

6

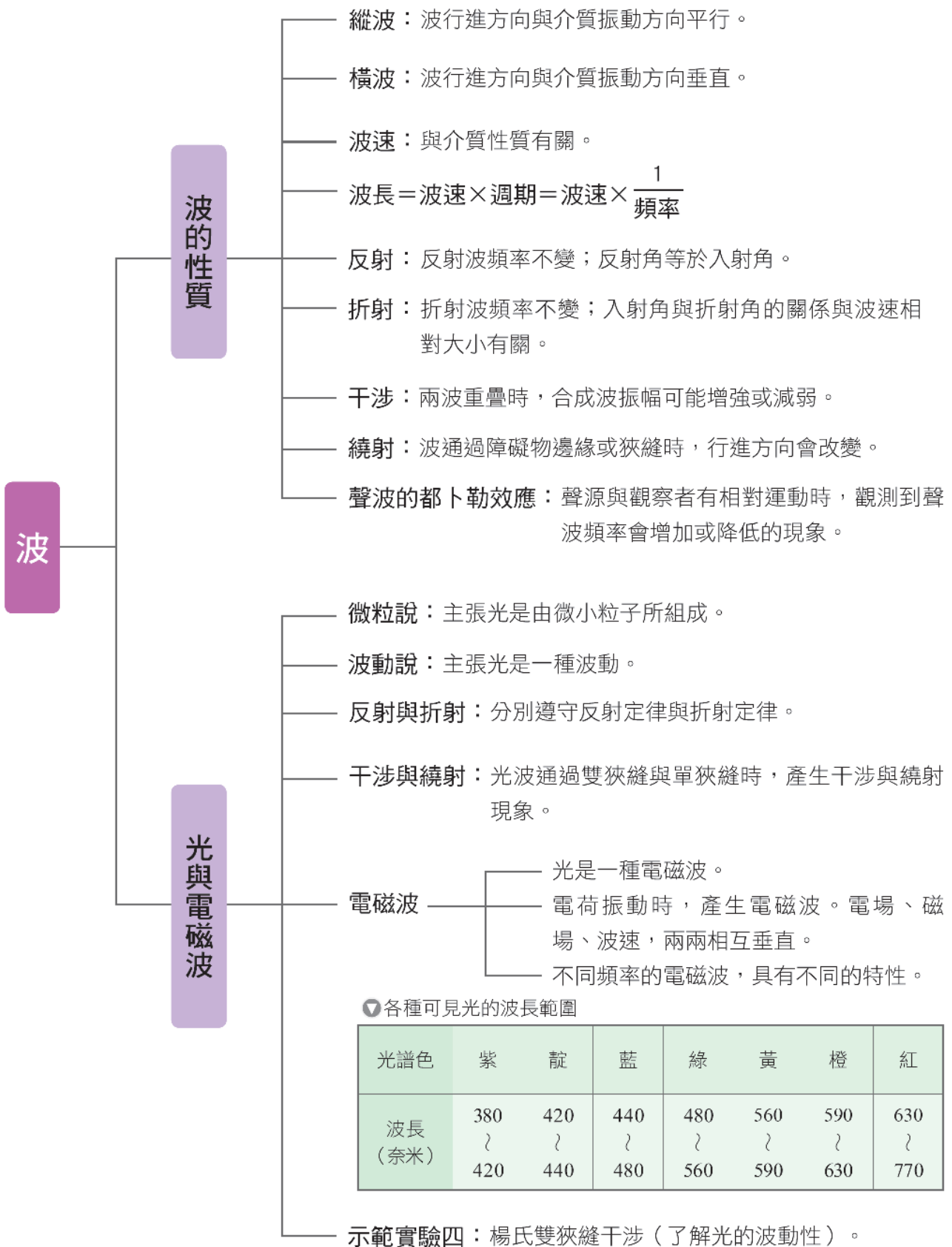
波

- ◆ 第一節 波的性質
- ◆ 第二節 光與電磁波
- ◆ 示範實驗四 楊氏雙狹縫干涉
- ◆ 習題

本章首先討論波的一般性質，例如：波速、波長、頻率等。接著我們介紹波的特性，例如：反射、折射、繞射、干涉及都卜勒效應等。然後我們討論光波，從歷史角度去探討光的波動理論如何在十九世紀發展成為一門基礎科學。其實光的波動性並不是那麼明顯，需要仔細觀察和精巧設計的實驗才可以證明。我們也討論光的一些現象和應用，包括幾何光學和物理光學。我們於前一章已說明過，在馬克士威理論中，光波只是一種電磁波，因此最後再介紹電磁波的一般性質，包括電磁波譜及其重要應用。



重點概念圖



一、波的一般性質

1. 波動現象

在日常生活中我們最常接觸到或聽說過的**波動**現象（圖 6-1），一般說來，可分為力學波（例如：水波、彈簧波、聲波、地震波等）與電磁波（例如：無線電波、微波、光波等）兩類。我們先從力學波說起。它是存在於介質（例如：水、彈簧、空氣等傳遞波的物質）中的一種現象。當介質中的物質偏離其平衡位置而來回振盪，此振盪又能從介質中一處傳播到另一處時，就形成了**波**(wave)。我們可以用一個簡單的情況來說明這件事情。如圖 6-1(a)所示，丟一顆小石頭到池裡，平靜的水面上就會產生一圈圈的波紋持續地擴散出去，此即水波。大自然提供給我們一些更壯觀的波動現象，例如：海風吹起的波浪（圖 6-1(b)）。

現在考慮另一個例子。以橡皮槌敲擊一音

又音叉就音振動(圖 6-1(c))因而擾動了附近的空氣，使其密度與壓力發生變化，造成空氣的波動，將音叉的振動形式傳播出去，就形成聲波，傳到人耳，我們就聽到聲音。

▼圖 6-1 常見的波動現象。

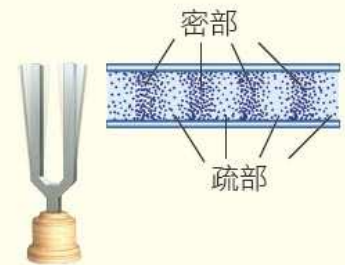
a 平靜的水面產生一圈圈的波紋。



b 湧向沙灘的海浪。



c 音叉振動時，使周圍空氣密度發生變化，而產生聲波。



2. 縱波與橫波

依介質運動方式來看，波動主要分兩大類：一是**縱波**(longitudinal wave)，一是**橫波**(transverse wave)。介質振動的方向與波行進方

向平行者，稱為縱波，其與振動的方向與波行進方向垂直者，稱為橫波。例如：取一長彈簧（圖 6-2(a)），讓它前後振動，這樣的彈簧波就是縱波。如果讓彈簧上下振動（圖 6-2(b)），則這樣的彈簧波是橫波。空氣中聲波是一種縱波，繩波則是橫波。



是非題

() 太空中的爆炸聲是聽不見的。

▼ 圖 6-2 縱波與橫波。

a 縱波：介質振動方向平行於波行進方向。



b 橫波：介質振動方向垂直於波行進方向。



3. 波速

我們現在介紹波速，即波傳播的速率。在均勻的介質中，波速是一固定值，其大小與介質的性質有關。我們從實驗量得在常溫(20°C)下，聲波在空氣中的波速為 343 公尺 / 秒。一般而言，聲波在液體中的傳播速度比在氣體中要快，在固體中的傳播速度又比在液體中快。表 6-1 列出了幾種常見介質中的聲波速度。

▼表 6-1 0°C、1 大氣壓下，在不同介質中的聲波速度

介質	空氣	氦氣	氫氣	水
聲波速度 (m/s)	331	965	1284	1402
介質	海水*	鋼	花崗岩	鋁
聲波速度 (m/s)	1522	5941	6000	6420

□ 表氣體，□ 表液體，□ 表固體

* 溫度 20°C、含鹽量 3.5%

固態中的聲速最快，氣態中最慢。

你知道嗎？

水波

我們常將水波當成橫波，但嚴格來講，水波既不是單純的縱波，也不是單純的橫波，而是兩者的混合，如圖所示。紅色箭頭代表水粒子在作近似的圓周運動。

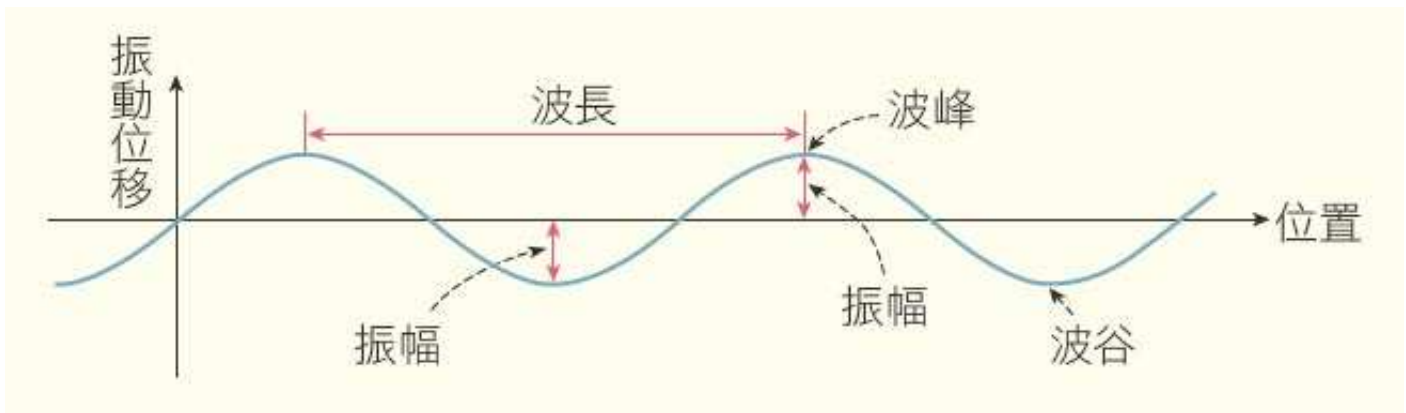


▲水波表面水粒子的運動。

4. 振幅、波長與週期

我們接著利用一個最簡單的波動來介紹一些基本概念。圖 6-3 顯示了這一種簡單波動在某一瞬間的圖形。此圖中的橫軸坐標表示空間的位置，縱軸表示介質振動的位移； $y = 0$ 代表

值 A ，稱為**振幅**(amplitude)。圖形中最高點叫波峰，最低點叫波谷，相鄰兩波峰或波谷間的距離就稱為**波長**(wavelength)，常以希臘字母 λ 表示。我們一般稱這種波為**正弦波**(sinusoidal wave)。由於振動可以是橫向或縱向，所以圖 6-3 只代表波振動位移與位置的關係，不一定與空間中顯示出的波形相符。



▲圖 6-3 正弦波的振動位移 y 對位置 x 之關係圖。

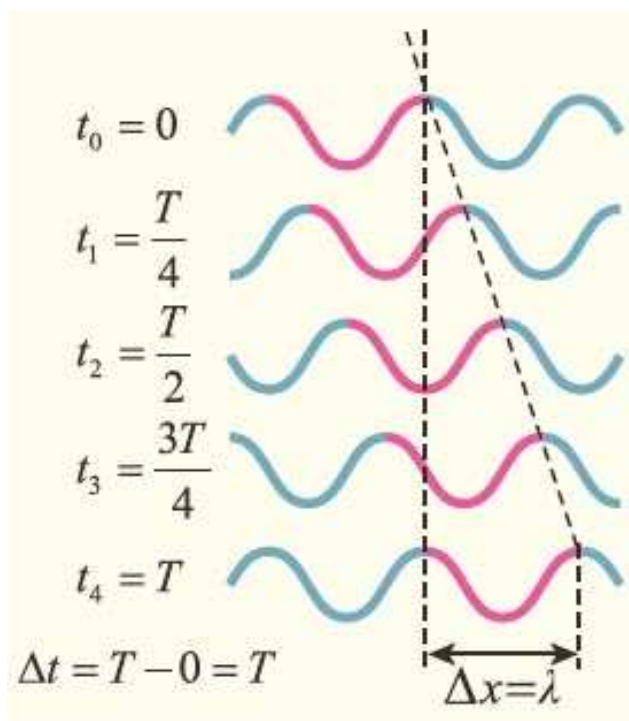
現在我們定義正弦波的**週期**(period) T ，這等於介質來回振動一次的時間，也是波前進一個波長所需的時間。既然波在時間間隔 $\Delta t=T$ 之內，前進了一個波長 λ 的距離，即波的位移 $\Delta x = \lambda$ ，因此如果我們以符號 v 來表示之前所介

給的反應。則，雷熱就等於 ΔH_c （即係以 ΔH_c (T)，如圖 6-4 所示：

6.1 式

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

上面這個式子告訴我們波速與波長及週期的關係。



◀圖 6-4 在時間間隔 $\Delta t=T$ 之內波前進了一個波長 λ 的距離。

我們定義正弦波的頻率（frequency） f 為介質單位時間內的振動次數，亦即是週期 T 的倒數，

6.2 式

$$f = \frac{1}{T}$$

若時間以秒計，則頻率 f 的單位為 1 / 秒，又稱為赫（hertz，記為 Hz）。將以上兩個方程式

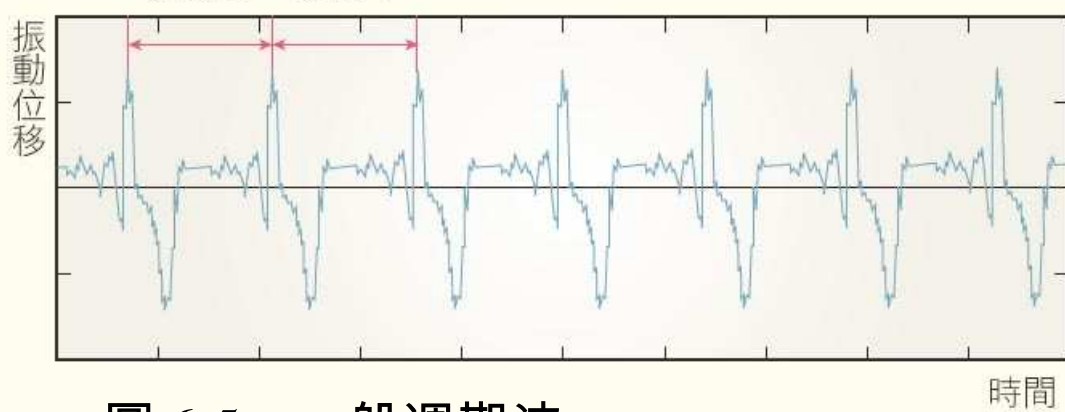
6.3 式

$$v = f\lambda$$

如果我們知道波速、波長和頻率中任何兩個數值，第三個數值就可以算出來。

正弦波有週期性，但不是所有具有週期性的波都如正弦波那麼單純。圖 6-5 顯示了一個具有週期性的一般波動（可以是橫波或縱波），對於這種一般週期波來說，我們也可以定義出波長 λ 、週期 T 、頻率 f ，而前述(6.1)至(6.3)的關係式也適用於此。

例如：某聲波的頻率是 262 赫，常溫下波速為 343 公尺 / 秒，則波長為 1.31 公尺。又例如速度為 $c = 3 \times 10^8$ 公尺 / 秒的綠光，其波長為 555 奈米，則頻率為 5.41×10^{14} 赫。在同一介質中，聲波的速率與頻率無關。



▲圖 6-5 一般週期波。

你知道嗎？

正弦波

我們可以用麥克風將音叉所產生的聲波轉成電子訊號，再透過示波器來觀察到正弦波形，如圖(a)。

音色

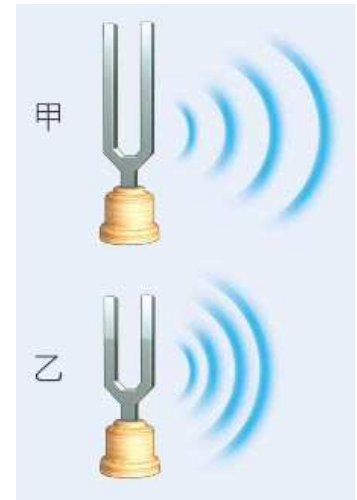
音叉可產生正弦聲波（圖(b)為音叉的波形），但樂器會發出波形較複雜的聲波（圖(c)、(d)分別為小提琴、鋼琴的波形）。不同的樂器縱然發出同樣頻率（音調）的聲音，但我們還是可分辨其差異，這是因為它們有不同的音色，而各樂器的音色是由其聲波的波形來決定。



例題 6-1

某生欲測量聲音在空氣中的傳播速率，他敲擊頻率為 200 赫的甲音叉，並測得所發出的聲波之波長等於 1.70 公尺，則

- (1) 由此推算空氣中的聲速為何？
- (2) 若他改敲擊乙音叉，測得其波長為 0.667 公尺，則乙音叉之頻率為若干赫？



- (3) 若該生用稍大的力敲擊乙音叉，問其所發出的聲波頻率與波速會有什麼變化？

分析

波速(v)=波長(λ) \times 頻率(f)；聲波在相同的空氣介質中，傳播速率一定。一個物體所發出的頻率是一定的，用力敲擊時所產生的聲波振幅變大，即比較大聲，但其頻率（音調）不變。

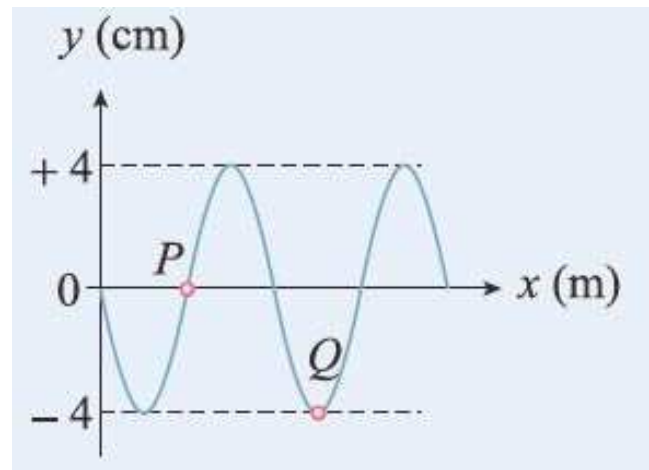
解

$$(1) v = \lambda \times f = 1.70 \times 200 = 340 \text{ m/s}$$

(2) $v = \lambda \times f \Rightarrow 340 = 0.007 \times f \Rightarrow f = 510 \text{ Hz}$
(3) 振幅變大，但頻率、波長不變，傳播速度也不變。

例題 6-2

右圖為一向 $+x$ 軸方向傳遞的正弦繩波、 y 為波的振動位移。已知該正弦波的頻率為 5.0 赫，波速為 10 公尺 / 秒，則



- (1) 圖中 P、Q 兩點間的水平距離為何？
- (2) 1 秒內 P 點介質來回運動的路徑長為何？

分析

- (1) P、Q 兩點間的水平距離等於 $\frac{3}{4}$ 波長，波長 = $\frac{\text{波速}}{\text{頻率}}$ 。

(2)週期等於 $\frac{1}{5}$ s，故 1s 等於 5 週期。 P 點上下
來回振動 5 次。

解

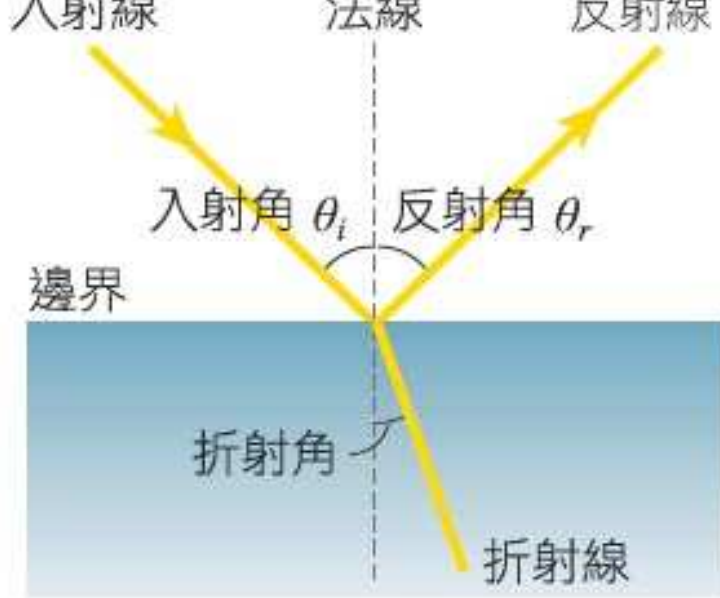
$$(1)\lambda = \frac{v}{f} = \frac{10}{5.0} = 2.0 \text{ m} ;$$

$$P、Q \text{ 兩點間的水平距離} = \frac{3}{4}\lambda = \frac{3}{4} \times 2.0 = 1.5 \text{ m}$$

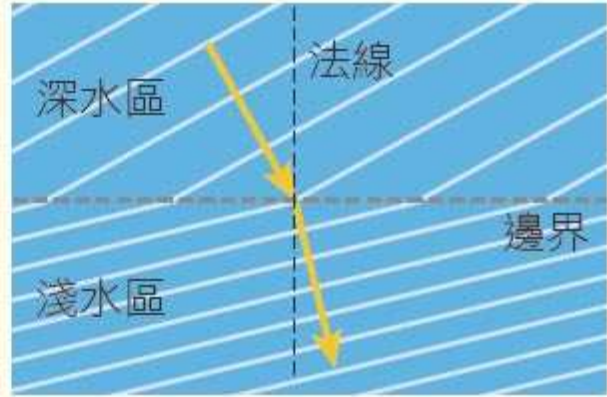
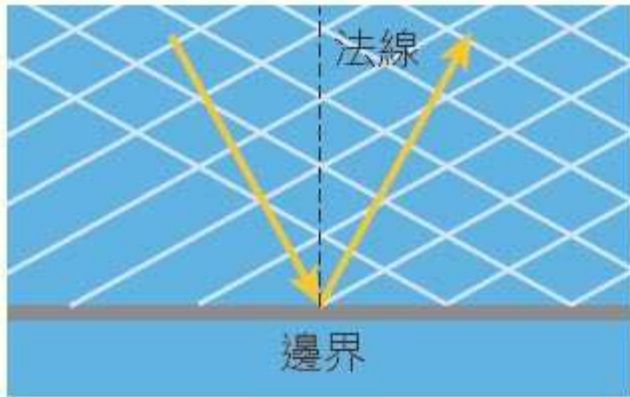
$$(2)\text{路徑長} = (4 + 4) \times 2 \times 5 = 80 \text{ cm}$$

二、波的反射與折射

一般而言，當波從一介質進入另一介質時，部分的波會折返回來，部分則穿透至另一介質（圖 6-6）。我們以二維水波為例來說明：考慮水波槽有深淺兩區，其分隔邊界為一直線。直線水波行至邊界會部分折返（圖 6-7(a)），稱為**反射**(reflection)，部分會穿透（圖 6-7(b)），稱為**折射**(refraction)。



▲圖 6-6 波的反射與折射。



▲圖 6-7 水波的反射與折射。

1. 波的反射與應用

波的反射現象遵循一些重要規律。以二維直線波的反射為例：垂直於邊界的直線就是法線，入射波前進方向線（入射線）與法線的夾角叫**入射角** θ_i ，反射波的前進方向線（反射線）與法線的夾角就叫**反射角** θ_r （圖 6-6）。反射現象的第一個特性是**入射線、反射線和法線位於同一平面，且處於法線兩側**，第二個特性即是**入射角等於反射角** ($\theta_i = \theta_r$)，此外**反射波的頻率也維持不變**，也就是說反射波的波長不變（因

波動反射的應用例子很多，例如：醫生利用超聲波反射來做產前檢查（圖 6-8(a)(b)）、船



是非題

隻可利用超聲波的反射來探測海水的深度或偵測魚群、用來搜索目標及定位的雷達(radar)（圖 6-8(c)）也是利用類似的原理。

()波在反射時，反射角大小與波的頻率有關。

Key Point

入射波與反射波的頻率、波長相等。

圖6-8 波動反射的應用

a 利用超聲波檢查胎兒發育情況。



b 超聲波呈現的影像。



c 用來搜尋目標的雷達。





是非題

()波通過不同介質的邊界處，傳播方向一定會改變。

2. 波的折射

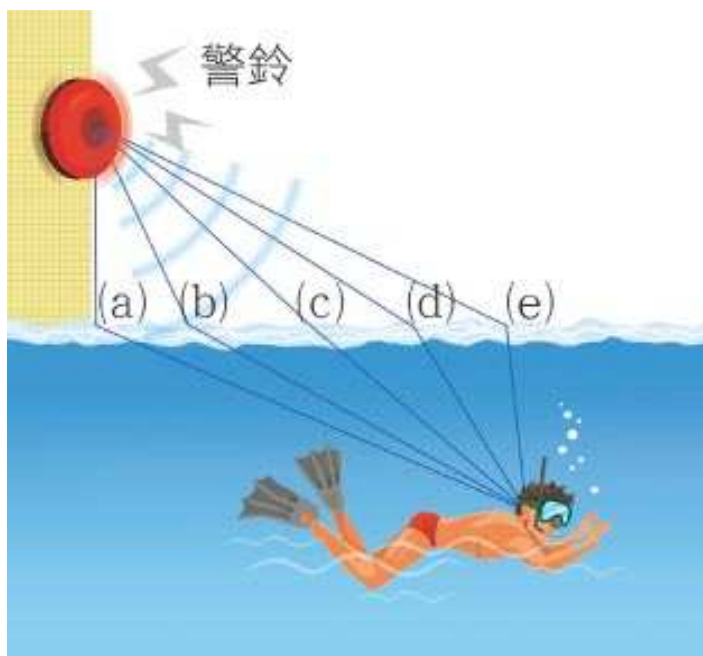
現在我們討論波的折射現象。折射指的是波從某介質穿透進另一介質後，只要原來行進方向不與邊界垂直，則行進方向會偏折。圖 6-6 顯示了波的折射。折射波前進方向線與法線的夾角就叫**折射角**。波在通過邊界後，頻率維持不變，但波長、波速可能改變。當水波槽有深淺兩區時，深水區的波速比淺水區的波速大。**波速如果變小，則波的行進方向會偏向法線；若波速變大，則行進方向會偏離法線**（圖 6-7(b)）。

Key Point

入射波與折射波的波速、波長不相等。波速如果變小，行進方向偏向法線；若波速變大，行進方向偏離法線。

例題 6-3

一潛水員在游泳池中訓練潛水，潛水深度為 2.00 公尺。訓練時間到了，教練在池邊按警鈴，發出波長 2.00 公尺的鈴聲，由空氣中傳入水中。若聲波在空氣中的速率為 340 公尺 / 秒、在水中的速率為 1500 公尺 / 秒，試求



(1) 鈴聲在水中的波長為幾公尺？

(2) 聲音傳至潛水員所行經的路徑為圖中的哪一條路徑？

(圖中所示(a)~(e)五條路徑皆位於警鈴與潛水員的鉛直面上)

分 析

波速(v)=波長(λ) \times 頻率(f); 聲波由空氣中傳入水中, 頻率不變, 故波長與波速成正比。波由波速慢的介質傳至波速快的介質, 發生折射時, 行經方向會偏離法線。

解

(1) 設 a 代表空氣, w 代表水,

$$\text{則 } \frac{\lambda_a}{\lambda_w} = \frac{v_a}{v_w} \Rightarrow \frac{2.00}{\lambda_w} = \frac{340}{1500} \Rightarrow \lambda_w = 8.82 \text{ m}$$

(2) 聲波在空氣中速度小於水中, 故折射線偏離法線, 所以選(b)。

三、波的干涉與繞射

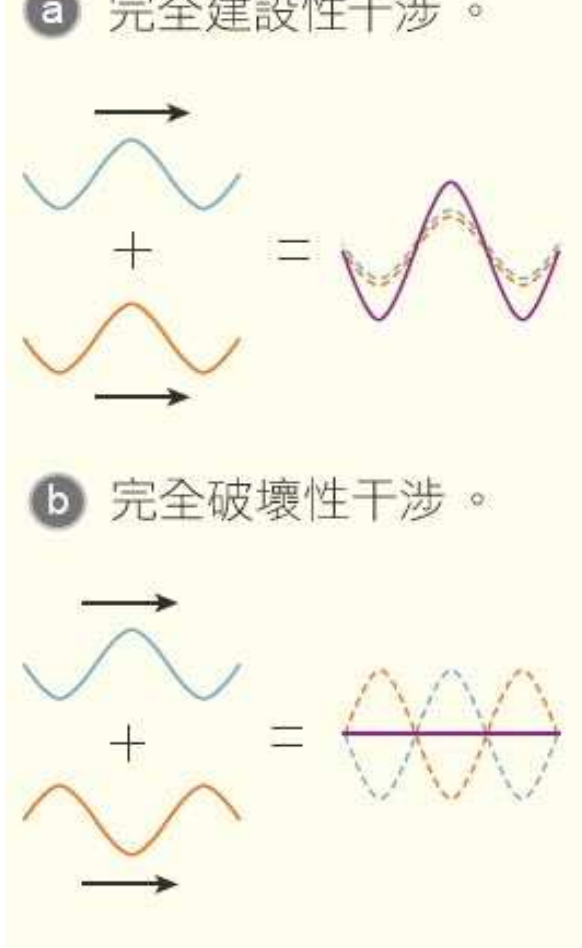
1. 波的干涉

現在我們討論波極重要的一種特性, 即波的**干涉**(interference): 在同一時刻兩個以上的波

在空間相遇，它們會疊加起來，讓波的振動更**為顯著或微弱**。在此只討論兩個波的干涉，並只介紹最簡單的情形。假設有兩個頻率一樣、振幅一樣的一維正弦波；如果兩個波的步調完全一致（圖 6-9(a)），振幅就會加倍，這叫做完全**建設性干涉**(constructive interference)；如果兩個波的步調恰好相反（圖 6-9(b)），則振動就相互抵消，這叫做完全**破壞性干涉**(destructive interference)。

Key Point

波的疊加造成干涉。



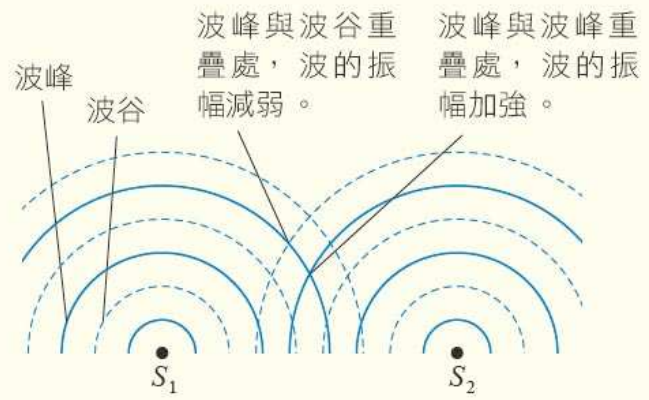
◀圖 6-9 波的干涉。

當兩個二維波相遇，我們很容易想像也會出現類似的干涉現象。考慮兩個同頻率同振幅的圓形水波，其波源分別為 S_1 、 S_2 (圖 6-10(a))。若以等間距的實線同心圓來代表波峰，等間距的虛線同心圓代表波谷，則很容易看出在兩個實線圓或兩個虛線圓相交處，兩個波產生建設性干涉，在實線圓與虛線圓相交處，則兩個波產生破壞性干涉 (圖 6-10(b))。若利用投影式水波槽實驗裝置，將可看見如圖 6-10(c)所示的

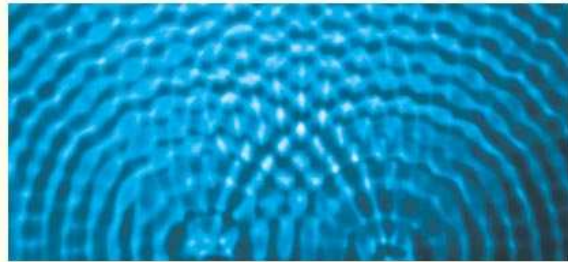
a 水波槽是觀察水波干涉的利器，圖中 S_1 、 S_2 為兩波源，可產生頻率一定的圓形波。



b 兩圓形水波干涉的示意圖。



c 兩圓形水波的干涉圖案。



▲圖 6-10 水波的干涉實驗。(請配合使用書末透明片教具)

2. 波的繞射

接下來，我們討論另一有趣的波動現象。當直線波穿過一個缺口時，除了原來行進方向之外，它還可以從缺口繞開來，向其他方向傳播，這個現象叫做**繞射**(diffraction) (圖 6-11)。缺口愈小，繞射現象愈明顯 (圖 6-11(a))。反之，當直線波遇上障礙物時，除了部分的波會反射回來，障礙物後方也會出現波動，這也是

僅繞射現象。例如：波浪可以繞過一艘船，使得船的背面出現波浪的擾動（圖 6-11(c)）。又例如：聲波也可以繞過圍牆使得我們可以聽到圍牆外的聲音（圖 6-11(d)）。光波的繞射比較複雜，我們會在下一節介紹。

() 水波發生建設性干涉時，水面振動幅度會變大。

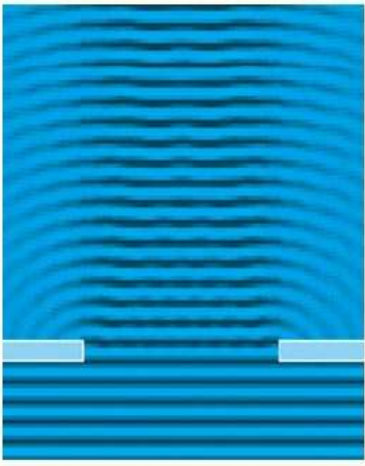


是非題

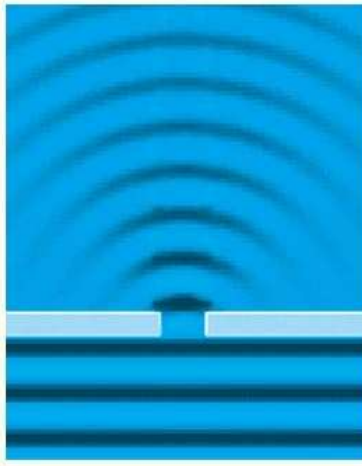
Key Point

繞射使波可以抵達障礙物後方。

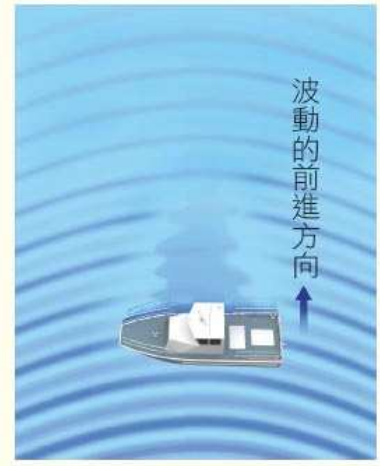
▼圖 6-11 波的繞射現象。



a 水波遇大缺口（水波波長約為缺口寬度的 $1/5$ ）的繞射現象。



b 水波遇小缺口（水波波長約等於缺口寬度）的繞射現象。



c 水波遇小船的繞射現象。



d 聲波通過牆壁邊緣發生繞射示意圖。

四、聲波的都卜勒效應

相信大家都會有以下的經驗：當一輛救護車或警車經過我們身邊前後，警示聲的音調會有明顯的變化，這是一種**都卜勒效應**(Doppler effect)。這種效應指的是若聲源與觀察者在其連線方向上有相對運動，則觀察者所聽到的聲音頻率會有所改變。如果聲源相對接近觀察者，聲波的頻率會升高；但是如果聲源相對遠離觀察者，則聲波的頻率會降低（圖 6-12）。

圖 6-12(b)顯示，當聲源 S 向右方前進，右方的聲波波長會變短，左方的聲波波長會變長。但由於聲速不變（假設聲源速度低於聲速），因此位於右方的靜止觀察者 P 會聽到較高的音調，位於左方的靜止觀察者 P' 則會聽到較低的音調。

現在我們考慮聲源不動，位於右方的觀察者向左接近聲源（圖 6-12(c)），觀察者每單位時間所接收的波數會較靜止時多些，故聽到的音調較高。反之，若位於右方的觀察者向右遠離聲源，則觀察者每單位時間所接收的波數會較靜止時少些，故聽到的音調較低。將以上的分析合併起來，就可了解前述的都卜勒效應。

除了聲波，所有的波動都會有類似的都卜勒效應。以光波為例，當光源與觀察者相對接近，則所見光波的頻率會增加，依據第 135 頁表 6-2 所介紹的各種可見光波長範圍，在此情況之下，光的頻率會往較短波長的藍光方向偏移，因此這個現象稱為**藍移**(blue shift)。反過來，如果光源與觀察者相對遠離，則光波的頻率會降低，也就是說光的頻率會往較長波長的

紅光的方向偏移，此時稱為**紅移**(red shift)。



是非題

() 鳴笛進站的火車，氣笛聲變大，

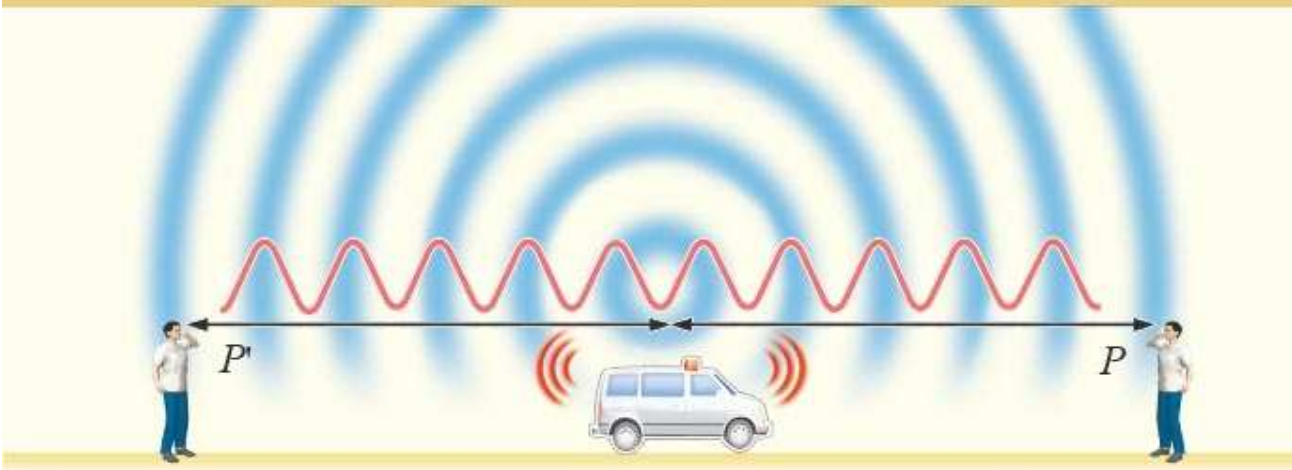
這是因為都卜勒效應。

Key Point

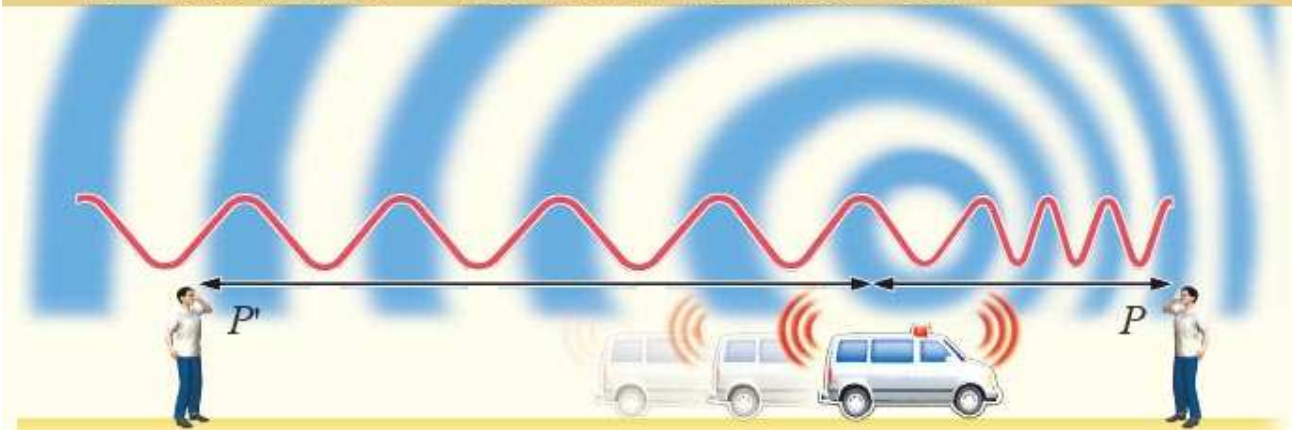
聲源與觀察者存在接近或遠離的運動時，聽見的頻率會改變。

▼圖 6-12 聲波的都卜勒效應。

a 救護車靜止時，其前方 P' 與後方 P 的觀察者聽到警示聲的頻率不變。



b 救護車向右急行時，其前（右）方 P 的觀察者聽到警示聲的頻率變高，而後（左）方 P' 觀察者聽到警示聲的頻率變低。



c 觀察者向左移動，而聲源靜止時，觀察者聽到警示聲的頻率也變高。



例題 6-4

一輛警車為了追捕歹徒而向右方疾駛，並發出 1000 赫的警笛。在警察追捕歹徒現場，恰有甲、乙、丙、丁四人，其中甲、乙、丙三人為靜止，分立於警車的後方與前方，而丁則向著警車方向跑來，如圖所示，則下列敘述中，哪幾項是正確的？（多選） (A)甲聽到警笛的頻率小於 1000 赫 (B)乙聽到警笛的頻率大於 1000 赫 (C)丙聽到警笛的頻率大於 1000 赫 (D)乙聽到警笛的頻率比甲高 (E)丁聽到警笛的頻率比丙高。



分 析

警車向右運動，其前方靜止的路人丙與向著警車奔跑的路人丁，聽到的聲音頻率均較實際發

出的 1000 赫高；由於丁又向著警車奔跑，故聽到的頻率較丙高；而甲乙均靜止於警車後方，聽到的頻率相同，應小於 1000 赫。

解

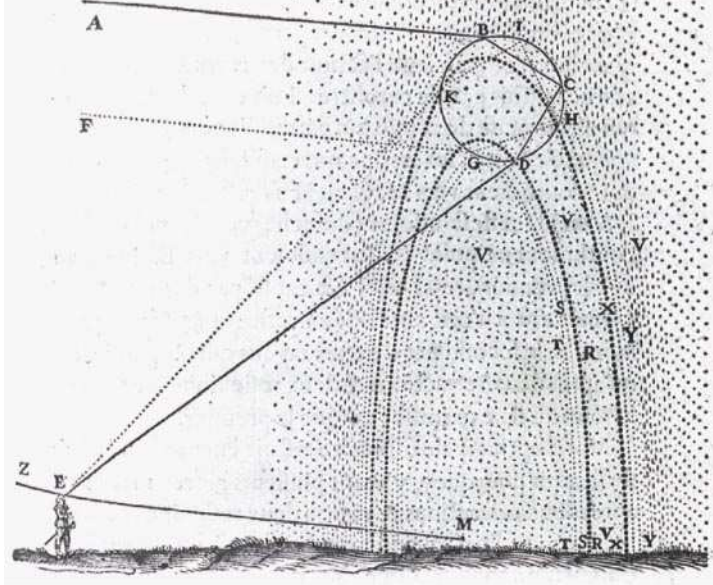
(A)(C)(E)

第二節

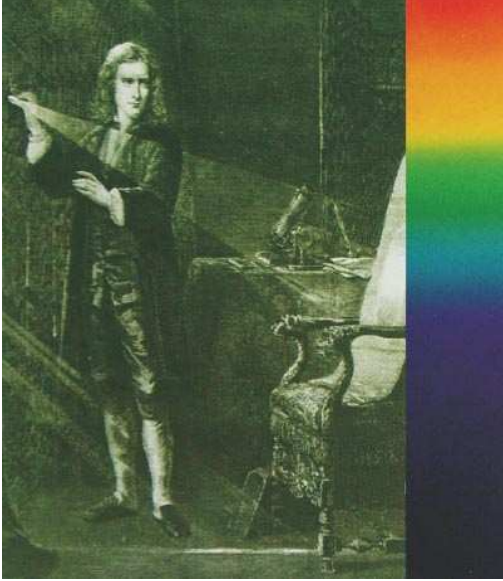
光與電磁波

一、光的微粒說和波動說

自古以來，人類對於光的探討就沒間斷，例如：古希臘人就已知光在均勻介質中直線傳播及反射定律，但所知仍相當不足。到了十七世紀，在科學家對光進行更有系統的研究之後，才有較快的進展；著名的例子如，大哲學家笛卡兒探討彩虹形成的原理（圖 6-13）、科學家司乃耳（Willebrord Snell，1591—1626，荷蘭人）經由實驗深入研究光的折射規律、生頓用三稜鏡研究光的色散現象（圖 6-14）等。



◀圖 6-13 笛卡兒書中解釋彩虹成因的插圖。



◀圖 6-14 牛頓利用三稜鏡觀察色散現象。

不過光究竟是什麼東西，在十七世紀主要有兩派說法：一是**微粒說**，這派學說主張光是速率極快的微粒子，牛頓是此學說的代表人物（他在《光學》一書中詳細闡述光的「微粒性」）；二是**波動說**，這派學說主張光是一種波動，主要代表人物為惠更斯（Christiaan Huygens，1629—1695，荷蘭人，圖 6-15）。由於當時牛頓在學術界的聲望無人可及，因此光的微粒說成了主流理論。



◀圖 6-15 惠更斯。

直上十九世紀 出現了幾項重大發現 使得光的波動性獲得科學界的認同。關鍵的發現有：(1)1801 年，楊氏 (Thomas Young, 1773—1829, 英國人，圖 6-16) 作了一系列的實驗，證明光會和水波一樣產生雙狹縫干涉；(2)1818 年，菲涅耳 (Augustin-Jean Fresnel, 1788—1827, 法國人，圖 6-17(a)) 提出他的光繞射理論，預測一個不透光小圓盤的背影中心因光的繞射會出現一個亮點，後來人們從觀測證實了這個亮點確實存在 (圖 6-17(b))；(3)1850 年前後，菲左 (Hippolyte Fizeau, 1819—1896, 法國人) 與傅科 (Léon Foucault, 1819—1868, 法國人) 分別測定出光在水中的速度較在空氣中為慢，這與微粒說的預測相反。以上這些發現讓大家接受了光的波動說為正確的理論。

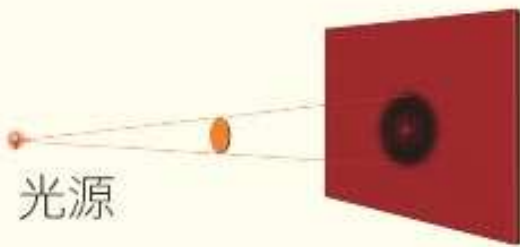


◀圖 6-16 楊氏。

a 菲涅耳。



b 圓盤背影中心的亮點。



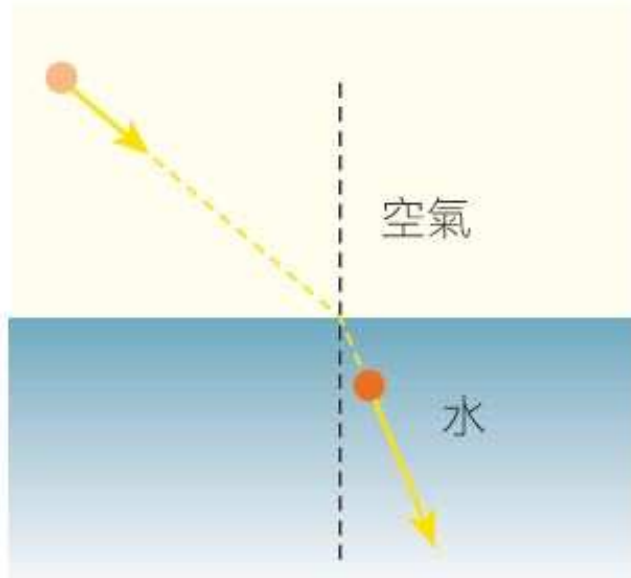
◀圖 6-17 菲涅耳與光繞射理論。

你知道嗎？

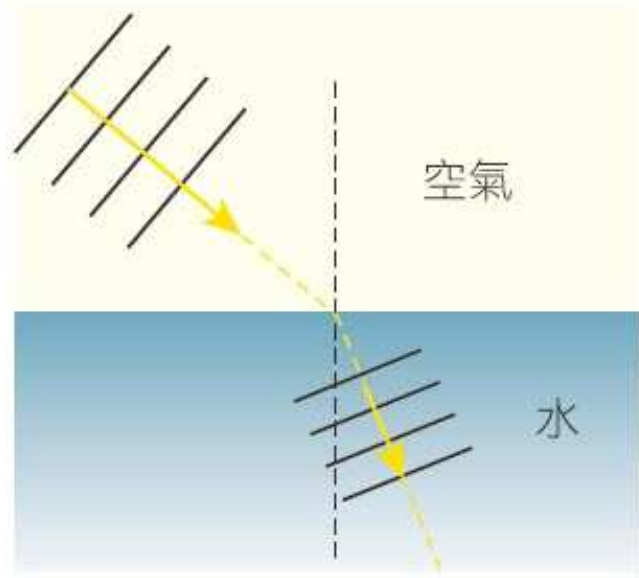
光在折射後，速度變快或變慢了？

雖然光的微粒說與波動說皆能說明光的直進性、反射定律、折射現象，但對於光在折射後，速度變快或變慢這個問題卻有相反的預測。例如：當光從空氣進入水中，就微粒說而

論。光粒子和受到水的吸引，會偏向法線，且速度變快；但就波動說而言，光的波長變短，速度會變慢。



a 微粒說中光粒子的折射。



b 波動說中光波的折射。

二、光的反射和折射

1. 光的反射

由於光具有波動性，故會呈現波的一般性質，並且也遵守反射與折射定律。例如：光照到鏡子時，反射角等於入射角，又例如：光從空氣折射入水裡，折射角要比入射角小（圖 6-18(a)）。

在自然界中，我們很容易找到光反射的現象，最常見的例子就是物體於水面的倒影。如

是所謂**鏡面反射** (specular reflection) (圖 6-18(b))。

當我們站立於鏡前 (圖 6-18(c))，舉起右手，鏡中的你所舉的卻是左手。這是大家熟悉的情況，即鏡中影像與實物相比讓人有左右顛倒的感覺。這就是為什麼我們可以用鏡子來辨識印章上所刻的文字，即印章在鏡中的影像會和它蓋在紙上的文字一樣。

Key Point

平整面的反射為鏡面反射。

▼圖 6-18 光的反射現象。

a 光的反射與折射。



b 鏡面反射。

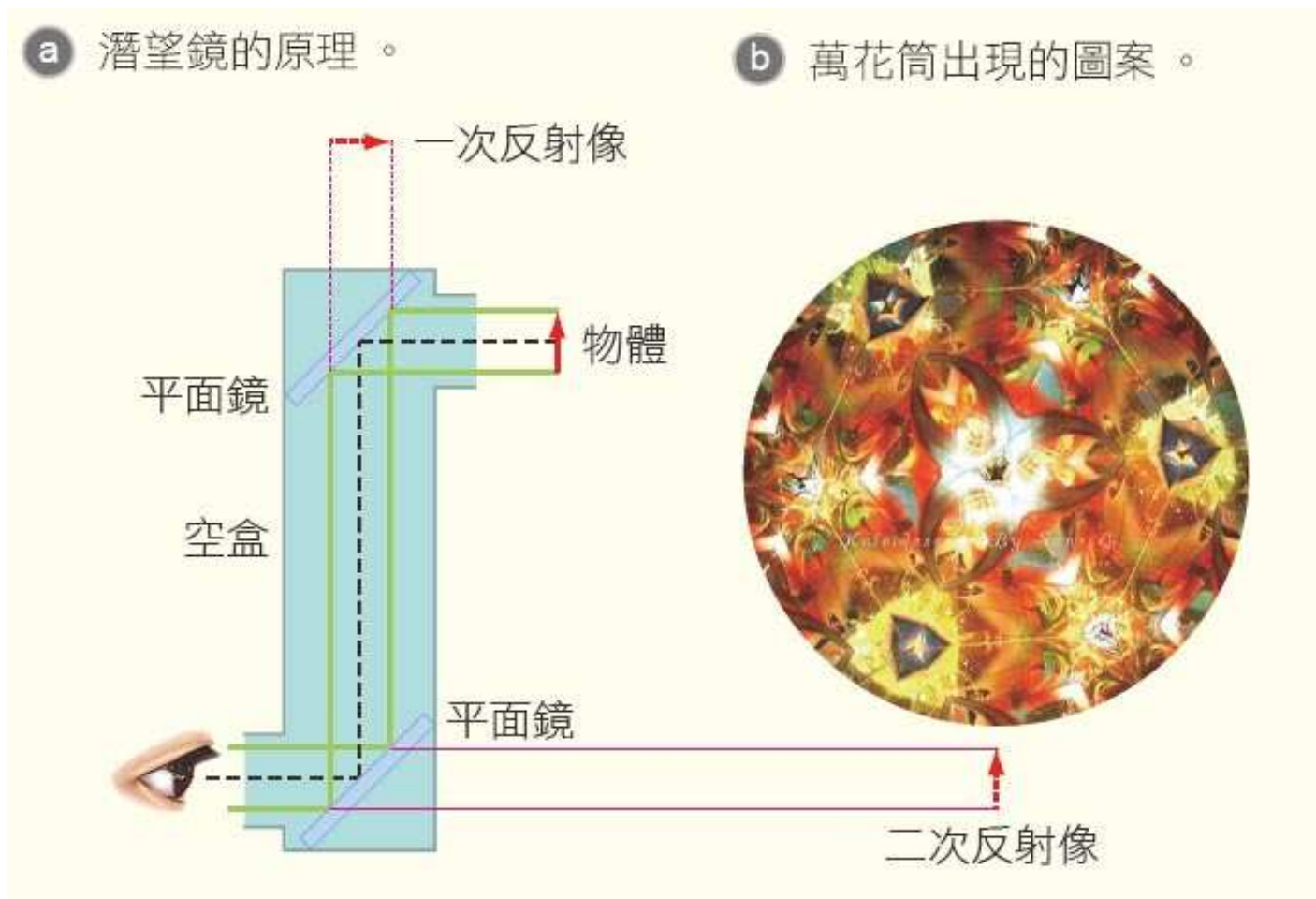


c 人舉右手，鏡中的像呈現舉左手。



2. 光反射的應用

如圖 6-19(a)所示，將兩塊平行的平面鏡斜置於空盒上下兩端，這個裝置可以將上方射入的水平光線經過兩次反射轉成下方射出的水平光線，這就是潛望鏡的原理。此外，光經由幾塊平面鏡多次反射可產生美麗的萬花筒圖案(圖 6-19(b))。



▲圖 6-19 光反射的應用。

如果反射鏡面不是平面而是曲面(球面或拋物面),則光束在反射後可能出現聚集或發散的情況,例如:**凹面鏡**(圖 6-20(a))會使平行光聚集,而**凸面鏡**會使平行光發散(圖 6-20(b))。如將光源放在凹面鏡的焦點處,則反射光會平行射出,這性質使凹面鏡的應用很廣,例如:燈塔、手電筒(圖 6-20(c))、汽車大燈等。而汽車的後視鏡則為凸面鏡的一種應用,因其可令駕駛者有更大的視野角度。又例如:山路轉彎處常見矗立大凸面反射鏡,因它可幫助駕駛了解彎道另一側車況(圖 6-20(d))。



是非題



Key Point

凸面鏡可以增大視野，凹面鏡可以產生平行光。

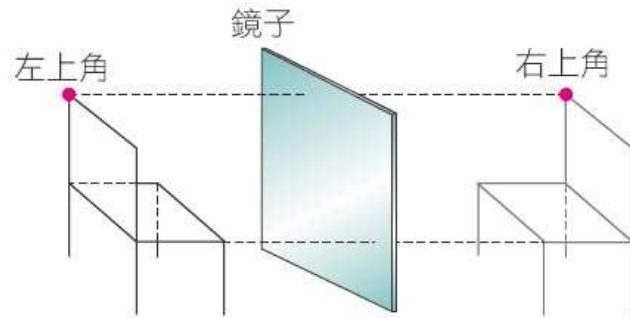
() 道路轉彎處的凹面鏡，可以擴大視野。

你知道嗎？

為什麼鏡中的影像左右顛倒？

鏡子中的物體與原來的物體相比，其實只是「前後」顛倒而已，我們很容易從圖了解這一點。但我們也看到如果圖中鏡子前椅子椅背

左上角有紅球。則依據我們的日常習慣，鏡子內的椅子卻是在椅背的右上角有個紅球（如圖）。這是因為我們習慣以鉛垂方向為轉軸，將鏡中世界的前方調整為指向鏡面，如此一來，鏡子內物體的右方即是鏡前物體的左方，因此出現左右顛倒的情況。

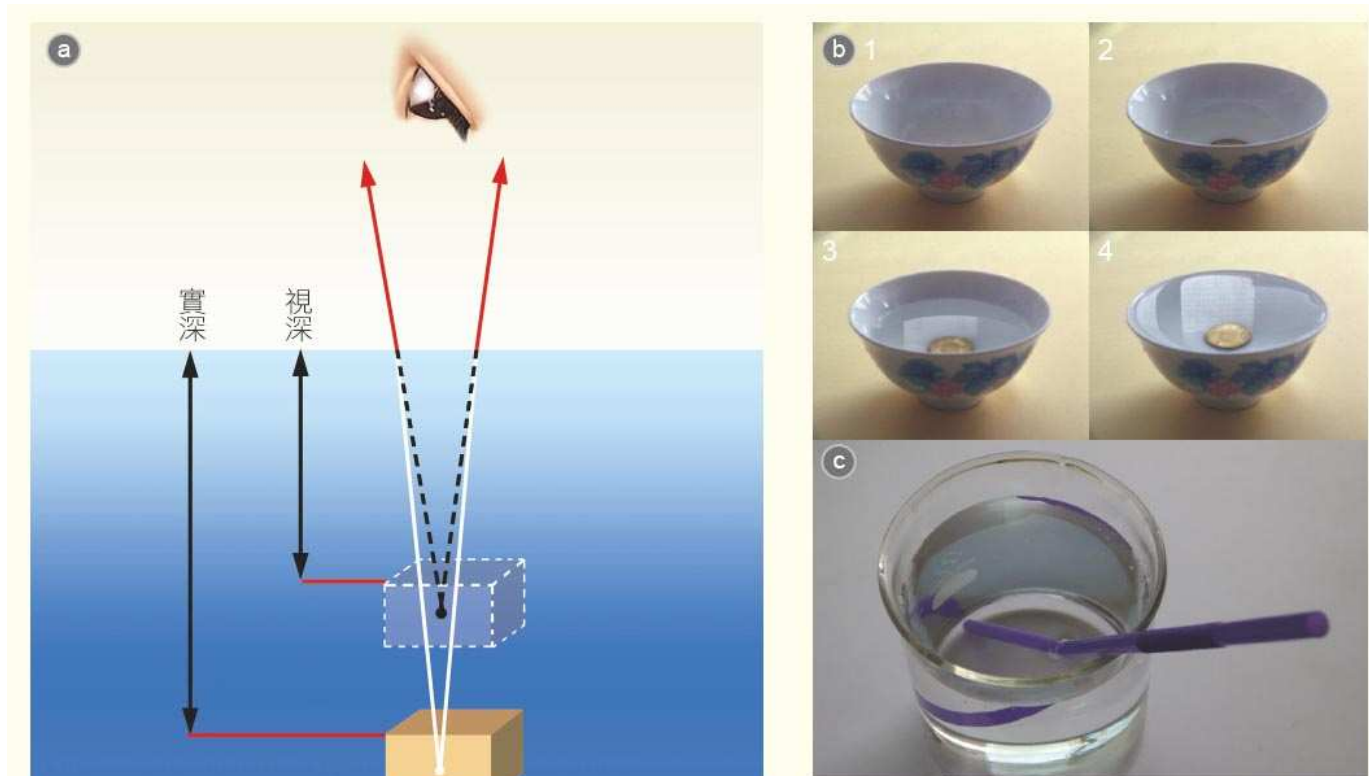


3. 光的折射

光的折射現象在日常生活中也很常見。例如：清澈游泳池的水深看起來會比實際的淺，這是因為來自水底的光線傳播出水面時，經過折射會偏離法線，以至於水的深度看起來比實際淺（圖 6-21）。

Key Point

折射現象會改變光源的視覺位置。不同頻率的光在相同介質中有不同的光速。



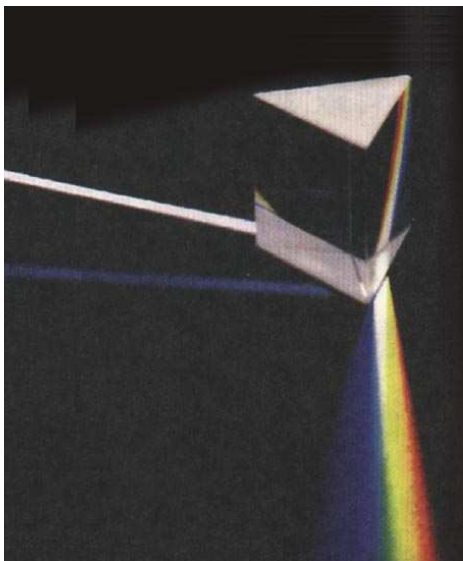
▲圖 6-21 光的折射現象：(a)光在水面折射，使水中物體看起來變淺；(b)當碗內的水逐漸增多，光的折射使碗底

光在真空中的速率為 3.0×10^8 公尺/秒，不同顏色的光在真空中的速率皆相同。光在介質中的速率較在真空中為慢，而且不同顏色的光在同一介質中各有其不同的速率，也就是不同顏色的光各有其不同的折射角。因此，光在進入介質（例如：玻璃、水）後，不同顏色的光會因折射的角度不同而分散開來（圖 6-22），這種現象稱為**色散**(dispersion)，其應用甚廣。前面提過牛頓曾以三稜鏡研究色散，發現太陽光的組成，這是著名的事件，也是光學歷史上的重要里程碑。



是非題

() 腳站在水裡，腿似乎變短了，這是因為光的折射。



◀圖 6-22 色散現象：白光通過三

4. 光折射的應用

最後，我們介紹光線折射的重要應用：透鏡。一般所見的透鏡是由透明的玻璃或塑膠所製成，前後鏡面都磨成彎曲的球面。透鏡可分成**會聚透鏡**(converging lens) (圖 6-23(a))，和**發散透鏡**(diverging lens) (圖 6-23(b)) 兩種。會聚透鏡會使平行光會聚，發散透鏡會使平行光發散。透鏡中心部分比邊緣厚的稱為凸透鏡，一般會聚光；而中心部分比邊緣薄的稱為凹透鏡，一般會散光。很多的光學器材，例如：望遠鏡、顯微鏡、照相機、投影機等等都會利用透鏡的組合來產生影像。

Key Point



是非題

凸透鏡可聚光，凹透鏡可使光發散。

()近視眼鏡的鏡片是一種凸透鏡。



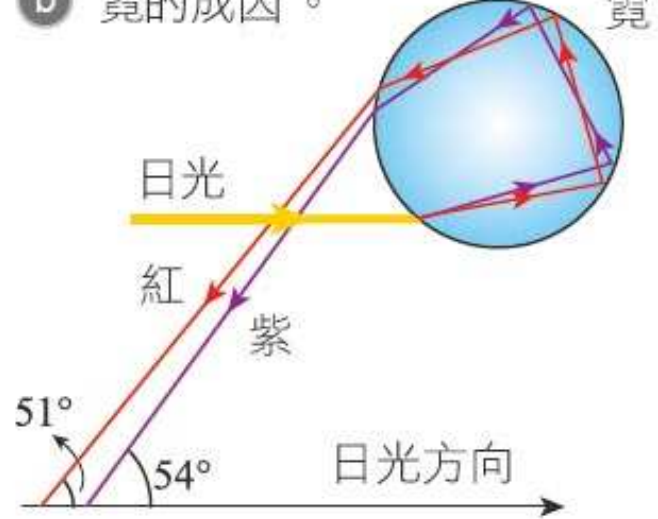
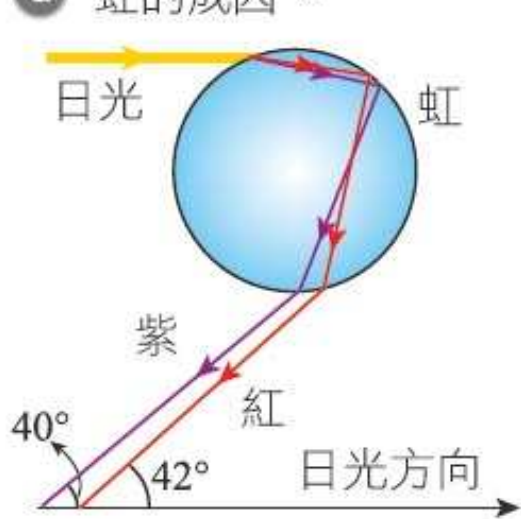
◀圖 6-23 光折射的應用。

你知道嗎？

彩虹與霓

彩虹與霓是自然界最美麗的景象之一。前者是太陽光經過空氣中小水珠的二次折射和一次反射所形成的（圖(a)），基本上這就是先前介紹過的色散現象而已。霓則是光兩次折射加

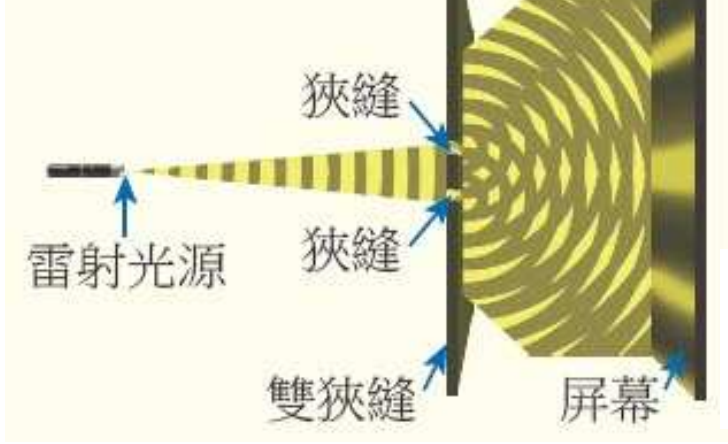
主兩次反射的景象。它出現的位置且比彩虹高
由於它比彩虹多了一次反射（圖**(b)**），所以亮
度較弱，較為少見。



三、光的干涉和繞射

1. 楊氏干涉實驗

1801 年，楊氏發現光的干涉現象：如圖 6-24 所示，讓單一光源通過兩個非常靠近的狹縫，再投射在屏幕上，屏幕上就顯示出明暗相間的干涉條紋。這種現象和水波槽中兩個點波源所產生的干涉現象類似（參照圖 6-10(c)），我們可推論兩者皆是基於兩波的疊加原理，即建設性干涉與破壞性干涉之結果。



◀圖 6-24 兩光波干涉示意圖。

2. 生活中光的干涉現象

光干涉現象於日常生活中的一個例子是薄膜干涉——肥皂泡(圖 6-25(a))或一片油漬(圖 6-25(b))在白光照射下，會出現七彩繽紛的條紋。這個現象經更深入的學理分析，可證明是由光干涉所造成。



是非題

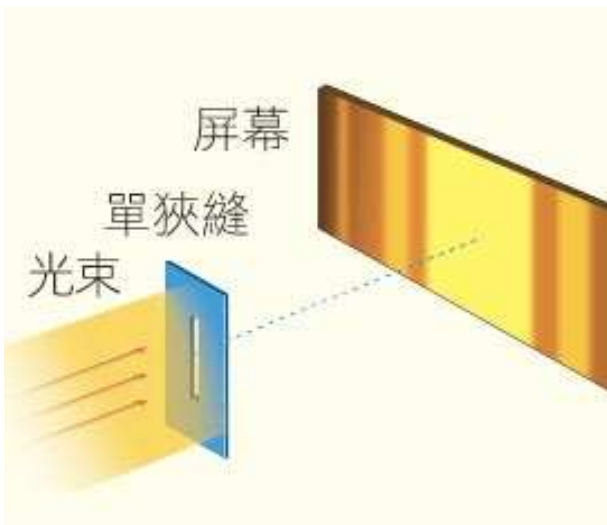
()干涉現象證明光有波動性。

Key Point

暗紋處為破壞性干涉，亮紋處為建設性干涉。

3. 光的繞射

正如波通過缺口時會產生繞射，光也有相同的現象，單狹縫繞射就是一個例子。如圖 6-26 所示，光通過一狹縫後，投射到遠方的屏幕上，將出現繞射圖樣，即光在通過單狹縫後會繞開來向其他方向傳播，在屏幕上會呈現亮暗相間的條紋，而且位於中央的亮紋寬度會大於狹縫寬度。深入的分析顯示這現象，也是來自光波的疊加。



◀圖 6-26 單色光經單狹縫繞射的圖樣。

例題 6-5

日常生活中，我們經常發現聲音的繞射現象，例如：一棵樹或一張桌子無法擋住人說話的聲音。而可見光波的繞射現象則不常看到，例如：

暗處的燈光會波衍過樹擋住產生影子。請問這是什麼原因？（人說話聲音的頻率約為 500 赫，可見光的波長約為 500 奈米）



分析

波長相對於障礙物的大小，波長愈長則繞射現象愈顯著；反之，則較不顯著。聲波的波長比一般物體長或相當，故容易發生繞射；而光的波長則遠比一般物體短，故不易發生繞射。

解

一般物體的大小為數公分至數百公分，常溫下聲速約為 340 m/s，其波長為

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{500} = 0.68 \text{ m} = 68 \text{ cm} \approx \text{一般物體大小}$$

可見光的波長 $\lambda = 500 \text{ nm}$

$$= 5 \times 10^{-7} \text{ m} = 5 \times 10^{-5} \text{ cm} \ll \text{一般物體大小}$$

四、光與電磁波

1. 赫茲對電磁波發展的貢獻

我們在第五章已提過馬克士威於 1864 年預測光波是一種電磁波，但是直到 1886~1888 年赫茲才在實驗室製造出電磁波來。赫茲畢生致力於推展馬克士威的電磁理論，研究如何實際產生電磁波。他製造出已知頻率的無線電磁波，利用天線去發射和接收這些電磁波，也成功地測量出它們的波長，從而得出電磁波的波速，驗證與當時量出來的光速吻合。他還在實驗室中完成了電磁波的反射、折射、干涉及繞射等實驗，證實了馬克士威的電磁理論。

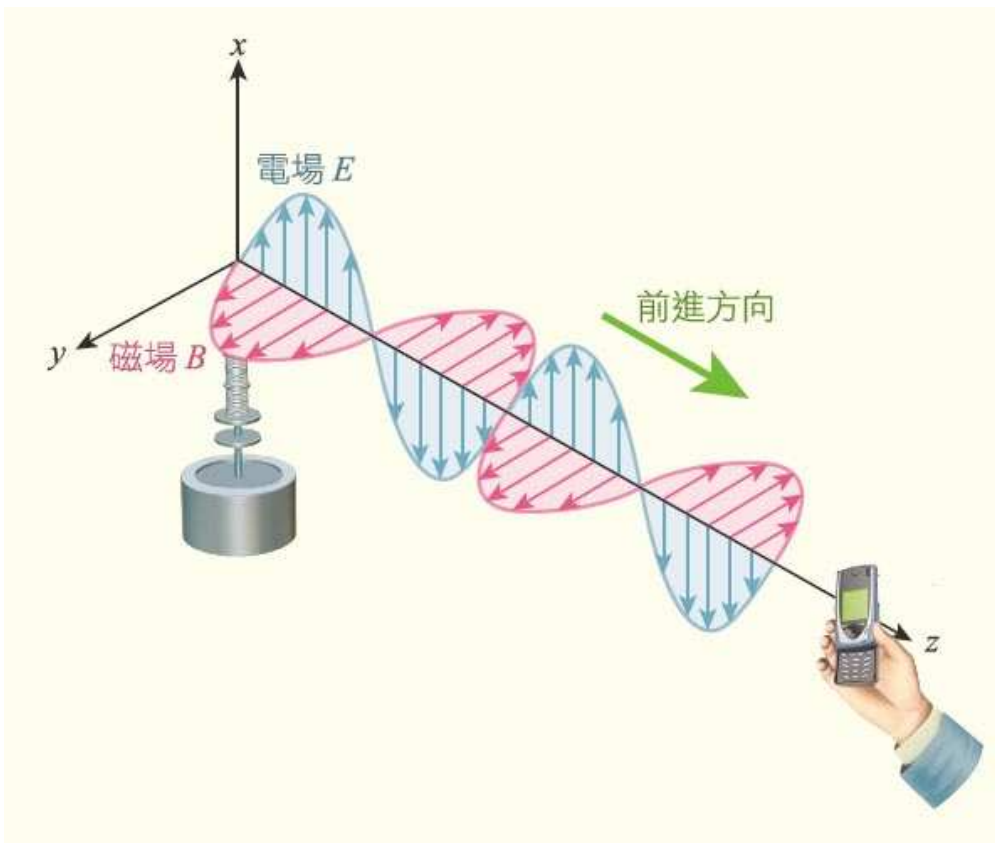


是非題

() 光波與聲波都是橫波。

2. 電磁波的產生與特性

電磁波是一種橫波，電場和磁場在垂直於電磁波前進方向的平面上起伏變化、交互感應，兩者也互相垂直（圖 6-27）。電磁波無須任何介質就可傳播，也就是說電磁波可在真空中傳播。馬克士威方程式告訴我們，電荷在靜止時或在等速運動時不會輻射電磁波，但在加速時可產生電磁波。所以電荷在振動時會發光，振動愈快，頻率愈高，發出光波的波長就愈短。



▲圖 6-27 電磁波中振盪的電場與磁場相互垂直。

Key Point

電磁波為橫波，其電場、磁場垂直於波速方向。

電荷振動會產生電磁波。

赫茲

赫茲為德國物理學家，36 歲就不幸因病早逝，可是在短暫的科學生涯裡卻有許多傑出的貢獻。他是第一個在實驗室中製造並偵測出無線電波的科學家。除了測定出電磁波的速度等於光速這個重要結果之外，他還研究了電磁波的其他性質，例如：反射、折射、干涉及偏振等等。因為這些成果，馬克士威電磁理論被認為正確無疑。他也是第一個發現光電效應的科學家。赫茲所著的《力學原理》一書是公認科學哲學的經典。



3. 電磁波譜與應用

電磁波有各種波長，我們用圖 6-28 呈現不同波長（頻率）範圍之名稱與用途，此稱為電磁波譜。以下將依其波長範圍，介紹常見的電磁波名稱與特性。

(1)波長約在 30 公分～數百公里範圍內的電磁波稱為**無線電波**(radio wave)，對應的頻率範圍是約從數千赫到 1 吉赫(GHz)。無線電波可用在廣播與通訊，依應用頻率不同可區分為中波、短波、特高頻(VHF)、超高頻(UHF)等。

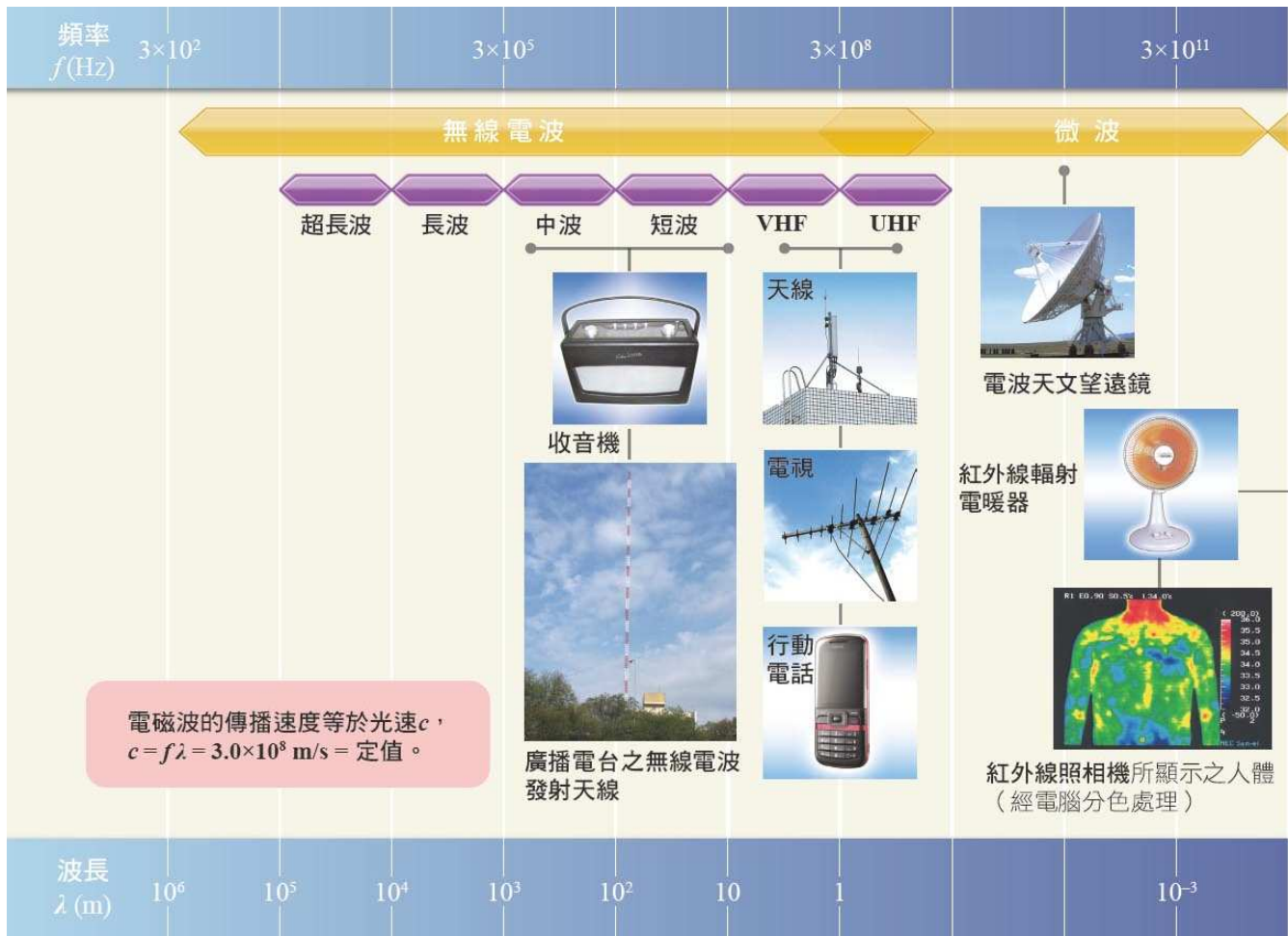
(2)波長約在 1 毫米～1 公尺範圍內的電磁波稱為**微波**(microwave)，例如：家用微波爐所用電磁波之波長為 122 毫米（對應的頻率為 2.45 吉赫），即落在此範圍。另外行動電話與電腦的無線網路也是利用微波波段。

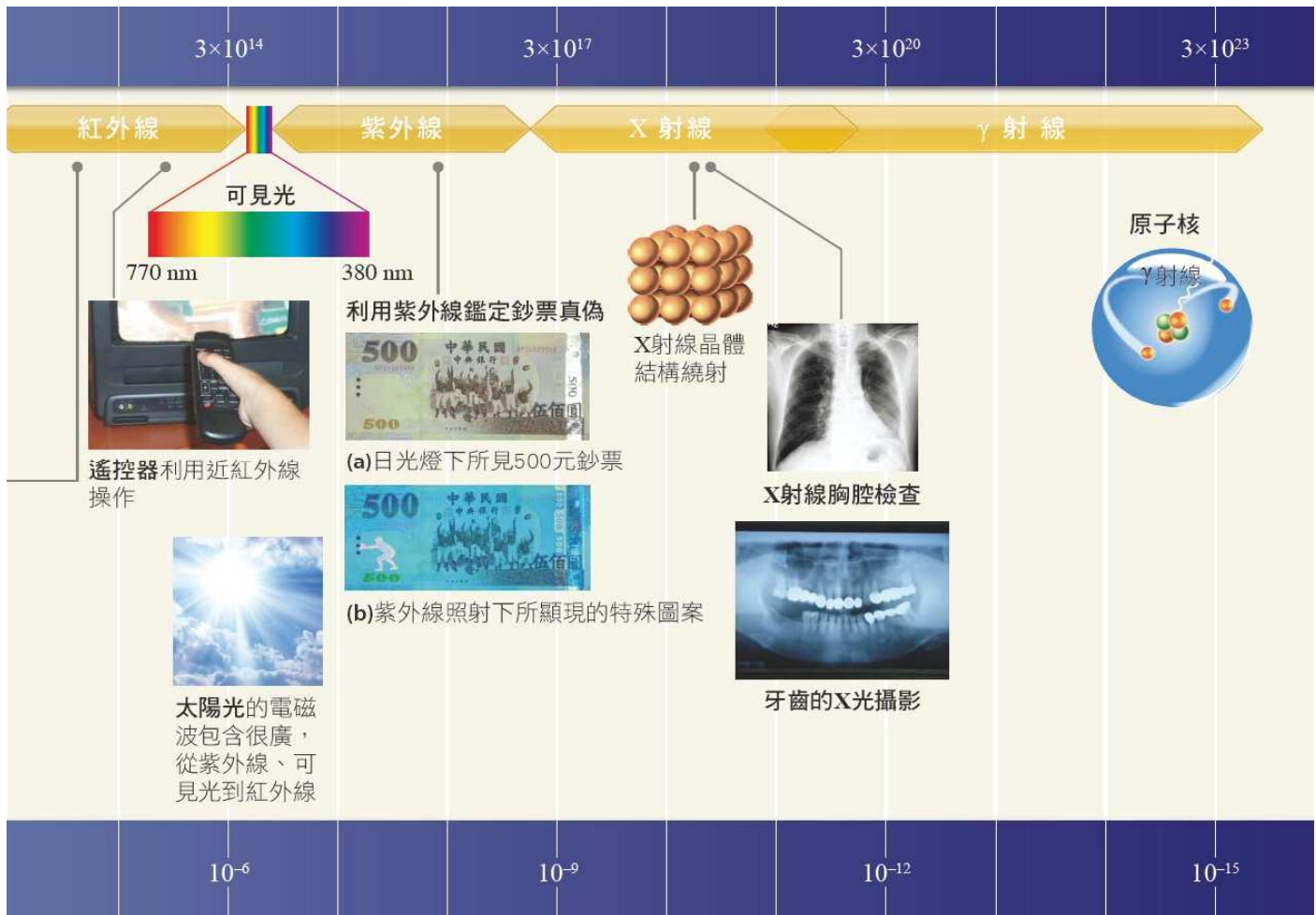


是非題

() 波長最長的電磁波是無線電波。

▼圖 6-28 電磁波譜與應用。





稱為**紅外線**(infrared light)，依波長由短而長可粗分成近、中、遠紅外線。遙控器就是利用近紅外線去控制開關。我們的皮膚會感覺到遠紅外線的熱能，所以能感受到陽光、營火或電熱器的溫暖。雲層會吸收陽光中的紅外線，所以在雲層的陰影下我們會覺得比較涼快。其實有溫度的物體都會輻射出不同的電磁波段，例如：有些生物會輻射出紅外線，所以紅外線攝影（圖 6-29）可以偵察出這類生物。

Key Point

紅外線會造成熱感。



◀圖 6-29 紅外線攝影。

(4)波長約在 380 奈米~770 奈米範圍內的電磁波稱為**可見光**(visible light)，依波長由長而短可分成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種顏色的光波，這正是陽光透過三稜鏡分解所呈現的七種顏色光。表 6-2 顯示各種可見光之波長範圍。

▼表 6-2 各種可見光的波長範圍

光譜色	紫	靛	藍	綠	黃	橙	紅
波長 (奈米)	380 ~ 420	420 ~ 440	440 ~ 480	480 ~ 560	560 ~ 590	590 ~ 630	630 ~ 770

(5)波長約從 3 奈米~380 奈米的電磁波稱為**紫外線**(ultraviolet)。陽光中的紫外線大部分會被大氣中的臭氧層所吸收，但到達地面的紫

外線會曬傷我們的皮膚，所以氣象局每天都會發布紫外線指標供民眾參考。紫外線可以用來消毒殺菌，也可用在鈔票防偽鑑定上。

(6)波長約從 0.003 奈米~3 奈米的波段就是 **X 射線**(X-ray)。X 射線有很強的穿透性，可以用來顯現我們身體內的器官等，這是因為我們身體的組織對 X 射線各有不同的吸收率。X 射線繞射也可以用來研究晶體的結構。

Key Point



是非題

紫外線可以殺菌。

(7)波長約短於 0.003 奈米的電磁波稱為 **γ 射線**(γ -ray)，通常是由原子核衰變或核子反應所產生的。 γ 射線的能量足以殺死活細胞，所以可用於放射性醫療。

()波長最短的電磁波是 γ 射線。

例題 6-6

真空中電磁波波速為 3.0×10^8 公尺 / 秒，若可見光的波長介於 380 奈米至 770 奈米範圍之間，則下列哪些是不可見光？（多選） (A) 波長 10000 埃（1 埃 = 1.0×10^{-10} 公尺） (B) 頻率 6.0×10^{14} 赫 (C) 頻率 1.0×10^{16} 赫 (D) 頻率 1.0×10^{12} 赫 (E) 頻率 1.0×10^9 赫。

分 析

光為電磁波，光速(c) = 波長(λ) \times 頻率(f)

解

$$10000 \text{ \AA} = 10000 \times 1.0 \times 10^{-10} \text{ m} = 1000 \times 10^{-9} \text{ m} = 1000 \text{ nm}$$

可見光的最大頻率與最小頻率分別為

$$f_{\max} = \frac{3.0 \times 10^8}{380 \times 10^{-9}} = 7.9 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$f_{\min} = \frac{3.0 \times 10^8}{770 \times 10^{-9}} = 3.9 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

⇒ 選(A)(C)(D)(E)

光的三原色

科學家發現人眼的視網膜有三種角錐細胞可以感受顏色，只要將紅、綠、藍三種可見光，作適當的混合就可生成所有人眼能感受的顏色，所以紅、綠、藍(RGB)就稱為光的三原色。現在彩色數位顯示器就用所謂的 RGB 方案將每一原色進一步細分成 256 色階，而形成色彩更豐富的全彩顯示。



▲光的三原色。

● 實驗目的

由楊氏雙狹縫干涉，了解光的波動性。

● 實驗器材



● 實驗步驟

1 將雷射筆固定如圖。



2 將雷射筆擺在黑色屏幕前方。



3 開啟雷射後，調整雷射位置使光點投射至屏幕中央。



4 將雙狹縫夾在固定座後，再置於雷射光束的出口處。



5 仔細調整雙狹縫片位置，使光束能通過任一雙狹縫，且在屏幕上形成明確的明暗條紋。



● 討 論

1. 黑色屏幕上出現的圖樣，能以光的微粒模型解釋嗎？
2. 黑色屏幕上出現的圖樣，為何需以波動的觀念來解釋？

第一節

波的性質

1. 波可分為需要介質傳播的力學波與不需介質傳播的電磁波兩類。
2. 波的振動的方向與波行進方向平行者稱為縱波；垂直者稱為橫波。
3. 在均勻的介質中，波速是一固定值，其大小與介質的性質有關，與頻率無關。
4. 波速、波長和頻率的關係式為 $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 。
5. 波的反射遵循反射規律。入射角等於反射角。
6. 波從某介質穿透進另一介質發生折射時，波速如果變小，則波的行進方向會偏向法線；若波速變大，則行進方向會偏離法線。
7. 兩個或以上的波在空間相遇，振幅會互相疊加。
8. 波穿過一個缺口後會繞開來，這個現象叫做繞射。缺口愈小，繞射現象愈明顯。

到的聲音頻率會有所改變，稱為都卜勒效應。

第二節

光與電磁波

1. 光發生反射時也遵守波的反射規律：反射角等於入射角。
2. 光反射時，如果反射面極平整，反射的影像就很清晰，稱為鏡面反射。
3. 凹面鏡會使平行光聚集，而凸面鏡會使平行光發散。
4. 光發生折射時也遵守波的折射規律，光從波速快的介質（例如：空氣）折射進入波速慢的介質（例如：水裡）時，折射角要比入射角小，折射線偏向法線。
5. 不同顏色的光在介質中速度有差異，即其有不同的折射角。因此，光經過三稜鏡後不同顏色的光將會分散開來，這種現象稱為色散。
6. 透鏡可分成會聚透鏡和發散透鏡兩種。在空

- 光在凹邊反射會聚光，而凸邊反射會散光。
7. 楊氏發現光的干涉現象。亮紋為兩光波建設性疊加的結果，暗紋為破壞性疊加之結果。肥皂泡與地面上的油漬呈彩色，即是光的干涉現象。
 8. 光在通過單狹縫後會繞開來向其他方向傳播，在屏幕上會呈現亮暗相間的繞射條紋，而且位於中央的亮紋寬度會大於狹縫寬度。
 9. 電磁波是一種橫波，電場和磁場垂直於電磁波前進方向。電磁波無須任何介質就可傳播。電荷在加速時可產生電磁波，振動愈快，頻率愈高，發出電磁波的波長就愈短。

一、基本題

第一節

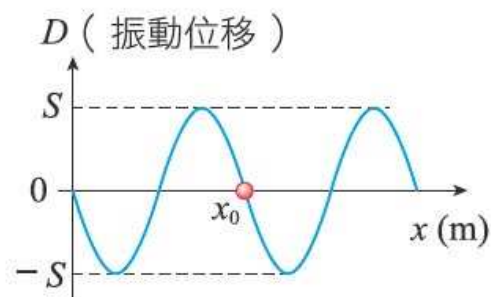
波的性質

1. 請問：(A)繩波 (B)空氣中聲波 (C)彈簧前後振動 (D)彈簧左右擺動 (E)水波 (F)光波 (G)電磁波 (H)地震波。

 - (1) 哪些波動屬於橫波？_____。
 - (2) 哪些波動屬於縱波？_____。
 - (3) 哪些是兩者兼具？_____。
2. 地震後一大樓倒塌，有人被困在深而密閉的地下室，你認為他用何種方式傳達訊息給地面上的搜救人員最好？（假設他可以做下述的操作）(A)大聲喊叫 (B)用手電筒照射四周 (C)用鐵鎚或石塊敲擊建物 (D)撥打手機求救 (E)哭泣。
3. 週期為 T 的聲波在 x 軸上傳播，某一時刻時， x 軸上各處分子的振動位移 D ，如圖所示。則當圖中 x_0 處的振動位移變成 $-S$ ，所需經過的最短時間為何？考慮下面兩種情

(1)若聲波向 $+x$ 軸方向傳播。

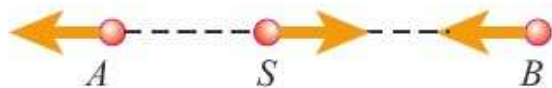
(2)若聲波向 $-x$ 軸方向傳播。



4. 張生在自家大樓屋頂陽臺拍手，經 1.2 秒後聽到鄰近大廈的回音，已知當時聲速為 350 公尺 / 秒，由此可算出他家與鄰近大廈的距離為何？
5. 你在房間裡可以聽見家人在客廳談話的聲音，這是聲波的什麼作用？（多選） (A) 反射 (B) 折射 (C) 干涉 (D) 繞射 (E) 直進。
6. 岸上教練對潛入水中的學生大聲下達指令，在聲波由空氣傳入水中的過程中，下列有關聲波性質的敘述，何者正確？ (A) 聲波的強度在水中較空氣中強 (B) 聲波的頻率在水中與空氣中相同 (C) 聲波的速率在水中較空氣中小 (D) 聲波的波長在水中與

空氣中相同。〔101年學測〕

7. 唐朝王維的詩中寫道：「空山不見人，但聞人語響」。在山林中看不見人，卻可以聽到樹林間人的對話聲，其原因為下列何者？
(A)聲波的速率比光波大，故未見人而先聞聲
(B)聲波的能量強度比光波大，故可穿透過樹林傳出
(C)聲波的波長與林木間距的尺度較接近，故容易發生繞射而傳出
(D)聲波的頻率比光波大，故有較大的機率傳到觀察者
(E)聲波的波長比光波短，故較容易穿透過樹林傳出。〔102年學測〕
8. 如圖所示， S 為一向右運動發出頻率 f 的聲源， A 、 B 為兩個聽者（箭頭表示他們的運動方向），則他們聽到聲音的頻率 f_A 、 f_B 與 f 三者的大小關係為何？



第二節

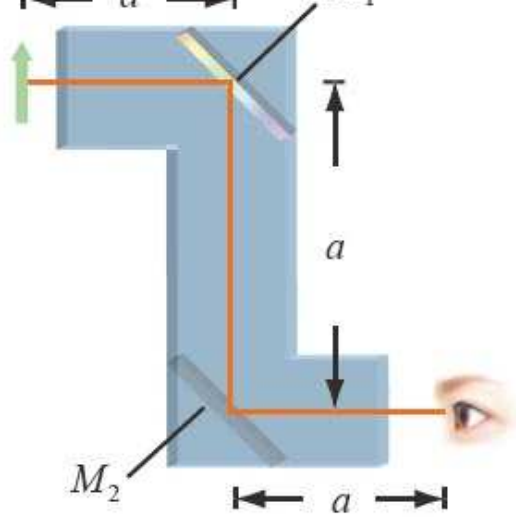
光與電磁波

提出的？（各選一項） (A)惠更斯 (B)普朗克 (C)愛因斯坦 (D)馬克士威 (E)生頓 (F)楊氏 (G)赫茲 (H)菲涅耳。

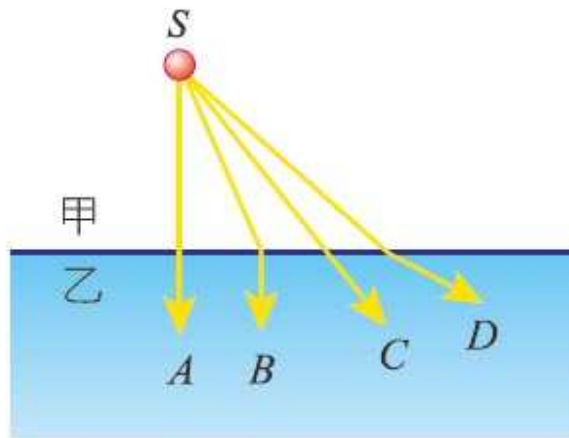
- (1)提出光的波動說_____。
- (2)確立光有干涉現象_____。
- (3)建立光的電磁波理論_____。
- (4)實驗證實電磁波的存在_____。
- (5)提出光的繞射理論_____。

10.如圖為潛望鏡的示意圖， M_1 和 M_2 為兩平面鏡。有一箭形物體箭頭直立向上與 M_1 的距離為 a ，眼睛和 M_2 的距離也是 a ，而 M_1 和 M_2 的距離為 b ，則

- (1)物體經二平面鏡反射成像的性質為何？
- (2)眼睛與所看到的像與它的距離為何？



11. 如圖，甲、乙為兩種不同的介質。圖中 A 、 B 、 C 、 D 代表由光源 S 射出的 4 條光線，在介質交界面上的折射或反射的情形，則這 4 條光線中，不可能存在的光線為何？

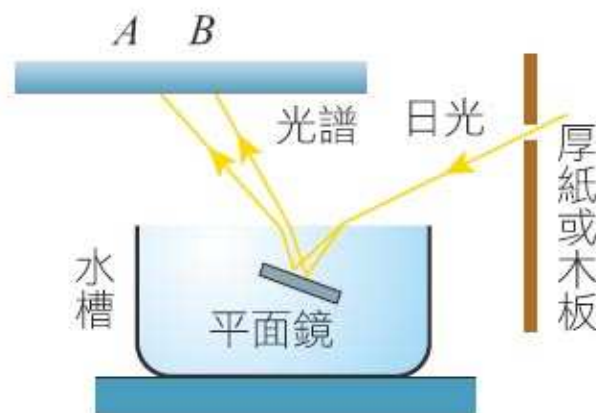


12. 下列有四個現象：

- (1) 汽車後視鏡中的景物看起來比實際小
- (2) 照相機的鏡頭為凸透鏡，可以在感光屏上成像
- (3) 清澈溪水中的景物看起來比實際位置淺

(1) 楊氏雙縫實驗所帶上出現干涉條紋
解釋上述現象所用的光學原理為何？

13. 在裝水的盆子裡，斜放一片平面鏡，並使日光由小縫通過後，能投射在水中的平面鏡上，如圖所示。已知日光是由不同的可見光組成，而不同可見光在水中的光速也不同。今來自平面鏡的反射光，經折射而進入空氣時，會分布於天花板上的 A 、 B 之間，則 A 、 B 處的可見光，何者在水中的光速較快？



14. 漁夫在溪邊捕魚：

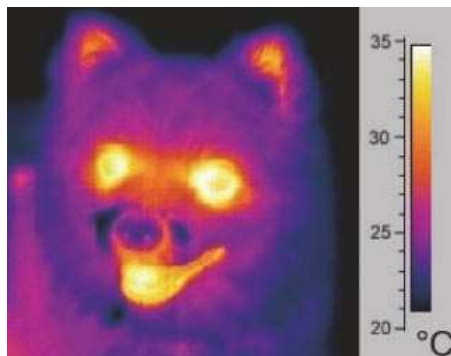
- (1) 用魚叉叉魚時，想要刺中魚，必須瞄準所看到魚的何處？ (A) 身體 (B) 上方 (C) 下方。
- (2) 假如改用雷射槍射魚，則必須瞄準所看到魚的何處？ (A) 身體 (B) 上方 (C) 下方。

(1)若這是由熱感應照相機所拍攝，請問這台照相機是利用什麼電磁波所拍攝的？

- (A) 紫外線 (B) 可見光 (C) 紅外線
(D) X 射線 (E) 無線電波。

(2)這隻狗所輻射的主要電磁波波長為何？

- (A) 10^{-19} (B) 10^{-13} (C) 10^{-9} (D) 10^{-7}
(E) 10^{-5} 公尺。



二、進階題

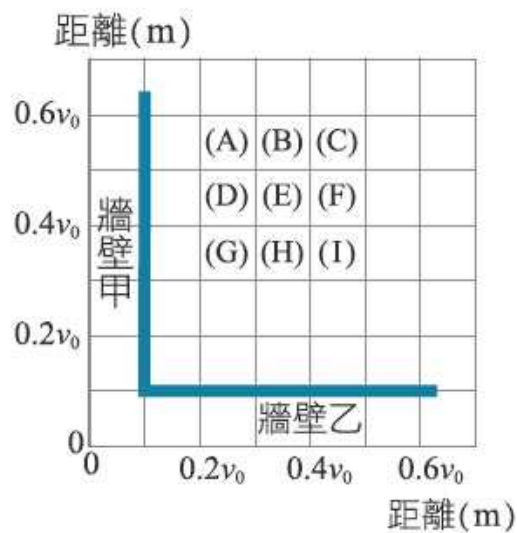
第一節

波的性質

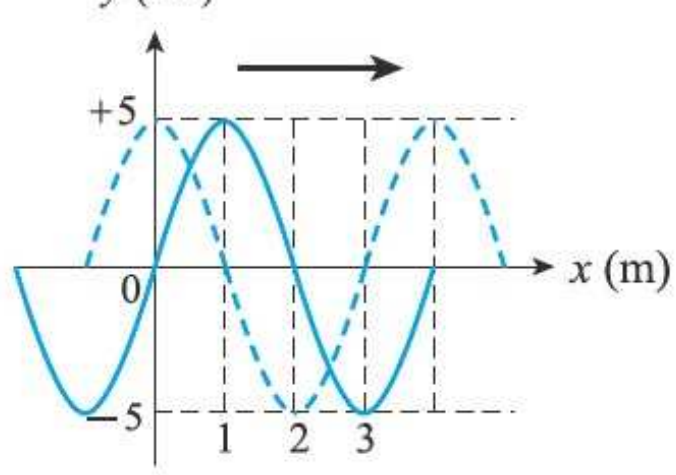
16. 李老師站在學校操場為百公尺賽跑鳴槍。他於槍響後 0.3 秒聽到槍聲經牆壁甲反射的回聲，再經 0.4 秒聽到經牆壁乙反射的回聲。

若聲音的速度為 v_0 公尺 / 秒，則

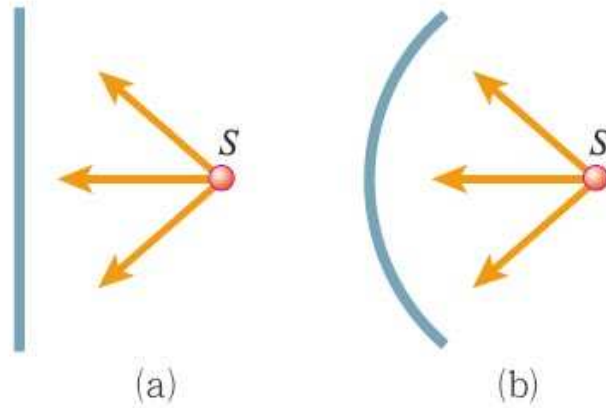
(1) 李老師與哪一座牆的距離較近？



17. 甲、乙二人約好要測量鐵軌的傳聲速度，二人選了一段筆直鐵軌，甲在一頭敲擊鐵軌，乙在 350 公尺的另一頭貼耳於鐵軌上，聽到二次擊軌聲，前後相差 0.93 秒，已知當時空氣中聲速為 350 公尺 / 秒，由此可計算出鐵軌的傳聲速度為何？
18. 繩上有一向右行進的橫波，在某一時刻該橫波的波形為圖中的「實線」，再經 1 秒後的波形如圖中的「虛線」。已知該橫波的週期介於 $\frac{2}{5}$ 秒 \sim $\frac{2}{3}$ 秒間，則
- (1) 波的振幅為何？
 - (2) 波長為何？
 - (3) 波的頻率為何？
 - (4) 此波的速率為何？

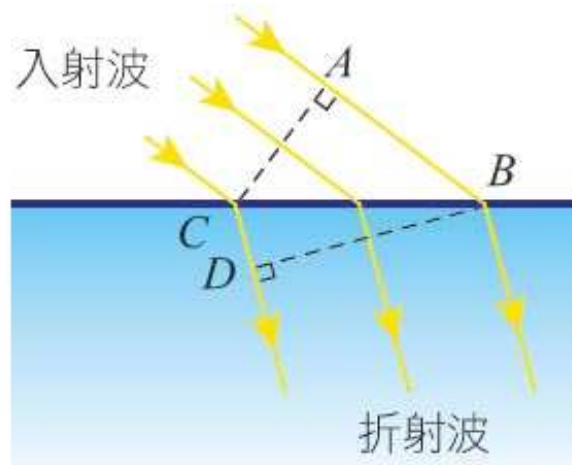


波源 S 前方的障礙物為平面，而圖(b)中的障礙物為拋物面，且波源 S 位於其焦點處。試畫反射波的前進方向。

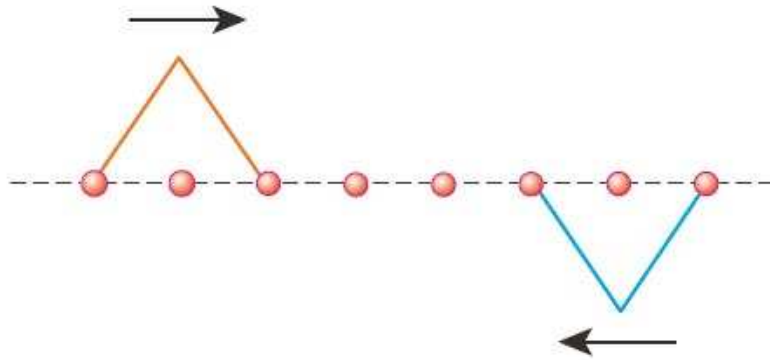


20. 如圖為直線波折射的示意圖：上方入射波波長為 λ_1 ($=\overline{AB}$)，波速為 v_1 ，下方折射波的波長為 λ_2 ($=\overline{CD}$)，而波速為 v_2 。已知圖中入射波由 A 至 B 的時間，與折射波由 C 至 D

的時間相同，則 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 與 $\frac{v_1}{v_2}$ 的關係為何？



21. 兩個形狀相同的三角形波動，以波速 20 公分 / 秒相向行進，圖中直線上相鄰兩點的距離為 20 公分，問經過幾秒後兩波動會發生完全破壞性干涉？



22. 蝙蝠能藉由自身發射超聲波的反射來判定獵物的方位和距離。若一隻飛行中的蝙蝠在發出頻率 f_0 的超聲波後 0.20 秒，聽到由一隻停在前方樹葉上的昆蟲反射回來的聲波，其頻率為 f_1 。假設昆蟲也能感覺到蝙蝠發射的超聲波，其頻率為 f_2 ，則 f_0 、 f_1 、 f_2 三者的大小關係為何？

第二節

光與電磁波

23. 人眼成像的重要構造之一為晶狀體，是一凸透鏡，能將外界景物之光線會聚於視網膜上成像。游泳時戴上泳鏡，在水中可看清楚景

物，若配戴泳鏡，即使是視力正常的人在水中所看到的景物也模糊不清。不戴泳鏡時，下列哪些為無法看清楚水中景物的主要原因？（多選）

(A) 在水中瞳孔會縮小，使進入眼睛的光線不足

(B) 在水中時，不戴泳鏡會比較緊張，無法集中精神

(C) 水分子會碰撞射向眼睛的光，使進入眼睛的光線不足

(D) 與光在空氣中傳播的情形相比，光在水中的傳播速率更接近光在眼睛內的傳播速率

(E) 光在水中射入眼睛比在空氣中射入眼睛的折射程度小。

24. 據報導，有戶人家為了消災祈福，特地買了個透明水晶球擺在客廳的窗臺上，但萬萬沒有料到，幾天後，家裡居然在大白天裡發生火災。消防人員事後勘驗火場，指出起火點為客廳地毯，而水晶球為元兇。試以光學原理說明其中道理。

25. 請問下列有關電磁波的影響或應用，哪些是正確的？（多選）

(A) γ 射線可用於放射性醫療

(B) X 射線可用於研究晶體結構

(C)

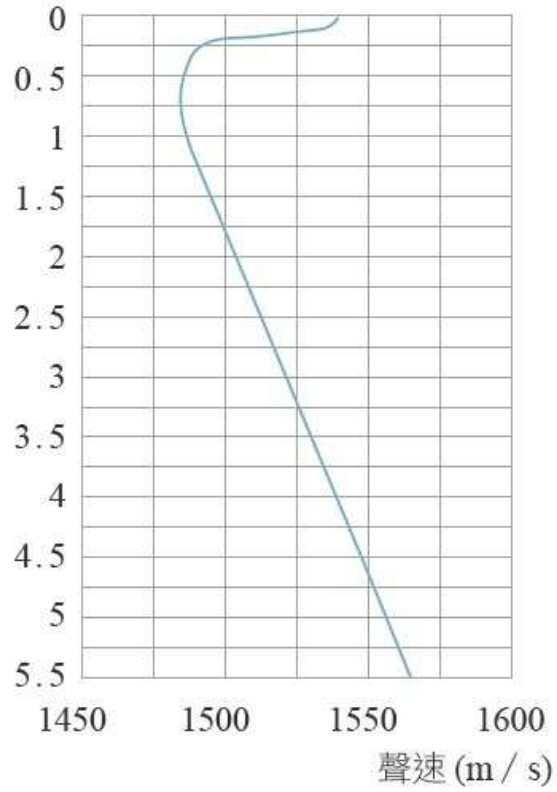
紅外線會曬傷我們的皮膚 (E) 紫外線常用於電視機遙控器 (E) 微波常用於行動電話。

三、閱讀題

26. 波由波速較慢的介質，入射到波速較快的介質中時，一般都會因折射而偏向，使得折射角大於入射角；當入射角超過一臨界角時，甚至會產生「全反射」，使光線全部反射回到波速較慢的介質中。以海水中的聲波為例，聲速會隨海水深度而變，因此聲音在特定的海水深度範圍內，可藉由折射而不停的改變方向，沿著水平方向前進，形成波導，使海中的聲音可以傳得很遠，此波導稱為「深海聲波道」。在空氣中，聲速只與空氣溫度有關，當溫度愈高時，聲速愈快。但在海水中，聲速主要由溫度與壓力決定，溫度愈高或壓力愈大，聲速就愈快。在深度超過一公里的深海區，海水溫度幾乎不隨深度而

變。試聲速與水深之關係圖。海中最大的哺乳動物鯨豚，也懂得利用上述通道來傳遞訊息，使得這個聲波通道充滿了各式各樣鯨豚所發出的聲音。但近年來由於人類的活動，如水下爆炸的噪音汙染，已經嚴重影響鯨豚之間的溝通。〔98年學測改寫〕

- (1) 深海聲波道中的聲速與其上、下層海水的聲速比較，何者較慢？
- (2) 根據水深與聲速的圖形，深海聲波道中心軸的深度約為多少？
- (3) 海洋生物學家研究鯨豚間的語言時，應將收音裝置放置海中多深處？



1. (1)(A)(D)(F)(G) ; (2)(B)(C) ; (3)(E)(H) 。
2. (C) 。
3. (1) $\frac{3}{4}T$; (2) $\frac{1}{4}T$ 。
4. 210 公尺 。
5. (A)(D) 。
6. (B) 。
7. (C) 。
8. $f_A < f$, $f_B > f$ 。
9. (1)(A) ; (2)(F) ; (3)(D) ; (4)(G) ; (5)(H) 。
10. (1) \uparrow 等大直立虛像 ; (2) $2a + b$ 。
11. B 、 C 。
12. (1)反射 ; (2)折射 ; (3)折射 ; (4)干涉 。
13. A 處 。
14. (1)(C) ; (2)(A) 。
15. (1)(C) ; (2)(E) 。
16. (1)甲牆 ; (2)(D) 。
17. 5000 公尺 / 秒 。
18. (1)5 公分 ; (2)4 公尺 ; (3) $\frac{7}{4}$ 赫 ;
(4)7 公尺 / 秒 。
19. 略 。
20. $\frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 。
21. 2.5 秒 。
22. $f_1 > f_2 > f_0$ 。
23. (D)(E) 。
24. 略 。
25. (A)(B)(E) 。
26. (1)深海聲波道 ; (2)750 公尺 ;
(3)750 公尺深 。