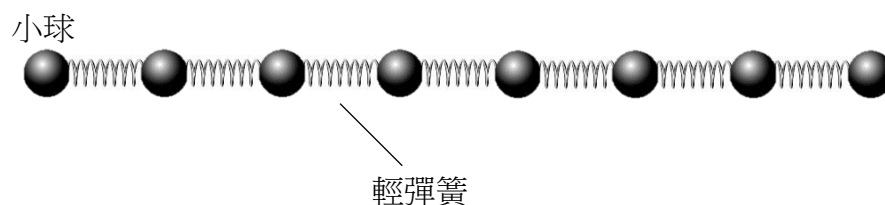


1. 一條線上的波動

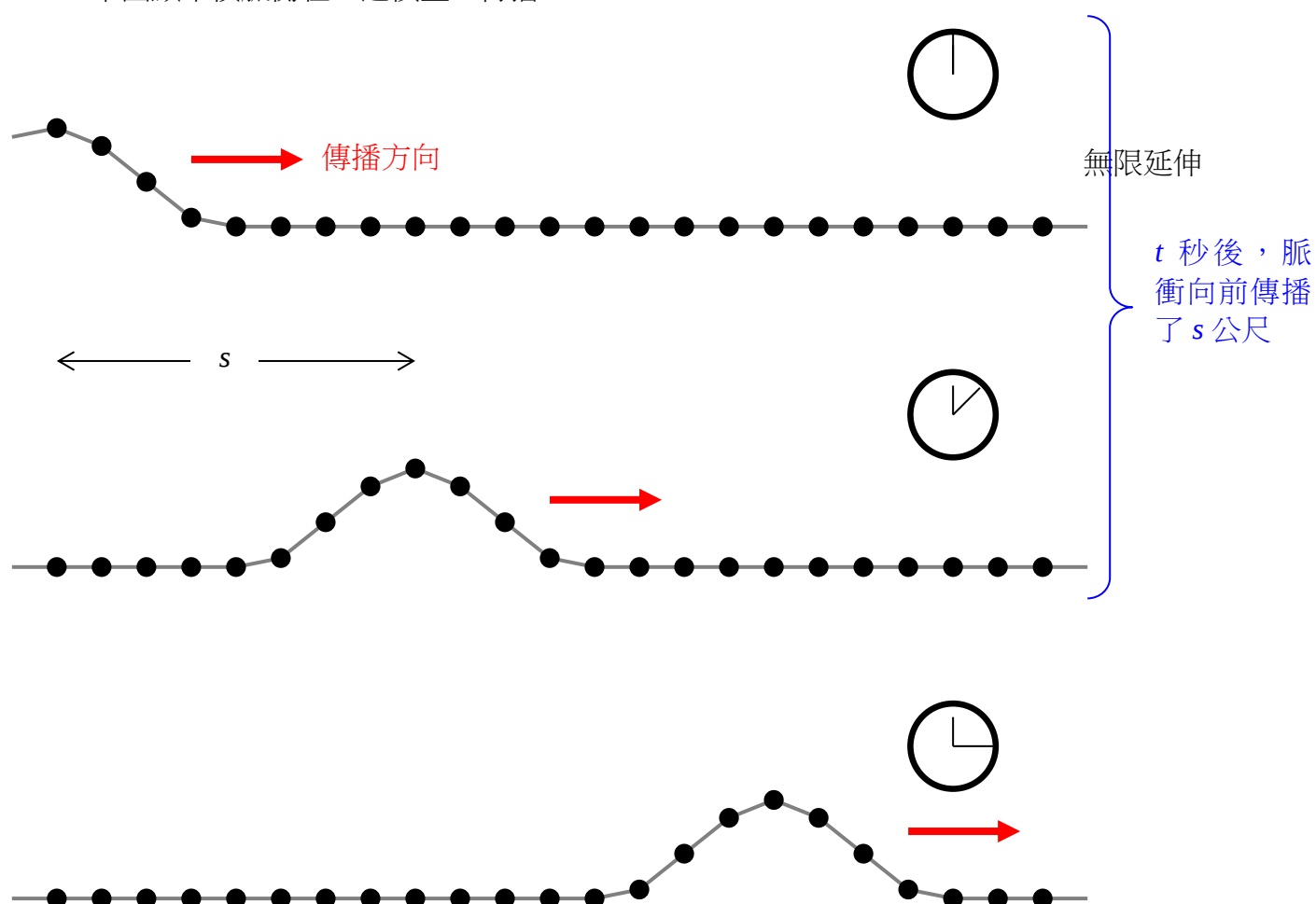
• 機械模型

假設沒有重力，下圖顯示一串被輕彈簧連接的相同小球，小球均在它們本身的平衡位置上。整串彈簧連同小球稱為介質，而小球稱為介質的質點。



• 橫脈衝

下圖顯示橫脈衝在上述模型上傳播。



$$v = \frac{s}{t}$$

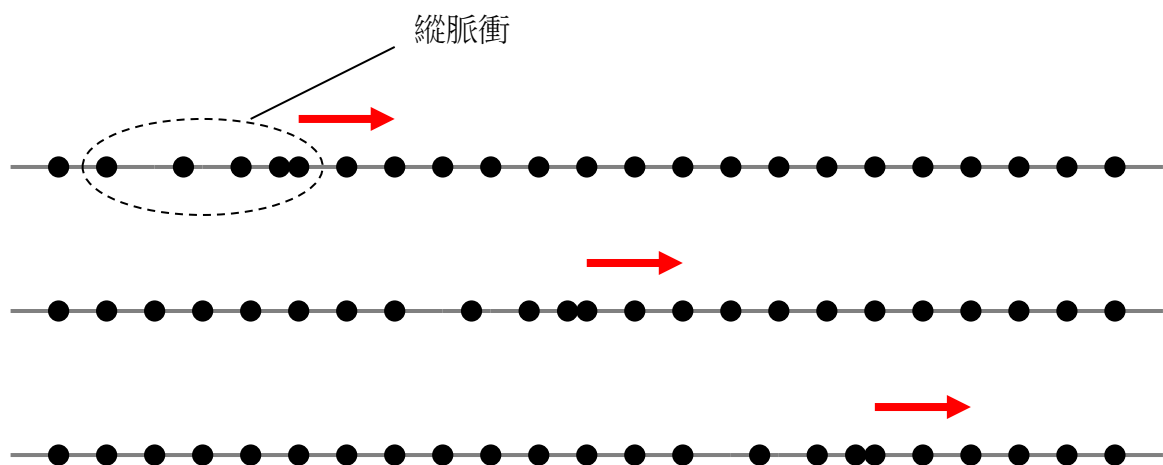
v 脈衝傳播的速率 [m s^{-1}]

s 脈衝移動的距離 [m]

t 時間 [s]

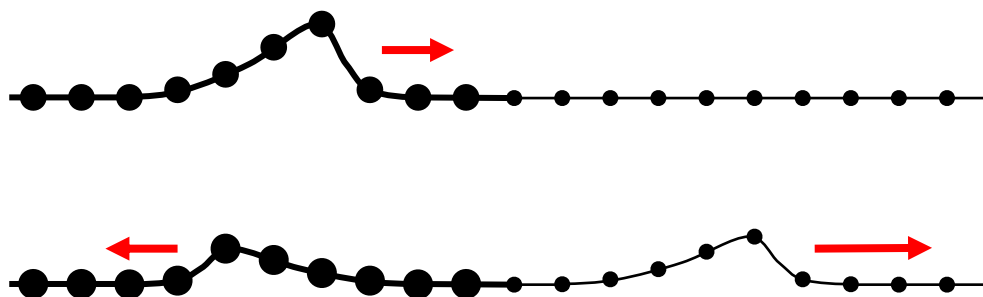
傳播速率只取決於傳播的介質。能量會依隨脈衝傳播。

- 縱脈衝

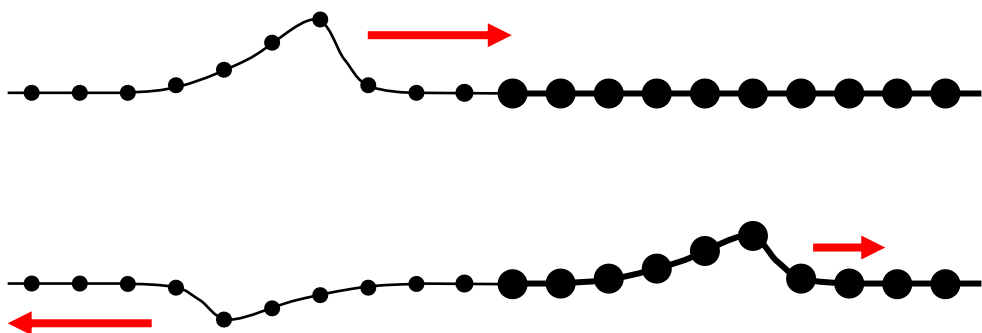


- 脈衝反射及折射

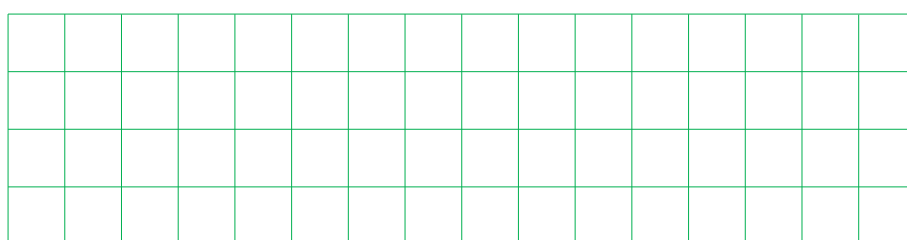
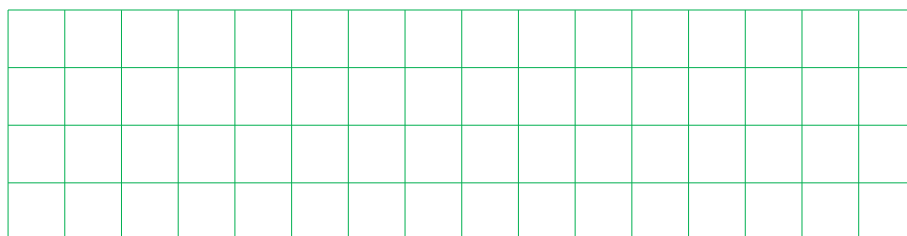
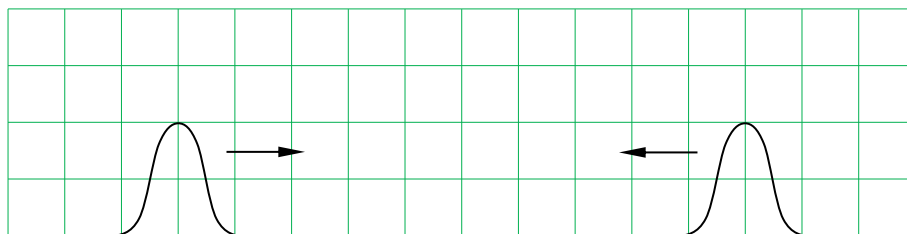
由較「密」介質去較「疏」介質：



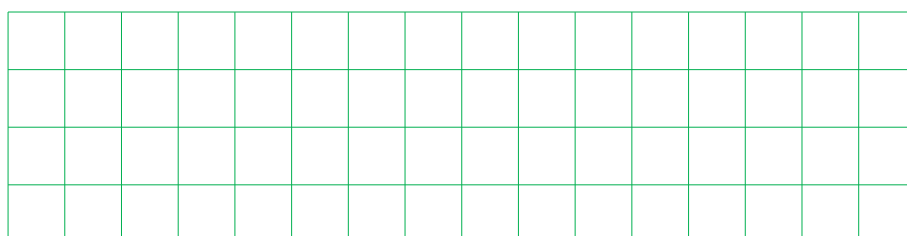
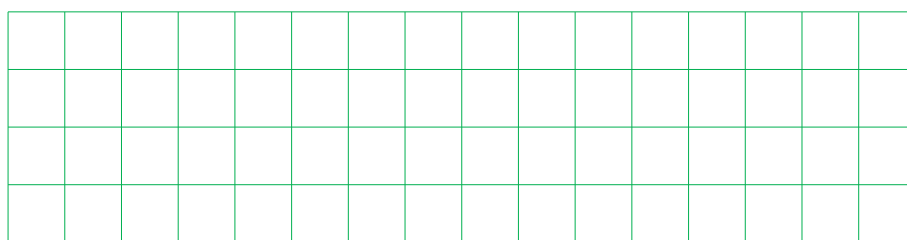
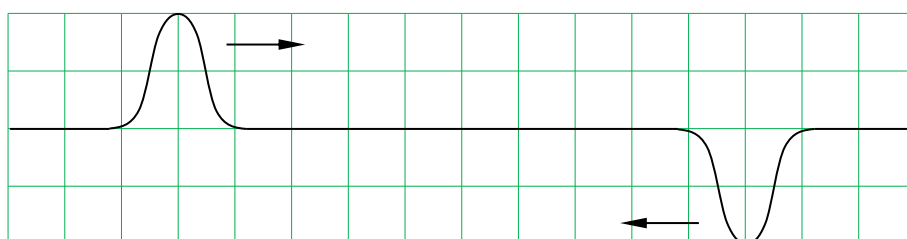
由較「疏」介質去較「密」介質：



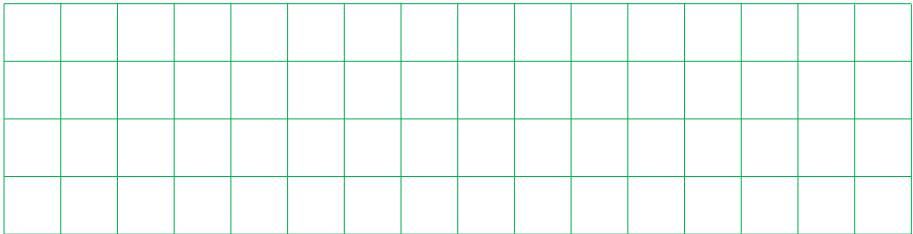
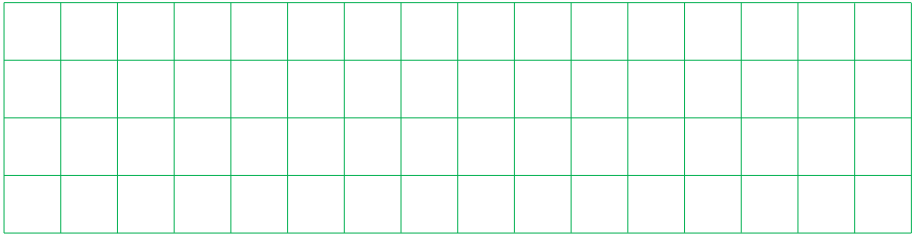
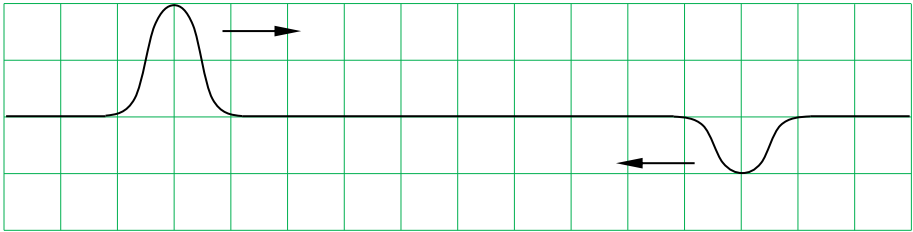
- 脈衝的疊加
例一：



例二：

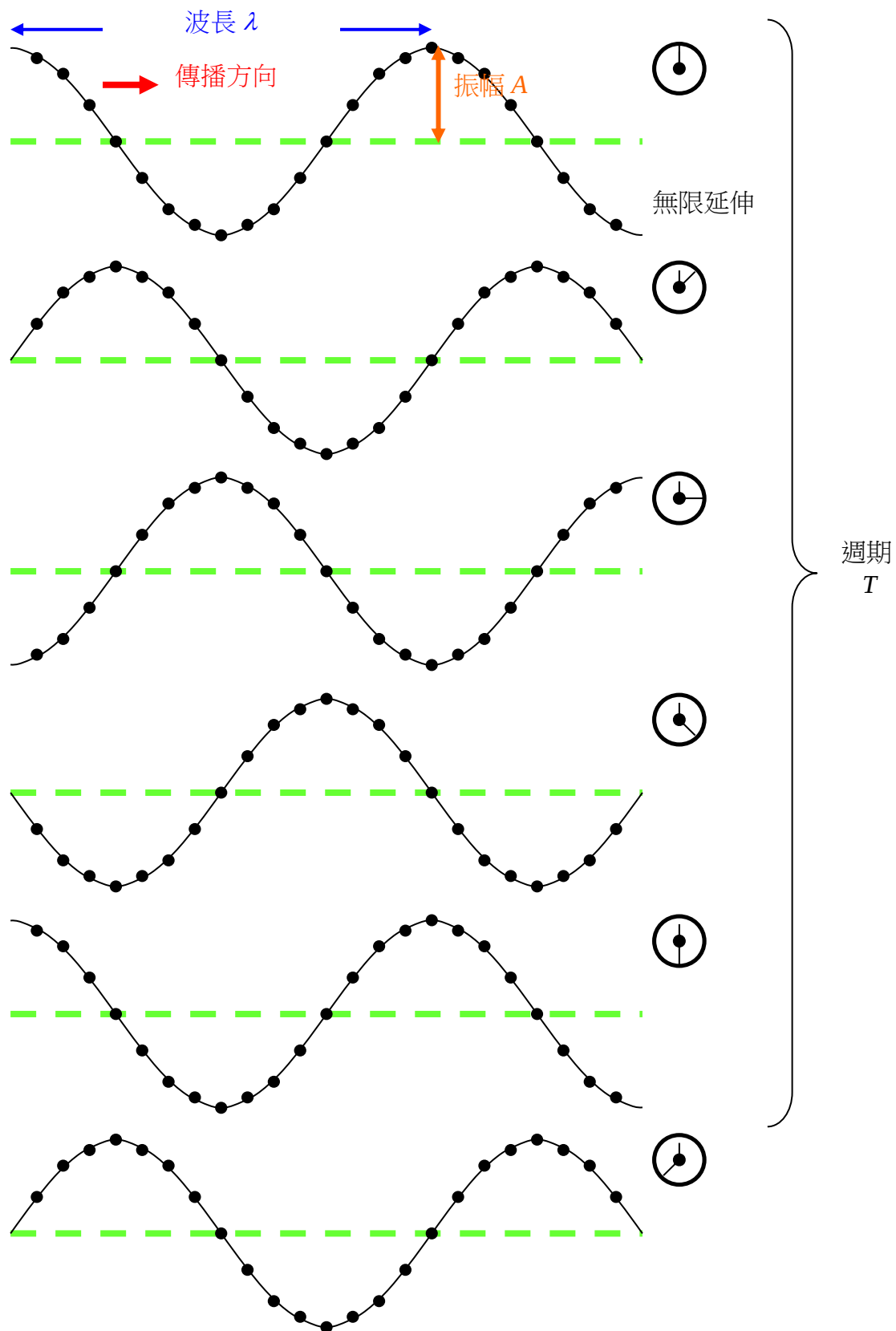


例三：



橫波

把上述模型的左端不停上下搖動，便形成橫波。



波長 λ 是指一個「基本段」的長度，例如一個波峰至下一個波峰的距離便是一個「基本段」的長度。

週期 T 可以有以下意義相同的理解方法：

- (1) 週期是波向前傳播一個波長所須的時間。
- (2) 週期是模型回復現在的形狀所須的最短時間。
- (3) 週期是波源上下振動一週所須的時間。
- (4) 週期是任何一個質點上下振動一週所須的時間。

頻率 f 可以有以下意義相同的理解方法：

- (1) 波源每秒振動的週數。
- (2) 任何一個質點每秒振動的週數。
- (3) 波在一秒內傳播了多少個波長。

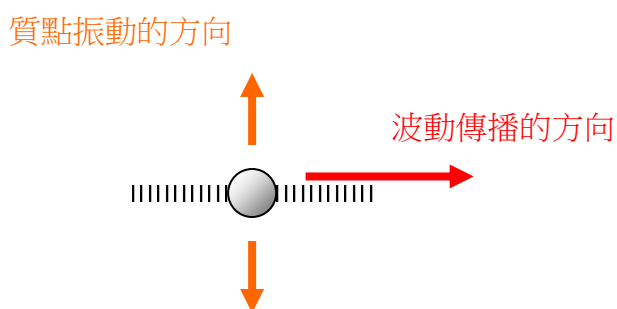
振幅 A 是指質點振動時與它們本身的平衡位置的最大距離。

波長、週期、頻率及波速率有以下關係

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

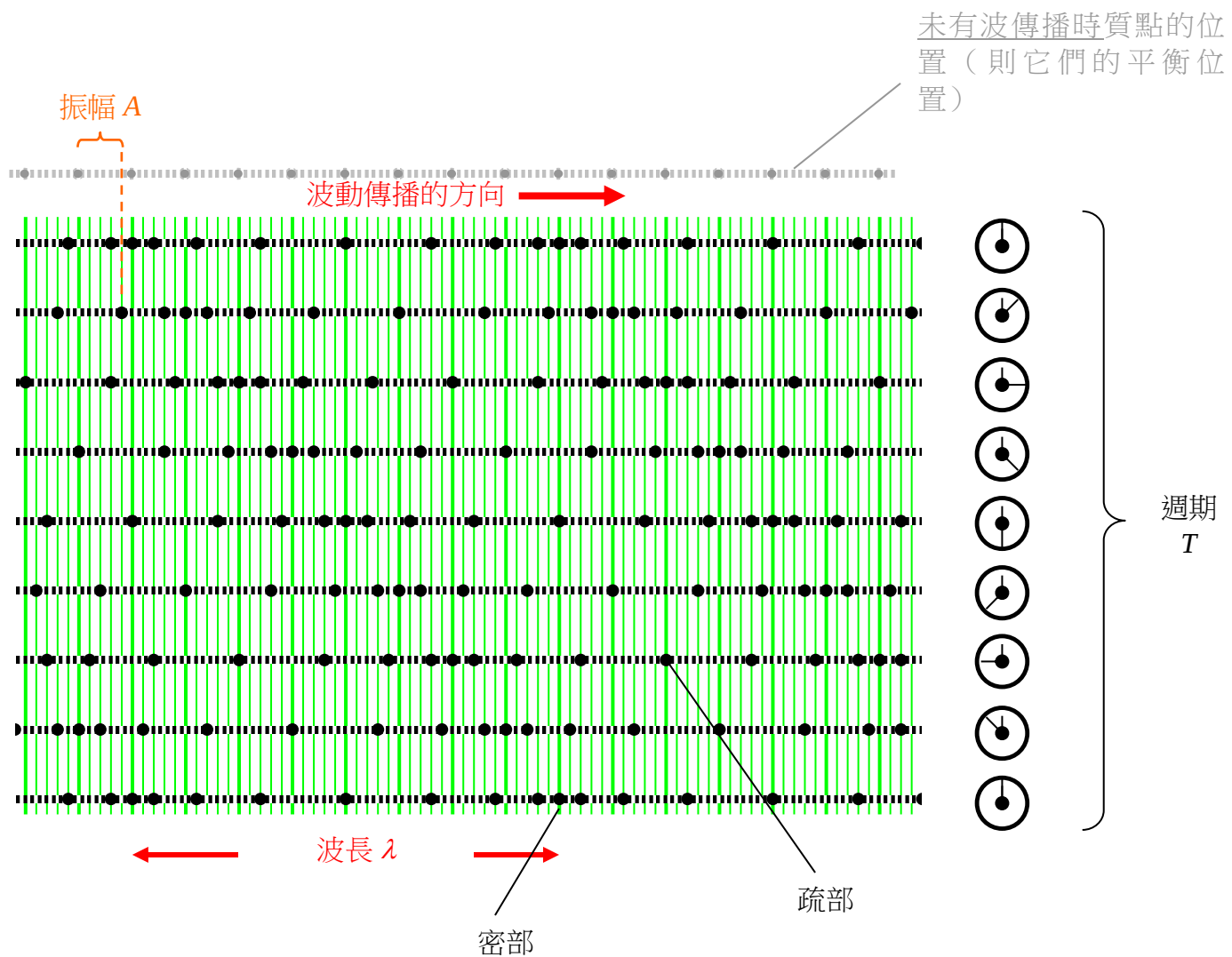
f	頻率 [Hz]
T	週期 [s]
v	波速率 [ms^{-1}]
λ	波長 [m]

雖然波會連續地由左面傳至右面，能量亦會連續地由左面傳至右面；但每個質點只會垂直於傳播方向振動而不會向右面走。



質點振動方向與波動傳播的方向互相垂直的波，因此稱為橫波。

- 縱波



雖然波會連續地由左面傳至右面，能量亦會連續地由左面傳至右面；但每個質點只會左右振動而不會一面倒向右面走。

質點振動的方向



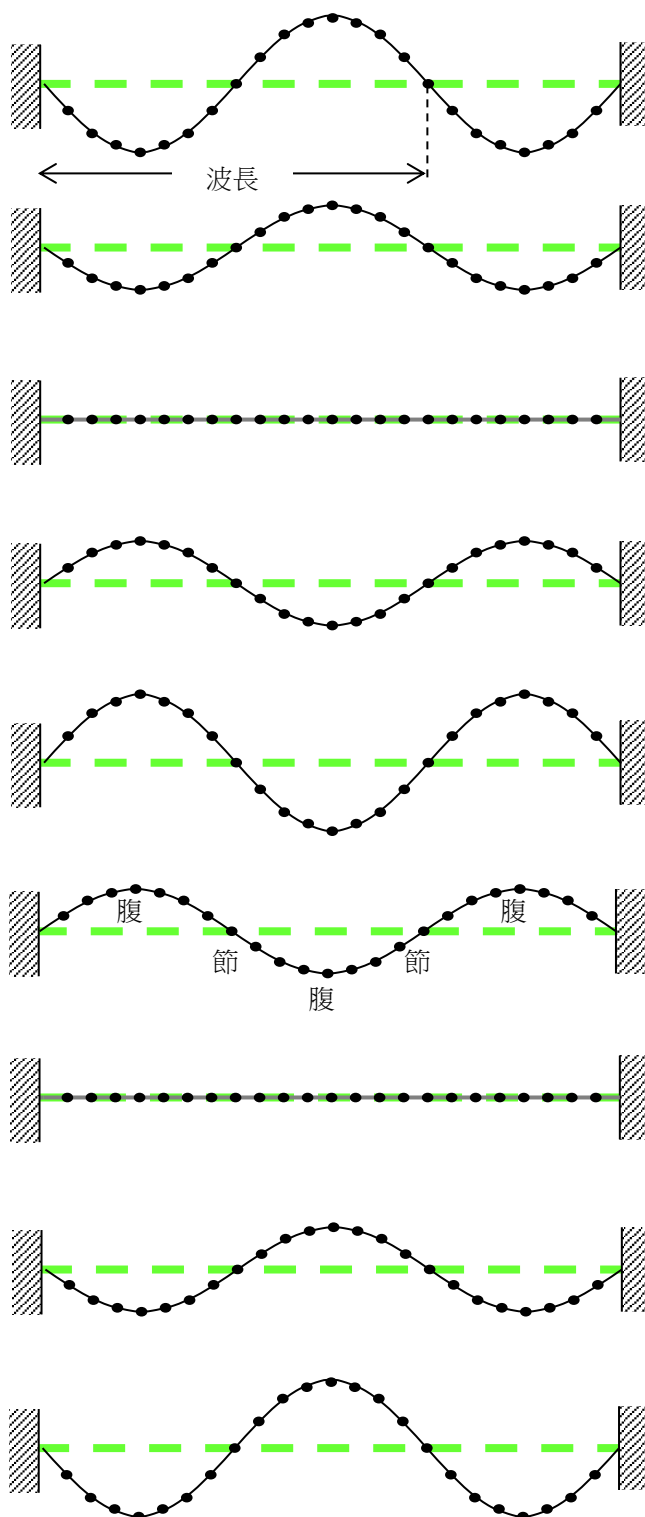
質點振動方向與波動傳播的方向互相平行，因此稱為縱波。

- 駐波

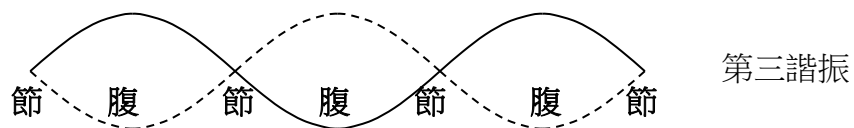
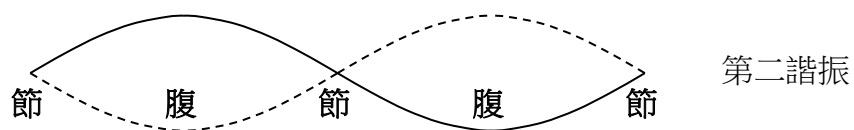
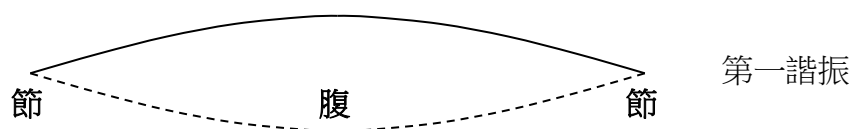
不論橫波還是縱波，如果首末兩端固定，便可形成駐波：

	行	駐
橫		
縱		

下圖為兩端固定的介質上的橫駐波。

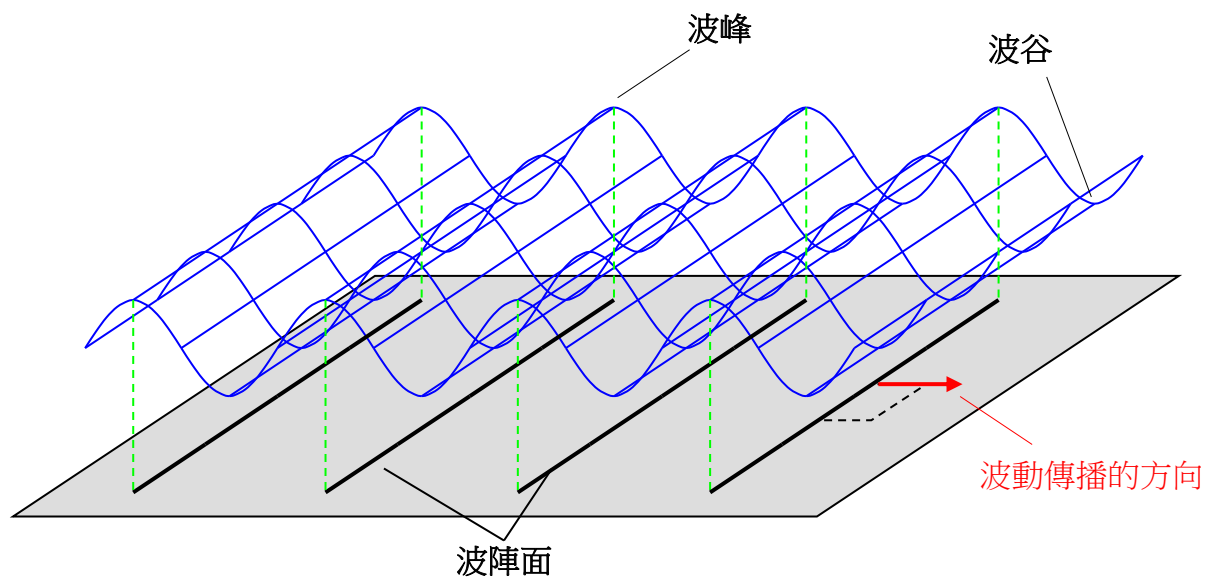


在駐波上，能量停駐在腹點附近。同一介質可容許不駐波振動模式。例如：



2. 二維波動現象

- 在紙上如何表示二維的波動

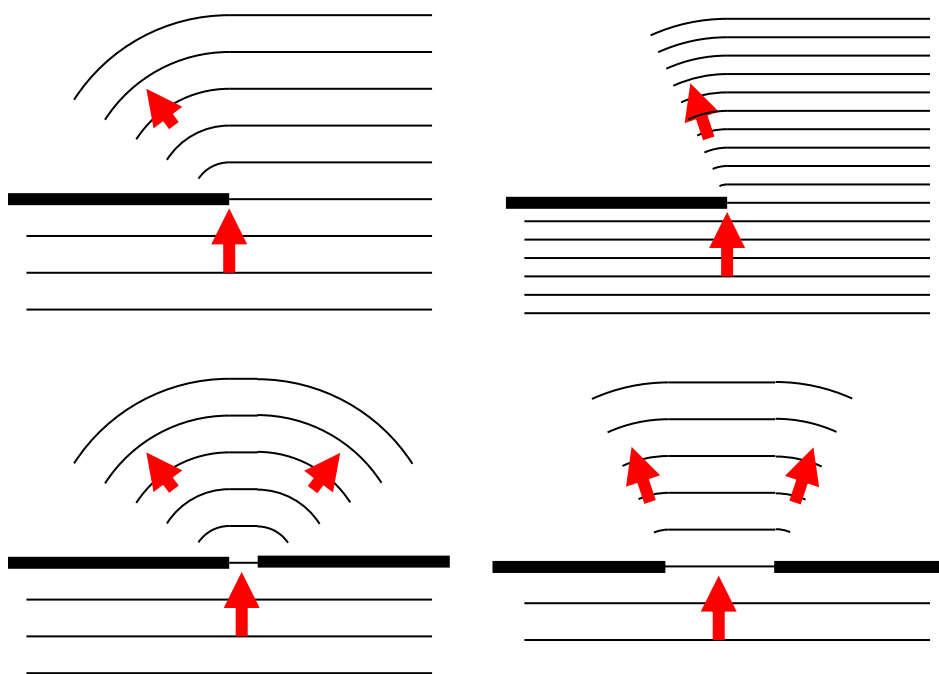


波動傳播的方向必會與波陣面垂直。

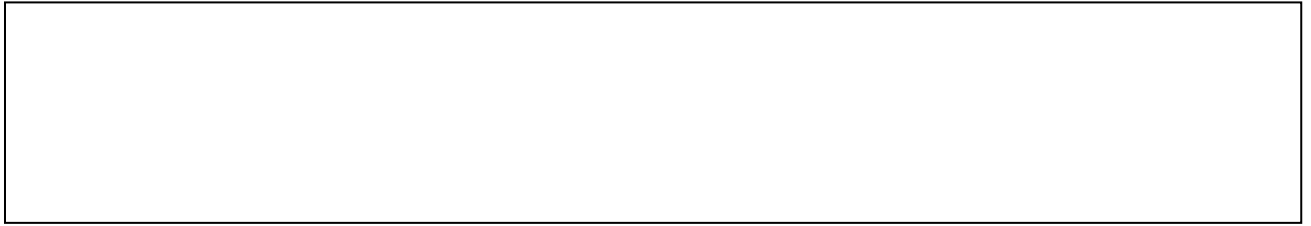
水波的波速率跟水深有關；水越深，水波傳播越快；水越淺，水波傳播越慢。

- 繞射**

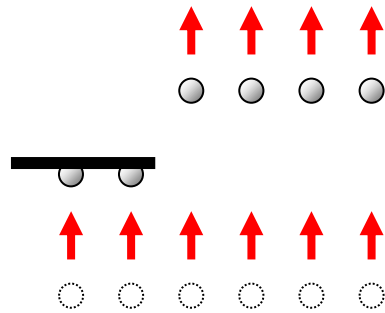
當波動經過障礙物的邊緣時會出現**繞射**。



繞射角度的大小由以下因素決定：



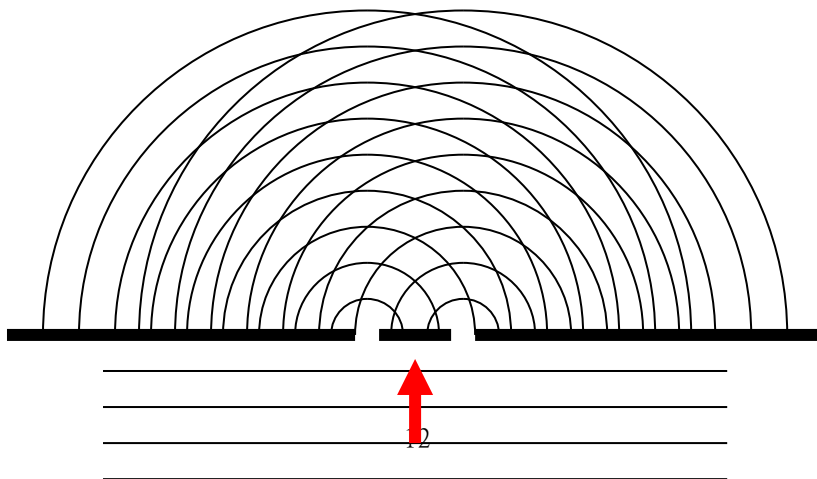
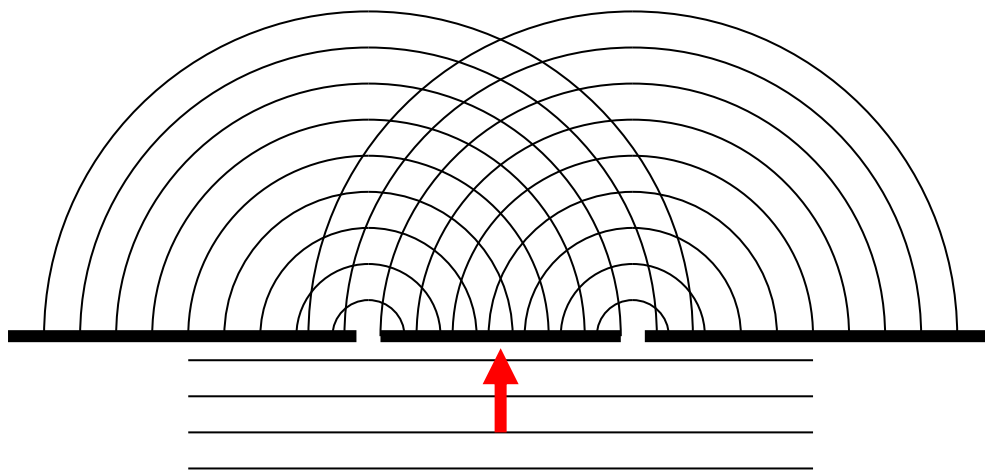
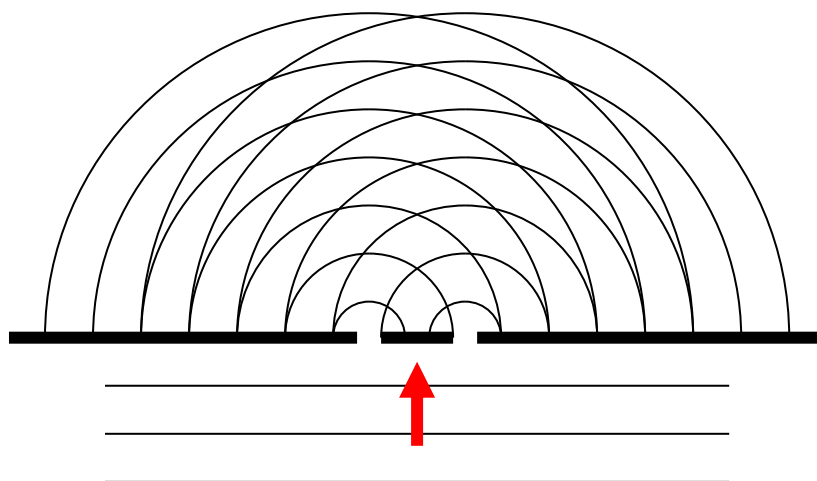
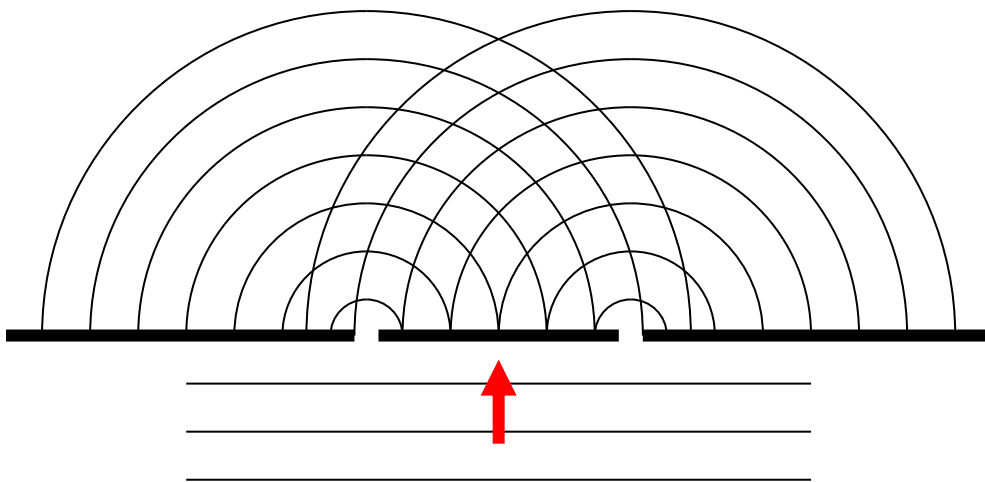
繞射和干涉一直被視作用來驗證傳送的東西是波動還是粒子的方法，因為只有波動才會出現繞射和干涉，粒子的傳送不會出現繞射和干涉。



- 干涉

當兩個波相遇時，在它們重疊的區域會出現**干涉**。下頁附圖顯示兩個圓形波的干涉。

如果要觀察到穩定的干涉現象，兩個波動源必須要有相同的頻率。如果是觀察光的干涉現象，兩個光源更要有相同的**相位差**，這時可以用 _____ 一詞來形容這兩個光源。

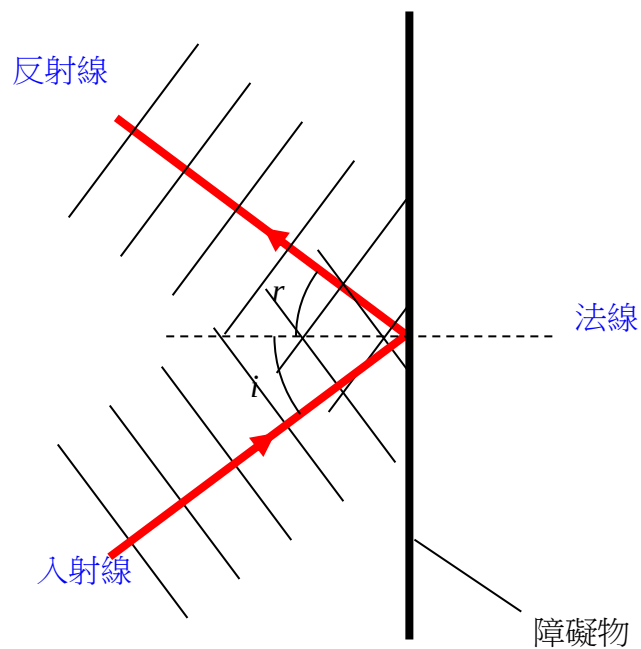


節線的疏密由以下因素決定：



- 反射

波動碰到障礙物時會反射。

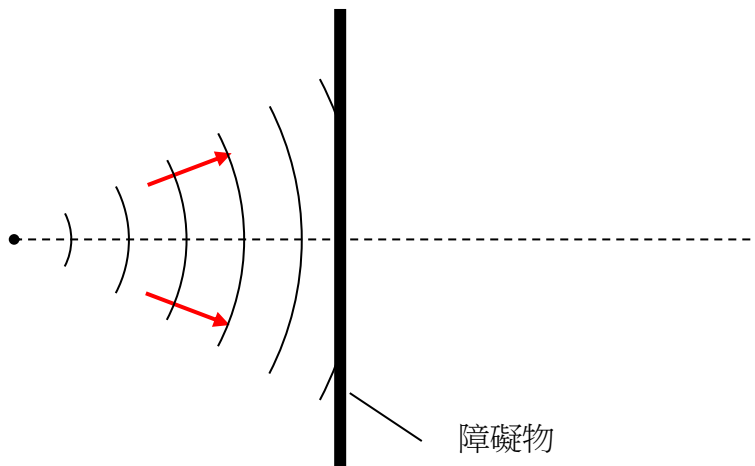


頻率，波長及波速率在反射時不會改變，

反射定律：

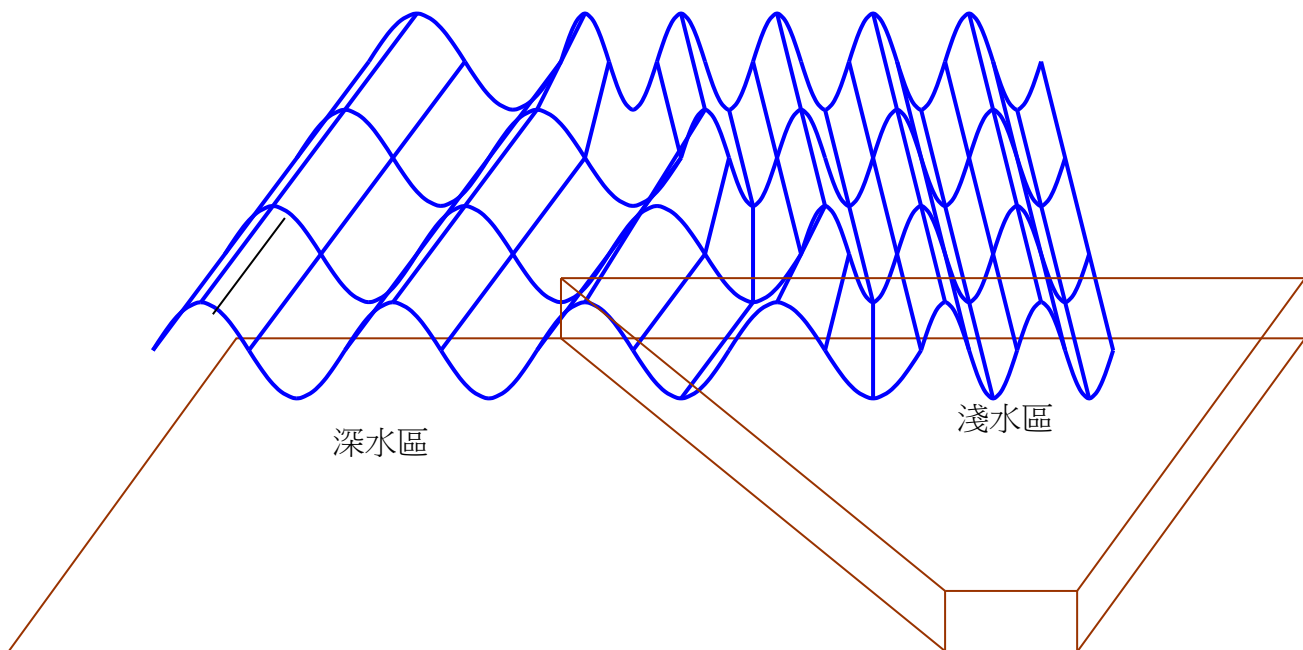
- (1) 入射線、法線和反射線在同一平面上。
- (2) 入射角等於反射角（即 $i = r$ ）。

下圖顯示當圓波碰到平面障礙物時的情形：

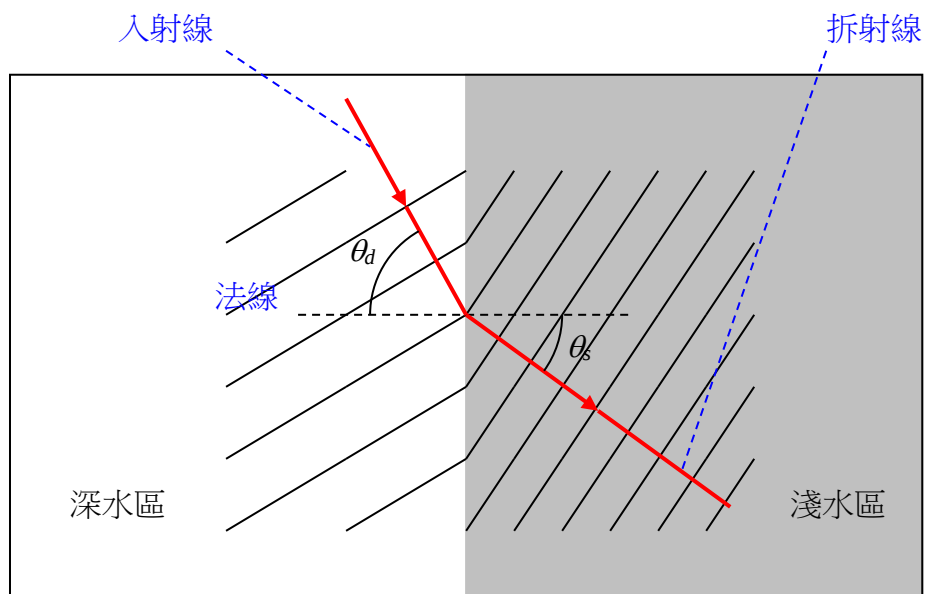


- 折射

當波由一種介質傳至另一種介質（或由一個深水的區域傳至另一個淺水的區域）時，便會出現折射。



當水波由一個區域傳到另一個較淺水的區域時，頻率不變，波長和波速率會減少。水波的傳播方向會折近法線。相反，當水波由一個區域傳到另一個較深水的區域時，頻率不變，波長和波速率會增加。水波的傳播方向會折離法線。



折射定理：

- (1) 入射線、法線和折射線在同一平面上。
- (2) 入射角與折射角有以下關係：

$$\frac{\sin \theta_d}{\sin \theta_s} = {}_d n_s = \frac{\lambda_d}{\lambda_s} = \frac{v_d}{v_s}$$
$${}_s n_d = \frac{1}{{}_d n_s}$$

θ_d 入射角

θ_s 折射角

${}_d n_s$ 折射率

λ_d 波動在入射方介質的波長

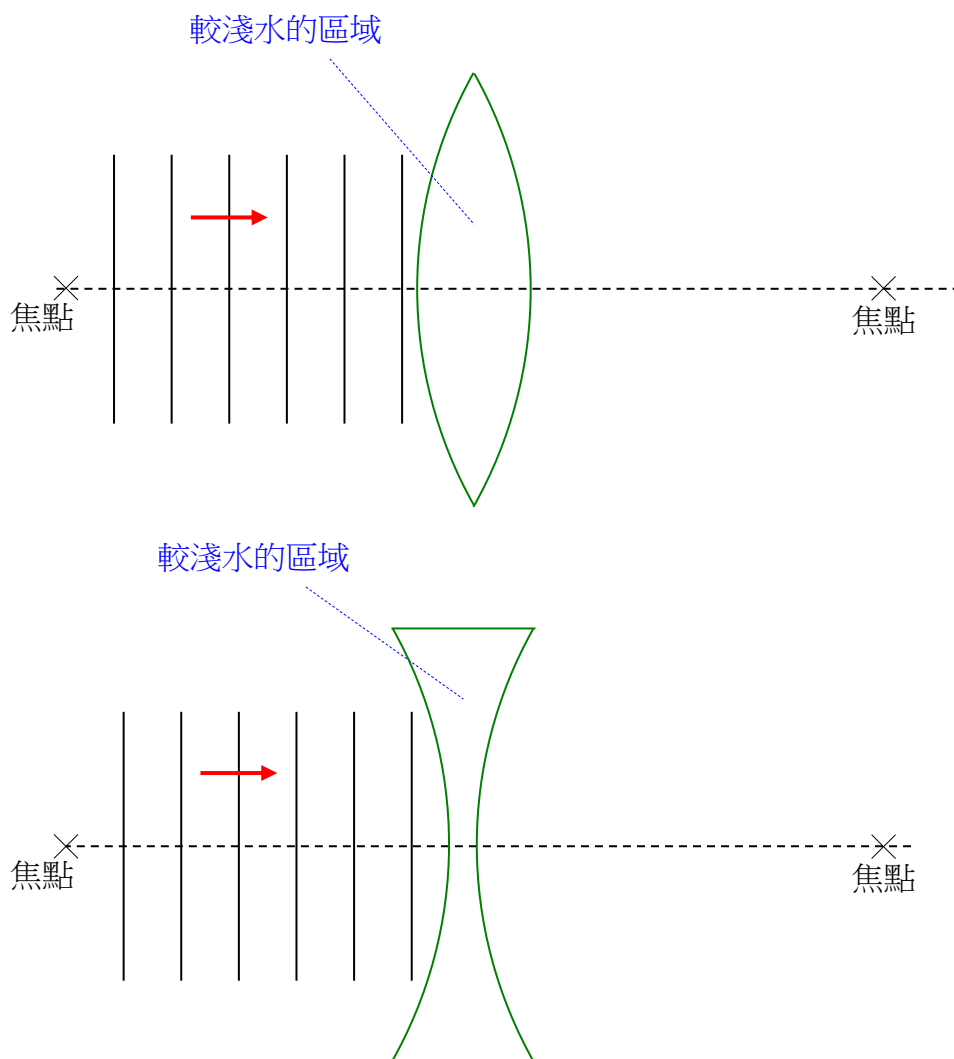
λ_s 波動在折射方介質的波長

v_d 波動在入射方介質的速率

v_s 波動在折射方介質的速率

其中折射率 ${}_d n_s$ 不會隨入射角改變。

下圖顯示波分別通過「凸透鏡」形狀和「凹透鏡」形狀的淺水區時的情形：



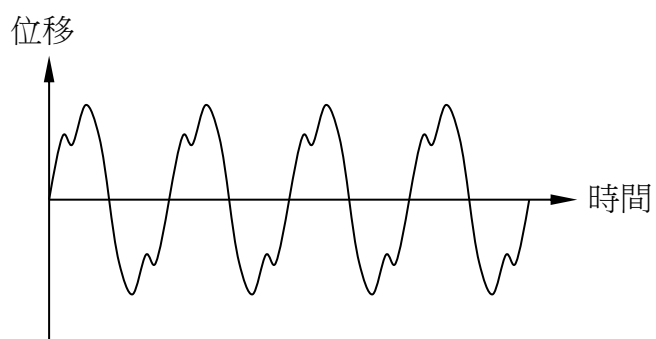
3. 聲波

聲波須藉介質傳播，它是縱波。

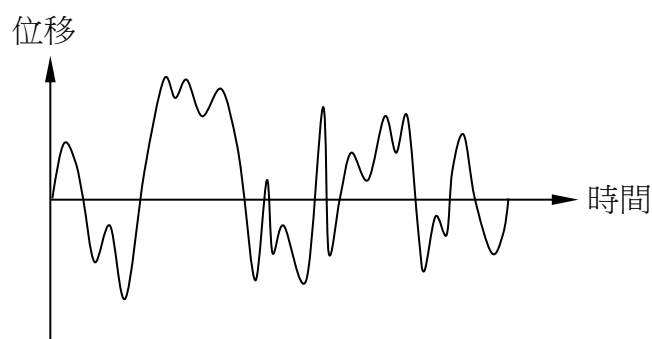
區段	頻率範圍	應用
亞聽頻音波		
聽頻音波		
超聲波		

波形有規律地有重覆的聲音稱為**樂音**；而波形無重覆性的聲音稱為**噪音**。

樂音



噪音



為了更好反映人類聽到聲音後的感覺，我們改用**音調**來描述頻率，改用**響度**或**聲強級**來描述振幅，改用**音品**來描述波形。

	科學表達方法
頻率	有多少 Hz
振幅	位移有多少 m
波形	「弦波」、「鋸齒波」等

對應

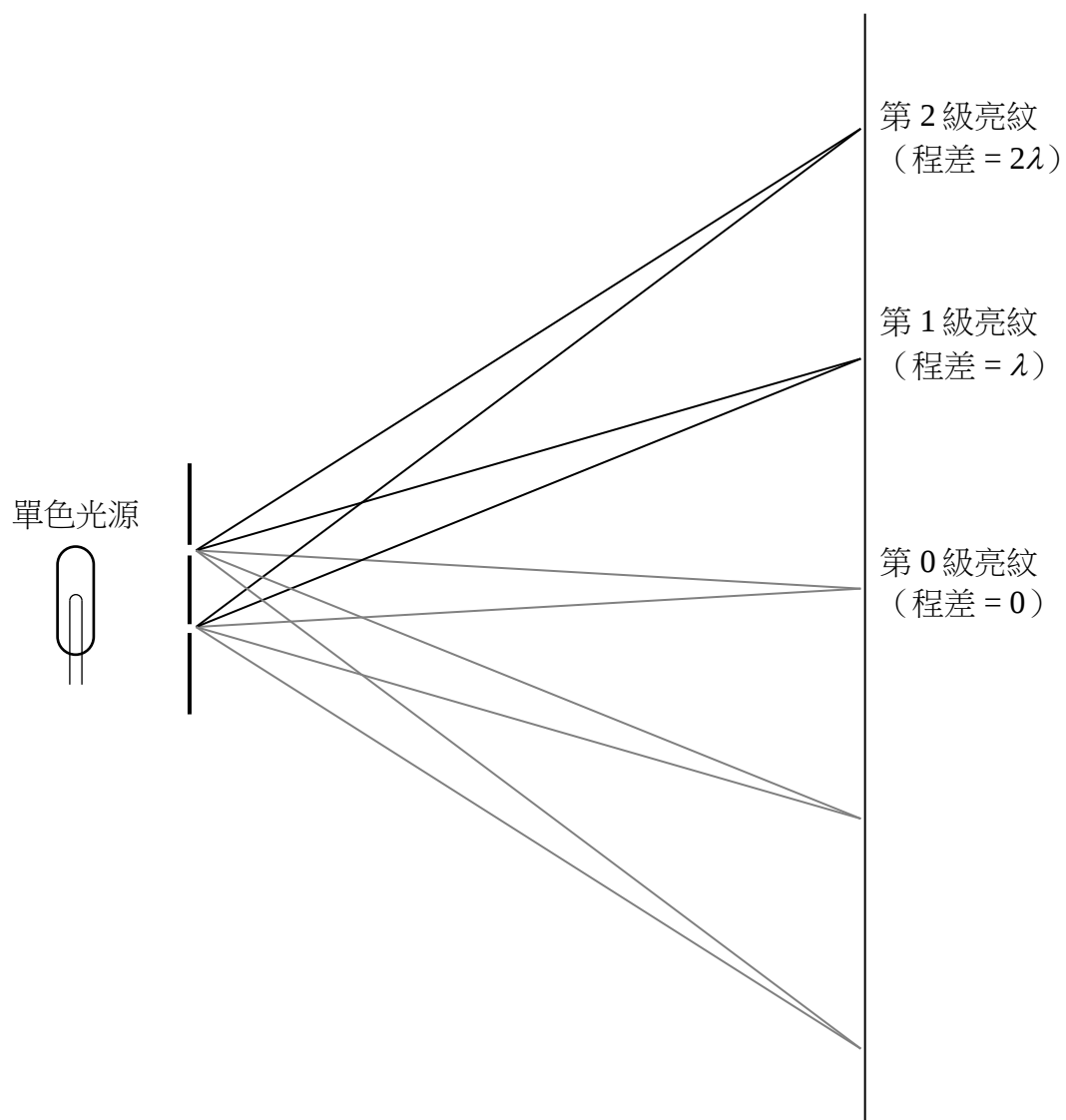
	人性表達方法
音調	“doh”、“ray”、“me” 或 “C”、“D”、“E”等
響度或 聲強級	有多少分貝（dB）
音品	「溫暖」、「幽怨」等

4. 電磁波

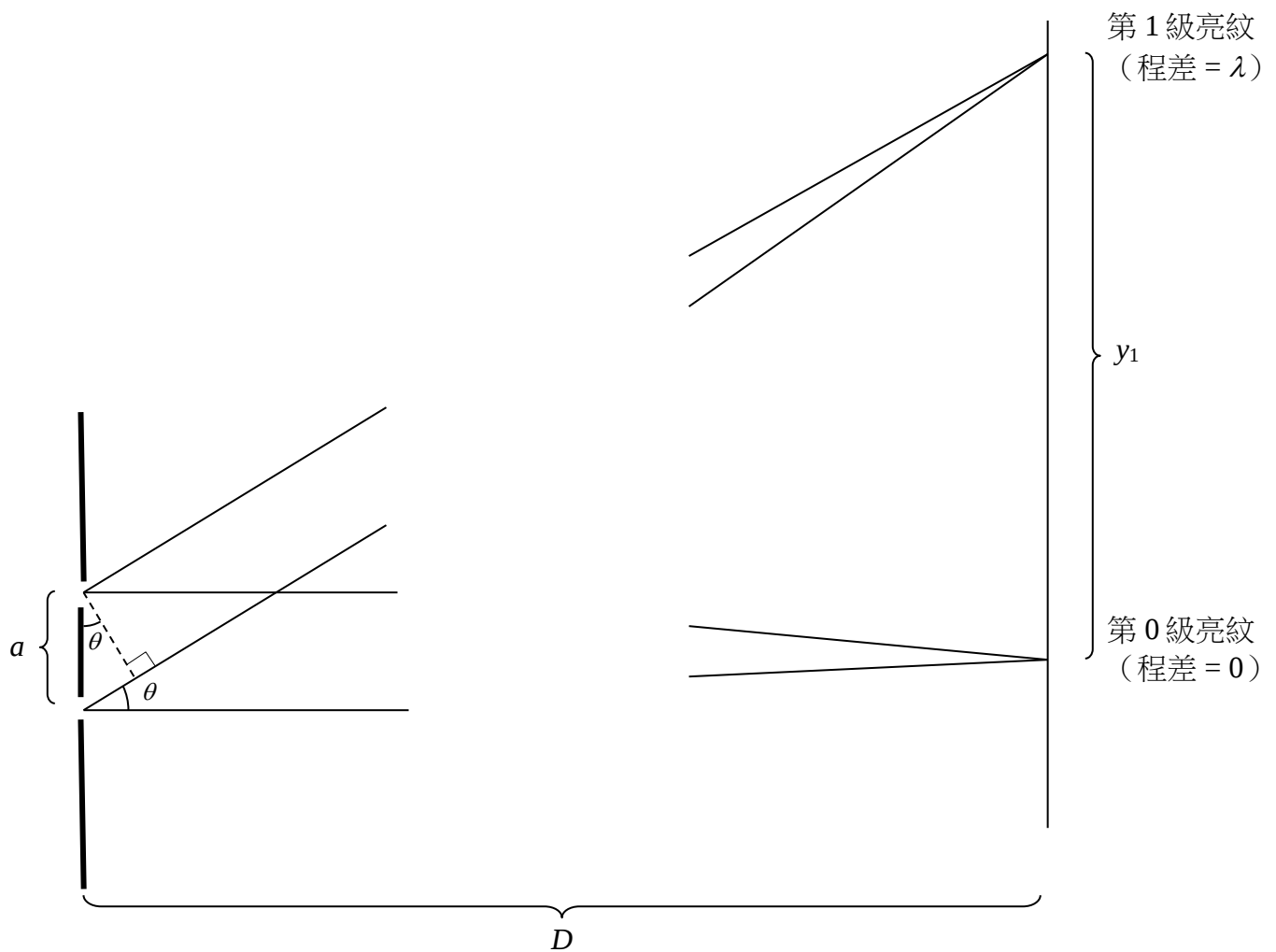
電磁波無須藉介質傳播，它是「橫波」。

區段	頻率範圍	應用
無線電波		
微波		
紅外線		
可見光		
紫外線		
X 射線		
γ 射線 (伽瑪射線)		

- 楊氏雙縫



如果衍射角度 θ 很小，

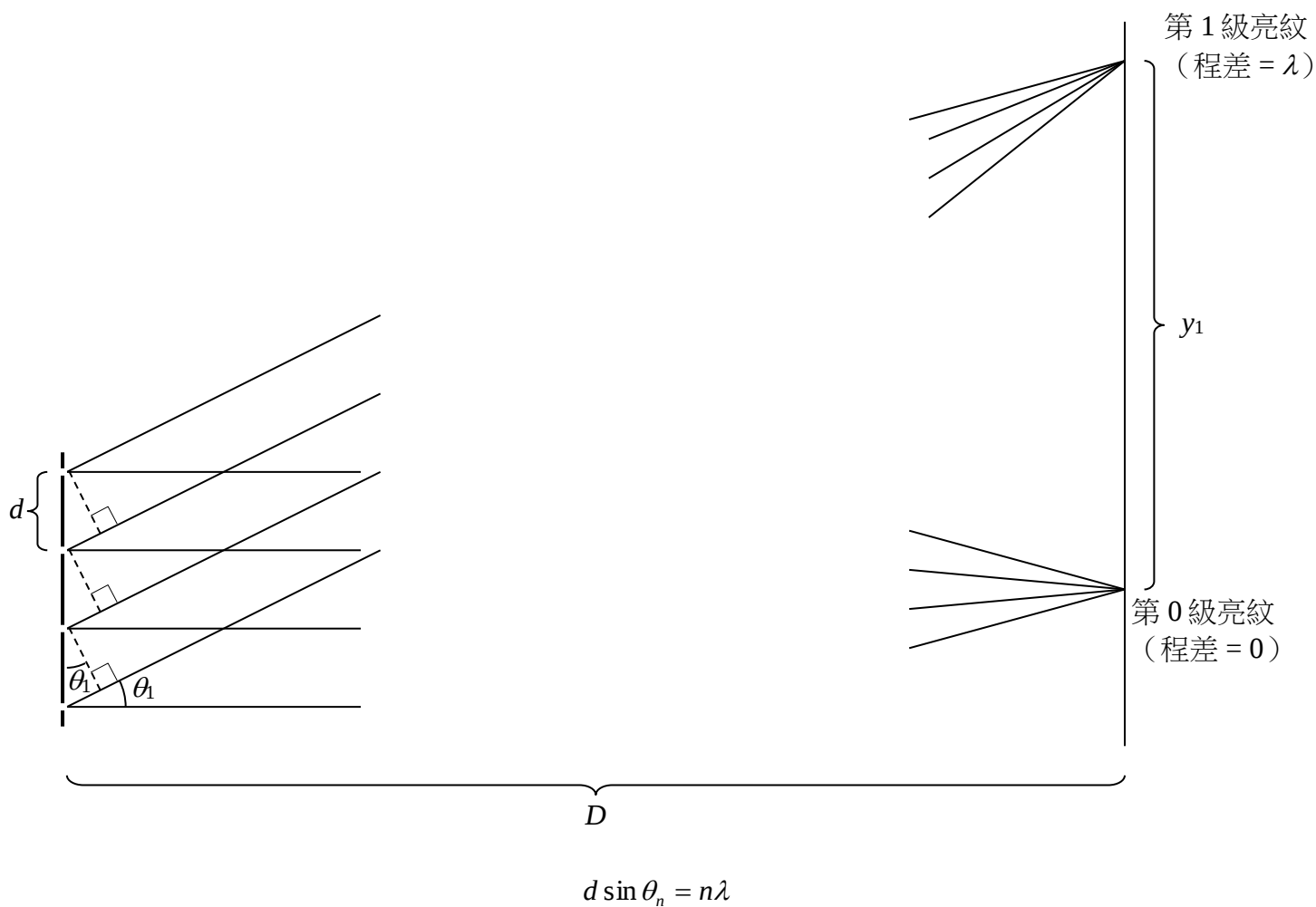


$$y_n = \frac{nD\lambda}{a}$$

- y_n 該亮紋與第 0 級紋的距離 [m]
 n 亮紋的級數
 D 屏幕與雙縫的距離 [m]
 λ 波長 [m]
 a 兩縫的間距 [m]

證明：

- 透射光柵

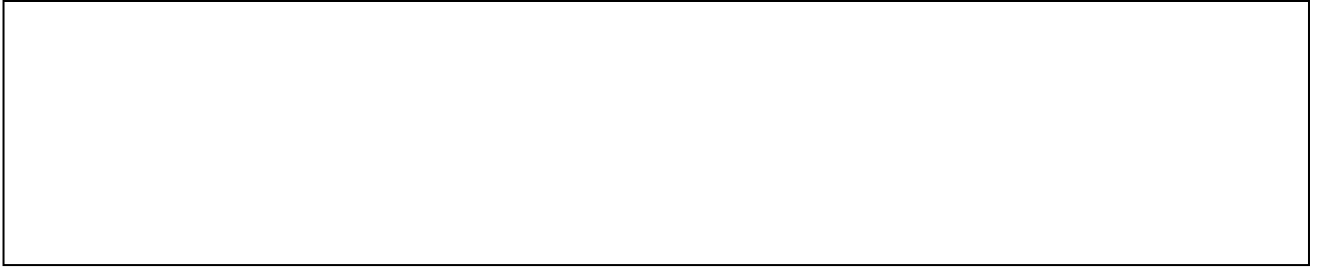


- d 兩相鄰狹縫的間距[m]
- n 亮紋的級數
- θ_n 第 n 級亮紋的衍射角度
- λ 波長 [m]

證明：

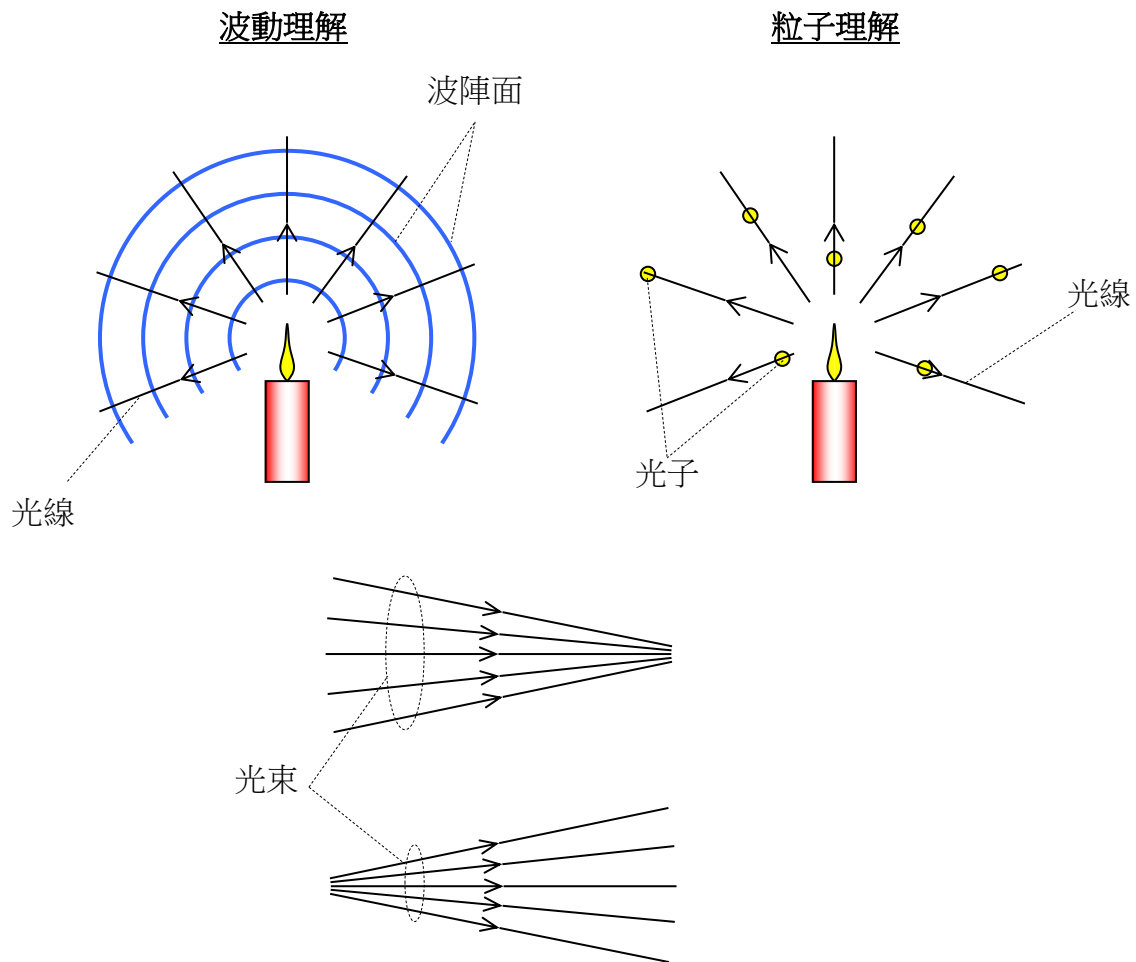
注意由於透射光柵的 d 會製作得遠小於楊氏雙縫的 a ，所以透射光柵的衍射角度 θ 通常都不會很細，所以不能假設 $\sin \theta_n \approx \frac{y_n}{D}$ 。

光柵的應用



5. 幾何光學

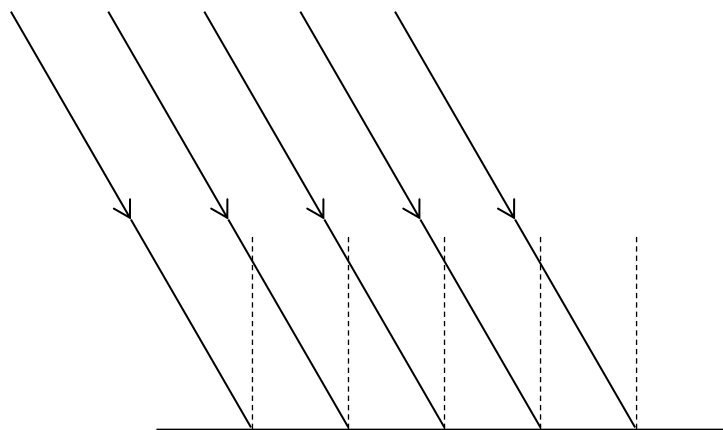
- 光波、光子和光線



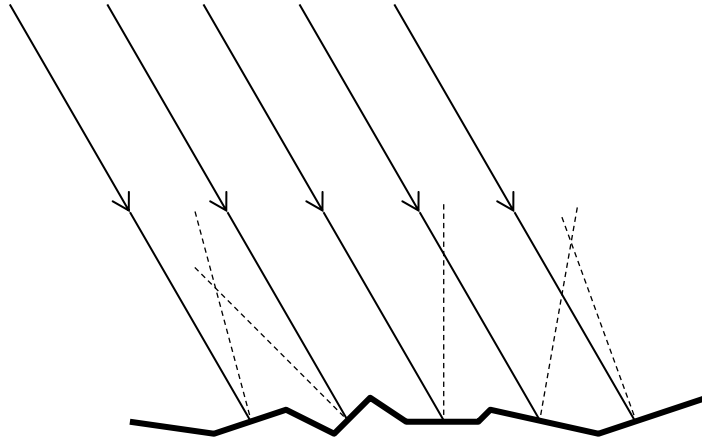
- 單向反射和漫反射

平行的光線照射到光滑的表面（例如水面、玻璃面等）時，根據反射定律，反射光線會朝同一方向離開。這稱為單向反射。當平行的光線照射到粗糙的表面（例如石塊、紙張等表面）時，反射定律仍然適用，但反射光線會朝不同方向離開。這稱為漫反射。

單向反射

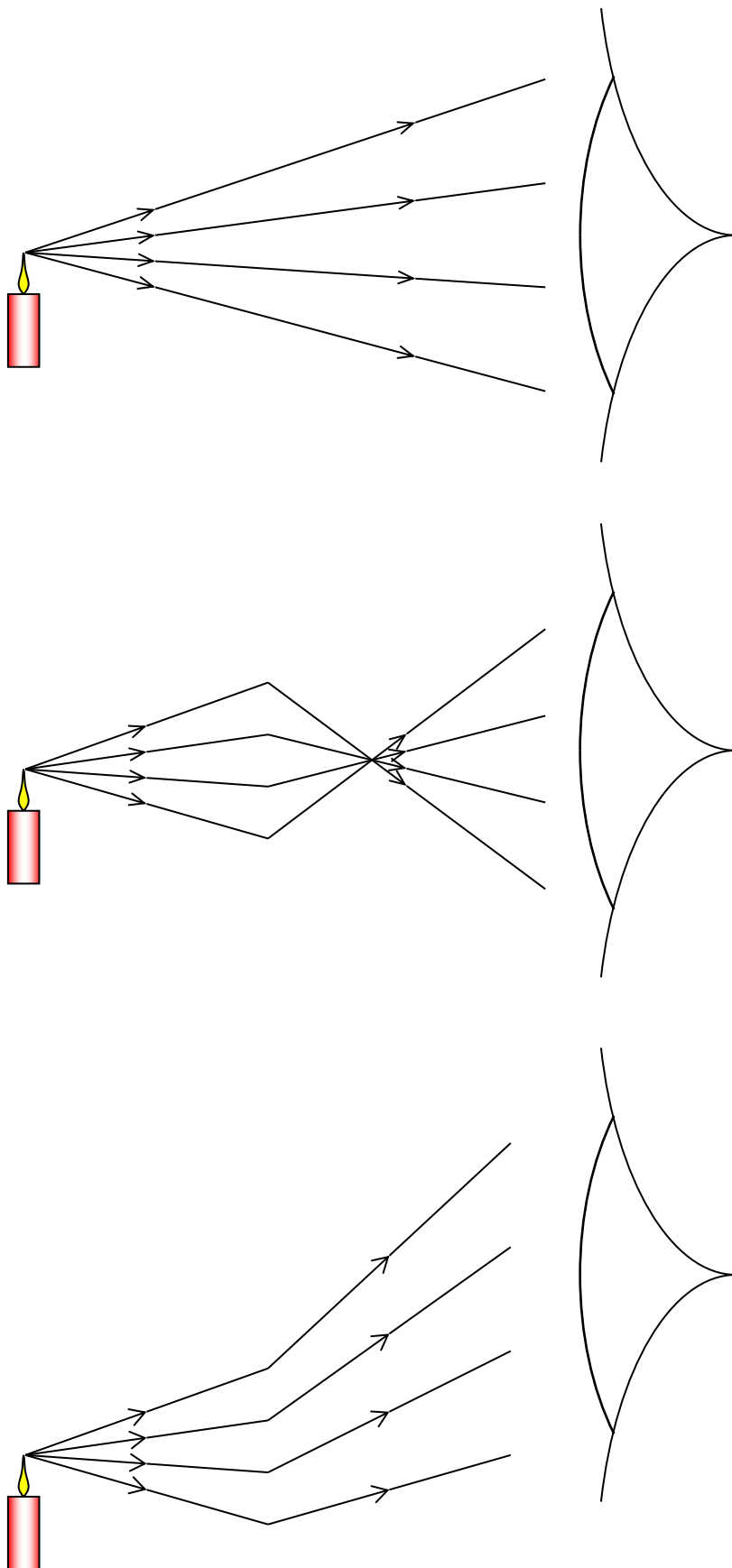


漫反射



- 物、實像和虛像

當眼睛覺得光束由某點發出時，我們便說該點有一個像。

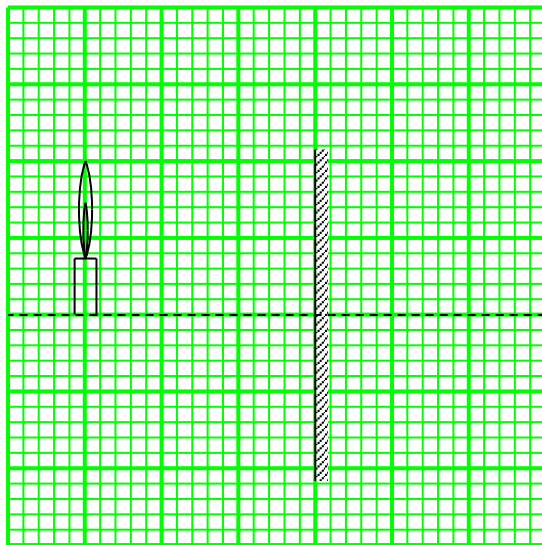
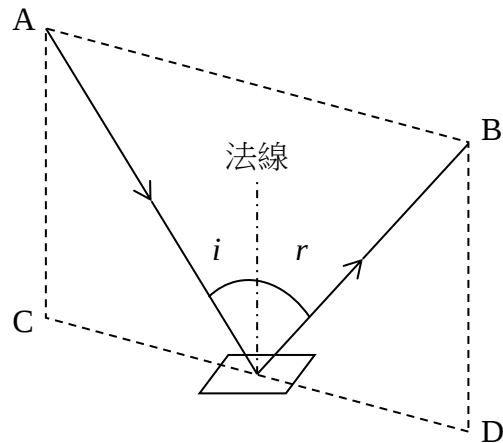


當眼睛覺得光束由某點發出時，其實有三個可能：

- （一）該點真的有物體發出光線（**物**）；
- （二）該點真的有光線發出，但看到的物體卻不存在（**實像**）；
- （三）該點根本沒有光線發出，只是眼睛誤認這裏有光線發出（**虛像**）。

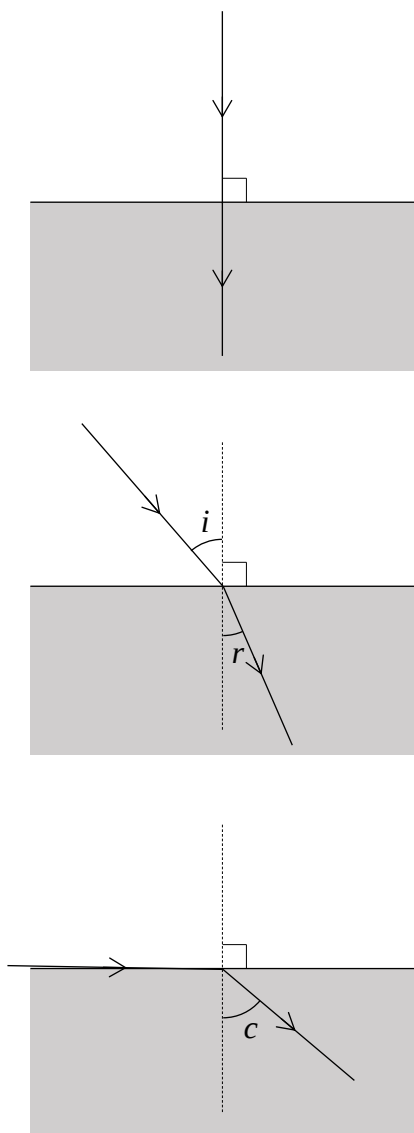
- **平面鏡**

入射線、法線和反射線在同一平面（則平面 **ABCD**）上，入射角等於反射角（即 $i = r$ ）。

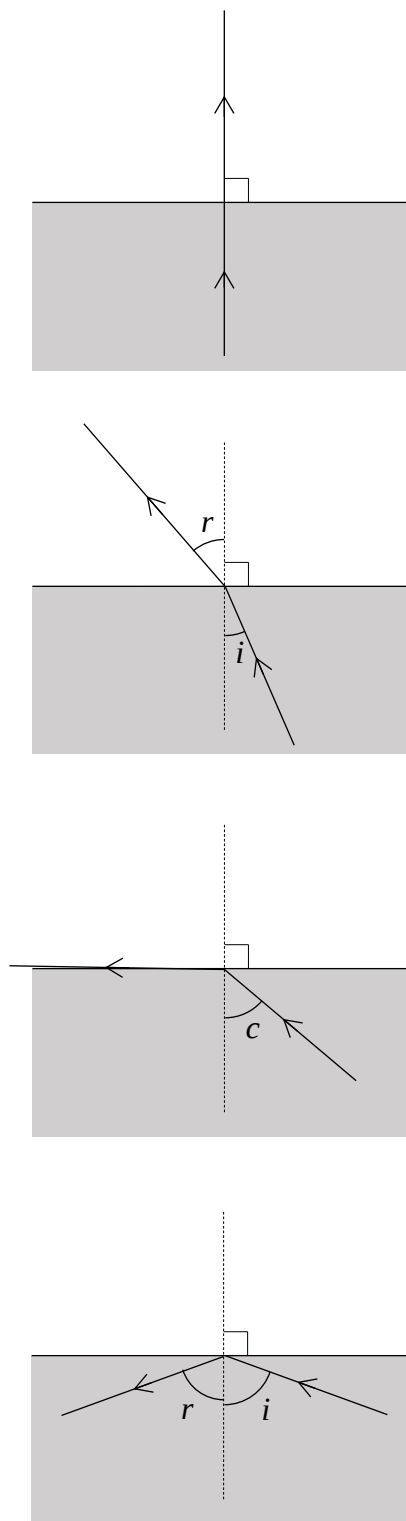


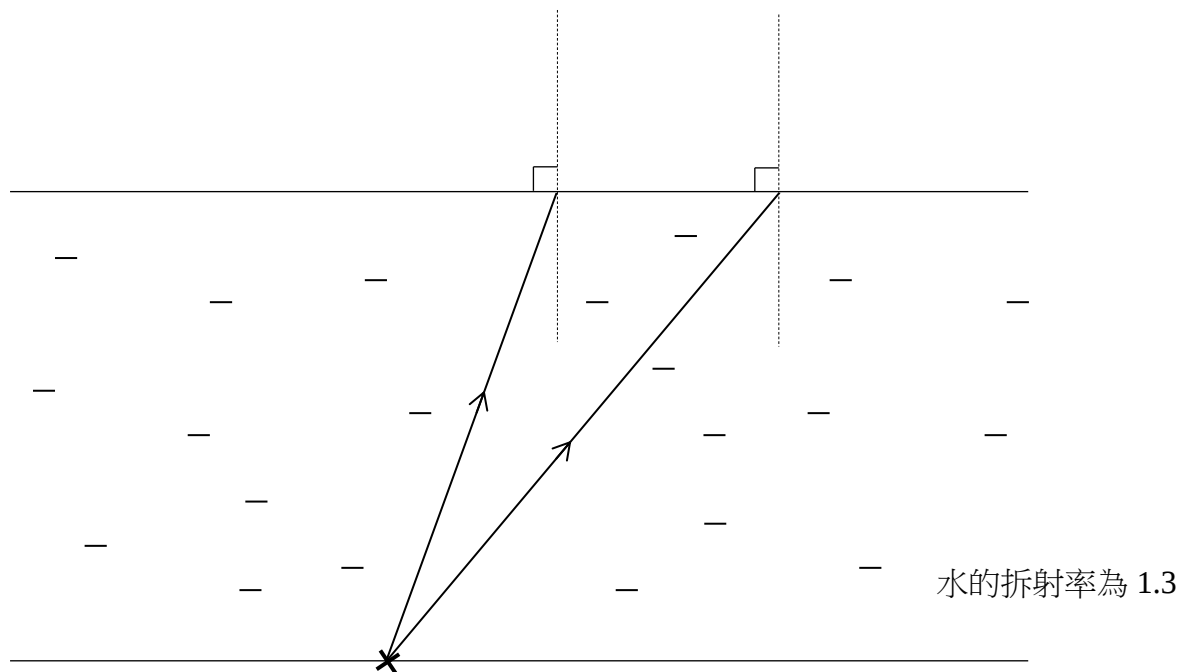
- 透明物料塊

光線由空氣進入玻璃



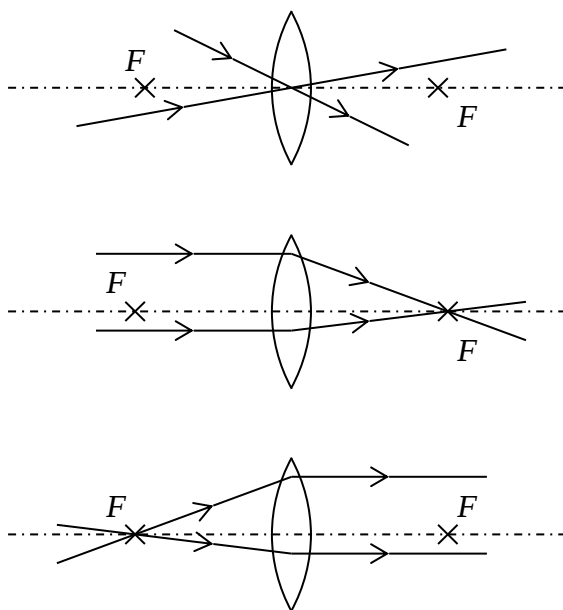
光線由玻璃進入空氣



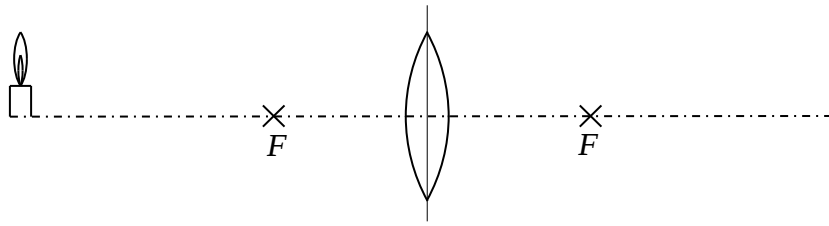
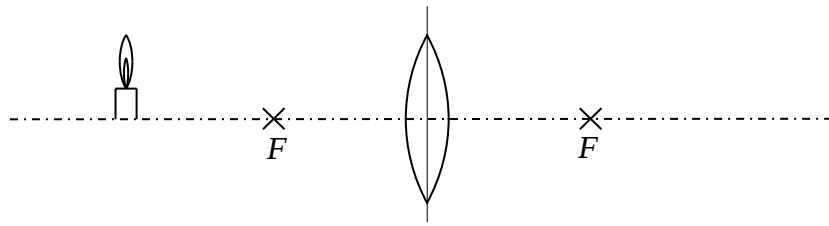
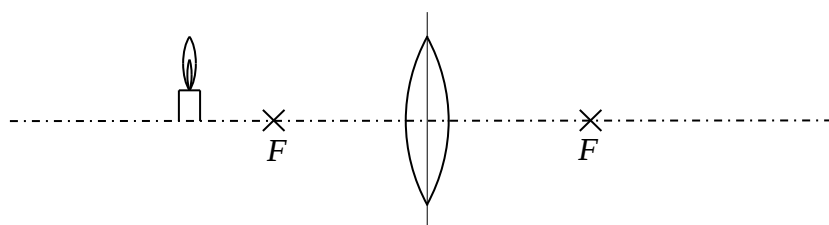
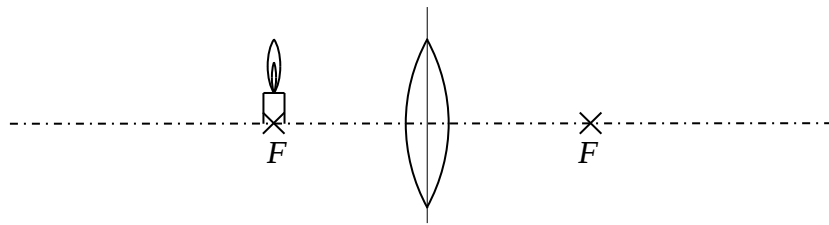
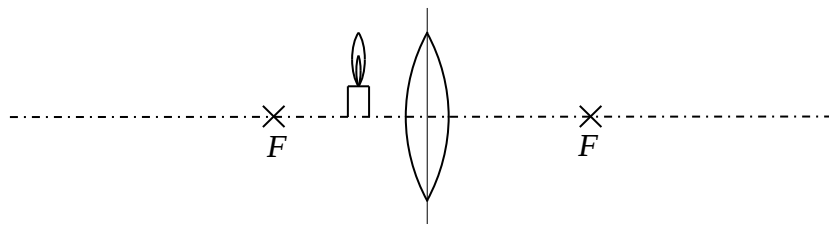


- 凸透鏡（會聚透鏡）

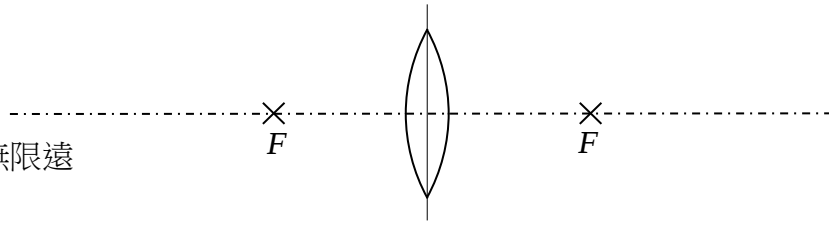
法則：



凸透鏡應用：

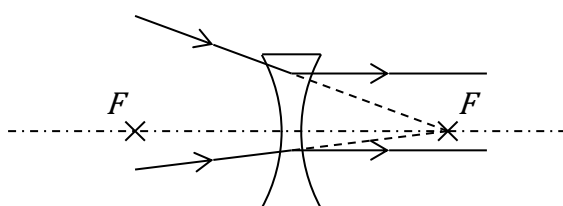
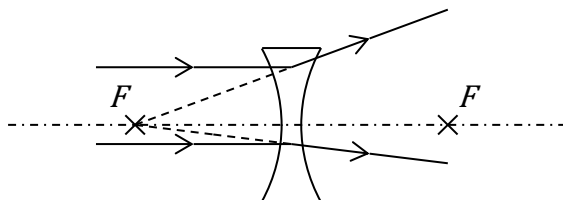
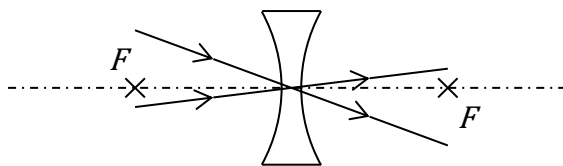


蠟燭放在無限遠

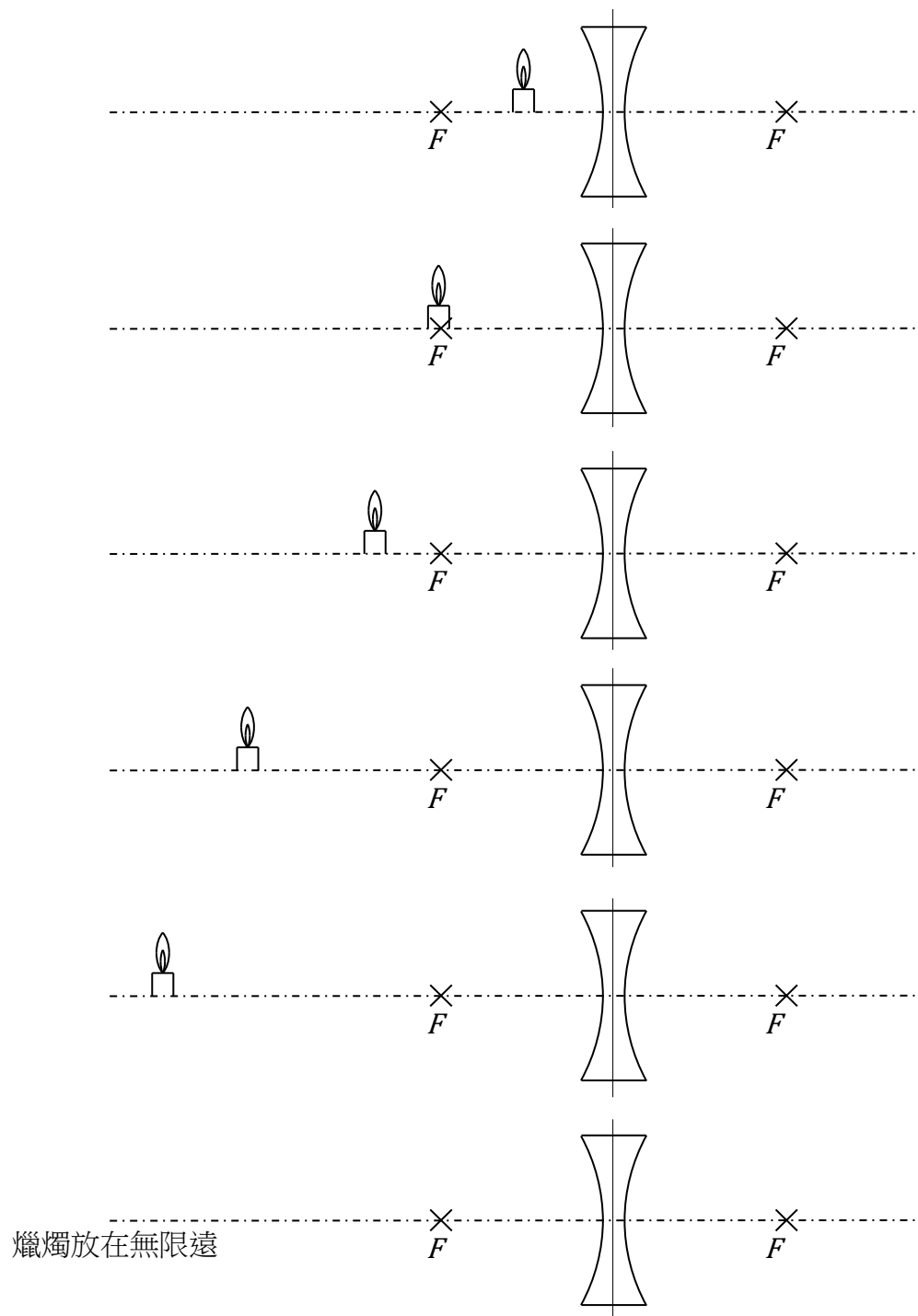


- 凹透鏡（發散透鏡）

法則：



凹透鏡應用：



- 透鏡公式及線性放大率

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

u 物距 [m]

v 像距，實像為正數，虛像為負數 [m]

f 透鏡焦距，凸透鏡為正數，凹透鏡為負數 [m]

線性放大率是指像比物放大了多少倍。

$$\text{線性放大率} = \frac{\text{像高}}{\text{物高}}$$

但由於不論凸透鏡還是凹透鏡，穿過光心的光線均不會轉向，從以下兩圖可見：

$$\text{線性放大率} = \frac{v}{u}$$

