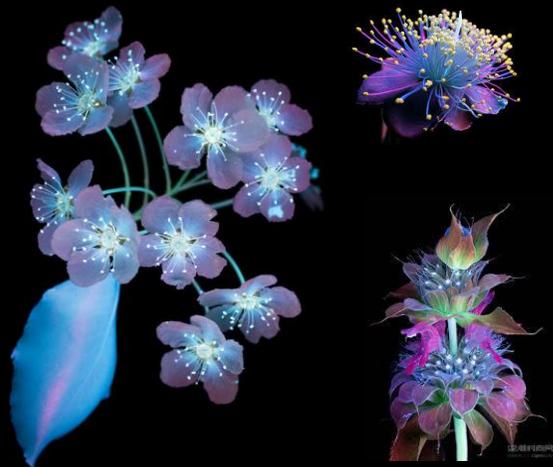
液泡

粒線體





# 生物螢光



# 綠色螢光蛋白的發現與使用



關於科學人 | 科學人知識庫 | 訂閱電子報

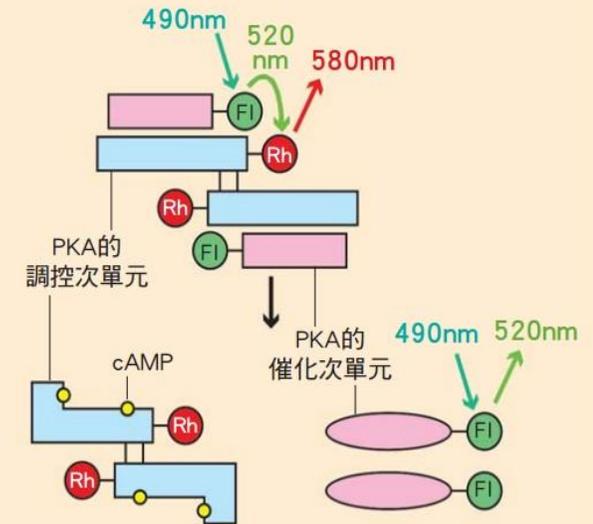
SCIENTIFIC  
AMERICAN  
科學人

## 綠色螢光蛋白

(green fluorescent protein, GFP) 的發現與使用，讓研究人員得以觀察活細胞內的各種作用，對生命科學的發展具有革命性的貢獻，三位研究綠色螢光蛋白的學者下村脩、喬非 (Martin Chalfie) 和錢永健因此獲得**2008年諾貝爾化學獎**。其中最受國人矚目的是美籍華裔的加州大學聖地牙哥分校教授錢永健，他將綠色螢光蛋白中的發色團改造後，創造出不同顏色的螢光蛋白，大幅提高螢光蛋白的應用性。

## 螢光共振能量轉移

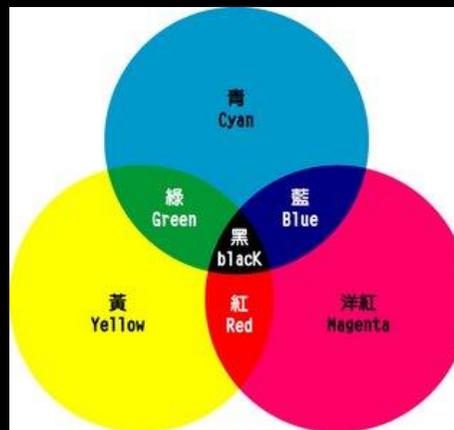
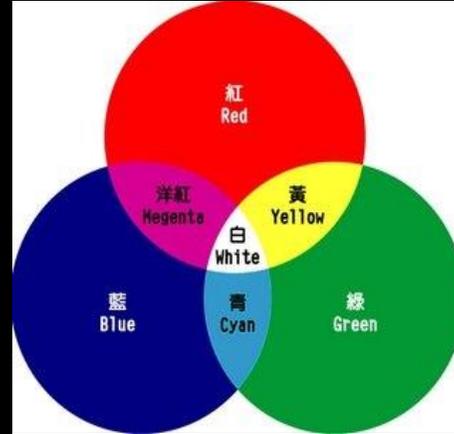
錢永健偵測環單磷酸腺苷 (cAMP) 是否存在的方式，是將會吸收490奈米波長青光、發出520奈米波長綠光的螢光分子FI接到cAMP依賴性蛋白激酶 (PKA) 的催化次單元上，將會吸收520奈米波長綠光、發出580奈米波長紅光的螢光分子Rh接到調控次單元上，以FI為給予者，Rh為接受者。



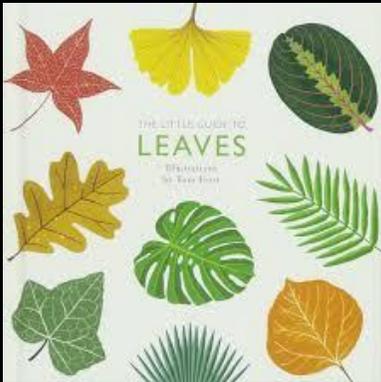
只要用波長490奈米的青光去照射，FI就會發出綠光，當cAMP不存在時，調控次單元會和催化次單元接在一起，Rh就會吸收FI發出的綠光而發出紅光，因此我們會看到紅色螢光；但cAMP存在時，會使調控次單元彼此接在一起，而放走催化次單元，此時調控次單元和催化次單元距離變遠，Rh無法吸收FI發出的綠光，也就不會發出紅光，而我們直接看到FI發出的綠色螢光。

# 自然色彩：顏料 vs. 染料

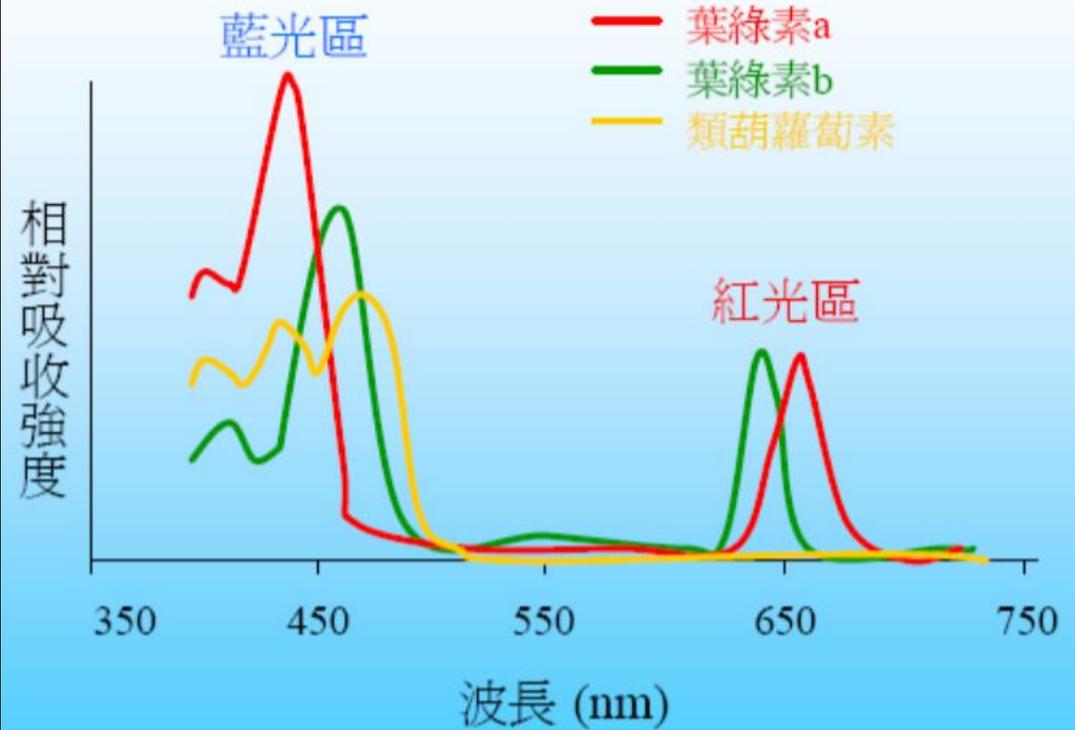
<https://kknews.cc/news/rly3prv.html>



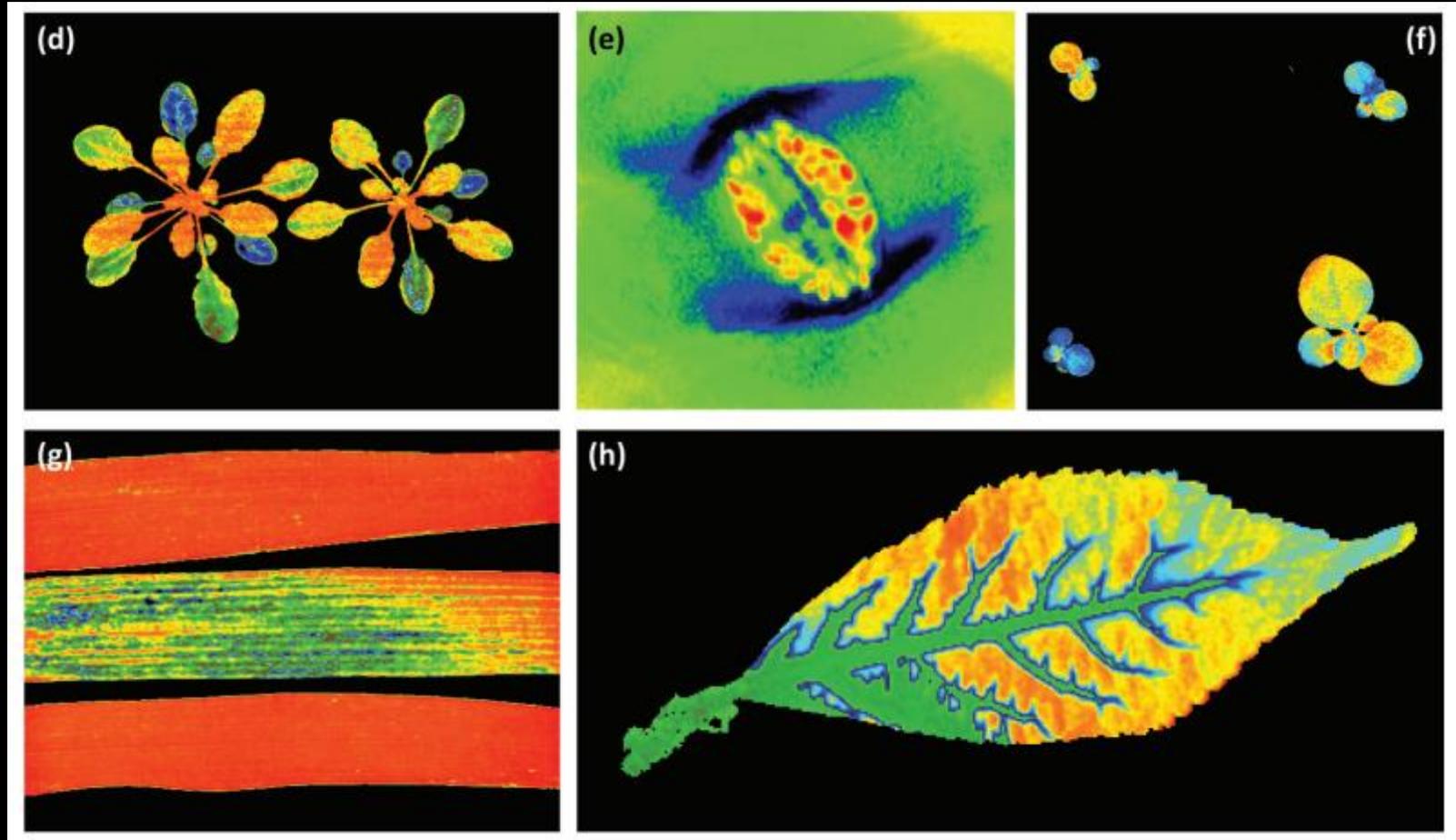
# 葉子的吸收(反射)光譜



## 葉綠素的吸收光譜(spectra of chlorophyll)



# 葉子的螢光光譜





# 物質光譜學：地科領域

# 物質光譜學：地科領域

地球的故事：各式礦物岩石的FTIR光譜, 拉曼光譜, 螢光光譜.....等

地球看宇宙：極光、發光星體、恆星亮度與顏色、黑體輻射、紅外線及微波望遠鏡觀測

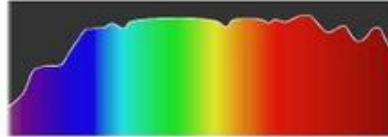
地球的大氣：太陽與地球釋放的黑體輻射、氣象觀測與分析、可見光衛星雲圖、紅外線衛星雲圖、颱風雷達回波影像

地球的永續：節能減碳、再生能源、綠色能源、例如LED燈泡、太陽能電池...

# 自然光源



太陽光



太陽光のスペクトルは、波長が欠けることなく連続している

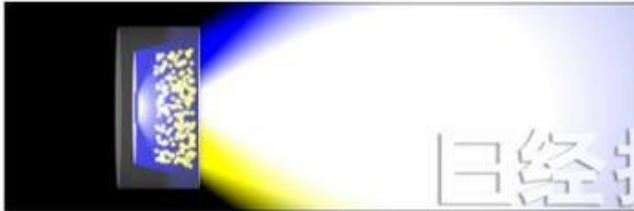


紫色LED方式

赤・緑・青3色の蛍光体を光らせ白色光を得るため、消費電力は青色LED方式より大きい。  
技術開発が難しくコストがかかるため家庭用としては普及してこなかったが、京セラの技術により量産化が実現した。

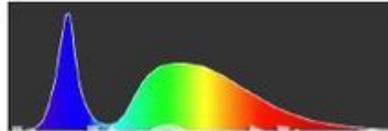


太陽光と同様に波長が連続し、自然な光のバランスを実現  
※波長はイメージのため、LIGHT CONEの波長とは異なります。

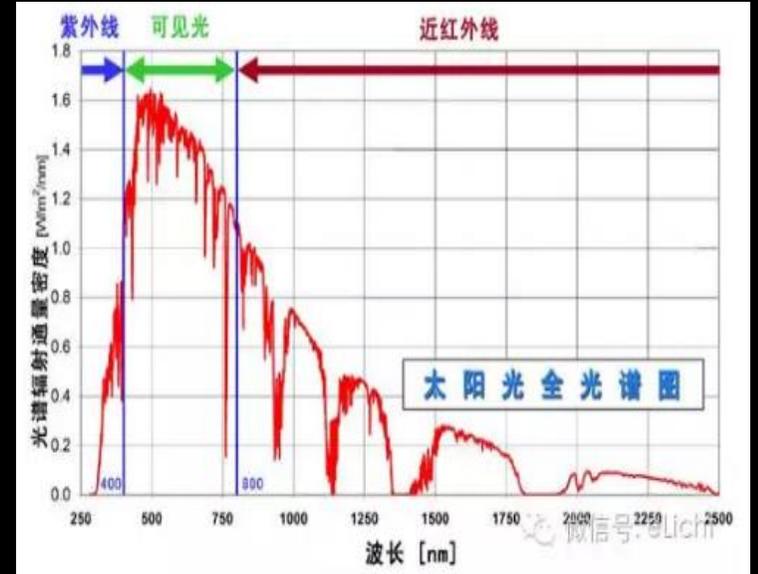


青色LED方式

黄色1色の蛍光体を光らせ擬似白色光を得るため、消費電力が少ない。  
高出力が可能で比較的製造しやすくコストも低いため加速的に普及した。



波長に隙間があり、自然な光を再現することができない



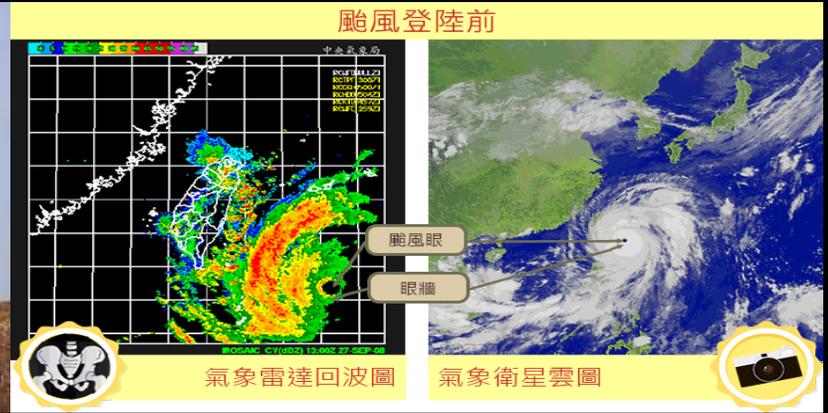
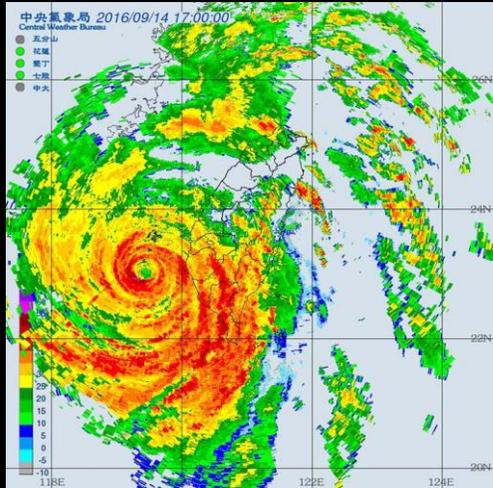
# 自然的光



# 人造光



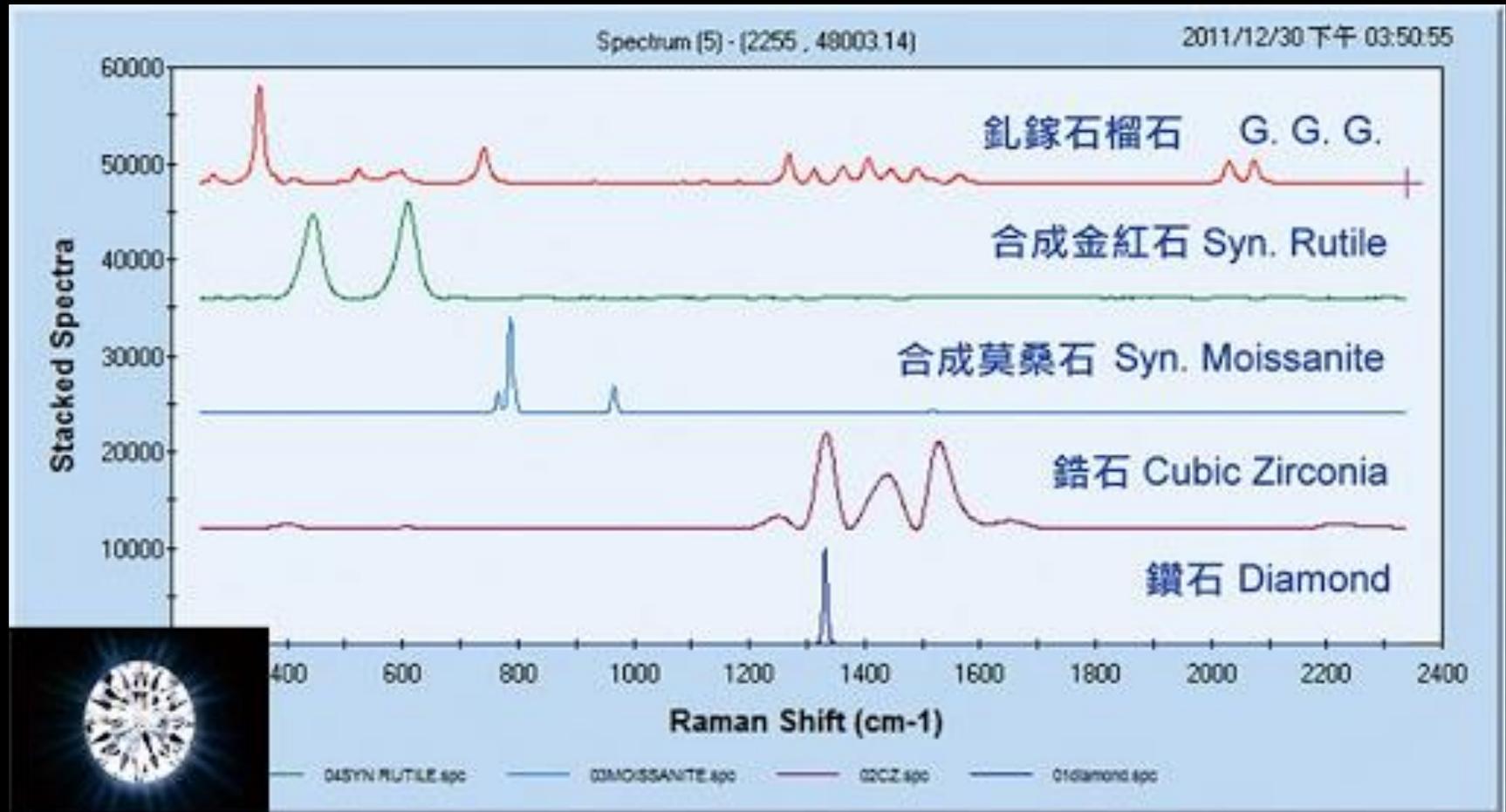
# 遙測技術



# 礦物的反射光譜



# 礦物的拉曼光譜



演示實驗的探究實作練習 20 分鐘

( 包含中場休息時間 )

# 各式光源的光譜量測演示 (IV)

Q2 : 試繪製各式光源的光譜特徵

- 氣體放電光源
- 雷射光源
- LED 光源
- 電腦/手機的螢幕顏色

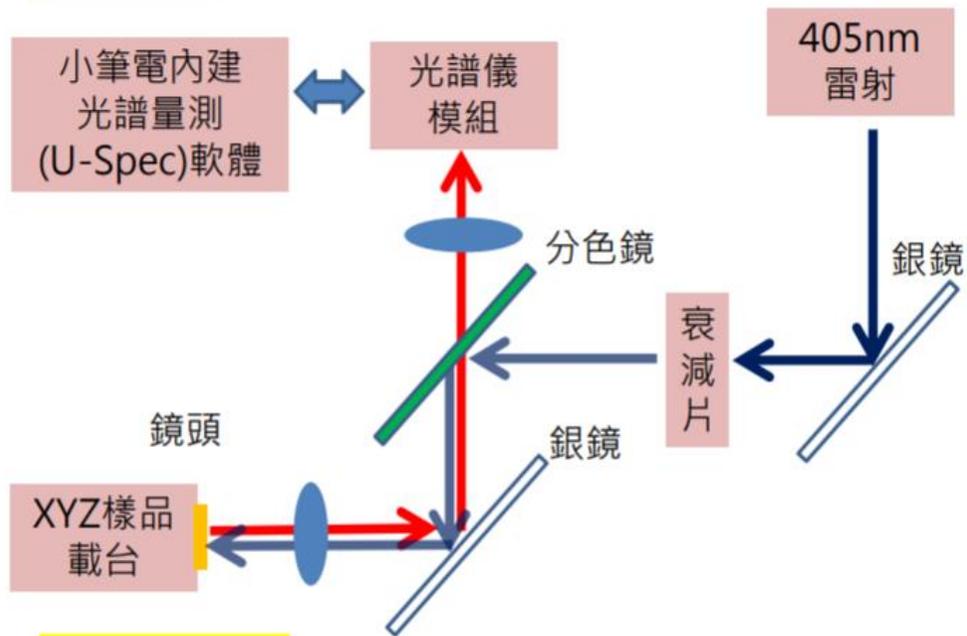


# 螢光光譜技術 (405nm 雷射)

## 實作目標

了解螢光光譜系統之光路架設，並學習操作系統和使用 U-Spec 軟體取得好品質的螢光光譜。

## 光路介紹





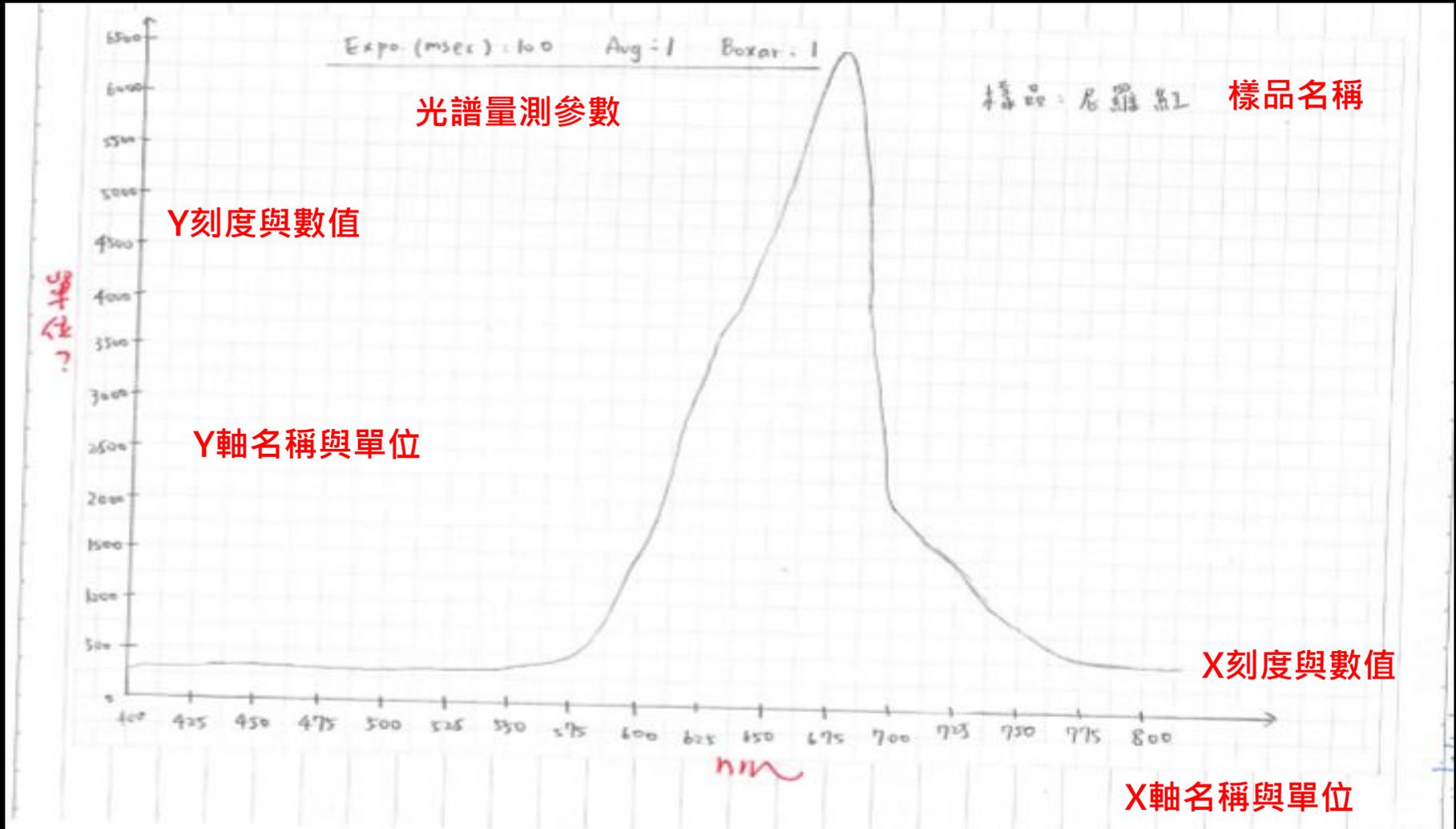
## 補充資料：如何繪製光譜圖

光譜量測的結果通常會以XY座標繪圖來呈現，採用的單位取決於想表達的物理概念而定。其中X軸常用的物理單位可以是波長 (wavelength)、頻率 (frequency)、或波數(wavenumber)，Y軸常用的物理單位則可以是訊號強度 (Intensity)、吸收度(OD)、比率值 (Ratio)、或百分比 (%)...等方式。

在光譜學中，電磁輻射的波數可以用方程式  $k=1/\lambda$  來定義，其中  $\lambda$  是電磁輻射在真空裏的波長。波數的物理單位是[長度]<sup>-1</sup>。採用國際 MKS單位，波數的單位是  $m^{-1}$ 。如採用CGS單位制，波數的單位是  $cm^{-1}$ 。

物理學家認為光譜位置的差距是因為電磁波的能級差別而產生的；其中波數與能級或頻率彼此成正比，但與波長成反比。光譜儀器通常以波長來校準，但光譜圖通常會用波長或波數來紀錄。

# 光譜繪製之應注意事項



# 各式光源的光譜量測演示 (IV)

Q2 : 請繪製各式光源的光譜特徵

- 氣體放電光源
- 雷射光源
- LED 光源
- 電腦螢幕顏色



# 螢光光譜量測演示 (V)

Q 3 : 請觀察並繪製各式樣品的反射與穿透光譜特徵

- 螢光片
- 光學濾片
- 螢光標籤
- 樹葉 / 花瓣





2024-10-04 星期五 .... 再見囉！