

教育部委辦國民中學數學及自然科學 課程改進計畫

各科試用教材摘介 (三)

本中心

本中心接受教育部委辦國中、高中、技職學校數學及自然科學課程改進計畫，邀請國內各大學教授一百二十多位、中學教師四十多位，在教育部科學教育指導委員會主任委員吳大猷先生及各位指導委員、暨諮詢委員指導下，進行編寫各有關課程之教科書、教學指引、實驗手冊、實驗活動本等試用教材。

數年來，各分項計畫分別依原定時間編寫完成有關教材，並順利地在教育部及廳局指定之學校進行試教。茲以本中心編印之試用教材，將提供教育部做為將來修訂各有關學校科學課程之參考，而科學教育事關國家大計與萬千學子之修習發展，為求集思廣益，乃請各計畫編輯小組，就所編各科試用教材教科書中各擷取一章，藉本中心發行之科學教育月刊逐期分科摘介，提請教育界先進及同仁就其內容及編寫方式惠予指教，以做為修訂之參考。

本期刊登之內容，係國二理化第三冊第十四章前半部。

國二理化

第十四章 波動與聲音

在平靜的水面上，若有一處受到擾動，例如在水面上丟下一塊小石頭，則可見到以擾動處為圓心的環狀波紋，凹凸相間，往四周傳播散開，如圖 14-1 所示。聲音的傳播也有類似的情況。圖 14-2 所



圖 14-1 水波的傳播

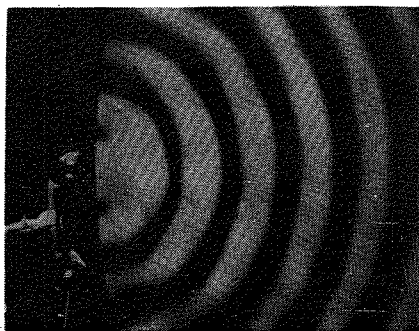


圖 14-2 聲波的傳播

示的照片，係利用特殊技巧所拍攝，顯示電話聽筒內的聲音在空氣中傳播的情形，同樣呈現波紋的形態，所以聲音也叫做聲波。由這兩張照片可以看出水波和聲波有些相似的性質，它們都是波動的一種。水波容易做直接的觀察，而聲波則較難。我們將在這一章中逐步探討波動的各種基本性質。

14-1 波的傳播

當你在湖邊垂釣或在湖面上划船時，你是否曾注意到當水波自波源處（即水面上被擾動的地方）往四周傳播時，浮在水面上的落葉或是物體，只是在水波到達時，隨著波紋的凹凸在原處做上下的運動，但並不隨波而去。當水波傳過後，一切復歸靜止？在下面的實驗中，我們可以對波的傳播方式，做更仔細的觀察。

實驗14-1 波的傳播

【實驗目的】 觀察波的傳播方式。

【實驗器材】 一長約 150 公分的軟彈簧，一長約 200 公分的粗棉繩，有色絲帶。

【實驗步驟】

1 將彈簧一端固定，手持另一端約略用力拉直，在彈簧的中點處，繫一有色絲帶。然後在手持的一端，用力向上或向左或向右抖動一下，觀察所產生的波形。當波沿彈簧傳遞時，波形是否保持不變？當波到達繫絲帶處時，絲帶是否在與彈簧垂直的直線上做往復的運動？當波傳過後，絲帶是否隨即恢復靜止，如圖 14-3 所示的情形？

2 在彈簧上用手抓住一端，做連續而有規則的上下或左右的振動，觀察能否產生如圖 14-4 (a) 所示的波形？

3 將彈簧平放在水平光滑的平面上，一端仍然固定，然後手持另一端，在沿著彈簧長度的方向上，連續而有規則地用力拉伸壓縮數次，觀察能否產生如圖 14-4 (b) 所示的波形？注意絲帶的運動方向。

4 改用長繩，重複步驟 1 及 2，觀察繩波的傳播情形。

【實驗討論】

1 絲帶的運動方向和波的前進方向有什麼關係？

2 絲帶原本靜止，但當波傳到時，則起而做往復的運動，其動能從何處獲得？

3 波傳播時，它傳送了什麼？物質或能量？或者兩者都有？

由前項實驗的觀察可知，波傳播時，它只傳送能量，並不傳送物質。當我們用手抓著彈簧或繩子的一端抖動時，因抖動而輸入的動能，便隨著所生的波，從一處傳至另一處。當波通過時，隨波而來的動能，使物質發生擾動，但只在原地附近運動而已，物質並不隨波而去。波通過後，被擾動的物質，隨即恢復原先的平衡狀態。圖 14-5 所示為繩波的傳播情形，AB 部分的繩子下降，而 BC 部分則上升，若沒有能量的損失，則原在實線位置的波將傳至虛線所示的新位置上，而且波形保持不變。繩波就依靠這種方式，逐次傳遞下去。彈簧波，水波的傳播也是同樣的情形。像這種必須依靠物質的擾動而傳播的波，統稱為機械波。傳遞波動的物質稱為介質。從圖 14-5 所描繪的波動傳遞方式可以看出

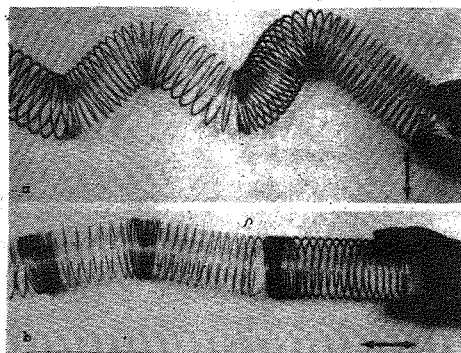
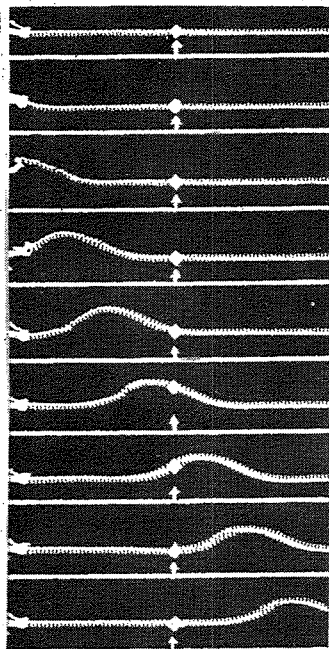


圖 14-4 (a)橫波：介質分子的運動方向和波前進的方向垂直。
(b)縱波：介質分子的運動方向和波前進的方向平行。

圖 14-3 波傳播時，只傳送能量，而不傳送物質。介質分子只在原地附近做往復運動。



圖 14-5 波動的傳遞方式

，介質必須具有彈性，才能在被擾動後，復歸至平衡位置而使波動傳遞下去，彈性內力的大小和介質的密度直接影響介質各部分傳遞波動的快慢，即波形移動的速率，因此在不同的介質中會有不同的波速，但是即使在同一介質中，由於介質的弛張程度不同，也會有不同的波速，例如在拉緊的彈簧上所生的波要比其在鬆弛時所生的波傳得快。

當波傳遞時，依據介質分子的運動方向，波可分成橫波和縱波兩大類。凡是介質分子的運動方向和波的前進方向垂直的，稱為橫波（圖 14-4 (a)）；而和波的前進方向平行的，則稱為縱波（圖 14-4 (b)）。

在實驗 14-1 中，若手持長繩或長彈簧的一端，依圖 14-6 所示的運動方向，按 1 → 2 → 3 → 4 的次序，上下往返振動一次，稱為一次完整的振動，其依次所生的波形，則如該圖所示。若將繩端或彈簧端做連續而有規則的振動，則所生的波形將如圖 14-7 所示，稱為連續週期波。其中隆起部分的最高點如 A、C、E 等點，稱為波峯；凹下部分的最低點如 B、D、F 等點，稱為波谷。兩相鄰波峯間或兩相鄰

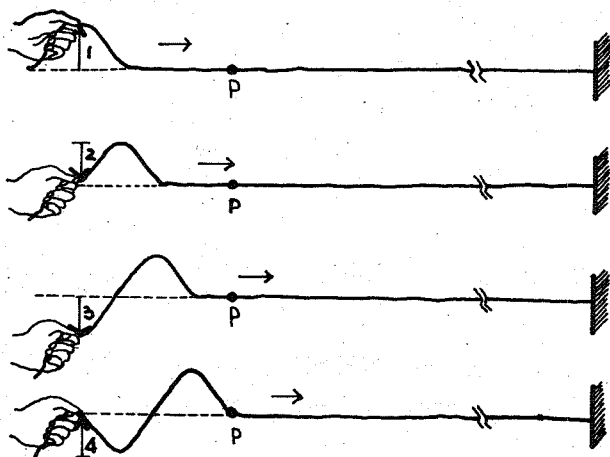


圖 14-6 當繩端每完整振動一次，即產生一個全波。

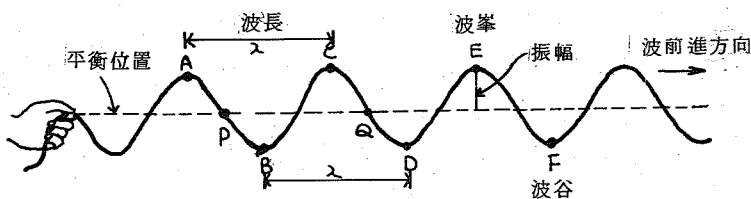


圖 14-7 連續週期波各個部分名稱

波谷間的距離稱為波長，以符號 λ 代表（單位為公尺或公分）。在連續週期波上，距離等於一個波長內所含的波，稱為一個全波，例如 ABC，BCD 或 PBCQ 皆為一個全波。當波沿繩傳送時，繩上各點必隨著波形的起伏，在與波前進方向垂直的直線上做上下往復的振動，其偏離平衡位置（即未被擾動時的位置，如圖 14-7 虛線所示）的最大位移，稱為振幅。

根據全波的定義，參考圖 14-6，當繩端每做一次完整的振動時，即產生一個全波。振動的物體（即手持的繩端）做一次完整振動所需的時間，稱為該振動體的週期，以符號 τ 代表（單位為秒）。由圖上可知：波，或者說繩子所受的擾動，自繩端處傳送至 P 點所需的時間，亦即波前進一個波長所需的時間，等於繩端的振動週期。在前段中我們提到波速是代表波形移動的速率，或者說代表介質傳遞擾動的速率，以符號 v 表示波速，則

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

當這個全波繼續前進通過 P 點時，P 點必隨著波形的起伏，做一次上下往復的完整振動，其所需的時間即等於這個全波完全通過 P 點所需的時間，也就是等於繩端的振動週期。一個連續週期波的週期是指介質上某點（例如 P 點）做一次完整振動所需的時間，或一個全波完全通過此點所需的時間。由以上的敘述可知：一個振動體的週期即等於所生連續波的週期。

一個振動的物體每秒內所做的完整振動的次數，稱為該振動體的頻率。同樣，在傳送連續波的介質上某點每秒內所做的完整振動次數，或每秒內通過此點的全波的數目，稱為該連續波的頻率。以 f 表

示頻率（單位為 1 / 秒），則頻率 f 與週期 τ 恰成倒數關係，以式子表示如下：

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

利用上式，則波速的公式亦可改寫如下：

$$v = \frac{\lambda}{\tau} = \lambda f$$

由於振動體的週期等於所生波的週期，因此振動體的頻率亦等於所生波的頻率。

【例題】：

在一個拉緊的長彈簧上，一端固定，另一端則繫在一個振動體上，隨之做上下或左右的往復運動。若該振動體每分鐘振動 120 次，並由觀察得知，在彈簧上所生波的波長為 40 公分，試求(a)振動體的頻率及週期，(b)在彈簧上波傳遞的速率。

【解答】：

(a) 頻率 $f = \frac{120}{60} = 2 \text{ (1/秒)}$

週期 $\tau = \frac{1}{f} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ 秒}$

(b) 波速 $v = \lambda f = 40 \times 2 = 80 \text{ 公分/秒或 } 0.80 \text{ 公尺/秒}$

前段的說明，雖然以橫波為例，但縱波的情況亦相類似。在縱波，介質分子的振動方向和波前進的方向平行，因此在介質中產生疏部和密部，彼此相間如圖 14-8 或圖 14-4 (b) 所示。兩相鄰密部中點間或兩相鄰疏部中點間的距離為一個波長。密部的中點相當於波峯的位置，而疏部的中點則相當於波谷的位置。縱波由於有疏部與密部相間，有時又叫做疏密波。

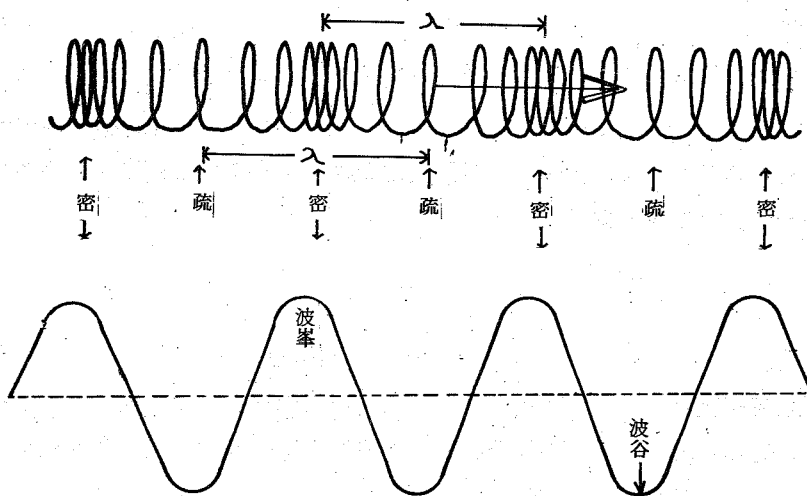


圖 14-8 縱波又稱為疏密波。
密部的中點相當於波峯，疏部的中點相當於波谷。

14-2 波的性質

在前節中，我們以繩波、彈簧波為例，對波的性質進行初步的觀察，但是這兩種波只在直線上傳播，無法全面反映出波動的一些基本性質。水波是探討波動性質的良好對象。水波容易起動，速度較慢，易於控制，而且也便於做直接的觀測。利用水波槽的實驗裝置，水波的凹凸波紋可以投影在槽下方的白紙上，造成明暗的條紋，如圖 14-9 所示。

槽的上方有燈光照射，水波的凸紋在白紙上產生亮紋；而凹紋則產生暗紋。由於水波在平面上傳播，水面上凸起的部分相當於波峯，而凹下者則為波谷，水波上的凸紋實即為相鄰波峯的連線，凹紋則為相鄰波谷的連線，這些連線都稱為波前。在白紙上的明暗條紋就是水波波前的投影。水波前進的方向和波前垂直，通常以帶有箭頭的線段表示，稱為射線。

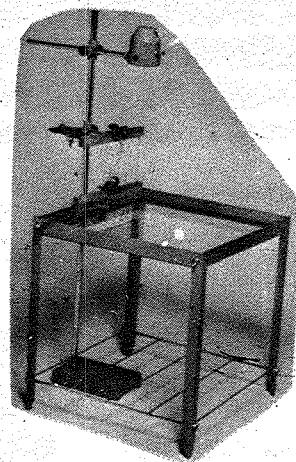


圖 14-9 水波槽裝置

一、波的反射

把球投向牆壁，會反彈而回。前進的波遇到障礙物時，是否也會反射而回呢？

實驗14-2 波的反射

【實驗目的】 觀察水波的反射。

【實驗器材】 水波槽裝置，長直圓木棒，線形波起波器（馬達帶動），滴管，圓形波起波器（馬達帶動），長木塊，大張白紙，長尺。

【實驗步驟】

- 1 裝置水波槽如圖 14-9 所示，並以長條海棉貼靠四周槽邊。在槽內注水約 1 公分深左右。
- 2 使用長直圓木棒由槽的一邊，緩緩向前推動，觀察所生的波紋，並注意槽下方白紙上亮紋的移動情形。你能設法量出水波傳播的速率嗎？改用滴管，使管中的水滴入水面，觀察所生成的圓形波。圓形波的傳播速率和直線波的傳播速率是否相等？

- 3 裝上線形波起波器，開動馬達，觀察所生的週期直線波以及白紙上的亮紋的移動情形，是否如圖 14-10 所示？量看看！兩相鄰亮紋間的距離是否彼此相等？這個距離代表什麼？你能設法量出水波的頻率嗎？知道水波的波長及頻率，你能否計算出水波傳播的速率？將你計算的結果和步驟 2 所直接測出的水波速率比比看！

- 4 改用圓形波起波器，重覆步驟 3。所生的週期圓形波是否如圖 14-11 所示？

- 5 將長木塊放置如圖 14-12 所示（木塊的高度須超出水面）。開動線形波起波器馬達，觀察所生的波形是否如圖 14-13 所示。在白紙上標出障礙物的位置，並以射線分別標出入射波和反射波的前進

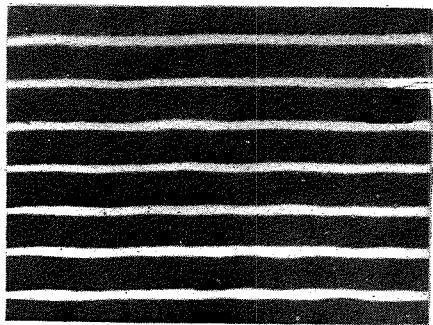


圖 14-10 水波槽中的週期直線波，其中亮線即為相鄰波峯所形成的波前，波前形狀為直線。

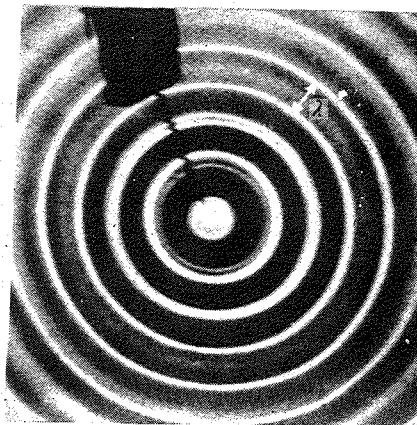


圖 14-11 水波槽中的週期圓形波，其亮線即為相鄰波峯所形成的波前，波前形狀為圓形。

方向。

6. 改用圓形波起波器，重覆步驟 5，觀察圓形波的反射是否如同圖 14-14 所示？

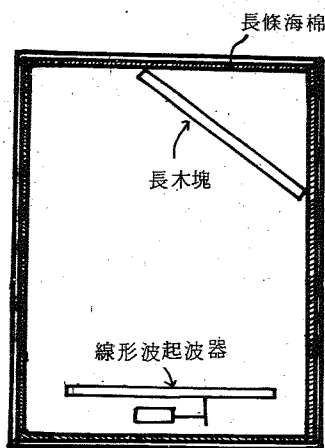


圖 14-12 水波的反射裝置

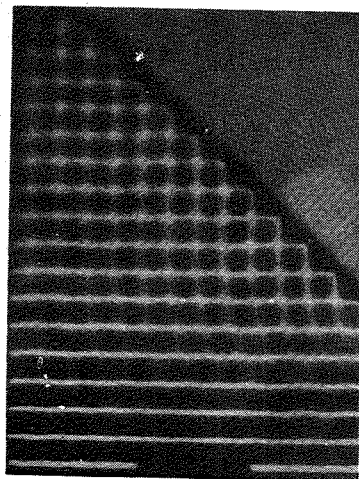


圖 14-13 直線波的反射

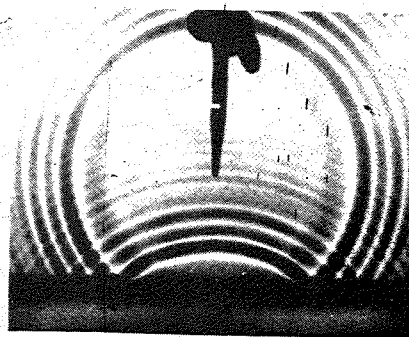


圖 14-14 圓形波的反射

【實驗討論】略

二、波的折射

當波由一種介質傳入另一種不同種類或狀態的介質時，由於波速不同，波的前進方向會發生偏折，這種現象稱為折射。

實驗14-3 波的折射

【實驗目的】 觀察水波的折射。

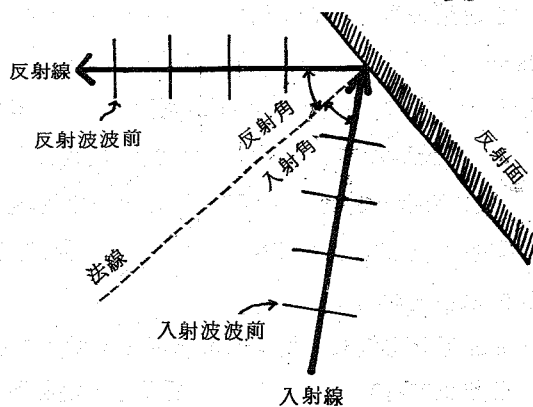


圖 14-15 波的反射

【實驗器材】 水波槽裝置，線形波起波器（馬達帶動），厚度約1公分的長方形玻璃塊，石蠟塊。

【實驗步驟】

1. 如實驗 14-2 裝置水波槽。首先將玻璃塊小心地放入槽內如圖 14-16 所示的位置。在槽內注水，使水面高出玻璃面約 0.2 公分。

2. 開動線形波起波器，觀察所生的波形是否如圖 14-17 所示？比較水波行經深水和淺水中的波長。在深水和淺水中任意各取一點，觀察每分鐘內分別通過這兩點的亮紋的數目是否相等？你能分別量出水波在深水和淺水中的傳播速率嗎？

3. 將玻璃塊改換成如圖 14-18 所示的位置，使水波斜向入射玻璃塊的界面，重覆步驟 2，觀察所生的波形是否如圖 14-19(a)所示？

【實驗討論】 略

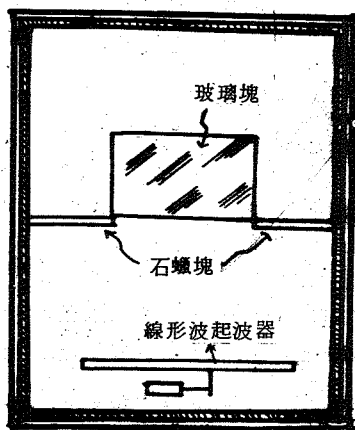


圖 14-16 水波的折射裝置（垂直入射折射面）

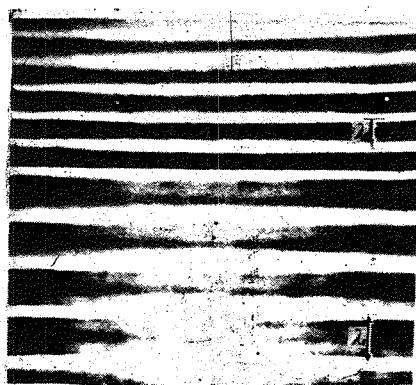


圖 14-17 直線波的折射（垂直入射折射面）

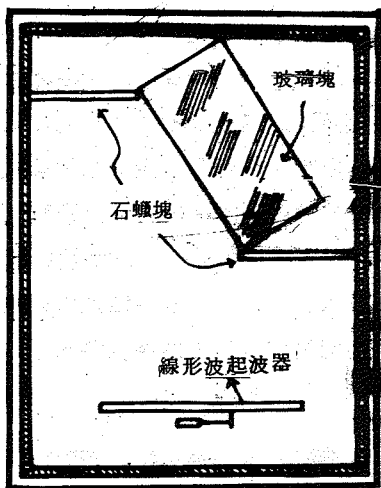


圖 14-18 水波的折射裝置
（斜向入射折射面）



圖 14-19(a) 直線波的折射
（斜向入射介質的交界面）
注意在折射的同時，仍有微弱的反射波。