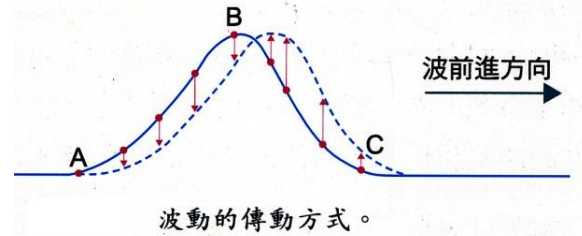


# Chapter 6 波

## 6-1 波的性質 ⇨ 「傳遞能量」

一、波的特性：「**①** \_\_\_\_\_」，不會傳播介質

二、波的種類：

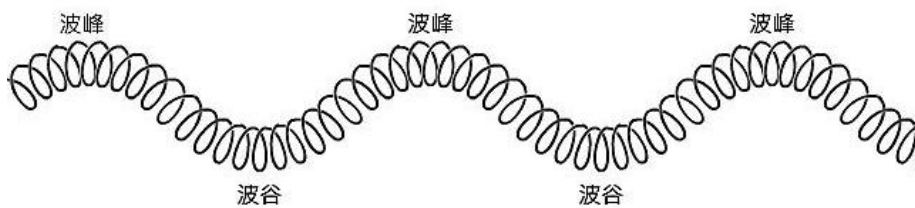


1. 依波動傳遞需要介質來劃分：

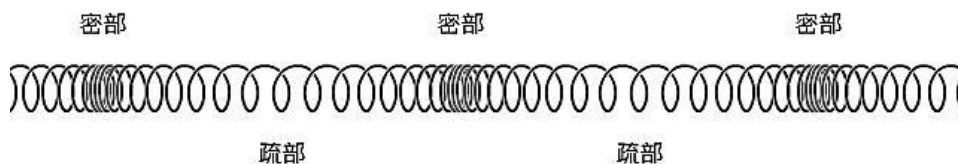
- (1) 傳遞過程需要介質稱為：「力學波」、「機械波」
- (2) 傳遞過程不需要介質稱為：「非力學波」、「電磁波」

2. 力學波根據介質振動方向分為「橫波」、「縱波」：

- (1) 橫波：介質質點振動方向與波動行進方向**②** \_\_\_\_\_ 的波動，又稱「高低波」  
如：繩波、彈簧波



- (2) 縱波：介質質點振動方向與波動行進方向**③** \_\_\_\_\_ 的波動，又稱「疏密波」  
如：聲波、彈簧波



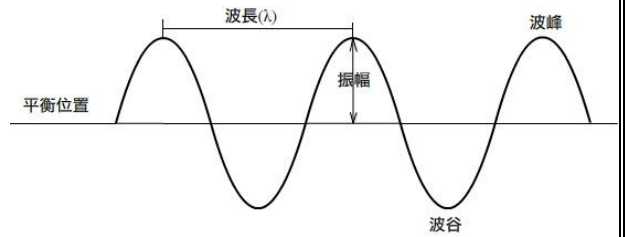
我 在 想.....

### 三、波的描述：

1. 振幅(Amplitude, A)：代表波的能量，正比於**①**\_\_\_\_\_

質點在原地振動時，和平衡位置最遠的距離。

單位：長度(m 或 cm)



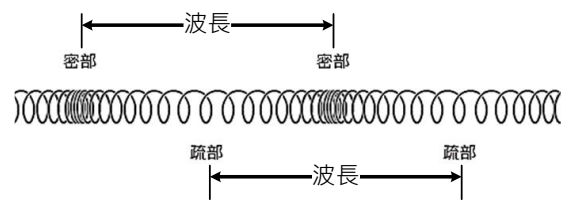
2. 波長(wavelength, λ)：

重複一個波形之最短距離，即一個週期行進的距離。

橫波：相鄰兩個波峰或兩個波谷之間的距離，

或任意兩相鄰對應點間之距離。

縱波：相鄰兩個疏部或兩個密部之間的距離。



3. 週期(Period, T)：

介質質點完成一次振動所需的時間；波源產生一個完整的波所需的時間；

波前進一個波長所需的時間。單位：時間(s)

4. 頻率(Frequency, f)：【僅與**②**\_\_\_\_\_振動有關】

單位時間（每秒）所能產生波的個數。

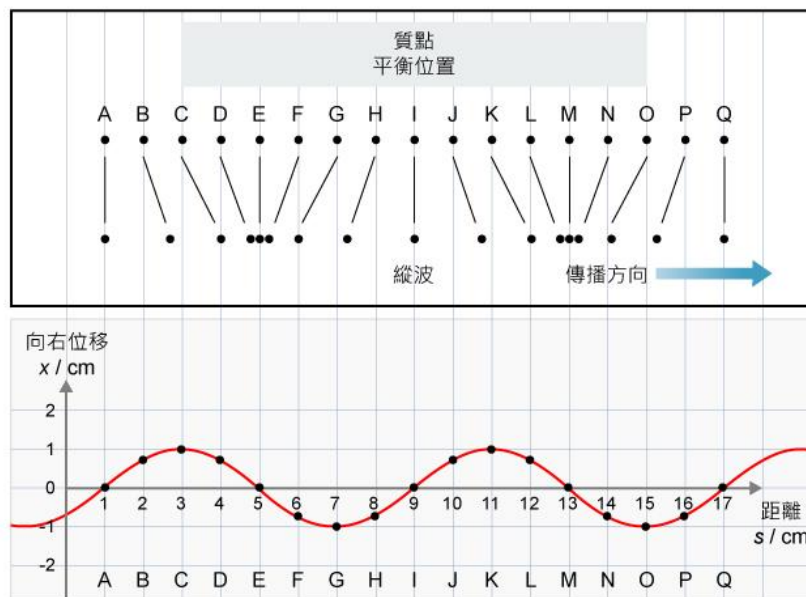
單位：赫茲(Hz 或 1/s)

5. 波速：波在單位時間所行進的距離

(1) 數學式：**③**\_\_\_\_\_  $\Rightarrow v = f\lambda = \frac{1}{T}\lambda$

(2) 特性：僅受**④**\_\_\_\_\_的影響，若環境條件不變，波速為固定值，波長隨頻率而變。

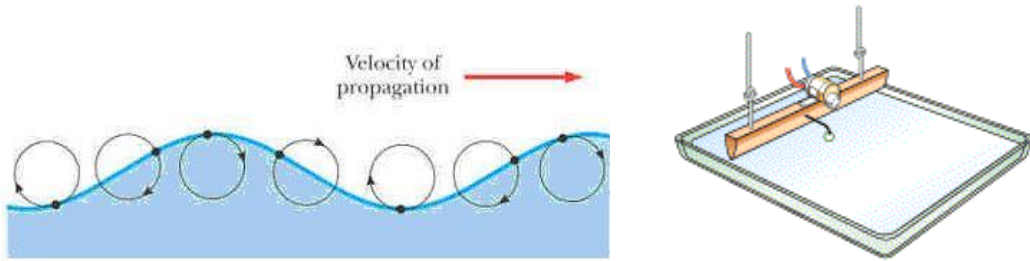
6. 橫波與縱波的對照：



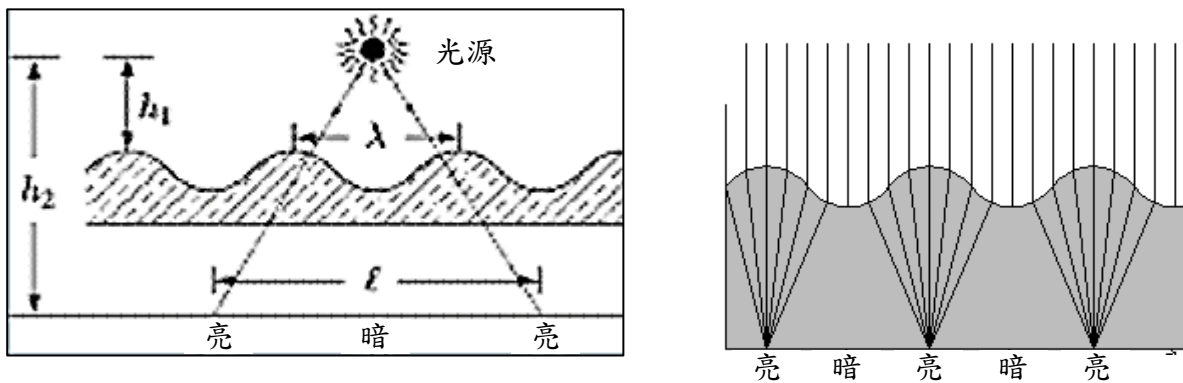
#### 四、水波的现象：

##### 1. 水波结构：

水波不是单纯的横波或纵波，因为水分子介质的振动为圆形或椭圆形，即同时有上下及前后的振动。所以，水波是一种①\_\_\_\_\_波动。

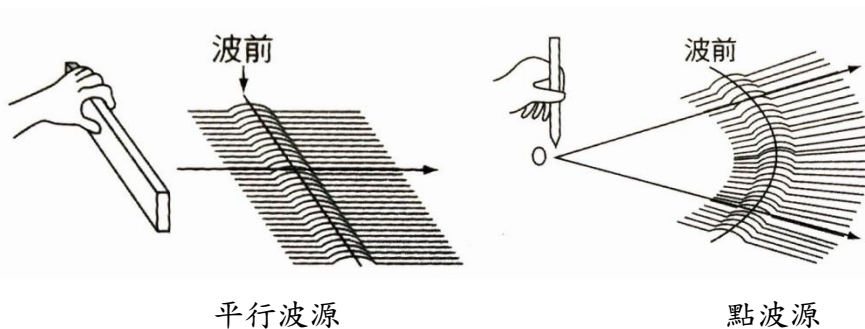


2. 水波与屏幕：波峰 = 凸透镜（汇聚光线） = 屏幕②\_\_\_\_\_；  
 波谷 = 凹透镜（发散光线） = 屏幕③\_\_\_\_\_



##### 3. 波前(Wavefront)：

- (1) 由波源同时出发的一整列④\_\_\_\_\_所形成连线，可以用来表现波的外型。
- (2) 以波前描述一个行进波动时，波传递的方向与波前垂直。



①横纵混和 ②亮纹 ③暗纹 ④波峰（或波谷）

## 五、反射與折射：

1. 界面(Interface)：①\_\_\_\_\_的交會面。
2. 法線(Normal)：垂直界面的直線，與入射線、反射線和折射線交會在一點。
3. 反射：波在行進時碰到界面，會有全部或部分波動返回原介質的現象。

(1) 成因：不同介質質點間的作用力與反作用力

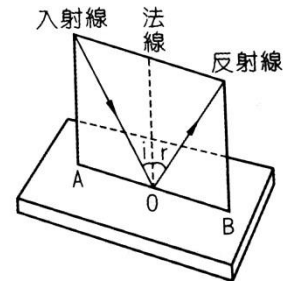
(2) 特性：反射波的②\_\_\_\_\_皆保持原樣  
(與入射波相同)。

(3) 反射定律：

①入射線、反射線與法線在同一平面上。

②入射角 $\theta_i$  = 反射角 $\theta_r$  (入射角：入射線與法線之夾角；反射角：反射線與法線之夾角)

(4) 應用：非破壞性檢測(Nondestructive Testing, NDT)、魚群探測儀



4. 折射：波在行進時碰到界面，會有部分波動進入另外一種介質；透射波行進方向亦發生改變。

(1) 成因：波動在不同的介質，有不同的波速。

(2) 特性：折射波的③\_\_\_\_\_不變；但④\_\_\_\_\_會改變。

(3) 波速與⑤\_\_\_\_\_環境條件有關

如：水波的傳遞速率與深度、溫度有關 (深水區波速 > 淺水區波速)

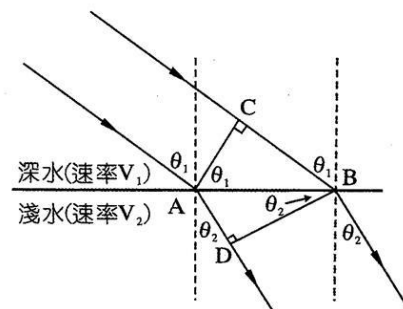
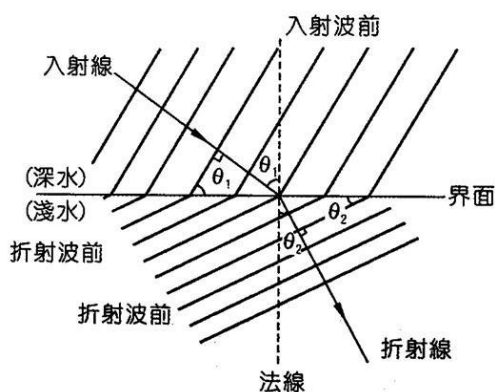
聲波的傳遞速率與溫度有關 (高溫區波速 > 低溫區波速)

(4) 折射定律：

①入射線、折射線與法線在同一平面上。

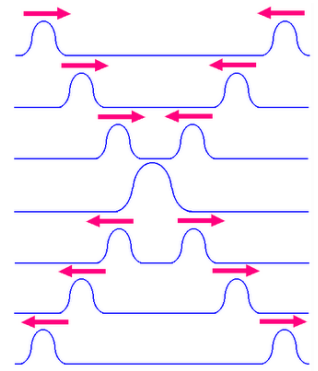
②速率「快」的介質→速率「慢」的介質，入射角 > 折射角，折射線⑥\_\_\_\_\_法線；

③速率「慢」的介質→速率「快」的介質，入射角 < 折射角，折射線⑦\_\_\_\_\_法線。



### 六、干涉：

- 特性：兩個以上的波交會在一起時，波形會疊加組成合成波。  
 ⇨ 此特性稱為波的**①**\_\_\_\_\_ (Principle of superposition)，  
 是波動的重要特性！



#### 2. 現象：

##### (1) 相長干涉（建設性干涉）：

兩波重疊時，合成波的振幅大於成分波的振幅者，稱為相長干涉，又稱為建設性干涉。  
 若兩波剛好同相干涉（波峰加波峰），會產生最大的振幅，稱為完全相長干涉。

##### (2) 相消干涉（破壞性干涉）：

兩波重疊時，合成波的振幅小於成分波的振幅者，稱為相消干涉，又稱為破壞性干涉。  
 若兩波剛好反相干涉（波峰加波谷），會產生最小的振幅，稱為完全相消干涉。

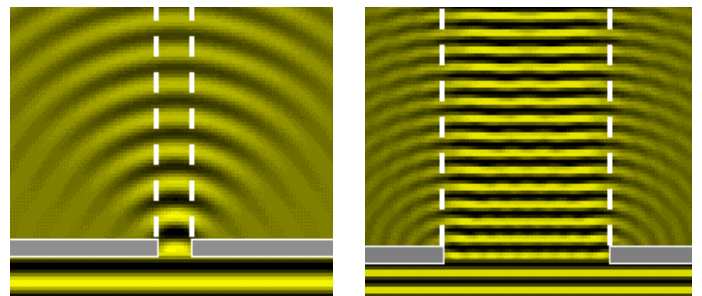
### 七、繞射：

#### 1. 特性：

波動在前進時，遇到障礙物或小孔，仍可繞過障礙物而散向四方的現象。

#### 2. 實境應用：

不見其人，卻聞其聲；水波前進時，會繞過障礙物而偏向的現象。



### 八、都卜勒效應(Doppler Effect)

- 內容：因為聲源與聽者（觀察者）有相對速度，造成所接受到的**②**\_\_\_\_\_產生高低變化的現象。

#### 2. 特性：

- 聲源與聽者相對接近，**③**\_\_\_\_\_；聲源與聽者相對遠離，**④**\_\_\_\_\_。

##### (2) 效應特性表：

聲源	觀察者	視波速	視波長	視頻率
靠近	靜止	不變	變短	變高
遠離	靜止	不變	變長	變低
靜止	靠近	變快	不變	變高
靜止	遠離	變慢	不變	變低

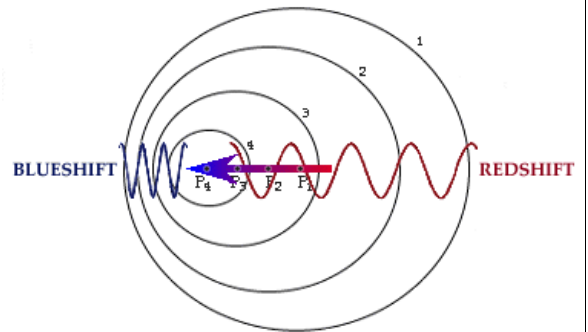
①重疊原理 ②頻率 ③頻率變高 ④頻率變低

3. 實境應用：

(1) 測速槍：利用雷達接收到的反射波與發射波比較頻率變化，可以反推物體速度的快慢。

(2) 紅移與藍移：

在天文觀測中，如果發光的星體（波源）正在遠離我們（觀察者），波長會變長，稱為紅移(Redshift)，如右圖右方；星體正在靠近我們，波長變短，稱為藍移(Blueshift)，如右圖左方。



【補充】

西元 1929 年，美國天文學家哈伯(Edwin Hubble)觀測星系時發現有些星系有紅移的現象。仔細推理後發現，這些有紅移的星系是離地球越來越遠，而且離地球越遙遠的星系，其遠離的速度越大。這表示這些星系的遠離速度與星系到地球的距離存在著一個正比的關係。於是他在 1929 年發表了著名的「哈伯定律」 —摘錄自《台北市天文科學教育館》

本章節重點：

波動在國中學到的是聲音的部分，所以聲音只繼續延伸到 Doppler 效應。波動則加深至橫波的計算，由圖形中可以得到週期、頻率、振幅、波長和波速等等。有關反射、干涉與繞射等波動特性，到下章節（光學）就會出現應用之題型。



我在想.....

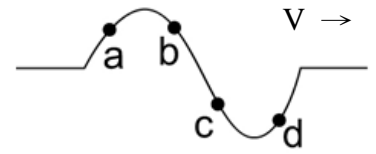
搏君一笑

有一對情侶出去約會，晚上那個男的送女孩子回家時，因為氣氛很好且難分難捨，便在女方家門口吻起來了，過了一下子，樓上的燈全亮了，  
「咚咚咚...」女孩的老爸下來打開了門，臉色非常不好的說：  
「小子，你沒經過我的同意和我女兒出去，還這麼晚帶她回來，還在門口做出這種舉動，這些我都不和你計較，但是.....請你不要壓在門鈴上好嗎！」

## 精選範例 01：— 波的描述 —

右圖為一向右前進的橫波，則下列有關波上 a、b、c、d 四點的描述何者正確？

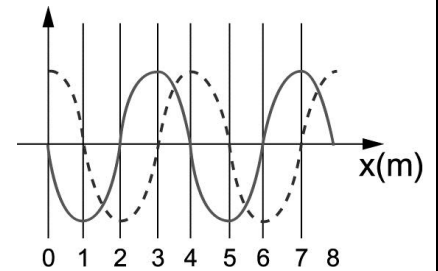
- (A) a 點的速度方向向上      (B) b 點的速度方向向下  
 (C) c 點的速度方向向上      (D) d 點與 a 點的速度同方向  
 (E) c 點與 b 點的速度同方向



## 精選範例 02：【81 日大改】

右圖中實線為一列向左方行進的橫波在  $t=0.00$  秒時的波形，而虛線則為此列橫波在  $t=0.50$  秒時的波形，若此橫波的週期為  $T$ ，且  $0.25 \text{ 秒} < T < 0.50 \text{ 秒}$ ，則 (1) 此列橫波的頻率為若干 Hz？

- (A) 2.25 (B) 2.50 (C) 3.00 (D) 3.50 (E) 3.75  
 (2) 波速多少 m/s? (A) 9 (B) 10 (C) 12 (D) 14 (E) 15



## 精選範例 03：

一正弦波在繩上傳播，已知繩上 P 點到達最高點時，再經過 1 秒後，水平距離為 0.25 波長的另一點

- Q 始到達最高點處，則此波的頻率為多少 Hz？ (A)  $\frac{1}{4}$  (B)  $\frac{1}{2}$  (C) 1 (D) 2 (E) 4

## 6-2 光與電磁波

### 一、光的本質：

#### 1. 微粒說：代表人物—①\_\_\_\_\_

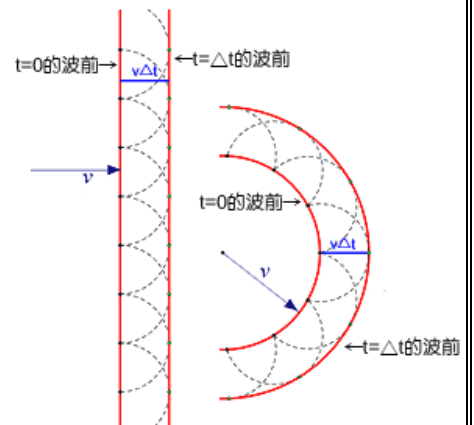
- (1) 1675 年，牛頓在《光的假說》一書中提及，光是由光源向四面八方發射的微粒組成；也就是說，光束由一束高速運動的微小粒子所組成。
- (2) 微粒說可以成功解釋直線前進、反射定律（粒子碰撞）與折射。
- (3) 【補充】牛頓對於折射的解釋：  
因為進入高密度介質時所受引力更大使光加速而成的，所以預測光在介質中速度更快。

#### 2. 波動說：代表人物—②\_\_\_\_\_

- (1) 1678 年，惠更斯在《光的專著》裡提到：他認為光線在一個名為「以太」的介質中以波的形式四射，並且由於波並不受重力影響，他假設光會在進入高密度介質時減速。
- (2) 波動說可以成功解釋光的直進、反射、折射、干涉與繞射。

#### 3. 實驗證據：

- (1) 1801 年，Young（楊格）雙狹縫「干涉」證實光的波動性。
- (2) 1815~1818 年，Fresnel（菲涅耳）和 Fraunhofer（夫朗和斐）根據波動理論建立繞射數學原理。
- (3) 1850 年，Foucault（傅科）測得水中的光速，發現真空光速大於水中光速。⇒ 光的波動說因此而確立。
- (4) 【補充】惠更斯的波動理論（惠更斯原理）：  
波前的每一點可以認為是產生球面次波的點波源，而以後任何時刻的波前則可看作是這些次波的包絡。



#### 4. 近代物理（第八章）

- (1) 1905 年，Einstein 成功解釋③\_\_\_\_\_，並且認為光具有波動性與粒子性。
- (2) 1924 年，de Broglie（德布羅意）提出運動中的物質亦有波的現象，稱之為④\_\_\_\_\_。



## 二、光的特性：

### 1. 反射：

(1) 特性：波從一個介質進入另一個介質時，其傳播方向突然改變，而回到其原來的介質。

(2) 反射定律：

①入射線、反射線與法線在同一平面上。

②入射角 $\theta_i =$  反射角 $\theta_r$

(3) 種類：

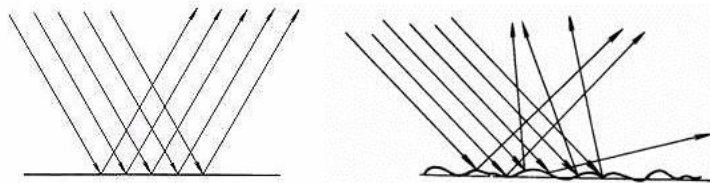
① 鏡面反射 (Regular reflection)：

互相平行之入射光射向光滑表面後，反射光亦①\_\_\_\_\_，如左下圖。

② 漫射 (Diffuse reflection)：又稱漫反射

互相平行之入射線光向粗糙表面後，產生②\_\_\_\_\_的反射光，如右下圖。

⇒ 請問：漫射遵守反射定律嗎？



(4) 應用：平面鏡、凹面鏡、凸面鏡...

### 2. 折射：

(1) 特性：光從一介質進入另一個介質時，傳播方向會產生偏折的現象。

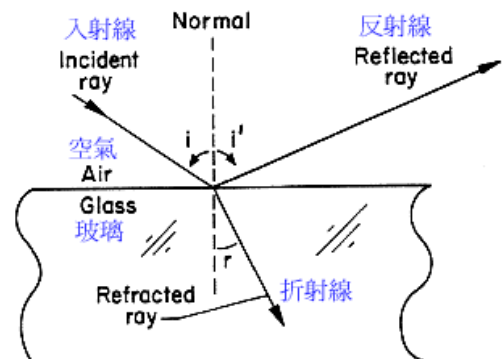
(2) 成因：光在不同介質的③\_\_\_\_\_。光速大小：真空 > 氣體 > 液體 > 固體

(3) 折射定律：（和波動性質相同）

①入射線、折射線與法線在同一平面上。

②速率「快」的介質→速率「慢」的介質，  
入射角 > 折射角，折射線偏向法線；

③速率「慢」的介質→速率「快」的介質，  
入射角 < 折射角，折射線偏離法線。



(4) 實境應用：

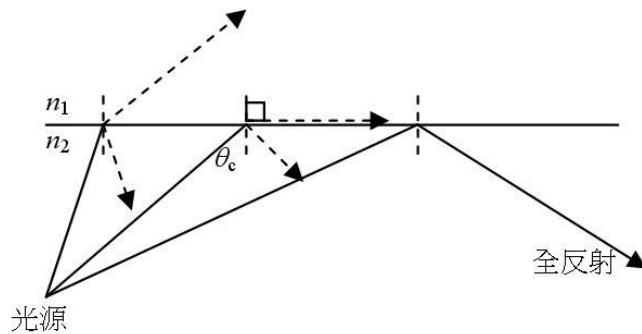
①水中的筷子（魚）看起來的位置比實際上的位置還要④\_\_\_\_\_。

②空杯中的硬幣本來看不到，加水之後反而能夠看到。

③凸透鏡的聚光效果、凹透鏡的發散效果...

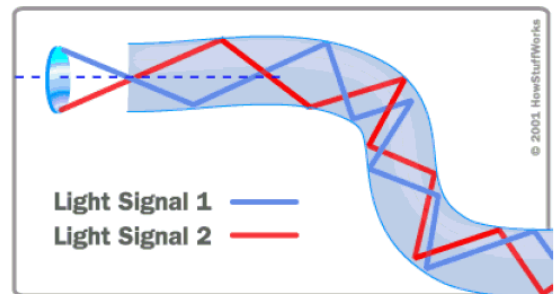
(5) 全反射：

光線由光密介質( $n_1$ )進入光疏介質( $n_2$ )，也就是由光速慢的介質進入光速快的介質；由圖中可以看出，當入射角逐漸變大時，折射角也會逐漸變大。由於折射角大於入射角，在入射角大於某個角度（稱為臨界角 Critical angle,  $\theta_c$ ）時，會使得折射角大於  $90^\circ$ ，此時不會發生折射現象，全部光線皆發生反射現象，故稱為「全反射」。



全反射的應用：

2009 年諾貝爾物理獎「光纖」—高錕，利用全反射的原理，讓光束可以持續在同一個介質中傳播，不會因折射造成①\_\_\_\_\_，可應用在遠距離資訊傳播。



3. 干涉(Interference)：

(1) 楊格雙狹縫干涉實驗，如右圖。

(2) 成因：重疊原理(Principle of superposition)

重點：因為②\_\_\_\_\_造成波峰、波谷的疊加

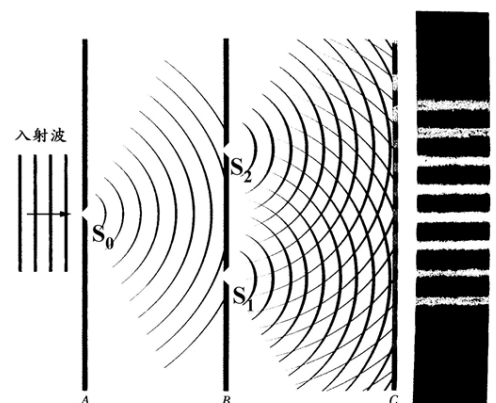
(3) 暗紋代表兩波相消，為③\_\_\_\_\_，

而，暗紋中間為完全破壞性干涉；

亮紋表示兩波相長，為④\_\_\_\_\_。

而，亮紋中間為完全建設性干涉；

(4) 實境應用：光碟片的七彩光芒、肥皂泡沫上出現的光彩景象（薄膜干涉）



4. 繞射(Diffraction)：光在前進時，遇到障礙物或小孔，仍可繞過障礙物而散向四方的現象。

【補充】形成條件：波長與障礙物大小（狹縫寬度）相近。

### 三、電磁波：

#### 1. 歷史：

- (1) 1864 年，Maxwell 整合電磁學數學理論，預測「電磁波的存在」與「光為電磁波」。成功統整光學與電磁學。
- (2) 1888 年，Hertz 證實電磁波的存在以及光為電磁波。
- (3) 從此之後電磁波正式開始應用階段。

#### 2. 特性：

- (1) 加速帶電粒子，會產生不斷變動的電場與磁場，以波動形式傳遞出去，即為電磁波。
- (2) 電場、磁場與前進方向，皆互相垂直。故，為一種橫波（？）。

#### 3. 電磁波譜：電磁波按照頻率大小或波常常短排列的譜表，稱為電磁波譜。

- (1) 無線電波(Radio wave)：波長介於0.1m~10km，無線電通訊、無線電廣播和電視。
- (2) 微波(Microwave)：波長介於 $10^{-4}$ m~0.3km，食物加熱、行動電話、衛星通訊等。
- (3) 紅外光(Infrared light)：波長介於700nm~ $10^{-3}$ m，溫度顯示、氣象預測、遙控器等。
- (4) 可見光(Visible light)：波長介於400nm~700nm，視覺與光合作用。
- (5) 紫外光(Ultraviolet light)：波長介於10nm~400nm，製造維生素 D 和消毒（波長短）。
- (6) X 射線(X-ray)：波長介於0.01nm~1nm，拍攝人體內部景象。
- (7)  $\gamma$  射線( $\gamma$ -ray)：波長0.01nm以下，由放射性物質放出，用來消滅癌細胞。

