

新高中
生活與物理
第二版

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

3B

新高中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合2014年更新的《**物理課程及評估指引（中四至中六）**》所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本引用更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。此外，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

課本共有10冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

- 第1冊*：熱和氣體
- 第2冊*：力和運動
- 第3A和3B冊：波動
- 第4冊：電和磁
- 第5冊：放射現象和核能

選修部分

- 第E1冊：天文學和航天科學
- 第E2冊：原子世界
- 第E3冊：能量和能源的使用
- 第E4冊：醫學物理學

*另備**組合科學（物理）**版本。

整套教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

牛津大學出版社
www.oupchina.com.hk

ISBN 978-0-19-944195-2



9 780199 441952

OXFORD

教師用書

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

3B

新高中

生活與物理

第二版

波動 II

目錄

作者簡介
序 言

iii
vi

第 4 課 波的本質

4.1 波 動	2
4.2 粒子運動與波動	8
4.3 以線圖描述橫波	24
總結 4	31
複習 4	34
自我評核 4	40

第 5 課 波的現象和駐波

5.1 利用水波研究波的現象	42
5.2 波的現象：反射與折射	48
5.3 波的現象：衍射	58
5.4 波的現象：干涉	65
F-X 5.5 駐 波	78
總結 5	89
複習 5	92
自我評核 5	104

第 6 課 光的波動本質與電磁波

6.1 光的波動本質	108
6.2 楊氏雙縫實驗與平面透射光柵	115
6.3 電磁波	135
總結 6	150
複習 6	153
自我評核 6	160

第 7 課 聲 音

7.1 縱 波	162
7.2 聲音的波動本質	175
7.3 聲音的特性	185
7.4 樂音與噪音	193
總結 7	204
複習 7	206
自我評核 7	216
答 案	218
自我評核題解	223
索 引	225
鳴 謝	227
圖片鳴謝	228
附 錄	230

序言

新高中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合2014年更新的《物理課程及評估指引（中四至中六）》所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本引用更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。此外，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

課本共有10冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

必修部分

- 第1冊：熱和氣體
- 第2冊：力和運動
- 第3A和3B冊：波動
- 第4冊：電和磁
- 第5冊：放射現象和核能

選修部分

- 第E1冊：天文學和航天科學
- 第E2冊：原子世界
- 第E3冊：能量和能源的使用
- 第E4冊：醫學物理學

核心及延展部分

為配合學生不同的能力，課程內容主要分為核心和延展兩個部分。核心部分涵蓋高中物理學的基礎理論，延展部分所包含的內容，則要求學生有較高的理解能力。

本教材中，延展部分的內容以 **Ext** 符號顯示。

物理科和組合科學科（物理）

計劃修讀物理的學生，可選修「物理科」或「組合科學科（物理）」，後者的課題從前者的內容中選取出來。

本教材中，只有「物理科」學生須要修讀的課題會以 **F-X** 符號顯示。

課本的主要欄目

每一課包含若干單元，每個單元的課文涵蓋基礎物理學概念和定律。課文以精潔簡鍊的文字編寫，易於閱讀和理解。

每篇課文均加入不同的欄目，可增進知識，豐富所學。

起點設於每個單元的開首部分，提出與日常生活有關的問題，引起學生的學習興趣。

起點

蝴蝶的彩色翅膀

很多蝴蝶的翅膀都色彩斑斕，然而這些顏色卻不是由色素所產生。你知道為甚麼蝴蝶的翅膀能呈現不同的色彩嗎？



實驗 1a

例題 1

進度評估 1

習題與思考 1.1

實驗以摘要形式寫出，有助展示課文內推導物理概念和定律的過程。

例題能幫助學生掌握物理概念。如牽涉實驗技巧，則以 **實驗技巧應用** 標誌識別。

進度評估包含簡短的題目，能監察學生的學習進度。

習題與思考設於每節的結尾，分為多項選擇題和短答題兩種，旨在加強訓練，鞏固基礎。題目按難度區分為簡單和一般（★）程度。

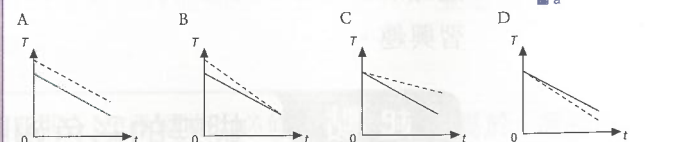
預試訓練 1

預試訓練為切合考試形式的例題，展示不同的解難技巧。內容根據公開試報告而設計，能糾正學生的常犯錯誤。題目類型包括多項選擇題和問答題，前者展示完整的解難過程，後者則附有評分指引。

預試訓練 2 溫度—時間關係線圖

學生做實驗時，利用風扇冷卻高溫物體X。圖a顯示X的溫度 T 怎樣隨時間 t 改變。

假設X的質量增加，而它的能量流失率不變。以下哪一幅圖的虛線最能顯示 T 與 t 的關係？



題解

由於能量流失率不變，物體每分鐘失去的能量 Q 與之前相同。考慮方程 $Q = mc\Delta T$ 。如果質量 m 上升，每分鐘內的溫度變化 ΔT 便會下降，亦即是說溫度下降得較慢。

∴ 答案是C。

常見錯誤

學生或誤以為質量愈大，溫度便下降得愈快。出現這種誤解的原因，可能是解題時沒有應用方程 $Q = mc\Delta T$ 。

留意A和B的線圖代表物體的初溫度比之前高。

● 複習 Q17 (p.51)

增進知識的欄目

技巧分析

技巧分析討論學習物理和解難的必要技巧。

STSE

STSE 討論與科學、科技、社會和環境有關的議題。

生活中的物理

生活中的物理說明物理學怎樣與生活息息相關。

物理 DIY

物理DIY 展示一些可自己動手做的有趣小實驗，可於家中或課堂完成。

歷史點滴

歷史點滴記錄重要概念和定律的發展史，也提及一些著名科學家的生平和成就。

補充資料

補充資料提供課程範圍以外的資料，增進學生的知識。

科學本質

科學本質讓學生了解科學的特質。

總結 1

複習內容的欄目

總結包括以下項目：

- 詞彙列出課文提及的物理學用語。
- 課文摘要重溫課文的重點。
- 概念圖把整課的重要概念之間的關係組合成概要。

複習包括：

- 概念重溫
- 多項選擇題
- 問答題
- 實驗題
- 物理文章分析

所有題目按難度分為三類，標以★的題目屬於一般程度，標以★★的題目較具挑戰性。

部分題目挑選自本港及海外公開考試，以幫助學生了解公開考試的要求並熟習題目的形式，以提升應試技巧。

自我評核 1

自我評核是包含一至兩頁問題的簡短測驗。書末提供評分指引，學生完成題目後可自行批改，了解自己的表現。

自我評核 3

時間：20分鐘 滿分：12分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 每題為多項選擇題，乙部為問答題。
- 每題僅能在指定位置作答。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

1. 物體O透過透鏡L形成像I。圖a顯示O和I的大小及位置。

圖a

2. 下列哪些有關透鏡成像的敘述是正確的？

- 物像倒立在屏幕上，否則我們不可能看到實像。
- 凹透鏡只有在透鏡的曲平面上，才可形成清晰的像。
- 凸透鏡形成的虛像必然比原物大。
- 凹透鏡形成的虛像必然比原物小。

3. 圖c顯示高3 cm的字母[F]。當透鏡置於字面上方12 cm處，就會形成高1.5 cm的像[I圖d]。

圖c

4. 圖e顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖e

5. 假設屏幕上可以接收物體清晰的像，下列哪種敘述是正確的？

- 所有清晰的像都是縮小的。
- 物像必然大於30 cm。
- 隨著物體靠近透鏡，像會變暗。

6. 圖f顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖f

7. 圖g顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖g

8. 圖h顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖h

9. 圖i顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖i

10. 圖j顯示物體O位於凸透鏡L前，透鏡的焦距為30 cm。

圖j

乙部

6. 圖c和f顯示透鏡L和物體O，圖g顯示物體O和像I。圖h和i顯示物體O和像I。圖j顯示物體O和像I。

(a) A和B分別是哪一種透鏡？說清楚理由。(4分)

(b) 判斷透鏡A和B形成的像是實像還是虛像。(2分)

(c) 在下圖中，完成光線的繪製，並顯示像的位置。(2分)

(d) 透鏡A。(2分)

(e) 透鏡B。(2分)

(f) 指出以下兩組像的大小有何差異。(1分)

(g) 透鏡A的焦距增大。(1分)

(h) 透鏡B的焦距增大。(1分)

多媒體資源

下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。

模擬程式 1.1

錄像片段 1.1

- 模擬程式設互動功能，展示不同的物理現象和實驗。
- 錄像片段記錄有趣的物理現象，以及實驗的過程和結果。
- 虛擬實驗室讓學生在虛擬的環境操作實驗儀器。
- 生活中的物理、歷史點滴、物理DIY 提供額外的文章和錄像，供學生參考。
- 詞語表列出課本內的物理學詞語，並附以詳細解釋和英文正確讀音。

採用新高中生活與物理（第二版）的學生均獲得登入密碼，可經牛津物理網 (<http://www.oupchina.com.hk/physics/chi/>) 使用上述多媒體資源。



4 波的本質

我們在这一課會學到

- 波怎樣產生，以及它們怎樣傳遞能量
- 粒子振動怎樣形成波動
- 描述粒子振動與波動的用語及線圖

4.1

波動

起點

大象的溝通方式

大象除了可以憑聽覺、視覺等感覺模式與外界溝通外，還可靠產生振動來互相聯繫。究竟這個方法是怎樣的？

參閱第7頁「生活中的物理」。



✓ 本課重點

- 1 波與能量
- 2 橫向脈衝與橫波
- 3 縱向脈衝與縱波

1 波與振動

在日常生活中，我們經常接觸到不同種類的**波**，例如雨點掉進池塘，會在水面產生水波（圖 4.1a）；體操運動員舞動絲帶，也會令絲帶產生波。從以上兩個例子，可見**振動**能夠產生波。



圖 4.1a 由振動產生的波



波的其他例子還有聲音和微波等（圖 4.1b）。事實上，來自周圍的訊息，大部分都以波的形式傳達。



(i) 聲音

圖 4.1b 波的例子



(ii) 微波

2 波、能量和物質

把乒乓球放在平靜的水面上，然後在一段距離外干擾水面，產生水波。

行波也稱為前進波。單元 5.5 會介紹駐波。駐波不會由一個地方傳播到另一個地方。
水波會向乒乓球行進，這種波稱為**行波**。
過了一會，水波經過時，乒乓球便開始移動（圖 4.1c）。這顯示波把能量由干擾源頭（手）傳遞到乒乓球。

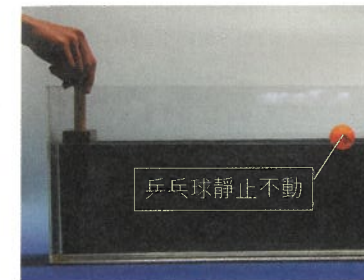


圖 4.1c 波把能量由干擾源頭傳遞到乒乓球

學生可能注意到波浪會將海面的垃圾沖上沙灘，老師可以向學生解釋水的運動包括兩個部分——水波和水流，將垃圾帶上沙灘的是水流而非水波。

在以上示範中，當水波經過時，乒乓球並沒有向外移動，而只是在原來位置上下起伏（圖 4.1d）。這顯示水並沒有向外移動。

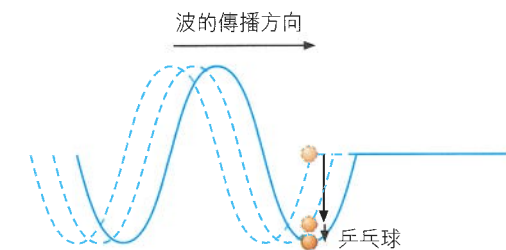


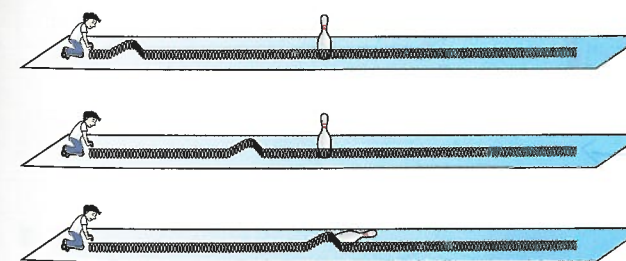
圖 4.1d 水波經過時，乒乓球上下起伏

因此，我們可以得出以下結論：

行波傳遞能量，但不傳遞物質。

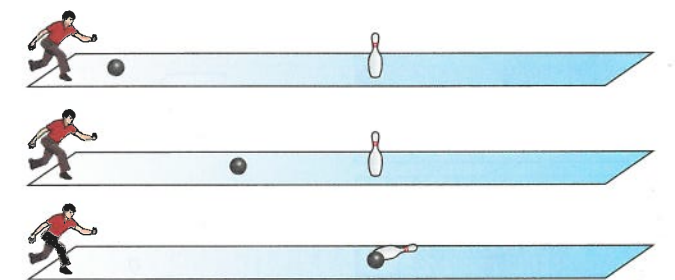
這裏的「物質」指波傳遞時所處的介質，以上文的例子來說，介質就是水。

傳遞能量還可以用其他方法。圖 4.1e 比較以波傳遞能量和其他方法的分別。



(i) 學生在彈簧一端產生的波撞倒球瓶。波經過後，彈簧依然留在原位。過程中，能量由源頭（學生）傳遞到目標（球瓶），但沒有傳遞物質

圖 4.1e (i) 波及 (ii) 保齡球傳遞能量的過程



(ii) 運動員滾出的保齡球撞倒球瓶。過程中，能量由源頭（運動員）傳遞到目標（球瓶），也傳遞了物質（保齡球）

3 橫波與縱波

在實驗室，我們可以用軟彈簧來產生波（圖 4.1f）。



圖 4.1f 軟彈簧

模擬程式 4.1
錄像片段 4.1

→ 模擬程式 4.1 顯示橫波由粒子振動造成，粒子的振動方向與波的傳播方向垂直。學生可選擇 4 個粒子以至於一連串粒子，來觀察橫波的傳播。

→ 錄像片段 4.1 示範實驗 4a。

實驗 4a 橫向脈衝與橫波

- 1 在軟彈簧上縛一條絲帶作為標記。
- 2 讓兩個學生拉長彈簧。固定彈簧的一端，並把另一端橫向抖動一次來產生脈衝（圖 a）。觀察脈衝與絲帶的運動。

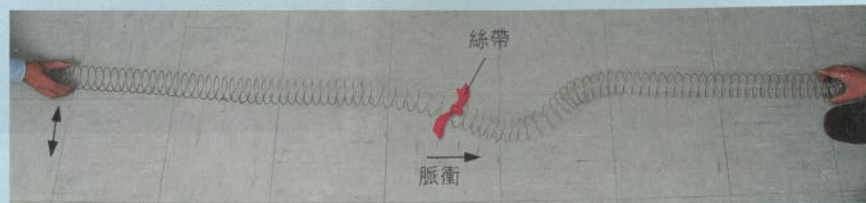


圖 a

- 3 連續抖動彈簧來產生波。觀察波與絲帶的運動。

討論

波的傳播方向與絲帶的運動方向有甚麼關係？兩者互相垂直。

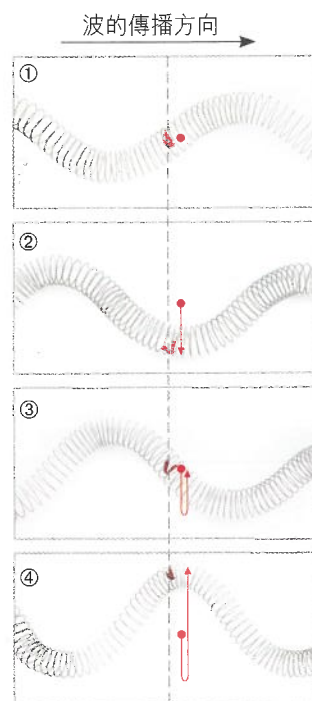


圖 4.1g 橫波的隔時照片

在實驗 4a 中，絲帶代表彈簧上的一個粒子。圖 4.1g 顯示波的隔時照片，可見粒子的振動方向與波的傳播方向互相垂直（圖 4.1h），這種波稱為橫波。

橫波的波形包含一連串波峰和波谷。波峰是波的最高點，波谷則是波的最低點（圖 4.1i）。

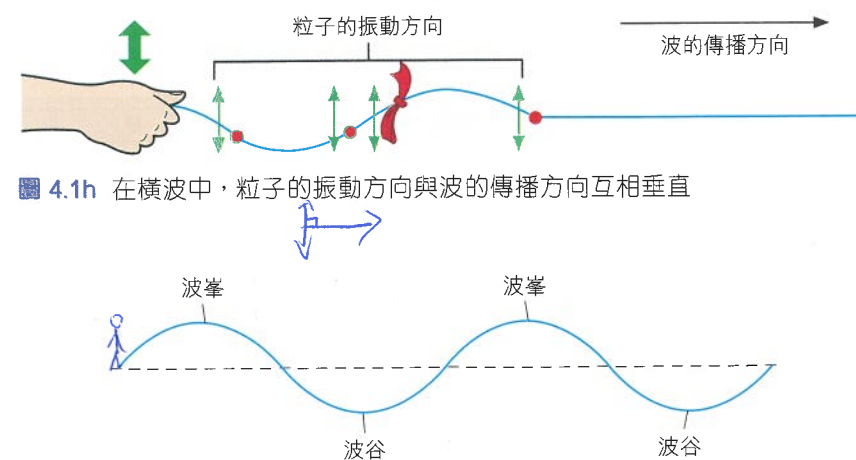


圖 4.1h 在橫波中，粒子的振動方向與波的傳播方向互相垂直

圖 4.1i 橫波的波峰和波谷

模擬程式 4.2
錄像片段 4.2

→ 模擬程式 4.2 顯示縱波由粒子振動造成，粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行。

→ 錄像片段 4.2 示範實驗 4b。

實驗 4b 縱向脈衝與縱波

- 1 在軟彈簧上縛一條絲帶作為標記。
- 2 讓兩個學生拉長彈簧。固定彈簧的一端，並把另一端快速地沿彈簧推壓一次來產生脈衝（圖 a）。觀察脈衝與絲帶的運動。然後，把彈簧快速地拉伸一次，觀察脈衝與絲帶的運動。

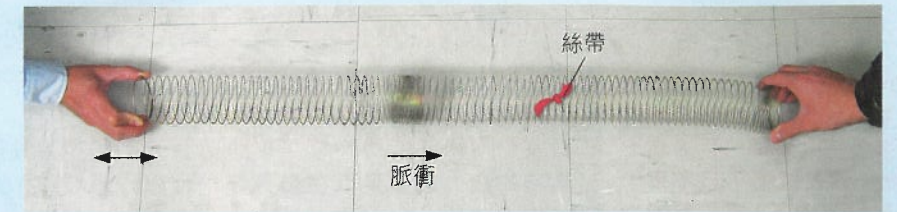


圖 a

- 3 連續推拉彈簧來產生波。觀察波與絲帶的運動。

討論

波的傳播方向與絲帶的運動方向有甚麼關係？兩者互相平行。

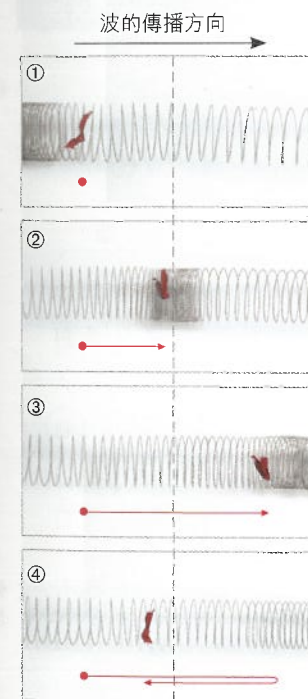


圖 4.1j 縱波的隔時照片

圖 4.1j 顯示實驗 4b 中波的隔時照片，可見粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行（圖 4.1k），這種波稱為縱波。

縱波的波形包含一連串較密部分與較疏部分，較密部分稱為密部，較疏部分稱為疏部（圖 4.1l）。

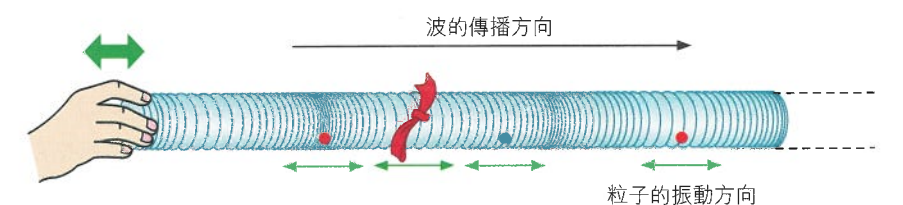


圖 4.1k 在縱波中，粒子沿着波的傳播方向振動

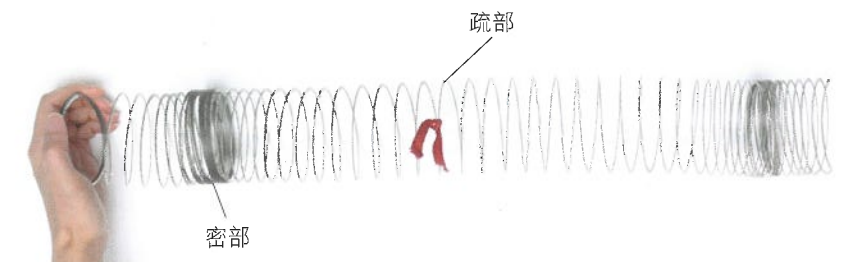


圖 4.1l 縱波的密部和疏部

波可以按照粒子的振動情況分為橫波和縱波：

在橫波上，粒子的振動方向與波的傳播方向互相垂直。

在縱波上，粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行。

波動與粒子振動的關係密切，詳情會在單元 4.2 探討。

2011年3月11日，日本發生里氏9級的強烈地震，引發特大海嘯，巨浪高達8m，徹底破壞了日本東北沿岸多個城市，奪去超過15 000人的性命。福島更因海嘯而發生嚴重核事故。第5冊第3課會詳細討論該核事故。

以下網站內的照片展示日本一些地方在海嘯前後的景象。

<http://www.abc.net.au/news/specials/japan-quake-2011/>



生活中的物理 波造成的災難

由波動而來的能量轉移可以十分巨大。例如，海嘯就是一種強勁的海洋波，它所具有的龐大能量足以在幾分鐘內摧毀一座城市！海嘯多數由海床地震引起，從以下相片可見，2011年日本一座城市受海嘯襲擊後剩下頹垣敗瓦（圖a）。



圖 a

地震發生時，巨大的能量以波的形式傳遞，當中有兩種波會穿越地球內部，稱為P波和S波。P波是縱波，而S波是橫波，各自沿不同方向振動地殼（圖b）。右方的相片顯示地震在路面造成的裂痕（圖c）。

如果在海底發生地震，大量海水會因振動而劇烈起伏，可能會形成海嘯。

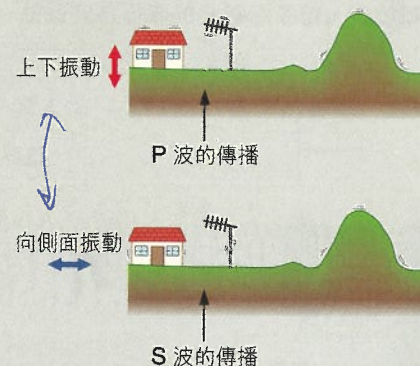


圖 b



圖 c

生活中的物理

大象的溝通方式

大象叫喊時會令地面振動，振動產生的波沿地面傳播。當這些波經過其他大象所站的地面，牠們便能用腳和鼻去接收這些「訊號」。相比透過空氣傳播聲音，大象通過地面能與更遠的同伴溝通。這解答了起點的問題。

進度評估 1

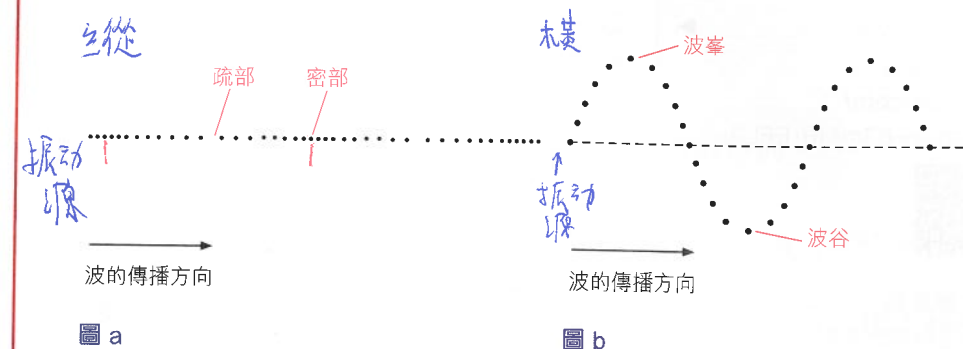
各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.2）。

1 圖 a 和圖 b 分別顯示縱波與橫波上的一些粒子。

2,3

(a) 在縱波中，粒子的振動方向與波的傳播方向互相（垂直/平行）。在橫波中，粒子的振動方向與波的傳播方向互相（垂直/平行）。

(b) 在圖 a 和圖 b 標示以下部分：波峯、波谷、密部、疏部。



習題與思考 4.1

3 1

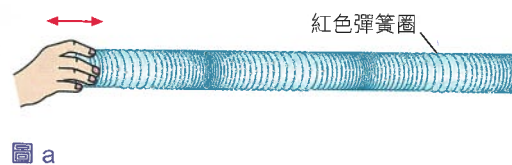


圖 a

某學生持續推拉軟彈簧的左端（圖a）。紅色彈簧圈會

- A 移向彈簧的右端。
- B 週期性地左右振動。
- C 週期性地上下振動。
- D 保持靜止。

★ 2 下列哪些有關行波的敘述是正確的？

- (1) 行波把能量由一個地方傳遞到另一個地方。
- (2) 行波把物質由一個地方傳遞到另一個地方。
- (3) 行波上的物質保持靜止。

- A 只有 (1)
- B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (2)
- D 只有 (1) 和 (3)

3 如圖 b 所示，一塊膠泥貼在軟彈簧上。某學生持續擺動彈簧的一端來產生波。

2,3

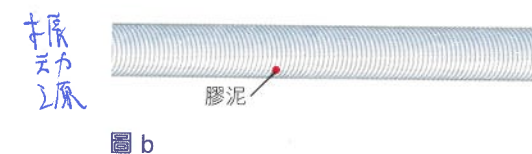


圖 b

若膠泥的運動如下所述，彈簧中所產生的波是橫波還是縱波？

- (a) 膠泥上下擺動 橫波
- (b) 膠泥沿彈簧前後擺動 縱波

★ 4 一軟木塞浮在水面上。以下兩種方法都能令軟木塞移動，獲得動能。

- (1) 向軟木塞投擲小石子。
- (2) 把小石子掉進軟木塞旁的水中。

以上兩種方法都會使能量由小石子傳遞到軟木塞。試比較這兩種方法。

★ 5 試舉出一個示範或日常生活例子，展示水波帶有能量。

4.2

粒子運動與波動

起點 人浪

有時我們會在足球賽事中看到人浪。製造人浪時，坐在觀眾席上的觀眾會沿某個方向逐一站起、舉高手，然後再坐下。產生人浪的原理，跟產生波的原理有甚麼相似的地方？ 參閱下方。

人浪的影片：
<http://www.youtube.com/watch?v=63mMRrEFL2s>



✓ 本課重點

- 1 描述粒子的振動
- 2 描述波動
- 3 粒子振動和波動
- 4 粒子的速率與波的速率



當球場內的觀眾逐一站起，然後逐一坐下，便會形成人浪。同樣地，介質中的每個粒子按次序持續振動，便會形成波。接下來，我們會先研究縱波的粒子振動及波動 橫波的粒子振動及波動，然後再將兩者連繫起來。

縱波的粒子振動及波動 會在第 7 課討論。

1 描述粒子的振動

在橫波上，所有粒子都上下振動。圖 4.2a 表示了這些粒子的運動。粒子原本所處的位置稱為平衡位置。以下介紹一些用來描述粒子振動的用語。

粒子的上下運動沿着同一條垂直線進行，但這裏把粒子的路徑畫成分開的垂直線，以方便展示。

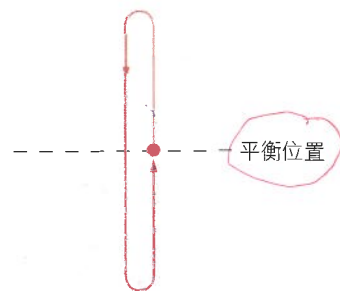


圖 4.2a 粒子的上下振動

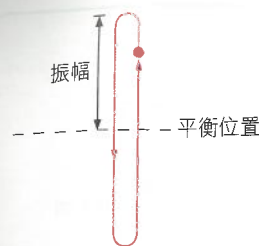
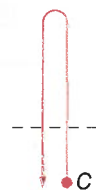


圖 4.2b 粒子振動的振幅

把週期在粒子振動中的定義與在勻速圓周運動(第 2 冊第 9 課)中的定義作比較。

紅色粒子首次返回起點 C 時正往下移，且還未開始重複它的運動，因此它還未完成一次完整振動。



歷史點滴

赫茲 (1857–1894)



赫茲這個單位是以德國科學家赫茲命名。他在 1886 年發現無線電波。

a 振幅 稍後，學生可能會把振幅和粒子的位移混淆。

A

振幅是粒子振動時與平衡位置的最大距離。

振幅是量度長度的物理量，單位是米 (m)，以符號 A 代表 (圖 4.2b)。

b 週期

T

S

週期是粒子完成一次完整振動所需的時間。

週期是量度時間的物理量，單位是秒 (s)，以符號 T 代表。

在圖 4.2c 中，紅色粒子先往上移，然後往下移，接着又再次往上移返回起點 C。我們稱紅色粒子完成了一次完整振動。接着，粒子會重複它的運動。圖 4.2c 還顯示了另一些粒子如何由不同位置出發完成一次完整振動。

不論粒子的起點在哪裏，完成一次完整振動的時間(週期)都不變。

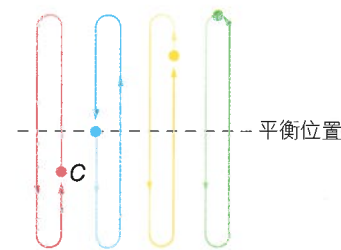


圖 4.2c 粒子完成一次完整振動

c 頻率

f

$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$

頻率是粒子在一秒內振動的次數。

頻率的符號是 f ，單位是赫茲 (Hz)。赫茲的意思是每秒的振動次數。

如果粒子振動的頻率是 2 Hz，它 1 秒內便會完成 2 次完整振動，由此可知，粒子完成 1 次完整振動所需的時間(即週期)是 $\frac{1}{2}$ 秒。由以上例子可見，粒子振動的頻率與週期的關係如下：

這關係也可寫成 $T = \frac{1}{f}$ 。

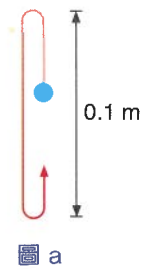
$$f = \frac{1}{T}$$

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

例題 1 描述粒子的振動

如圖 a 所示，粒子上下振動，所到達的最高點和最低點相距 0.1 m。在 5 秒內，粒子完成了 10 次完整振動。

求粒子振動的振幅、週期和頻率。



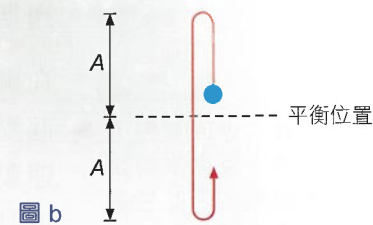
題解

振幅 A 是最高點或最低點與平衡位置的距離 (圖 b)。

$$\text{振幅 } A = \frac{0.1 \text{ m}}{2} = 0.05 \text{ m}$$

$$\text{週期 } T = \frac{5 \text{ s}}{10} = 0.5 \text{ s}$$

$$\text{頻率 } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ Hz}$$



▶ 進度評估 2 Q1 (p.10)

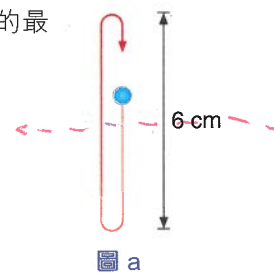
進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.8)。

- 11 某粒子上下振動，頻率為 2.5 Hz。過程中，粒子到達的最高和最低點相距 6 cm。

(a) 粒子振動的振幅是多少？ 3 cm

(b) 求粒子振動的週期。 0.4 s $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2.5}$

[提示：根據 $f = \frac{1}{T}$ ， $T = ?$]



- 12 某粒子的振動週期為 0.2 秒。 = T

(a) 該粒子需要多少時間來完成 20 次完整振動？ 4 s 0.2×20

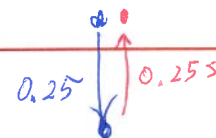
(b) 在 6 秒內，該粒子共完成多少次完整振動？ 30 $\frac{6}{0.2}$

- 13 某粒子的振動頻率為 4 Hz。 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ s}$

(a) 該粒子需要多少時間來完成 100 次完整振動？ 25 s

(b) 在 1 分鐘內，該粒子共完成多少次完整振動？ 240 $\frac{60}{0.25}$

- 14 某粒子上下振動。它由最高點移動到最低點需時 0.25 s。求粒子振動的週期。 0.5 s



2 描述波動

在介質中，每個獨立粒子的運動組合起來，便會形成波動。以下介紹一些用來描述波動的用語。那些用來描述粒子振動的用語，同樣可以用來描述波動。

a 振幅

振幅是波動中振動部分與平衡位置的最大距離。

橫波的振幅就是從平衡位置量度的波峰高度或波谷深度 (圖 4.2d)。它與波所帶的能量有關，振幅愈大代表波所帶的能量愈多。

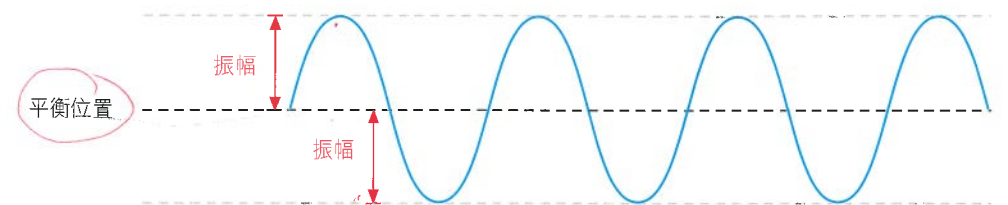


圖 4.2d 橫波的振幅

b 波長

波長是波形重複的最短距離。

λ 是一個希臘字母，讀作 ▶ 波長的符號是 λ ，單位是米 (m)。
'lambda'。

圖 4.2e 顯示一列橫波在某個時刻的波形。若我們從 C 點開始沿波形往右查看，會發現到了 D 點後，波形便開始重複。C 點和 D 點之間的距離就剛好等於一個波長。圖中也顯示了其他相等於橫波波長的距離。

因此，要找出橫波的波長，較方便的做法就是量度兩個相鄰波峰 (或波谷) 之間的距離。

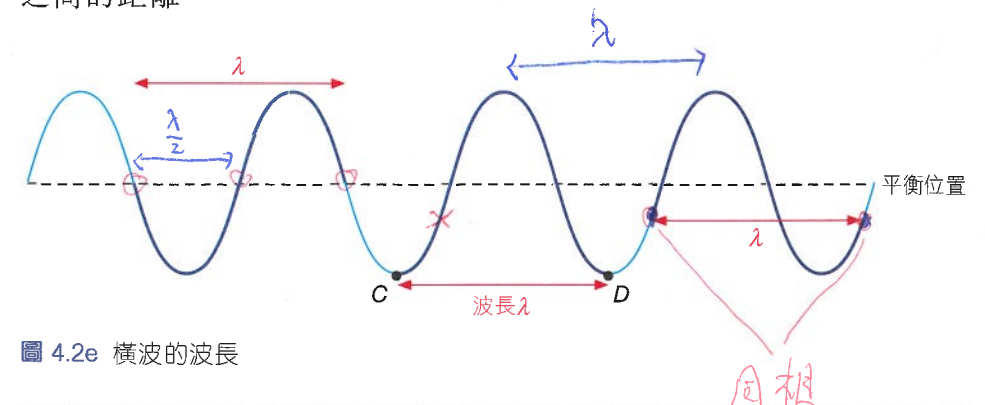


圖 4.2e 橫波的波長

波長 wavelength

4 波的本質

c 週期

一個完整波相等於一個波長的部分。

週期是產生一個完整波所需的時間。

在圖 4.2f 中，時間從 $t = 0$ 到 $t = 0.5 \text{ s}$ 時，振動器剛好產生了一個完整波（紅色部分），因此波的週期是 0.5 s 。

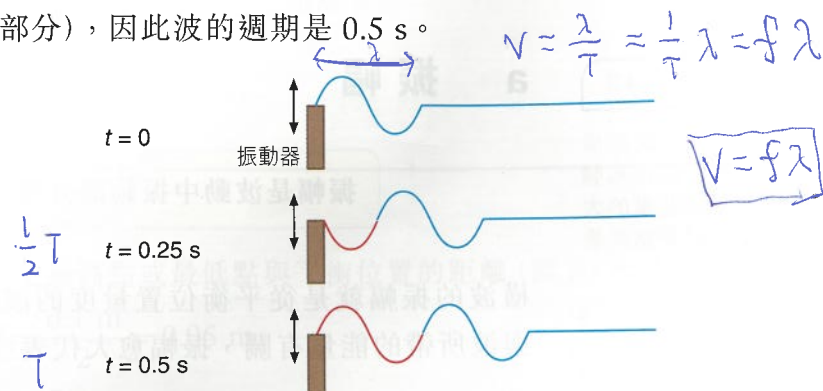


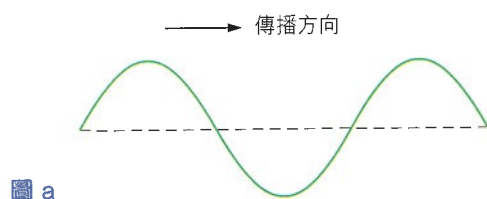
圖 4.2f 橫波的週期

從圖 4.2f 也可以觀察到從 $t = 0$ 到 $t = 0.5 \text{ s}$ （即一個週期），波向右行進了一個波長的距離。

週期是波行進一個波長的距離所需的時間。

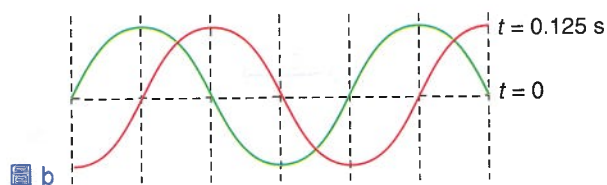
例題 2 草繪波形

週期為 0.5 s 的波沿繩子向右傳播，在時間 $t = 0$ ，波形如圖 a 所示。試草繪 $t = 0.125 \text{ s}$ 時的波形。



題解

因為 $0.125 \text{ s} = \frac{1}{4} T$ ，所以波形會向右移 $\frac{1}{4} \lambda$ 的距離（圖 b）。



進度評估 3 Q1 (p.15)

d 頻率

頻率是一秒內產生的完整波數目。

如果波的頻率是 2 Hz ，1 秒內便會產生 2 個完整波（圖 4.2g），由此可知，產生 1 個完整波所需的時間（即週期）是 $\frac{1}{2}$ 秒。由以上例子可見，波的頻率與週期的關係是 $f = \frac{1}{T}$ ，與粒子運動的情況一致。

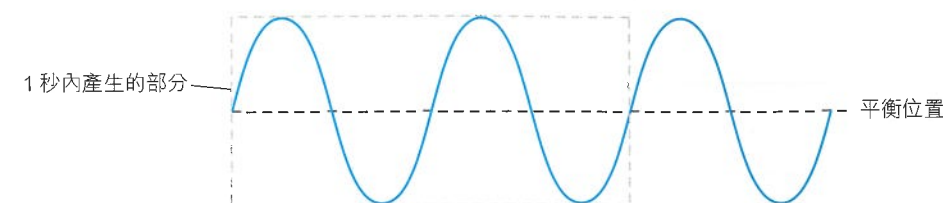
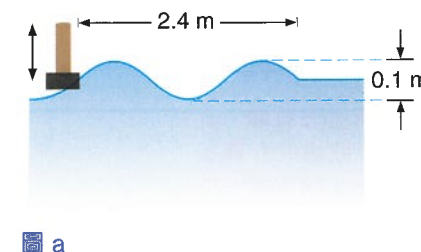


圖 4.2g 頻率為 2 Hz 的波

例題 3 計算振幅、波長和頻率

學生研究在靜止的水面上產生的水波。水面經過 3 s 的干擾後，形成圖 a 所示的波形。



- 求水波的振幅。
- 求水波的波長。
- 求水波的頻率。

題解

- 振幅 $A = \frac{0.1 \text{ m}}{2} = 0.05 \text{ m}$
- 如圖 a 所示，1.5 個完整波的長度是 2.4 m 。
 $\Rightarrow$ 波長 $\lambda = \frac{2.4 \text{ m}}{1.5} = 1.6 \text{ m}$
- 學生在 3 秒內產生了 1.5 個完整波。
 $\Rightarrow$ 頻率 $f = \frac{1.5}{3} = 0.5 \text{ Hz}$

進度評估 3 Q3 (p.15)

e 波速率

波速率是波在一秒內行進的距離。

距離
時間

波速率的符號是 v ，單位是 m s^{-1} 。

波速率 wave speed

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

草繪某段時間後的波形

- 以週期 T 的倍數表示該時距。
- 計算波在該時距內行進的距離（以波長 λ 表示）。
- 如題目沒有提供方格，就把每個完整波分為 4 等分（每等分對應 $\frac{1}{4} \lambda$ ），然後沿波的傳播方向把原來的波形按步驟 ② 的距離移動，草繪出新的波形。

如果波以恆定的速率傳播，可以量度波行進某段距離 d 所需的時間 t (圖 4.2h)，然後運用 $v = \frac{d}{t}$ 來計算波速率。

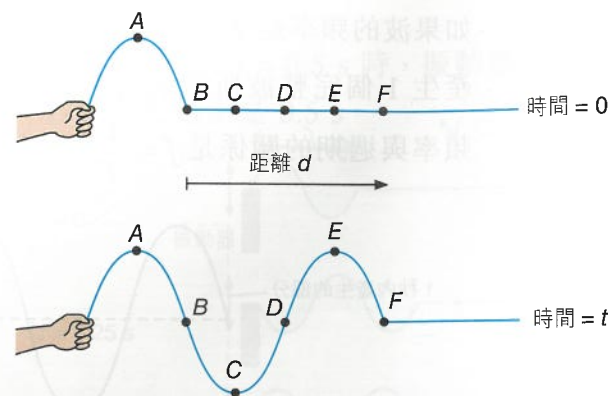


圖 4.2h 波行進距離 d 所需的時間為 t ，因此波速率 $v = \frac{d}{t}$

留意波經過的時候，粒子 (A 至 F) 沒有向前移動。

已知波行進一個波長 (λ) 的距離所需的時間為一個週期 (T)，因此，

$$T = \frac{1}{f} \quad v = \frac{d}{t} = \frac{\lambda}{T} = \frac{1}{T} \times \lambda = f \times \lambda$$

可指出 f 與振源有關，而 v 則取決於波經過的介質，所以關係式 $v = f\lambda$ 把波、振源和介質三者的特性連繫起來。

波速率 = 頻率 × 波長

$$v = f\lambda$$

以上關係式適用於所有種類的波。

表 4.2a 總結了描述粒子運動及波動的用語。

用語	對粒子運動而言	對波動而言
振幅 (A)	粒子振動時與平衡位置的最大距離	波動中振動部分與平衡位置的最大距離
週期 (T)	粒子完成一次完整振動所需的時間	產生一個完整波所需的時間 或 波行進一個波長的距離所需的時間
頻率 (f)	粒子在一秒內振動的次數	一秒內產生的完整波數目
波長 (λ)	—	波形重複的最短距離
波速率 (v)	—	波在一秒內行進的距離

表 4.2a 描述粒子振動及波動的用語

例題 4 計算波速率並運用 $v = f\lambda$

學生把彈性索放在地板上拉直至 5 m 長。在時間 $t = 0$ ，學生開始抖動彈性索的一端，產生頻率為 4 Hz 的橫波。在 $t = 2.5$ s，橫波到達彈性索的另一端。

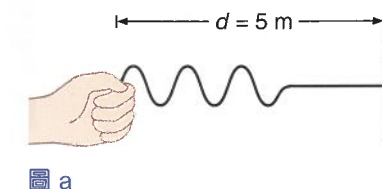
- 求波速率。
- 求波的週期。
- 求波長。

題解

$$(a) \text{ 波速率 } v = \frac{d}{t} = \frac{5}{2.5} = 2 \text{ m s}^{-1}$$

$$(b) \text{ 週期 } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ s}$$

$$(c) \text{ 根據 } v = f\lambda, \quad \text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{2}{4} = 0.5 \text{ m}$$

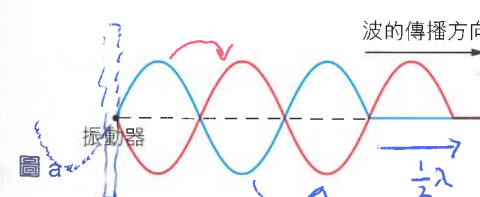


進度評估 3 Q2 (p.15)

進度評估 3

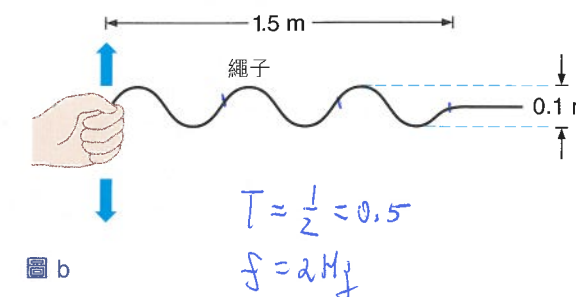
各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.8)。

- 21 學生啟動振動器，在繩子上產生一系列波。波向右傳播，週期為 1 s。一段短時間後，繩子上的波形如圖 a 所示。



試在圖 a 草繪 0.5 s 後繩子上的波形。

- 23 學生每秒上下抖動繩子兩次，一段時間後，產生以下波形 (圖 b)。



- 22 國鋒有一條長 0.9 m 的繩子。他把繩子的一端以 0.5 s 的週期抖動，產生一系列橫波。0.6 s 後，波到達繩子的另一端。

- 求波速率。 1.5 m s^{-1}
- 求波的頻率。 2 Hz
- 求波長。 0.75 m

求波的振幅、波長、頻率、週期和波速率。

$$A = 0.05 \text{ m}, \lambda = 0.5 \text{ m}, f = 2 \text{ Hz}, T = 0.5 \text{ s}, v = 1 \text{ m s}^{-1}$$

$$v = f\lambda = 2 \times 0.5 = 1 \text{ m s}^{-1}$$

$$1.5 = 2 \lambda$$

4 波的本質

利用橫波模型，可追蹤一個「粒子」的運動，並將這運動連繫到「波」的運動。

3 粒子振動和波動

要了解波動，便要認識波的傳播與粒子振動的關係，方法可以是使用橫波模型。橫波模型置於高映機上，模型的線圈轉動時，投映在屏幕上的線圈影像就像橫向行波，而線圈上的膠泥就像橫波上的粒子（圖 4.2i）。

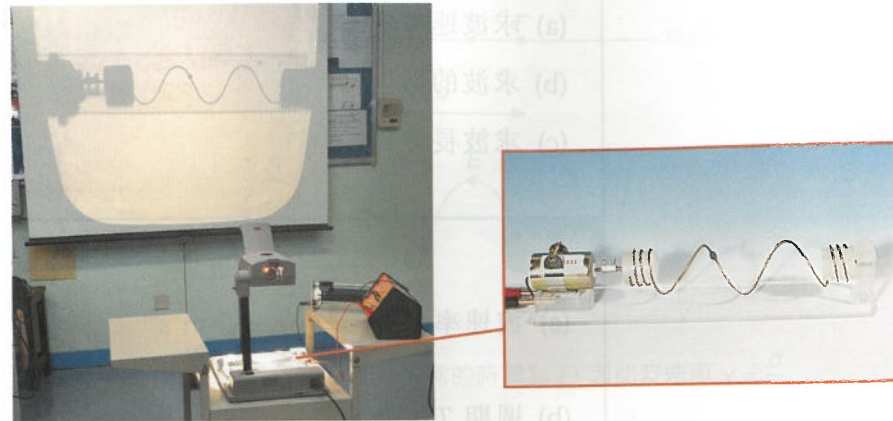


圖 4.2i 橫波模型包含一個以電動機驅動的螺旋線圈

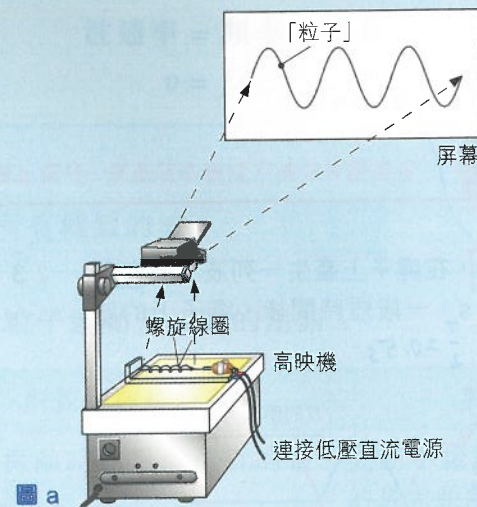
模擬程式 4.4
錄像片段 4.3

→ 模擬程式 4.4 顯示橫波中粒子運動與波動的關係。學生可觀察到粒子作一次完整振動時，波傳播的情況。
→ 錄像片段 4.3 示範實驗 4c。

指出真實的橫波波長可以改變，而橫波模型的波長則固定不變。在橫波模型中，線圈轉速增加，會令「波」行進的速率增加，但在真實的橫波中，波速率未必會隨頻率改變。

實驗 4c 橫波模型

1 在高映機上裝置橫波模型（圖 a），把模型的像投映在屏幕上。



2 將一塊小膠泥黏在螺旋線圈上，代表一個「粒子」。觀察「波」行進一個波長的距離時，「粒子」怎樣振動。

3 在螺旋線圈上平均地黏上幾塊小膠泥，觀察這些「粒子」怎樣振動。

討論

1 各「粒子」以相同振幅和週期振動嗎？ 是

2 「粒子」的振動與「波」的運動有甚麼關係？

「粒子」的振動方向與「波」的傳播方向互相垂直。「粒子」的振動與「波」有相同的振幅和週期。

a 粒子振動與波動的關係

從以上實驗，我們觀察到橫向行波和波上的粒子有以下關係。

- 波上所有粒子的振幅相同，也與波的振幅相同（圖 4.2j）。

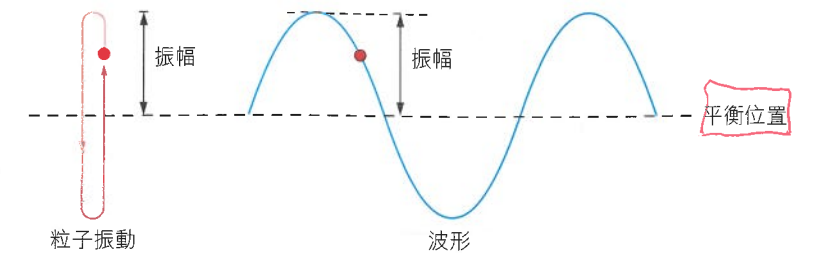


圖 4.2j 粒子振動的振幅與波的振幅相同

- 波上所有粒子以相同的週期和頻率振動。

- 粒子振動與波動有相同的週期和頻率。

根據觀察，當粒子（如圖 4.2k 中的 P）完成一次完整振動，一個完整波就同時產生，因此可得出以上結論。另外，粒子振動和波動的週期、頻率又與振動源振動的週期、頻率相同。

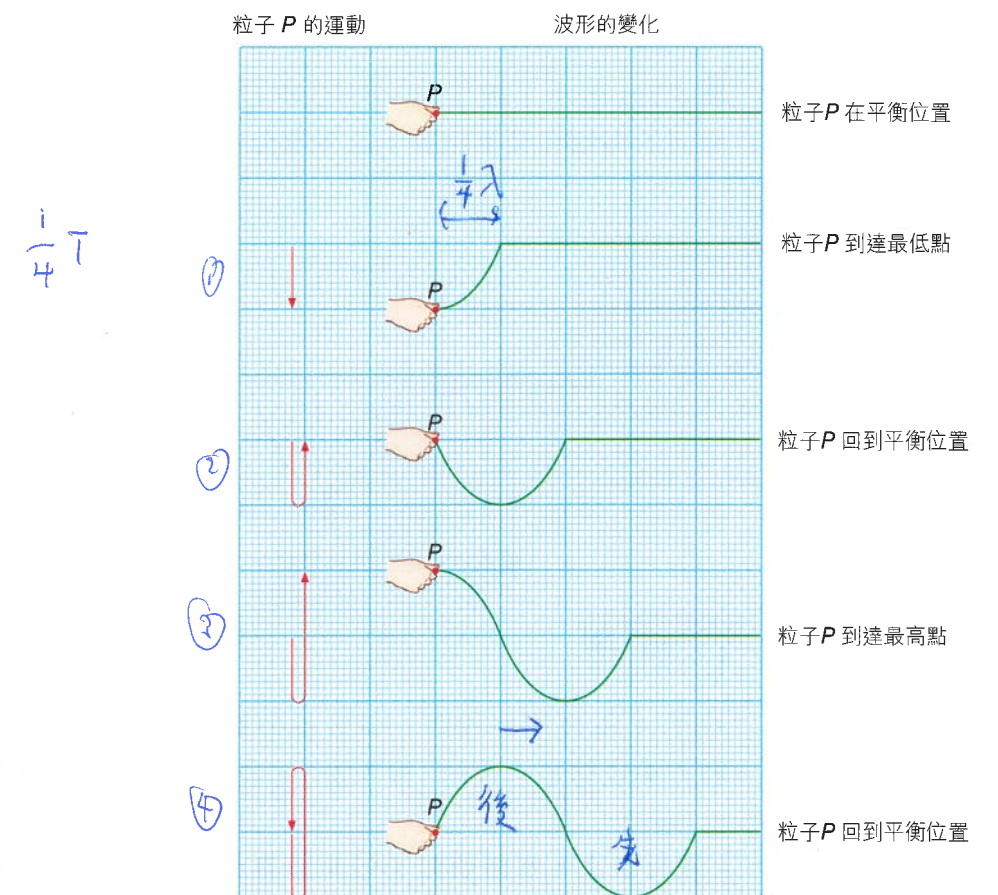


圖 4.2k 粒子完成一次完整振動，便有一個完整波產生

4 波的本質

b 粒子的運動方向

粒子振動時，波會行進。要找出粒子在某一刻的運動方向，可以考慮在該時刻之前和之後短時間內的波形（圖 4.2l）。

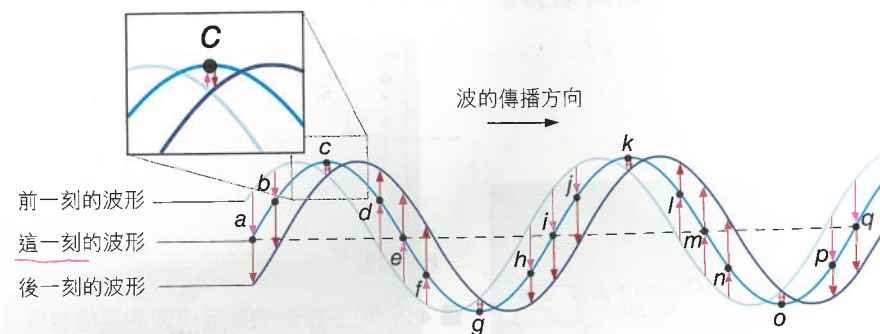


圖 4.2l 行波上粒子的運動方向

在圖中顯示那一刻：

- 粒子 a 、 b 、 h 、 i 、 j 、 p 和 q 正向下移動；
- 粒子 d 、 e 、 f 、 l 、 m 和 n 正向上移動；
- 粒子 c 、 g 、 k 和 o （處於波峰或波谷的粒子）是瞬時靜止的。

這與向上拋起皮球的情況相似：粒子在改變運動方向的一刻是瞬時靜止的。

c 相位

圖 4.2m 展示了粒子 A 、 B 、 C 和 D 在某段時間內的移動路徑，它們以相同的振幅和頻率振動。以下部分會根據這幾個粒子的運動來討論。

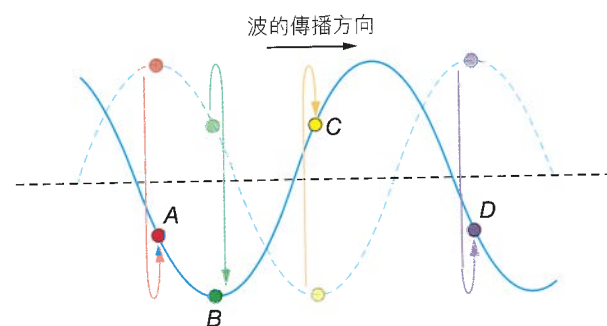


圖 4.2m 粒子的移動路徑

i 同相

粒子 A 和 D 剛好相距一個波長的距離。它們會同時到達最大位移，移動方向也總是一致的（圖 4.2n）。我們稱兩者的振動同相。

在行波上，當兩個粒子的距離為波長的整數倍，即 $n\lambda$ （ n 是整數），它們的振動同相。

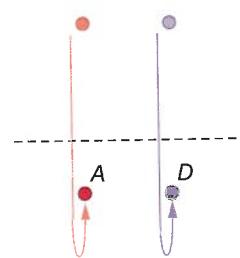


圖 4.2n 振動同相的粒子

ii 異相

考慮粒子 A 和 B 。 A 比 B 更早到達最大位移（圖 4.2o）。我們稱兩者的振動異相，而 A 領先於 B （或 B 落後於 A ）。當兩個粒子的距離並非 $n\lambda$ ，它們的振動異相。

異相振動中有一個情況比較特別，就是粒子 A 和 C 的情況。它們剛好相距半個波長的距離。當一個粒子到達波峰，另一粒子就到達波谷，反之亦然（圖 4.2p）。它們的運動方向也總是相反。我們稱兩者的振動反相。

在行波上，當兩個粒子的距離為 $\frac{1}{2}\lambda$ 、 $1\frac{1}{2}\lambda$ 、 $2\frac{1}{2}\lambda$ 、 $\dots$ 、 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ （ n 是整數），它們的振動反相。

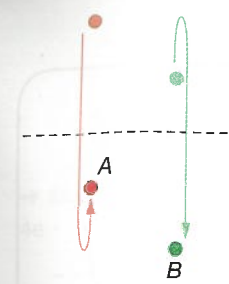


圖 4.2o 振動異相的粒子

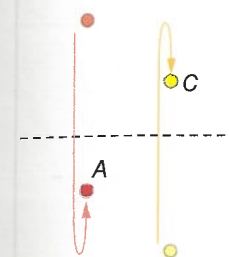


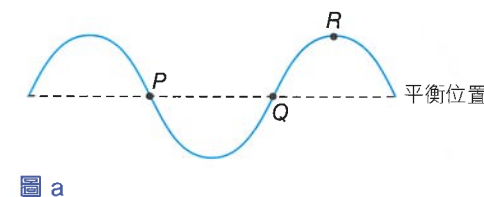
圖 4.2p 振動反相的粒子

預試訓練 1

粒子的運動 ☆ 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q14

一列波沿繩子行進，它在時間 t 的波形如圖 a 所示。如果粒子 P 正向下移動，粒子 Q 和 R 的運動是怎樣的？

- Q 和 R 都正向下移動。
- Q 正向上移動，而 R 正向下移動。
- Q 正向上移動，而 R 是瞬時靜止的。
- Q 正向下移動，而 R 是瞬時靜止的。



題解

P 正向下移動，顯示波向左傳播。

考慮一段短時間後的波形（圖 b），可見在時間 t ， Q 正向上移動。

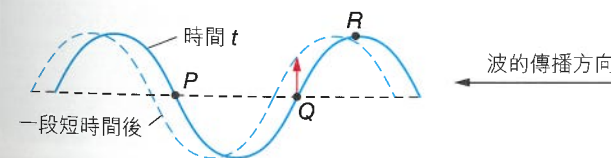


圖 b

在時間 t ， R 處於波峰，所以它是瞬時靜止的。

∴ 答案是 C。

將波形平移一段短距離，會發現：若波向右傳播， P 會向上移動；若波向左傳播， P 會向下移動。

常見錯誤

學生或會考慮一段短時間後的波形，因而認為 R 正向下移動。然而，由於 R 處於波峰，用這種方法就會得到錯誤的答案。

▶ 複習 Q17 (p.36)

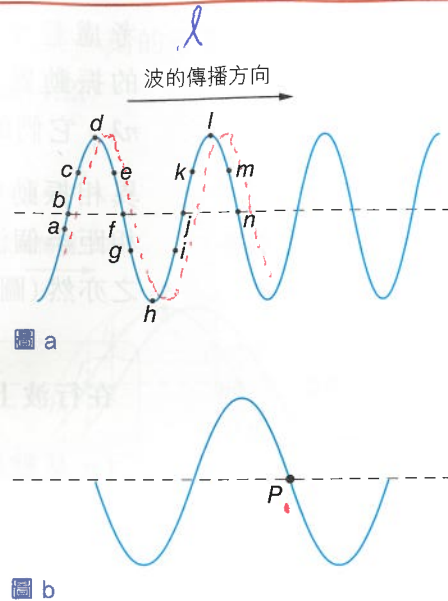
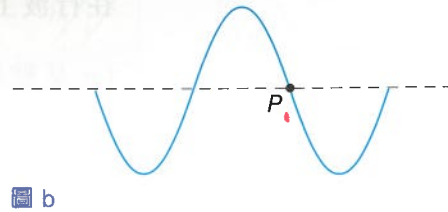
異相 out of phase 反相 in antiphase

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.8)。

3.1 水波向右傳播，圖 a 顯示某一時刻的波形。

- (a) 在圖中所示的一瞬間，哪些粒子 (i) 是瞬時靜止的，(ii) 正向上移動，(iii) 正向下移動？
 (i) d, h, l ; (ii) e, f, g, m, n ; (iii) a, b, c, i, j, k
- (b) 哪些粒子的振幅與粒子 d 相同？**所有粒子**
- (c) 哪些粒子的振動與粒子 e 同相？ m
- (d) 哪些粒子的振動與粒子 f 反相？ b, j

3.2 圖 b 顯示沿繩子傳播的橫波。在圖示的一刻，粒子 P 正向下移動。指出橫波的傳播方向。**向左**

4 粒子的速率與波的速率

我們可以用長彈簧來研究波的傳播速率 (圖 4.2q)。



圖 4.2q 長彈簧

錄像片段 4.4

→ 錄像片段 4.4 示範實驗 4d。

長彈簧上的「粒子」運動得快，或較難觀察。老師可改用橫波模型來研究波和粒子的速率。

實驗 4d 粒子的速率與波的速率

- 將長彈簧放在地上拉長。
- 固定彈簧的一端，並抖動另一端來產生一個脈衝 (圖 a)。觀察脈衝傳播時，速率會增加、減少，還是恆定不變。
- 在彈簧上縛一條絲帶作為標記，並抖動彈簧來產生連續波。彈簧上「粒子」的速率有沒有改變？**有**



圖 a

討論

脈衝傳播時，速率會增加、減少，還是恆定不變？**恆定不變**

從以上實驗可見：

- 脈衝與波以**恆定速率**從彈簧的一端傳播到另一端。
- 粒子振動時，**速率**都會不斷改變。粒子到達波峰或波谷時會瞬時靜止，處於平衡位置時則以最高速率移動。

錄像片段 4.5

→ 錄像片段 4.5 示範實驗 4e。

實驗 4e

影響長彈簧上波速率的因素

- 將長彈簧放在地上拉長。量度兩端之間的距離。
- 固定彈簧的一端，並抖動另一端來產生一個脈衝。量度脈衝傳播到另一端所需的時間 (圖 a)。計算脈衝的傳播速率。



圖 a

- 以不同振幅的脈衝重複步驟 2。
- 把彈簧拉至不同長度，重複步驟 2。
- 抖動彈簧一段短時間來產生橫波。接下來，用較高的頻率再次抖動彈簧，觀察波長的變化。

振動源

討論

彈簧拉得較長時，下列各項有甚麼變化？

- 彈簧的張力 T **增加**
- 彈簧每單位長度的質量 μ **減少** $\frac{m}{L} = \mu$
- 脈衝的傳播速率 v **增加**

張力增加，會令粒子間的作用力增加；質量下降，會加快介質對干擾的反應。這兩個情況都會提高波速率。

補充資料

波沿彈簧傳播的速率

波沿彈簧傳播的速率 v 、彈簧的張力 T 和彈簧每單位長度的質量 μ 的關係如下：

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

在某些介質中，波速率也與頻率無關，這些介質稱為非色散介質。對於光波，真空便是非色散介質。

從以上實驗可見：

- 波的傳播速率與它的振幅無關。
- 當彈簧拉得較長，彈簧的張力 T 會增加，彈簧每單位長度的質量 μ 則會減少。結果，波的傳播速率 v 增加。
深入研究顯示，在波沿彈簧傳播的情況下，當 T 增加或 μ 減少， v 便會增加。一般來說，波的傳播速率取決於它所經過的介質。彈簧拉長後，可視為另一種介質。
- 當波的頻率 f 增加，波長 λ 便減少。
注意，在波沿彈簧傳播的情況下，波速率與波的頻率無關。由於 $v (= f\lambda)$ 保持不變，所以當 f 增加， λ 必然減少。

進度評估 5

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.8)。

41 橫波上粒子的移動速率(恆定不變/不斷改變)。

42 當彈簧的張力(增加/減少)或彈簧每單位長度的質量(增加/減少),波沿彈簧傳播的速率就會減少。

$$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

習題與思考 4.2

1 某粒子如圖 a 所示完成了一次完整振動。求振動的振幅。

- A 1 cm
B 3 cm
C 4 cm
D 8 cm

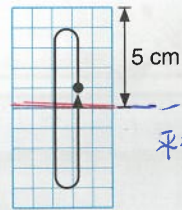


圖 a

12 如果某粒子需要 2 分鐘來完成一次完整振動,它振動的頻率是多少?

- A 0.008 Hz
B 0.5 Hz
C 2 Hz
D 30 Hz

23 「波的頻率是 900 秒。」

下列哪項改動能令以上敘述變得合理?

- A 把「900 秒」改為「15 分鐘」。
B 把「900 秒」改為「900 厘米」。
C 把「頻率」改為「週期」。
D 把「頻率」改為「波長」。

34 一列波的振幅為 y 。波行進一個週期後,波上粒子的位移和移動的距離分別是多少?

	位移	距離
A	0	$2y$
B	0	$4y$
C	$2y$	$4y$
D	$4y$	0

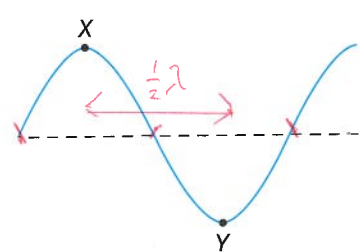
★ 5
3

圖 b

反相

圖 b 顯示橫波在某一刻的波形。下列哪些有關粒子 X 和 Y 的敘述是正確的?

- (1) 它們以相同振幅振動。
(2) 它們的振動同相。
(3) 在這一刻,它們都擁有最高動能。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

★ 6 學生抖動彈簧的一端,產生橫波。如果抖動的頻率增加,下列哪些物理量會改變?

- (1) 波的頻率
(2) 波速率
(3) 波長
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

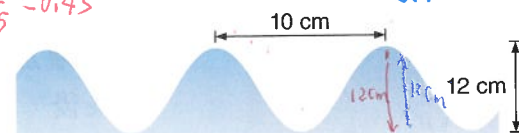
★ 7 學生有規律地抖動彈簧的一端,產生橫波。如果把彈簧拉得更長,下列哪些物理量會改變?

- (1) 波的頻率
(2) 波速率
(3) 波長
A 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 8 圖 c 顯示一列水波的波形。如果水波的頻率是 2.5 Hz,水粒子在一個振動週期內的平均速率是多少?

- A 12.5 cm s⁻¹
B 15 cm s⁻¹
C 25 cm s⁻¹
D 60 cm s⁻¹

圖 c



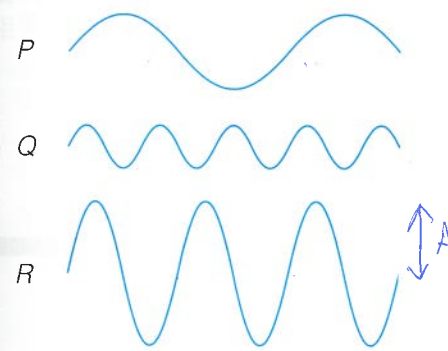
29 男孩將石塊拋入池塘,觀察產生的漣漪。他發現經過 10 s 後,有 25 圈漣漪產生,而最外圍的一圈漣漪與石塊落入池塘的位置相距 4 m。

- (a) 求水波的波長。 0.16 m
(b) 求波速率。 0.4 m s^{-1}
(c) 求水波的頻率。 2.5 Hz

210 學生用手指以 2 Hz 的頻率觸碰水面,產生一列水波。水波在 3 s 內行進了 5 m。

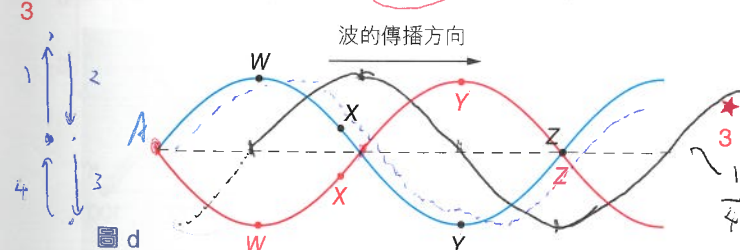
- (a) 求波速率。 1.67 m s^{-1}
(b) 求水波的波長。 0.833 m

211 P、Q 和 R 是三列傳播速率相同的波。下圖顯示了它們在某一刻的波形(按比例繪畫)。



- (a) 哪列波的振幅最大?
(b) 哪列波的波長最長?
(c) 哪列波的頻率最高?
(d) 哪列波的週期最長?

★ 12 一列波向右傳播,它在某一刻的波形如圖 d 所示。



- (a) 描述粒子 W、X、Y 和 Z 在圖示一刻的運動。
(b) 在圖 d 草繪半個週期後的波形,並標示粒子的位置。

★ 13 振動器以 5 Hz 的頻率振動,在繩子上產生波長為 0.2 m 的波。

- (a) 求波的週期。 0.2 s
(b) 求波速率。 1 m s^{-1}
(c) 如果改用較重的繩子,波的週期和波速率會有什麼變化?

$$V \propto \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

★ 14 圖 e 顯示一列向右傳播的水波。波峯由 X 點移動到 Y 點需時 2 s。

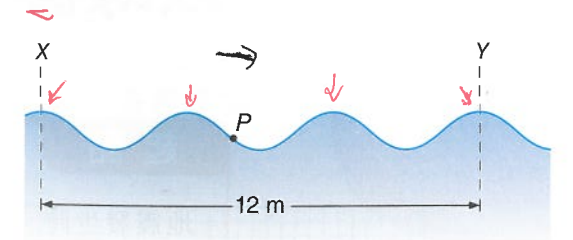


圖 e

- (a) 水波的波長是多少?
(b) 波速率是多少?
(c) 水波的頻率是多少?
(d) 描述粒子 P 在圖 e 所示一刻的運動。

★ 15 橫波模型(圖 f)包含一個以電動機驅動的螺旋線圈。電動機轉動線圈時,線圈投映在屏幕上的影像就像一個橫波由一端傳播到另一端。

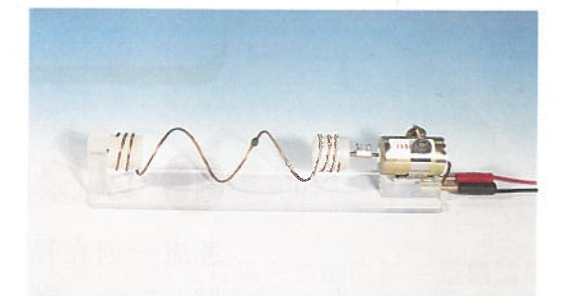


圖 f

如果電動機的轉動頻率改變,屏幕上「橫波」的波長和波速率會有什麼變化?這些變化與繩子上的波有什麼不同?

★ 16 如圖 g 所示,粒子 P 在一列波上。這列波向左傳播,週期為 2 s。

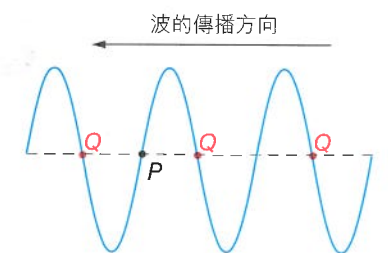


圖 g

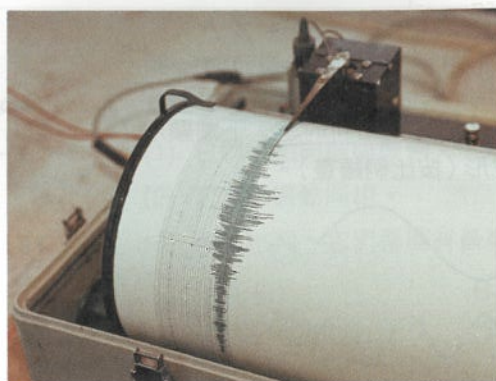
- (a) 描述粒子 P 在圖中所示一刻的運動。
(b) 粒子 Q 的振動與粒子 P 反相。試在圖 g 標示粒子 Q 的一個可能位置。
(c) 經過多少時間後,粒子 P 會首次暫時靜止?

4.3

以線圖描述橫波

起點 地震儀

地震發生時，地震波會經地殼傳播。地震儀會繪畫線圖，記錄在不同時間地殼的震動情況。從這些線圖可以獲得地震波的哪些相關資料？



參閱第26頁的旁註。

✓ 本課重點

- 1 位移—距離關係線圖
- 2 位移—時間關係線圖

1 以線圖描述波動

考慮一列在長彈簧上由左至右傳播的波。圖 4.3a 顯示波在某一時刻的波形。在這一刻，不同位置的粒子各有不同的位移。要表示粒子的位置，可量度各個粒子和參考粒子 A 的水平距離（沿波的傳播方向量度），然後將各個粒子的位移 (s) 和距離 (d) 記錄下來（表 4.3a）。

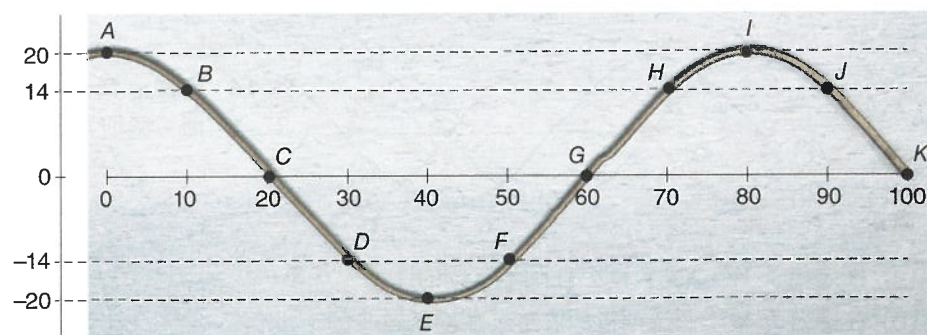


圖 4.3a 某一時刻的波形（刻度的單位為 cm）

粒子	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
距離 d / cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
位移 s / cm	20	14	0	-14	-20	-14	0	14	20	14	0

表 4.3a 各個粒子的位移和距離（取向上位移為正）

如果取最左面的粒子為參考粒子，位移—距離關係線圖的形狀就與橫波的波形相同。

只要標繪各個粒子的位移和距離，並用平滑的曲線連接各點，便能得出波的位移—距離關係線圖（簡稱 s - d 線圖）（圖 4.3b）。從這線圖可讀出波的振幅和波長。

位移—距離關係線圖顯示某一刻波上各粒子的位移。注意位移—距離關係線圖會隨時間不斷改變。

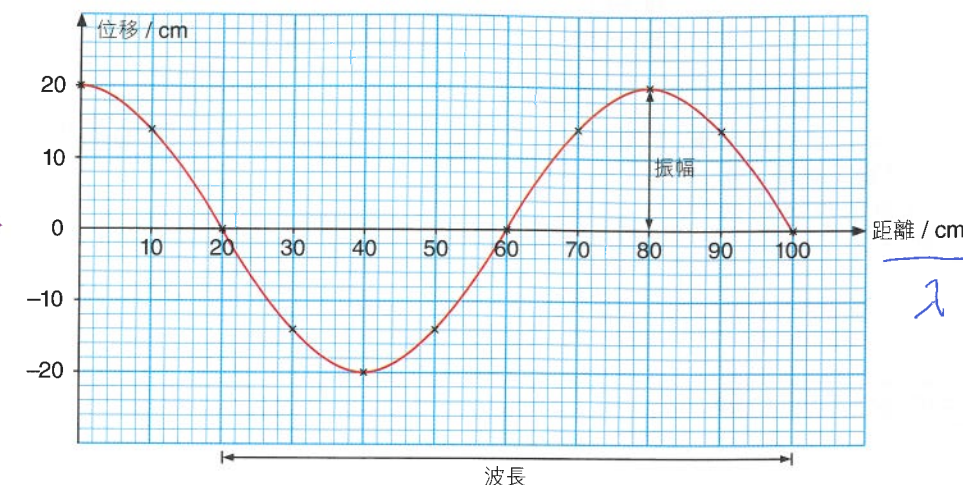
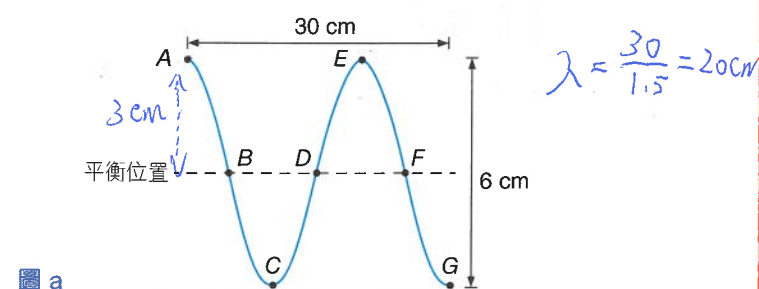


圖 4.3b 波的位移—距離關係線圖

進度評估 6 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.24）。

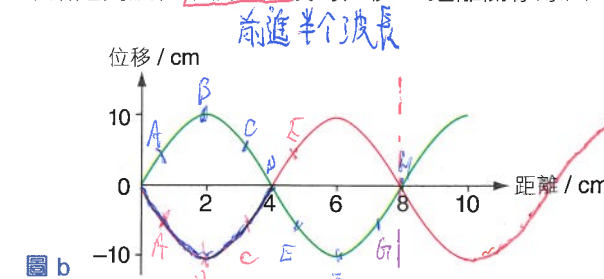
- 1 圖 a 顯示一列波在某一時刻的波形。草繪這段波在這一刻的位移—距離關係線圖。



- 2 圖 b 顯示一列波在某一時刻的位移—距離關係線圖。

(a) 求波的振幅和波長。 $A = 10 \text{ cm}$, $\lambda = 8 \text{ cm}$

(b) 在圖 b 草繪這列波在半個週期後的位移—距離關係線圖。



2 以線圖描述粒子振動

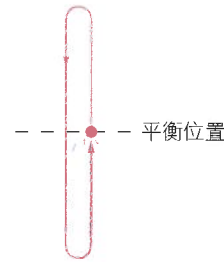


圖 4.3c 上下振動的粒子

在起點中，地震儀繪畫出位移—時間關係線圖，從中可以得知地震波的振幅和週期。

強調位移—距離關係線圖和位移—時間關係線圖雖然十分相似，但它們其實是從不同角度來描述波。

行波上各粒子不斷振動，它們距離平衡位置的位移會隨時間不斷改變。圖 4.3c 顯示一個上下振動的粒子。在時間 $t = 0$ ，粒子處於平衡位置。

只要標繪粒子的位移 (s) 和時間 (t)，並用平滑的曲線連接各點，便能得出粒子的 **位移—時間關係線圖** (簡稱 $s-t$ 線圖) (圖 4.3d)。線圖顯示 **某一粒子於不同時刻的位移**。

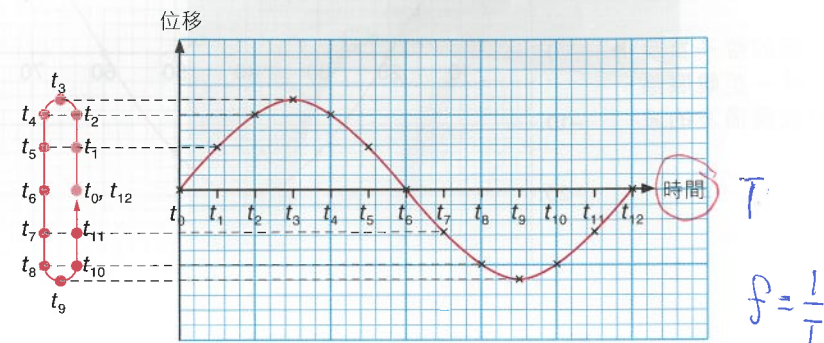


圖 4.3d 粒子的位移—時間關係線圖 (取向上位移為正)

$A \uparrow \Rightarrow E \uparrow$
 $f \uparrow \Rightarrow E \uparrow$

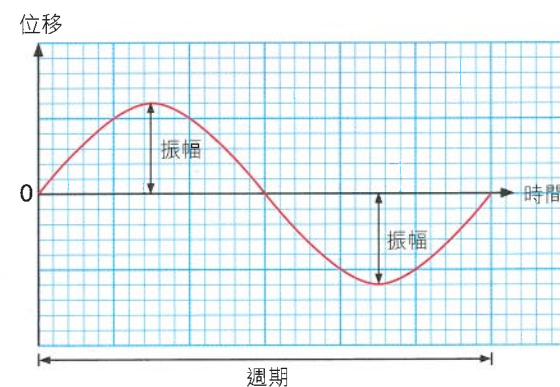


圖 4.3e 從位移—時間關係線圖讀出振幅和週期

例題 5 繪畫位移—時間關係線圖

一列橫波向左傳播，波的頻率為 5 Hz。圖 a 顯示波在時間 $t = 0$ 時的波形。草繪粒子 P 由 $t = 0$ 至 $t = 0.4$ s 的位移—時間關係線圖。

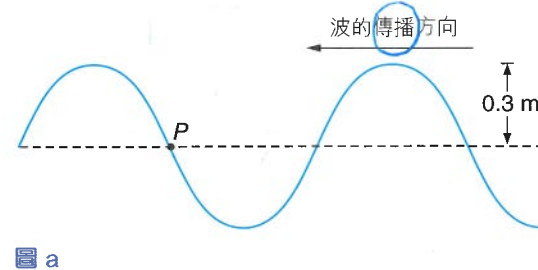


圖 a

題解

$$\text{週期} = \frac{1}{f} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ s}$$

$\therefore$ 粒子 P 在 0.4 s 內完成 2 次完整振動。

由於波向左傳播，所以在 $t = 0$ ，粒子 P 正向下移動 (圖 b 和 c)。

圖 d 顯示粒子 P 由 $t = 0$ 至 $t = 0.4$ s 的位移—時間關係線圖。

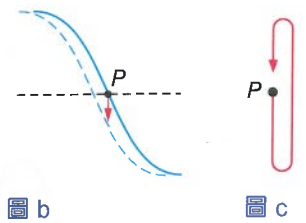


圖 b

圖 c

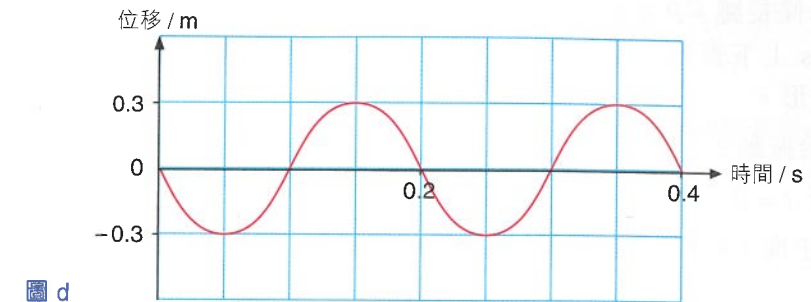


圖 d

▶ 進度評估 7 Q1 (p.29)

例題 6 根據 $s-t$ 線圖繪畫 $s-d$ 線圖

繩子一端連接振動器。振動器啟動後，在繩子上產生一列波長為 0.6 m 的橫波。粒子 P 與振動器相距 0.9 m。圖 a 顯示粒子 P 的位移—時間關係線圖。

- 求波的振幅。
- 求粒子 P 在 $t = 0.8$ s 的位移。
- 據此，草繪振動器至粒子 P 一段在時間 $t = 0.8$ s 的位移—距離關係線圖。

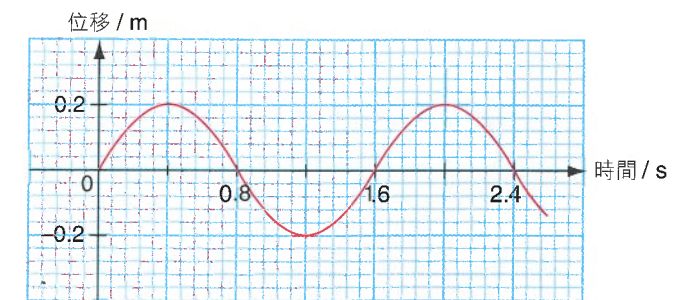


圖 a

題解

- 根據位移—時間關係線圖，波的振幅是 0.2 m。
- 在 $t = 0.8$ s， P 的位移為零。
- 已知波長是 0.6 m。

從 (b) 部可知位移—距離關係線圖必定經過 (0.9 m, 0 m) 這一點。

此外，根據位移—時間關係線圖， P 的位移在 $t = 0.8$ s 時正在下降，顯示有一波谷由左面向 P 前進。

圖 b 顯示所需的位移—距離關係線圖。

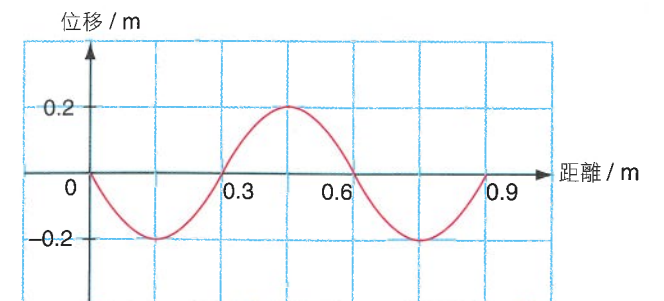
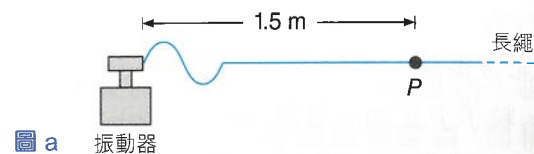


圖 b

▶ 習題與思考 4.3 Q9 (p.30)

預試訓練 2

繩子上的橫波 ☆ 香港中學會考 2009 年卷一 Q10



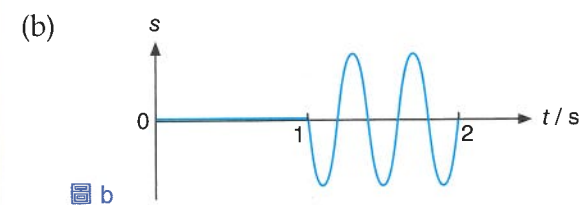
學生將振動器連接一條長繩。P 是長繩上的一個粒子，與振動器相距 1.5 m。在時間 $t = 0$ ，振動器啟動，以週期 0.4 s 上下振動，並在長繩上產生一系列橫波，波速率為 1.5 m s^{-1} 。圖 a 顯示一段短時間後長繩上的波形。

- P 在甚麼時候開始振動？ (2 分)
- 草繪 P 由 $t = 0$ 至 $t = 2 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。 (2 分)
- 在 $t = 2 \text{ s}$ 時，P 正向上移動、向下移動還是瞬時靜止？ (1 分)
- 求橫波的波長。 (2 分)
- 草繪 P 至振動器一段在 $t = 2 \text{ s}$ 的波形，並清楚標示 P 和振動器的位置。 (2 分)

題解

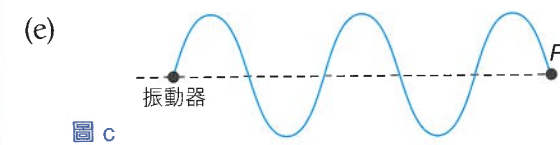
$$\begin{aligned} \text{(a) 波到達 P 所需的時間} &= \frac{\text{距離}}{\text{速率}} \\ &= \frac{1.5}{1.5} = 1 \text{ s} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} 1M \\ 1A \end{array}$$

P 在 $t = 1 \text{ s}$ 時開始振動。



(在 $t = 1 \text{ s}$ 前靜止不動，其後開始向下移動)
($t = 1 \text{ s}$ 與 $t = 2 \text{ s}$ 之間有 2.5 次完整振動)

- P 正向上移動。
- 波長 = 一個週期內行進的距離
= 波速率 $\times$ 週期
= 1.5×0.4
= 0.6 m



(2.5 個完整波)
(正確波形)

常見錯誤

學生或沒有察覺 (a) 部的答案與 s-t 線圖的關係，因此未能繪畫線圖中 P 靜止不動的部分。

常見錯誤

學生或未能在 s-t 線圖中顯示正確的振動次數。

在 $t = 2 \text{ s}$ ，P 的位移是零，且正在增加。因此，P 處於平衡位置，一個波峯正由左面向 P 行進。

$$\frac{1.5 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} = 2.5$$

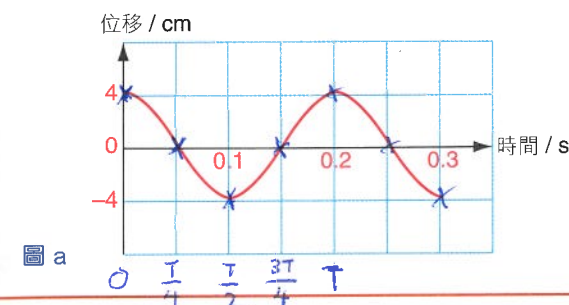
複習 Q27 (p.39)

進度評估 7

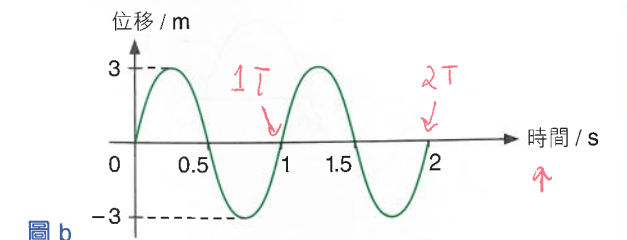
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.24)。

AM, FM

- 21 粒子 P 在一系列橫波上。波的週期為 0.2 s，振幅為 4 cm。在時間 $t = 0$ ，粒子 P 處於最高點。試在圖 a 草繪粒子 P 由 $t = 0$ 至 $t = 0.3 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。



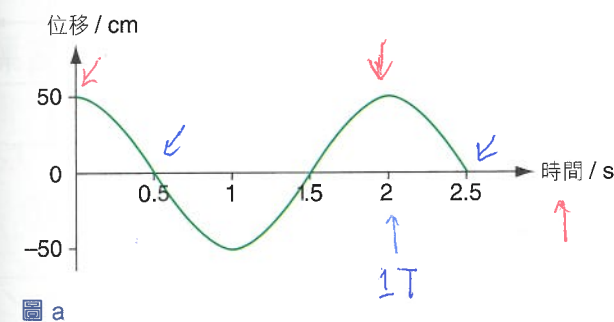
- 22 圖 b 顯示行波上某粒子的位移—時間關係線圖。



- (a) 求粒子振動的振幅和週期。 $A = 3 \text{ m}$, $T = 1 \text{ s}$
- (b) 求粒子振動的頻率。 1 Hz , $f = \frac{1}{T}$

習題與思考 4.3

- 21 圖 a 顯示行波上某粒子的位移—時間關係線圖。



- 該粒子需時多久才能完成 2 次完整振動？ $= 2T$
- A 2 s
 - B 3 s
 - C 4 s**
 - D 5 s

- 2 在一個週期內，波上粒子的移動距離是多少？

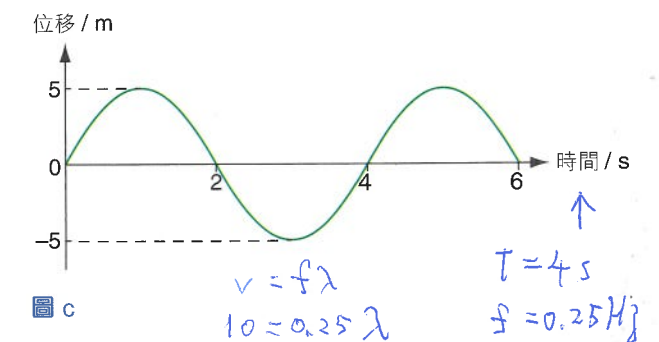
- A 0
- B 1 cm
- C 4 cm**
- D 40 cm

- 3 如果波速率為 16 cm s^{-1} ，波的頻率是多少？

- A 0.4 Hz**
- B 0.8 Hz
- C 3.2 Hz
- D 6.4 Hz

$$\begin{aligned} v &= f\lambda \\ 16 &= f(40) \\ f &= 0.4 \text{ Hz} \end{aligned}$$

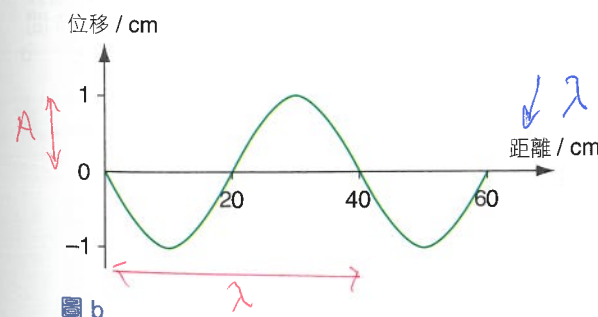
- 4 一系列行波以 10 cm s^{-1} 傳播，經過一連串粒子。圖 c 顯示其中一個粒子的位移—時間關係線圖。



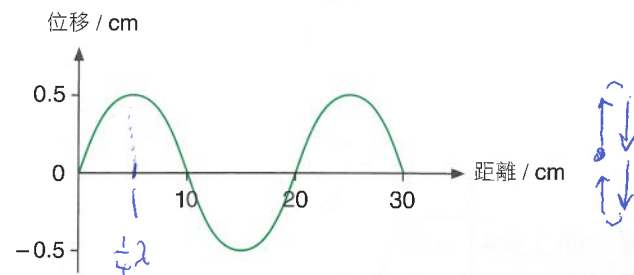
這列行波的波長是多少？

- A 4 cm
- B 20 cm
- C 40 cm**
- D 60 cm

- (第 2 至 3 題) 圖 b 顯示一系列行波在某一時刻的位移—距離關係線圖。

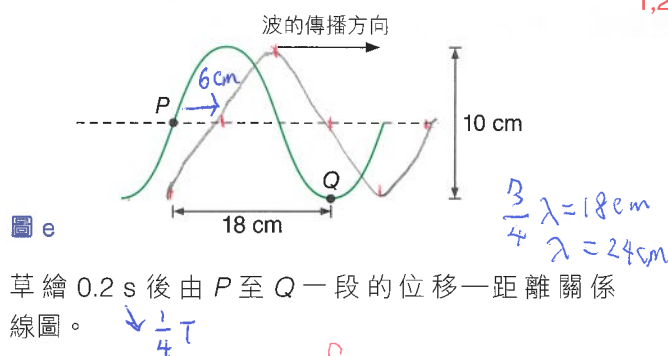


- 1.5 圖 d 顯示一列橫向行波在某一刻的位移—距離關係線圖。



- 圖 d
- (a) 求波長。20 cm
- (b) 如果波的週期是 0.1 s，波速率是多少？ 2 m s^{-1}

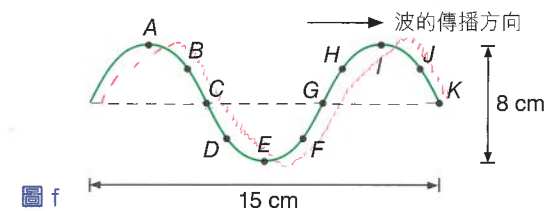
- 1.6 一列波沿繩子向右傳播，波的週期為 0.8 s。圖 e 顯示波在某一刻的波形。



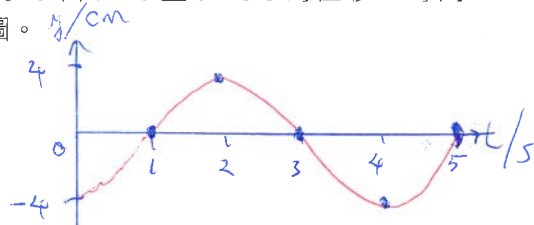
草繪 0.2 s 後由 P 至 Q 一段的位移—距離關係線圖。

- ★ 7 某粒子在一列波上，以 20 Hz 的頻率上下振動。在 $t = 0$ 時，粒子處於最低點，即位於最高點下方 1 cm 的位置。
- (a) 求粒子振動的振幅和週期。 $A = 0.5 \text{ cm}$ ， $T = 0.05 \text{ s}$
- (b) 據此草繪粒子由 $t = 0$ 至 $t = 0.2 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。

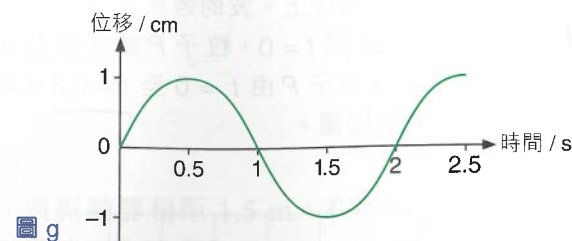
- ★ 8 圖 f 顯示一列橫波在 $t = 1 \text{ s}$ 時的波形。這列橫波向右傳播，週期為 4 s。



- (a) 在 $t = 1 \text{ s}$ 時，哪些粒子的移動方向與粒子 C 相同？B、D、J、K
- (b) 草繪粒子 C 由 $t = 0$ 至 $t = 5 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。



- ★ 9 某波源產生出波長為 0.5 m 的波。粒子 Q 與波源相距 0.75 m。圖 g 顯示粒子 Q 的位移—時間關係線圖。



- (a) 求波的振幅和週期。 $A = 1 \text{ cm}$ ， $T = 2 \text{ s}$
- (b) 在 $t = 1 \text{ s}$ 時，粒子 Q 向哪個方向移動？向下
- (c) 草繪波源至粒子 Q 一段在 $t = 1 \text{ s}$ 時的位移—距離關係線圖。

- ★ 10 圖 h 和 i 分別顯示一列橫波在 $t = 0$ 與 $t = 0.2 \text{ s}$ 時的位移—距離關係線圖。

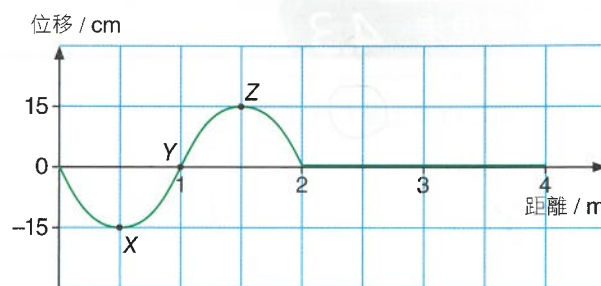


圖 h

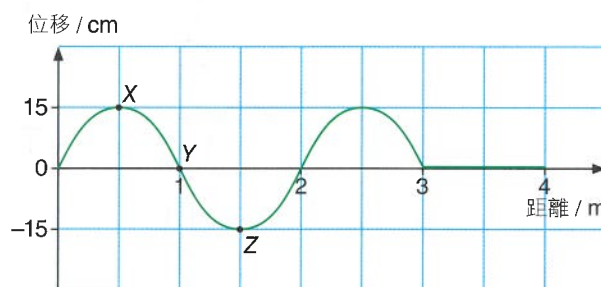


圖 i

- (a) 求橫波的 (i) 振幅、(ii) 波長、(iii) 波速率和 (iv) 頻率。(i) 15 cm；(ii) 2 m；(iii) 5 m s^{-1} ；(iv) 2.5 Hz
- (b) 在 $t = 0.6 \text{ s}$ 時，哪個粒子處於波峯的位置？X
- (c) 草繪粒子 X 由 $t = 0$ 至 $t = 1 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。

總結 4

詞彙

1 波 wave	p.2	12 週期 period	p.9
2 振動 oscillation/vibration	p.2	13 頻率 frequency	p.9
3 行波 travelling wave	p.3	14 赫茲 hertz	p.9
4 橫波 transverse wave	p.4	15 波長 wavelength	p.11
5 波形 waveform	p.4	16 波速率 wave speed	p.13
6 波峯 crest	p.4	17 同相 in phase	p.18
7 波谷 trough	p.4	18 異相 out of phase	p.19
8 縱波 longitudinal wave	p.5	19 反相 in antiphase	p.19
9 密部 compression	p.5	20 位移—距離關係線圖 displacement-distance graph	p.25
10 疏部 rarefaction	p.5	21 位移—時間關係線圖 displacement-time graph	p.26
11 振幅 amplitude	p.9		

課文摘要

4.1 波動

- 行波傳遞能量，但不傳遞物質。
- 在橫波中，粒子的振動方向與波的傳播方向互相垂直。
- 橫波包含波峯和波谷 (圖 a)。
- 在縱波中，粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行。
- 縱波包含密部和疏部 (圖 b)。

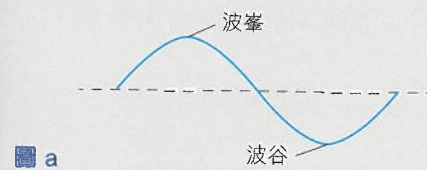


圖 a

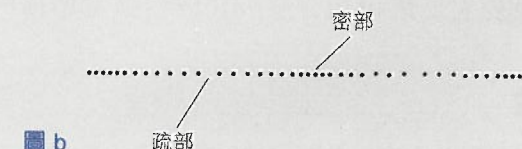


圖 b

4.2 粒子運動與波動

- 6 表 a (見 p.32) 列出用來描述橫波 (圖 c 和 d) 的用語。

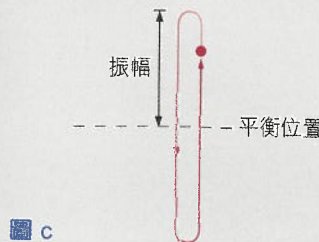


圖 c

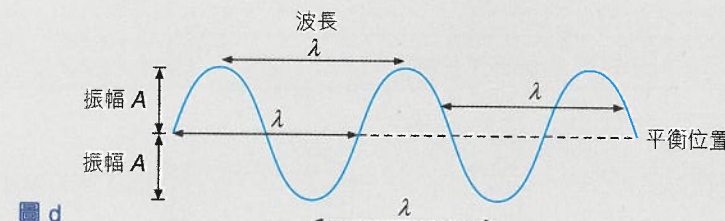


圖 d

4 波的本質

用語	對粒子運動而言	對波動而言	符號	單位
振幅	粒子振動時與平衡位置的最大距離	波動中振動部分與平衡位置的最大距離	A	米 (m)
週期	粒子完成一次完整振動所需的時間	產生一個完整波所需的時間 或 波行進一個波長的距離所需的時間	T	秒 (s)
頻率	粒子在一秒內振動的次數	一秒內產生的完整波數目	f	赫茲 (Hz)
波長	—	波形重複的最短距離	λ	米 (m)
波速率	—	波在一秒內行進的距離	v	米每秒 (m s^{-1})

表 a

7 行波上所有粒子振動的振幅、頻率和週期都與波相同。

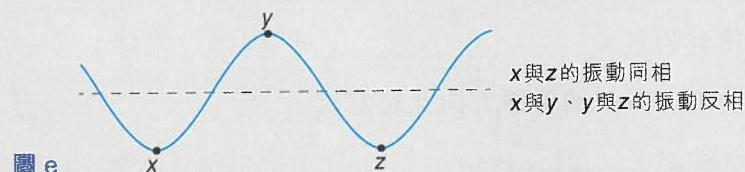
8 週期是頻率的倒數，即：

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

9 以下關係式適用於所有種類的波：

$$v = f\lambda$$

10 在行波上，當兩個粒子的距離為 $n\lambda$ ，它們的振動同相；當兩個粒子的距離為 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ ，它們的振動反相（圖 e）。



11 對於沿彈簧（或繩子）傳播的橫波，增加彈簧的張力或減少彈簧每單位長度的質量，都會令波速率增加。

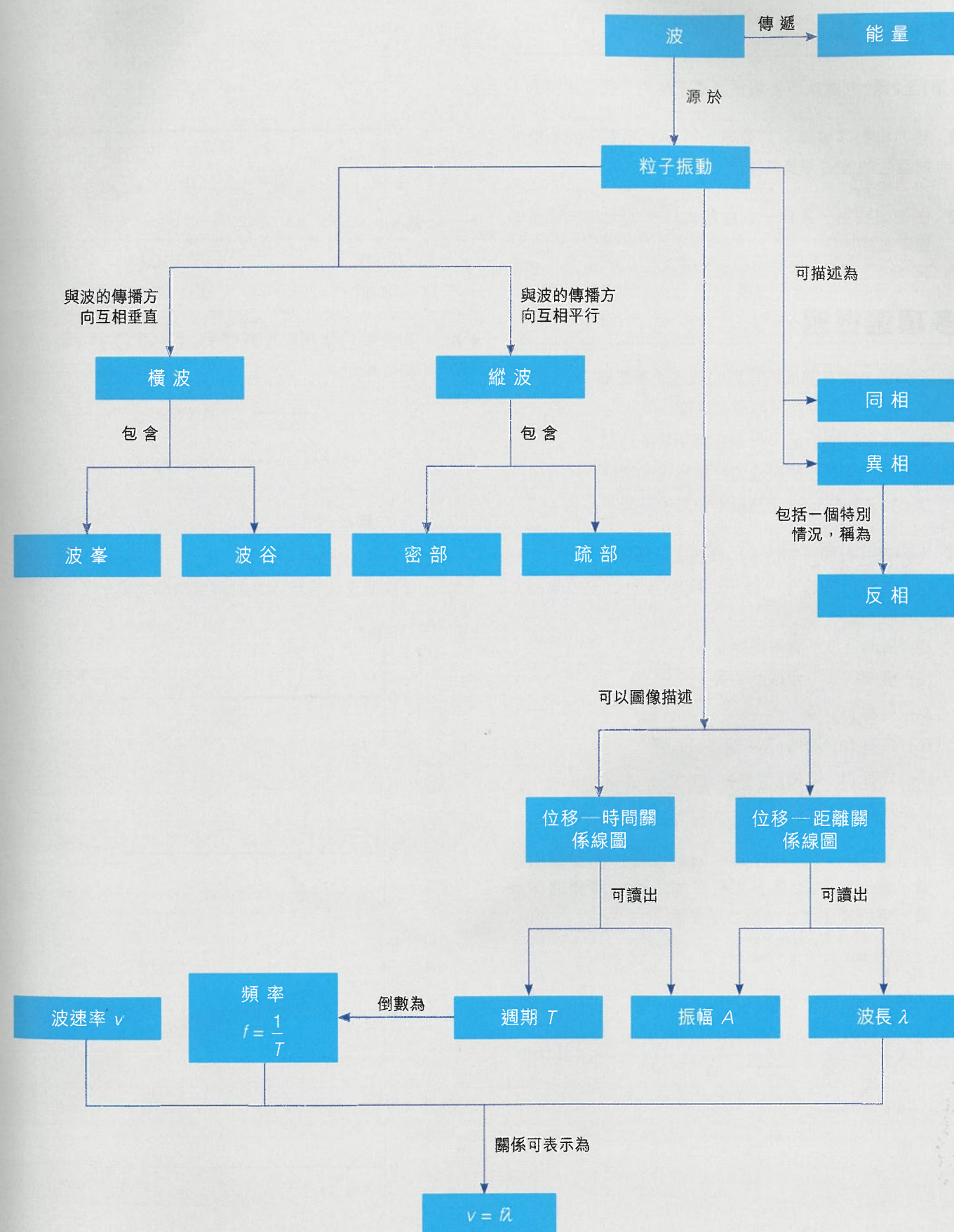
12 波的傳播速率取決於它所經過的介質。在波沿彈簧傳播的情況下，波速率與波的頻率無關。

4.3 以線圖描述橫波

13 位移—距離關係線圖顯示某一刻波上各個粒子的位移。從這線圖可以讀出波的振幅和波長。

14 位移—時間關係線圖顯示某一粒子於不同時刻的位移。從這線圖可以讀出粒子振動的振幅和週期。

概念圖



複習 4

概念重溫

(第1至2題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

4.2.1 我們抖動彈簧時，只要增加抖動的頻率，就能提高所產生的波沿彈簧傳播的速率。F

4.2.2 在一列波上，某粒子到達最大位移的一刻，粒子的速率最高。F

Q2 粒子到達最大位移的一刻是瞬時靜止的，即它的速率為零(見 p.20)。

多項選擇題

4.2.3 下列哪一項有關橫波週期的敘述並不正確？

- A 產生一個完整波所需的時間
- B 波峯行進一個波長的距離所需的時間
- ☒ C 粒子移動一個振幅的距離所需的時間
- D 粒子完成一次完整振動所需的時間

4.1.4 下列哪些有關橫向行波的敘述是正確的？

- (1) 在橫向行波上，粒子的運動方向與波的傳播方向平行。
- (2) 橫向行波不會傳遞能量。
- (3) 橫向行波不會傳遞物質。

- A 只有 (1)
- ☒ B 只有 (3)
- C 只有 (1) 和 (3)
- D 只有 (2) 和 (3)

★ 5 圖 a 顯示一列行波在某一時刻的位移—距離關係線圖。圖 b 顯示行波上某粒子的位移—時間關係線圖。這列波在 4 s 內行進了多遠？

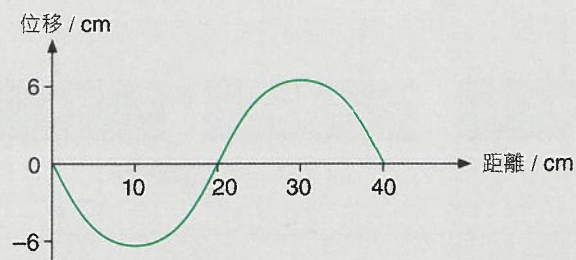


圖 a

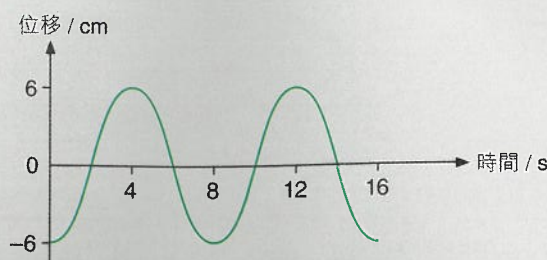


圖 b

- A 6 cm
- B 10 cm
- C 12 cm
- ☒ D 20 cm

★ 6 一列波向右傳播。在時間 $t = 0$ 時，粒子 X 的位置如圖 c 所示。

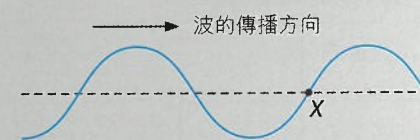
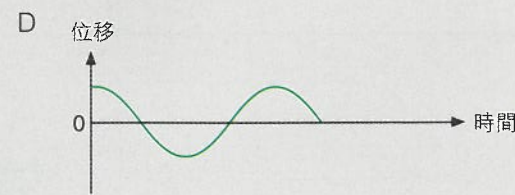
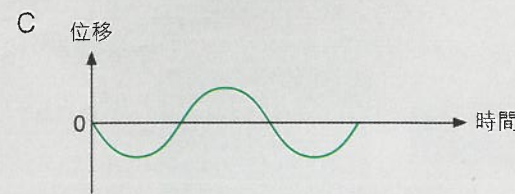
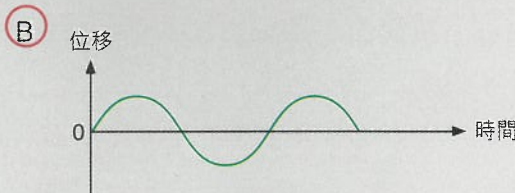
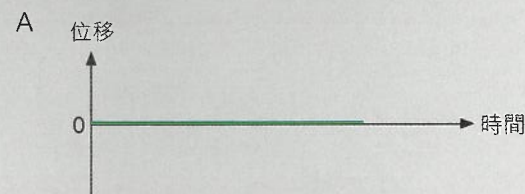


圖 c

粒子 Y 與 X 的振動反相。取向上位移為正，下列哪一幅線圖正確展示 Y 的位移隨時間的變化？



D

★ 7 圖 d 顯示一列波在某一時刻的位移—距離關係線圖。

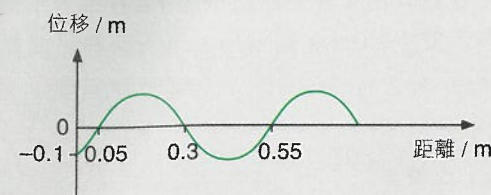


圖 d

如果這列波以 20 m s^{-1} 傳播，它的週期是多少？

- A 0.0125 s
- B 0.015 s
- ☒ C 0.025 s
- D 0.0275 s

★ 8 圖 e 和 f 顯示一列向右傳播的行波在 $t = 0$ 和 $t = 0.6 \text{ s}$ 時的快照。

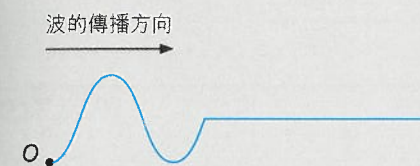


圖 e

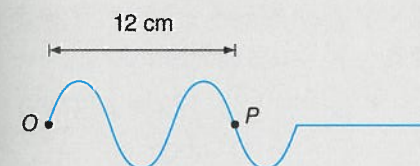


圖 f

下列哪些敘述是正確的？

- (1) 波的頻率是 1.25 Hz 。
- (2) P 在 $t = 0.2 \text{ s}$ 時開始振動。
- (3) 波長是 6 cm 。

- ☒ A 只有 (1) 和 (2)
- B 只有 (1) 和 (3)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

★ 9 一列波沿繩子向右傳播。圖 g 顯示波在 $t = 0$ 時的波形。P 至 U 是繩子上的粒子。

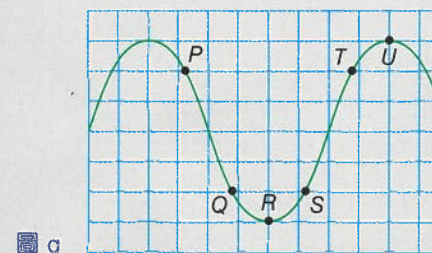


圖 g

在 $t = 0$ 時，哪些粒子的移動方向與 P 相反？

- A 只有 S
- ☒ B 只有 S 和 T
- C 只有 Q、R 和 S
- D 只有 S、T 和 U

★★ 10 一列行波上，有兩個平衡位置相距 0.2 m 的粒子。它們的振動反相，振動週期為 0.1 s 。下列哪些敘述必然正確？

- (1) 波的傳播速率是 4 m s^{-1} 。
- (2) 波的頻率是 10 Hz 。
- (3) 波長是 40 cm 。

- ☒ A 只有 (2)
- B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

▶ 參看 p.19

★★ 11 一列波在介質中以 12 m s^{-1} 傳播，頻率為 3 Hz 。P 和 Q 是波上的粒子，它們的平衡位置相距 5 m 。當 P 處於波峯時，Q 在甚麼位置？

- A 波峯
- B 波谷
- ☒ C 平衡位置
- D 以上皆不是

▶ 參看 p.11, 13

4.2.12 香港中學會考 2006 年卷二 Q16

2004 年 12 月，印度洋的地震引起海嘯，其水波波長約為 100 m ，頻率約為 2 Hz 。這種水波從震央到 1500 km 以外的斯里蘭卡需時多少？

- A 1 小時
- ☒ B 2 小時 (74%)
- C 3 小時
- D 4 小時

4.2.13 香港中學會考 2009 年卷二 Q14

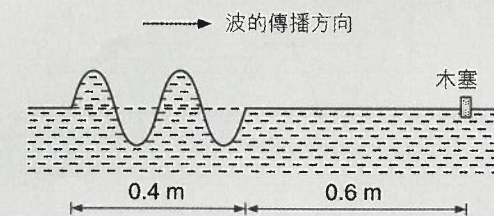
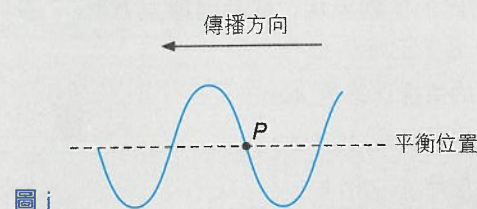


圖 h

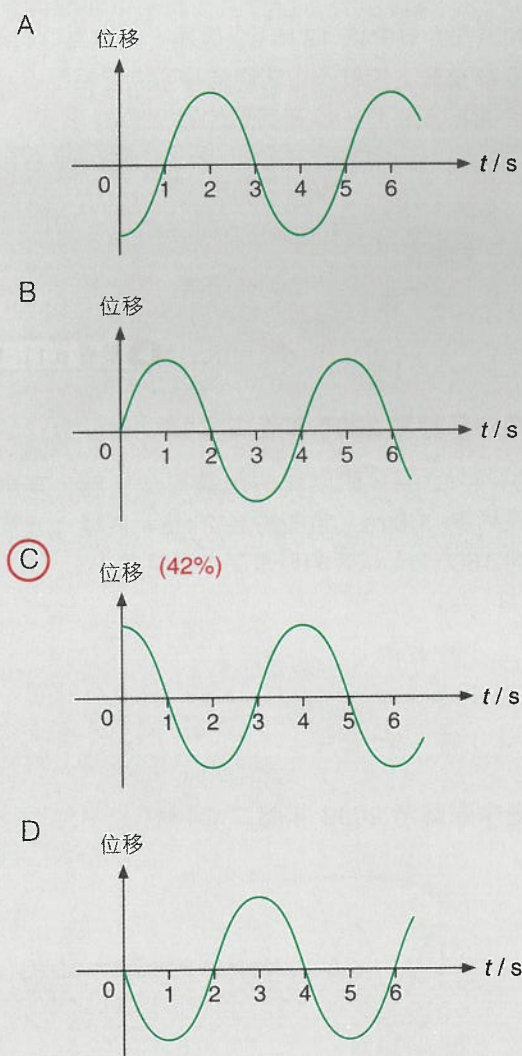
一個木塞浮在平靜水面。圖 h 顯示在時間 $t = 0$ ，一列水波以速率 0.2 m s^{-1} 向着木塞移動。木塞在甚麼時間首次升至其最高位置？

- A 3.00 s
- B 3.50 s
- ☒ C 3.75 s (54%)
- D 4.00 s

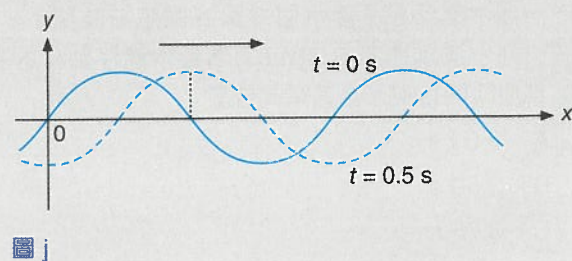
4.3 14 香港中學會考 2010 年卷二 Q34



一波沿繩向左傳播。圖 i 顯示時間 $t = 1\text{ s}$ 時的波形，以下哪一個位移—時間關係圖最能表示粒子 P 的運動？（取向上位移為正。）



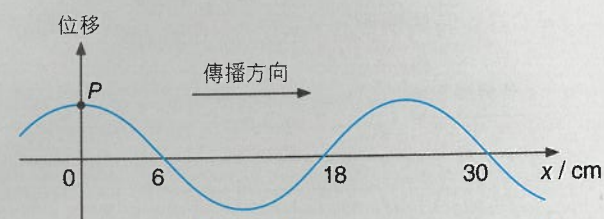
4.2 15 香港高級程度會考 2012 年卷二 Q12



圖示沿 x 軸向右傳播的連續正弦波的一段波形，波長為 4 m 。實曲線表示於 $t = 0$ 的波形而虛曲線表示於 $t = 0.5\text{ s}$ 的波形。以下哪些可能是該波的波速？

- (1) 2 m s^{-1}
 (2) 6 m s^{-1}
 (3) 10 m s^{-1}
- A 只有 (1) B 只有 (1)、(3) (64%)
 C 只有 (2)、(3) D (1)、(2) 和 (3)

4.2 16 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q16

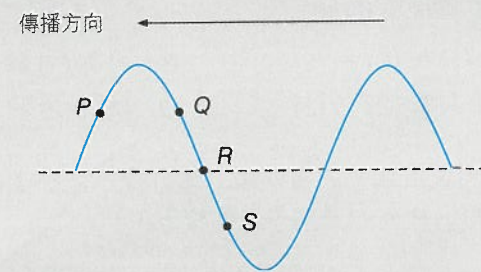


圖示沿 x 方向傳播的連續橫波其中一段於時間 $t = 0$ 的快照。在 $t = 1.5\text{ s}$ 的一刻，粒子 P 剛好第二次經過平衡位置。求該波的速率。

- A 20 cm s^{-1} B 12 cm s^{-1} (71%)
 C 6 cm s^{-1} D 4 cm s^{-1}

4.2 17 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q14

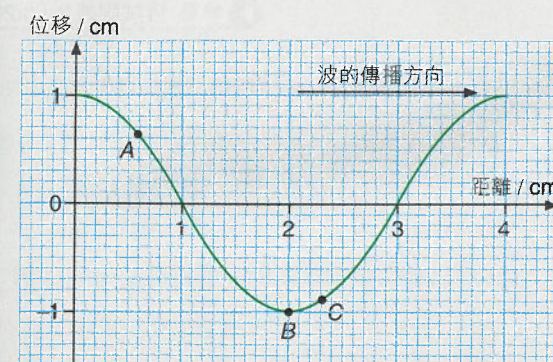
一列橫波沿長繩子向左傳播。P、Q、R 和 S 是繩子上的粒子。以下哪些敘述正確描述它們在圖示一刻的運動？



- (1) P 向上運動。
 (2) Q 和 S 的運動方向相反。
 (3) R 為瞬時靜止。
- A 只有 (1) (80%)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (2)
 D 只有 (2) 和 (3)

問答題

4.3 18 一列橫波向右傳播。圖 m 顯示波在某一時刻的位移—距離關係圖。A、B 和 C 是波上的三個粒子。



- A: 向上; B: 瞬時靜止; C: 向下
- (a) 寫出在這一時刻各個粒子的運動方向。 (3 分)
 (b) 求各個粒子可達到的最大位移。 1 cm (1 分)
 (c) 草繪波在 $\frac{3}{4}$ 個週期後的位移—距離關係圖，並標示 A、B 和 C 的最新位置。 (2 分)

4.2 19 學生將軟彈簧拉至 5 m 長，並把彈簧的一端固定。她把彈簧的另一端抖動一次，所產生的橫向脈衝傳播到固定末端需時 2 s 。

- (a) 計算橫向脈衝沿彈簧傳播的速率。 2.5 m s^{-1} (1 分)
 (b) 如果學生以 4 Hz 的頻率持續抖動彈簧，所產生的波的波長是多少？ 0.625 m (2 分)
 (c) 試舉出一個提高波速率的方法。 (1 分)

★ 20 圖 n 顯示一列橫波在 $t = 0$ 時的波形。這列波向右傳播，波的週期為 0.8 s 。

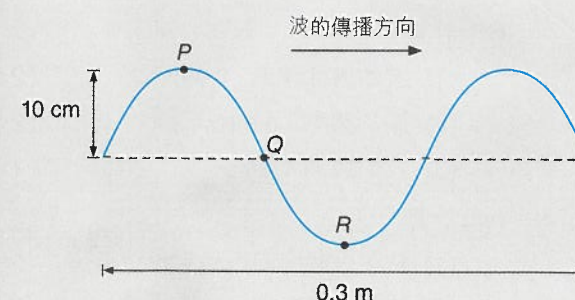
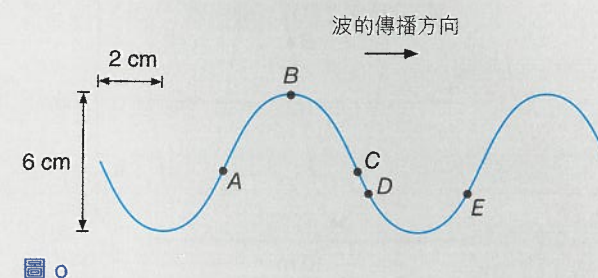


圖 n

- (a) 波長是多少？ 0.2 m (1 分)
 (b) 求波的頻率。 1.25 Hz (2 分)
 (c) 描述粒子 P 和 R 在 $t = 0$ 時的運動。 (2 分)
 (d) 草繪粒子 Q 由 $t = 0$ 至 $t = 2\text{ s}$ 的位移—時間關係圖。 (3 分)

★ 21 一列行波由左至右經過一連串粒子。圖 o 顯示波在 $t = 0$ 時的波形。每個粒子都在 16 s 內完成 4 次完整振動。



- (a) 求波的波長和頻率。 $\lambda = 8\text{ cm}$, $f = 0.25\text{ Hz}$ (2 分)
 (b) 據此找出波的傳播速率。 2 cm s^{-1} (2 分)
 (c) 在 $t = 0$ 時，粒子 A、B、C、D 和 E 中，哪些正向下移動？ A、E (1 分)
 (d) T 是波的週期。草繪粒子 B 在 $t = 0$ 至 $t = 2T$ 的位移—時間關係圖。 (3 分)

★ 22 學生把振動器連接一條長繩。振動器在 $t = 0$ 時開始振動，產生波長為 8 cm 的橫波。P 是長繩上與振動器連接的粒子。圖 p 顯示 P 的位移—時間關係圖。

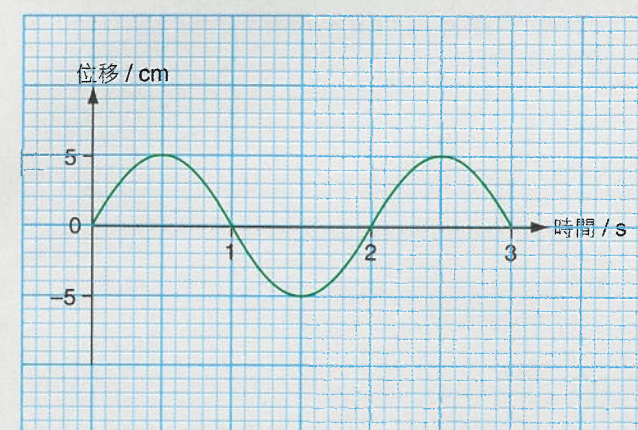


圖 p

- (a) 求波的傳播速率。 4 cm s^{-1} (2分)
- (b) Q 是長繩上另一個粒子，與 P 相距 12 cm 。比較 P 和 Q 的運動方向。**相反** (1分)
- (c) 草繪 Q 由 $t = 0$ 至 $t = 3 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。 (3分)

★★ 23 綜合題 一列波沿繩子傳播，週期為 0.4 s 。在 $t = 0.1 \text{ s}$ 時，波形如圖 q 所示，粒子 B 正向下移動。

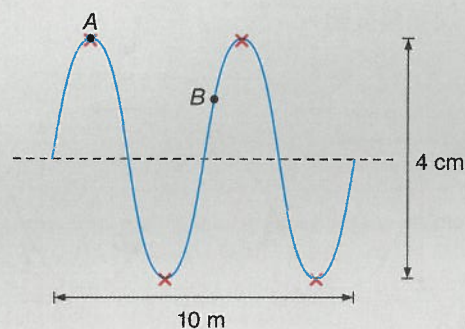


圖 q

- (a) 判斷波的振幅及波長。 $A = 2 \text{ cm}$, $\lambda = 5 \text{ m}$ (2分)
- (b) 求波的傳播速率。 12.5 m s^{-1} (2分)
- (c) 在 $t = 0.1 \text{ s}$ 時，有哪些粒子是瞬時靜止的？試在圖 q 標示這些粒子的位置。 (1分)
- (d) 草繪粒子 A 由 $t = 0$ 至 $t = 0.5 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。 (3分)

▶ 參看 p.19, 26

★★ 24 綜合題 學生把振動器連接一條繩子(圖 r)。在 $t = 0$ 時，振動器開始振動(先向上)，產生的波振幅為 2 cm ，週期為 0.2 s 。 P 是繩子上的一個粒子，與振動器相距 0.5 m 。

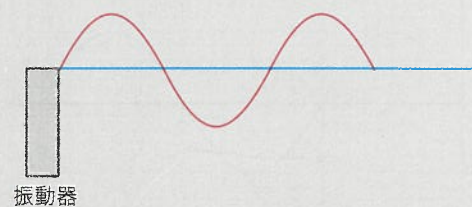


圖 r

- (a) 在繩子上產生的是橫波還是縱波？**橫波** (1分)
- (b) 求振動的頻率。 5 Hz (2分)

- (c) 波的傳播速率是 1 m s^{-1} 。
- (i) 在圖 r 草繪 $t = 0.3 \text{ s}$ 時繩子上的波形。 (2分)
- (ii) 草繪 P 由 $t = 0$ 至 $t = 1 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。 (3分)

▶ 參看 預試訓練 2 (p.28)

☆ 略去(c)部
25 WJEC GCE Summer 2006 PH1 Q6 綜合題

- (a) 把繩索的一端沿垂直於繩子的方向抖動，會產生一列行波。
- (i) 寫出所產生行波的種類。**橫波** (1分)
- (ii) 試舉出這種波的另一例子。 (1分)
- (b) 圖 s 顯示一列行波沿繩索向右傳播。深色線(實線)代表波在 $t = 0.0 \text{ s}$ 時的位置，虛線代表波在 $t = 0.20 \text{ s}$ 時的位置。 P 是繩索上的一個粒子。

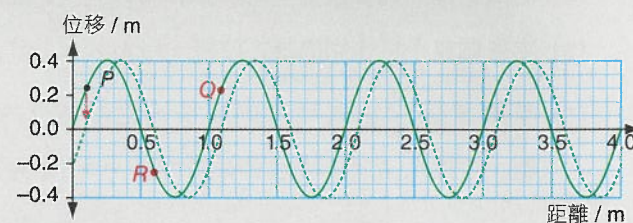


圖 s

- (i) 在圖中繪畫箭號，以顯示 P 在 $t = 0.0 \text{ s}$ 時的運動方向。 (1分)
- (ii) 判斷 P 的最大位移。 0.4 m (1分)
- (iii) 與 P 的振動同相的粒子中，哪一個與 P 的距離最近？在圖中以字母 Q 標示該粒子。 (1分)
- (iv) 寫出用來描述距離 PQ 的用語。**波長** (1分)
- (v) 在圖中以字母 R 標示與 P 的振動反相的粒子。 (1分)
- (vi) 計算
- 波的傳播速率。 0.5 m s^{-1} (2分)
 - 波的頻率。 0.5 Hz (2分)
 - 波的週期。 2.0 s (1分)
- (vii) 計算
- P 在一個週期內的平均速率。 0.8 m s^{-1} (2分)
 - P 在一個週期內的平均速度。 0 (2分)

☆ New Specification

26 WJEC GCE Summer 2009 PH2 Q1 綜合題

一列行波由左至右傳播。 A 和 B 是這列波經過的兩個點， B 在 A 的右面，兩者相距 0.30 m 。圖 t 和 u 顯示 A 和 B 在某相同時距內的位移—時間關係線圖。

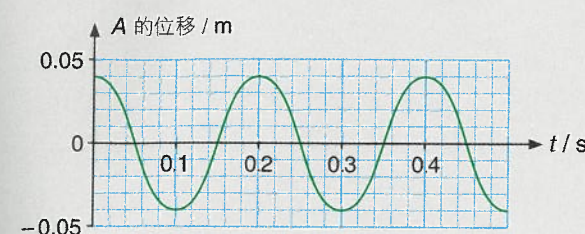


圖 t

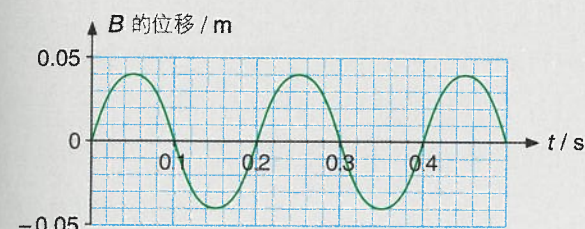


圖 u

- (a) (i) 寫出波的振幅。 0.04 m (1分)
- (ii) 計算頻率。 5.0 Hz (3分)
- (b) 證明波的傳播速率有可能是 6.0 m s^{-1} ，並解釋原因。 (2分)
- (c) (i) 解釋波長的意義。 (2分)
- (ii) 取波速為 6.0 m s^{-1} ，計算波長。 1.2 m (1分)

4.2 27 香港中學會考 2009 年卷一 Q10

在一個水波槽中有五顆細小膠粒 (P 、 Q 、 R 、 S 、 T)，初始時浮在平靜的水面上。在時間 $t = 0$ ，振動器開始產生直線波。圖 v 顯示在 $t = 7 \text{ s}$ ，各顆膠粒在波上的位置。圖 w 顯示 S 的位移—時間關係線圖。

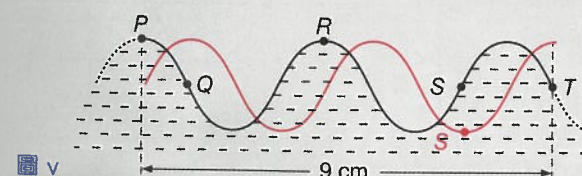


圖 v

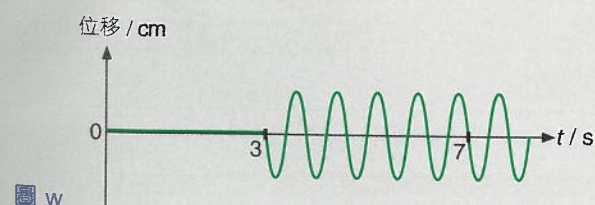


圖 w

- (a) (i) 求該波的波長。 4 cm (1分)
- (ii) 求該波的頻率。 1.25 Hz (2分)
- (iii) 求振動器與 S 間的距離。 15 cm (3分)
- (b) 指出在 $t = 7 \text{ s}$ 時，哪顆 / 哪些膠粒的運動
- 與 T 相同方向： Q (1分)
 - 與 T 相反方向： S (1分)
- (c) 在圖 v，草繪在 $t = 7 \text{ s}$ 後的四分之一週期時， P 和 T 之間的波形。標記 S 的位置。 (2分)

☆ 略去原題(b)部

28 WJEC GCE Winter 2011 PH2 Q1 綜合題

一列橫波沿繩子由左至右傳播。圖 x 顯示繩子某部分在某一時刻的形狀。

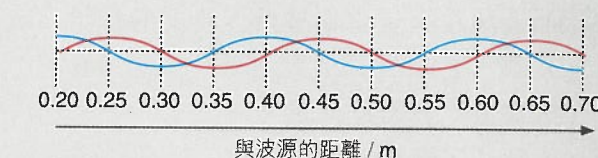


圖 x

- (a) 求波長。 (1分)
- (b) 頻率是 50 Hz 。 0.20 m
- 計算波的傳播速率。 10 m s^{-1} (1分)
 - 計算振動一個週期所需的時間。 0.02 s (1分)
 - 在圖 x 繪畫繩子在 0.005 s 後的形狀。 (2分)
- (c) 解釋為甚麼這列波稱為橫波。 (2分)

實驗題

4.2 29 你有長彈簧、米尺和秒錶(圖 y)。描述如何利用這些儀器來量度波沿彈簧傳播的速率。 (4分)



圖 y

Q27 考試報告：本題有關水波槽的波動。考生表現令人滿意。

- (a) (i) 大部分考生能利用圖中的資料找出波長。
- (ii) 部分能力較弱的考生未能正確找出波動週期，亦因而得到錯誤的波動頻率 f 。
- (iii) 很多考生不知道如何找到振動器與 S 間的距離。能力較弱的考生未能理解位移—時間關係線圖，亦不知道水波從振動器到 S 需時 3 s 。
- (b) 大部分考生能指出在 $t = 7 \text{ s}$ 時，哪顆膠粒的運動 (i) 與 T 相同方向及 (ii) 與 T 相反方向。
- (c) 很多考生不能正確繪出四分之一週期後的波形。部分考生沒有依題目要求在圖 v 中草繪波形。

自我評核 4

時間：15 分鐘 總分：10 分

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

4.1 1 下列哪些有關一行進縱波的敘述是正確的？ 4.2 2 P 和 Q 是一行進中的橫波上的粒子，它們的振動反相。下列哪些敘述是正確的？

- 縱波在介質中傳播時，波上的粒子不會振動。
- 縱波不會傳遞能量。
- 縱波不會傳遞物質。

A 只有 (1) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

B

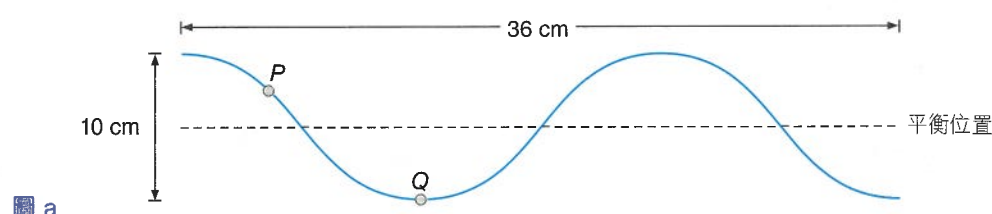
- P 向下移動時， Q 總是向上移動。
- P 瞬時靜止時， Q 總是在移動。
- P 和 Q 以不同振幅振動。

A 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

A

乙部

3 振動器在繩子上產生一行波，波沿繩子向右傳播。振動器完成一次完整振動需時 1.2 s。圖 a 顯示波在 $t = 0$ 時的波形。 P 和 Q 是繩子上的粒子。



(a) 描述 P 在 $t = 0.6$ s 時的運動方向。 (1 分)

向下

(b) 在圖 b 草繪 Q 由 $t = 0$ 至 $t = 1.8$ s 的位移—時間關係線圖。 (3 分)

(c) 求波的頻率。 (1 分)

0.833 Hz

(d) 求波的傳播速率。 (3 分)

20.0 cm s⁻¹

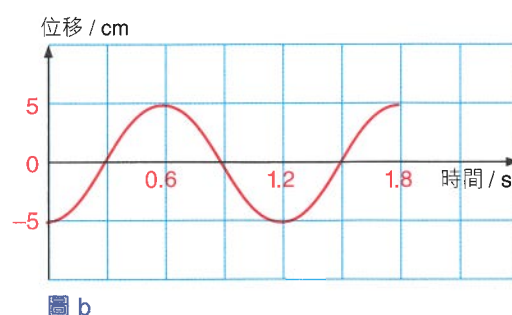


圖 b

5 波的現象和駐波

我們在这一課會學到

- 怎樣在水波槽中觀察波的現象
- 波展示的四種現象——反射、折射、衍射和干涉
- 駐波的特點和它們怎樣形成

5.1

利用水波研究波的現象

起點 水底的花紋

為甚麼照片中男孩身上與水底會有明暗花紋？
參閱第43頁的旁註。



✓ 本節重點

- 1 水波槽
- 2 波的傳播

水波其實是由橫波和縱波合成的，可是，在這階段不必提及水波的縱波性質。如學生對上述內容有興趣，可到以下網站觀看動畫，了解水波如何運動。

<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves/wavemotion.html>



以下應用程式可以模擬水波槽，以便觀察水波。



iOS

1 觀察水波槽中的水波

水波槽可以用來觀察和研究水波。它包括一個盛了水的透明大托盤，以及一些振動配件（圖 5.1a）。這些振動配件輕敲水面，就能產生水波。把水波槽置於高映機上，水波就可以投映在屏幕上（圖 5.1b）。

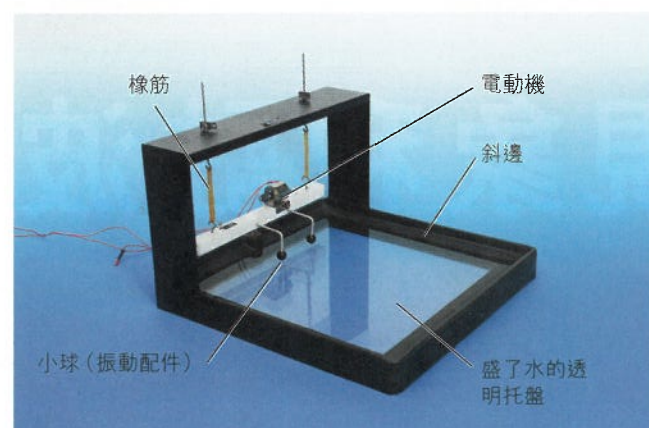


圖 5.1a 水波槽

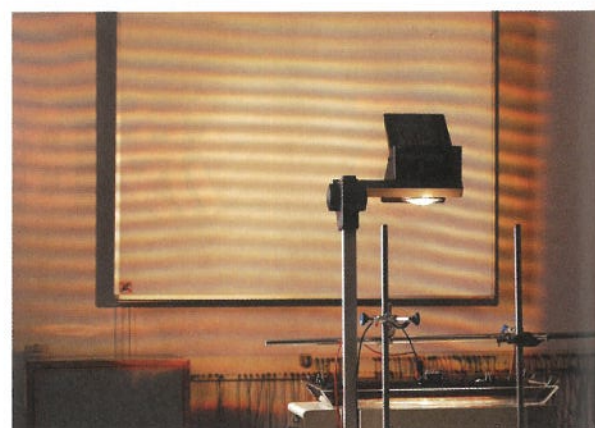
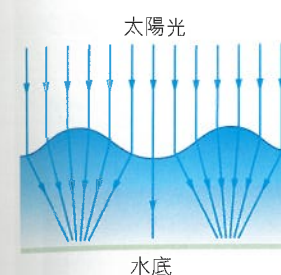


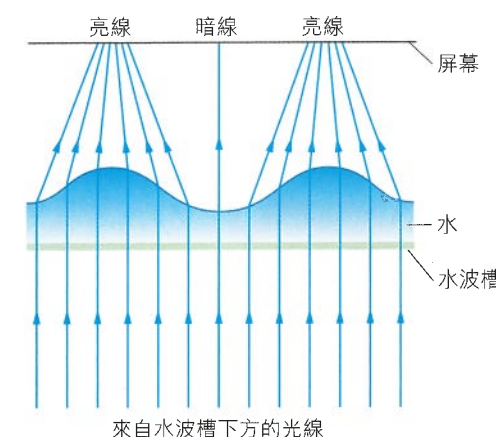
圖 5.1b 水波投映在屏幕上

水波槽 ripple tank

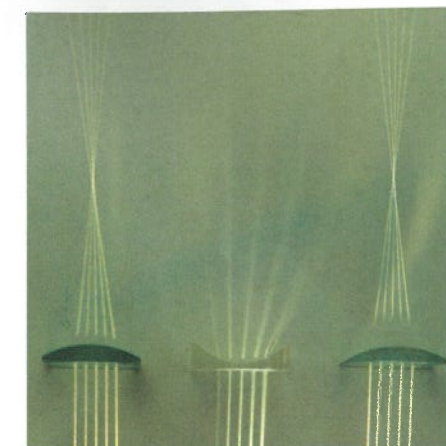
在起點中，起伏不平的水面就像一系列透鏡，使太陽光折曲，在男孩身上和水底投映出明暗花紋。



水波槽內的水靜止時，光源會均勻地照亮整個屏幕；水波產生時，就會像一系列凹凸相間的透鏡一樣，使光線折曲（圖 5.1c），令屏幕上出現明暗相間的條紋。亮紋對應波峯，暗紋則對應波谷。



(i) 水波像一系列透鏡，使光線折曲



(ii) 凸透鏡和凹透鏡折射光線

圖 5.1c 亮紋對應波峯，暗紋對應波谷

接下來，我們會觀察在水波槽中產生的水波。



錄像片段 5.1

→ 錄像片段 5.1 顯示怎樣在水波槽中產生直線和圓形波。



實驗 5a

觀察水波槽中的水波

- 1 在高映機上裝置水波槽（圖 a）。
- 2 把一根棒子橫放，並用它來輕敲水面，觀察所產生的水波形狀。
- 3 增加棒子的振動頻率，觀察水波的頻率和波長如何變化。
- 4 改以小球輕敲水面來重複實驗。

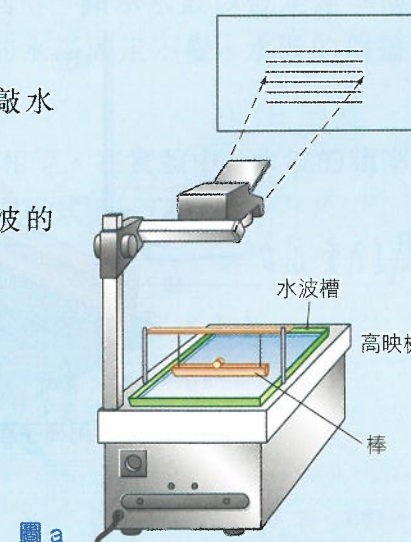


圖 a

討論

- 1 描述 (a) 棒子、(b) 小球輕敲水面時，所產生的水波形狀。
(a) 水波呈直線。
(b) 水波呈圓形。
- 2 水波是否以恆定速率傳播？
是
- 3 增加棒子或小球的振動頻率，對水波有甚麼影響？
波長減少。

補充資料 水波槽的特殊設計

水波槽有些特殊設計，有助產生和觀察水波。

- 1 電動機的轉軸上裝有偏心負載。電動機啟動後，負載會使轉軸擺動，令棒子或小球振動（圖 a）。
- 2 某些水波槽的四邊傾斜而非垂直（圖 b），某些則貼上海綿，這些設計都可減少從四邊反彈回來的水波。



圖 a 電動機轉軸上的偏心負載

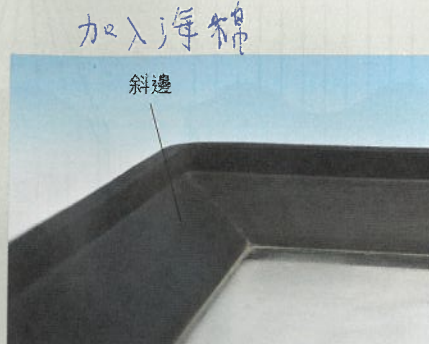


圖 b 水波槽的斜邊

2 直線波與圓形波

在實驗 5a 中，棒子重複輕敲水面，就會產生**直線波**（或稱**平面波**）（圖 5.1d 和 5.1e）。同樣地，小球重複輕敲水面，就會產生**圓形波**（圖 5.1f 和 5.1g）。小球可視為一個點振動源。

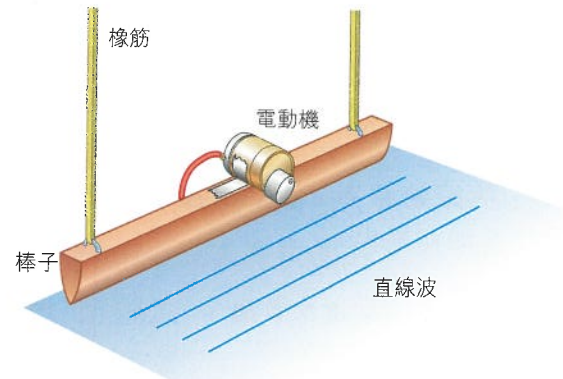


圖 5.1d 用棒子產生直線波

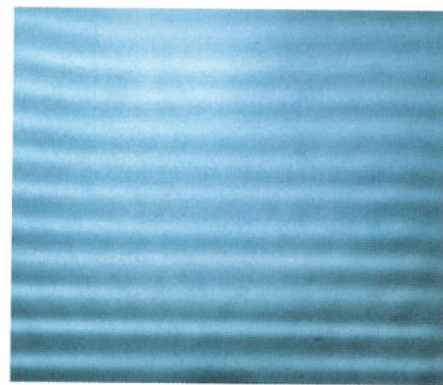


圖 5.1e 水波槽中產生的直線波

在圖 5.1f 中，橡筋被縮短，因此只有小球輕敲水面。

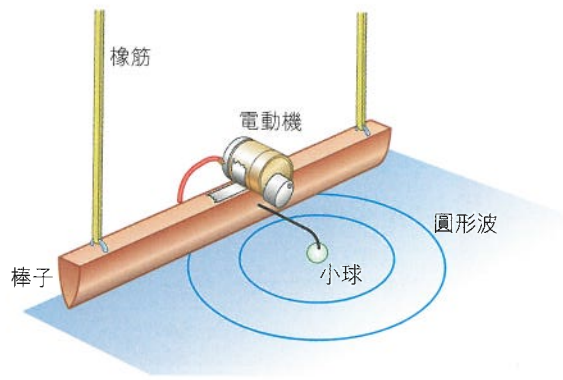


圖 5.1f 用小球產生圓形波

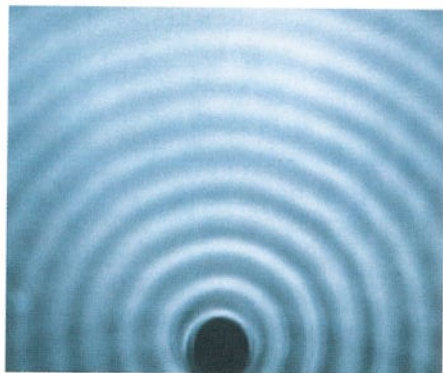
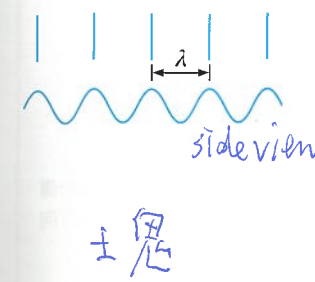


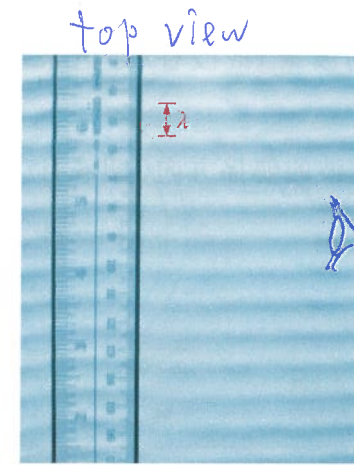
圖 5.1g 水波槽中產生的圓形波

直線波 straight wave 平面波 plane wave 圓形波 circular wave

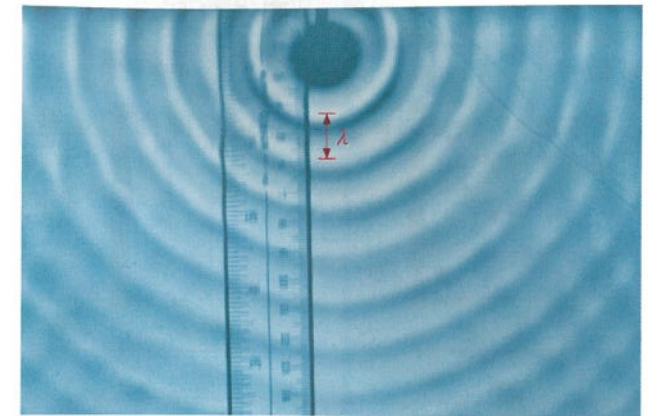
亮紋對應波峯，所以兩條相鄰亮紋的距離正好等於兩個相鄰波峯的距離，即一個 λ 。



直線波與圓形波的波長相等於兩條相鄰亮紋（或暗紋）的距離。圖 5.1h 顯示了量度水波波長的方法。



(i) 直線波



(ii) 圓形波

圖 5.1h 量度水波的波長

3 頻率、波長和速率

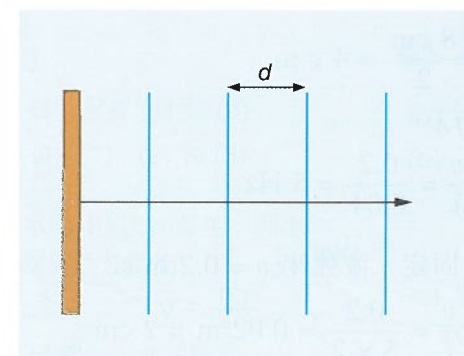
橫波沿均勻長彈簧傳播的速率也是恆定不變的（見 p.20）。

實驗 5a 中所產生水波的波峯距離均等，顯示水波以恆定速率傳播。在單元 5.2 中，我們會學到當水波槽的水深固定不變，水波的傳播速率就恆定不變。

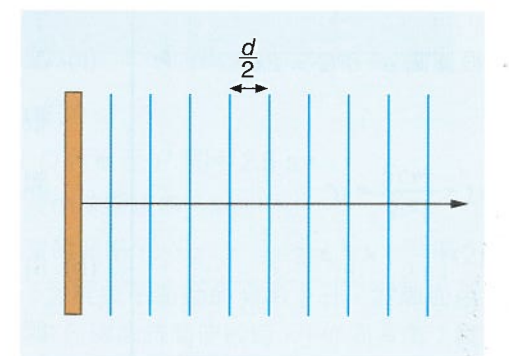
水波的頻率與波源（電動機）的頻率相等。在實驗中，水波的頻率增加，波長便減少（圖 5.1i），這結果符合方程式 $v = f\lambda$ 。

若水深固定，則 v 不變， $f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$

↑ 振動源
↑ 傳播介質



(i) 頻率為 f 的水波



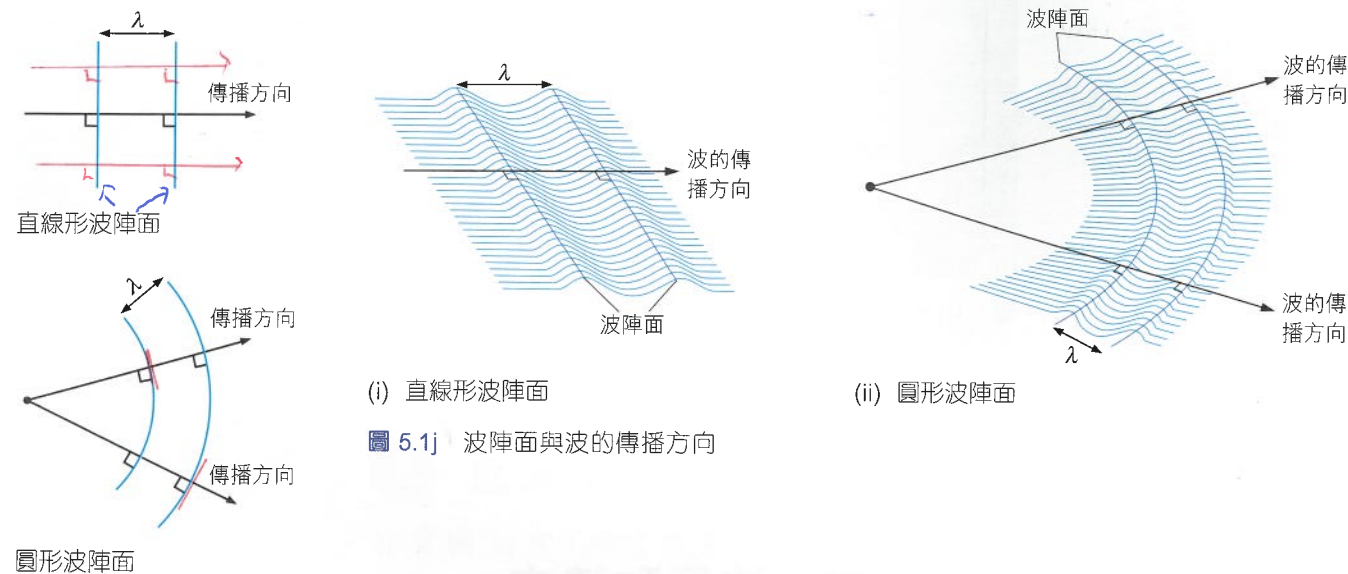
(ii) 頻率為 $2f$ 的水波

圖 5.1i 水波的頻率增加，波長便減少

4 波陣面與波的傳播方向

如果兩個粒子總是同時到達平衡位置以上的最大位移，它們就是以同相振動。
 水波上由同相而相鄰的點連成的線稱為**波陣面**。要繪畫波陣面，可以如圖 5.1j 所示，把相鄰的波峯（或波谷）連起來，通常每隔一個波長的距離畫一個波陣面。

在平面圖中，波陣面會如下圖方式繪畫：
 注意波陣面總是垂直於波的傳播方向（圖 5.1j）。



(i) 直線形波陣面

(ii) 圓形波陣面

圖 5.1j 波陣面與波的傳播方向

例題 1 水波槽中的水波圖形

點振動源在 S 點產生一系列圓形波（圖 a）。 P 點和 Q 點的距離是 8 cm ，水波的傳播速率是 0.2 m s^{-1} 。

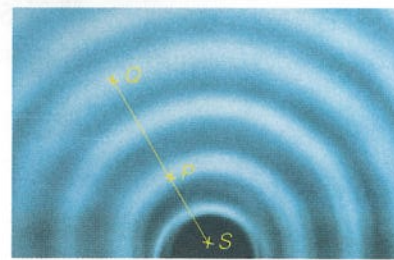


圖 a

- 求水波的波長和頻率。
- 如果把點振動源的振動頻率加倍，波速率和波長會變為多少？

題解

根據圖 a， $PQ = 2\lambda$ 。

$$(a) \text{ 波長 } \lambda = \frac{8\text{ cm}}{2} = 4\text{ cm}$$

根據 $v = f\lambda$ ，

$$\text{頻率 } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0.2}{0.04} = 5\text{ Hz}$$

- 由於水深固定，波速率 $v = 0.2\text{ m s}^{-1}$

$$\text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{0.2}{5 \times 2} = 0.02\text{ m} = 2\text{ cm}$$

習題與思考 5.1 Q3 (p.47)

進度評估 1

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.42）。

- 11 圖 a 顯示振動源 S 產生的一系列圓形波。求波長。
 6 cm

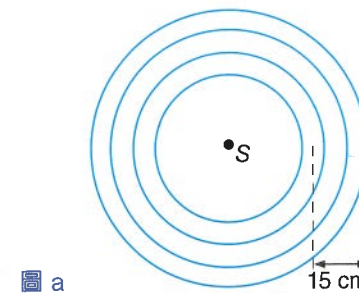


圖 a

$$\lambda = \frac{15}{2.5} = 6\text{ cm}$$

- 22 圖 b 顯示在兩個水深相同的水波槽中觀察到的兩列直線波 P 和 Q 。試比較兩列波的波長、波速率和頻率。

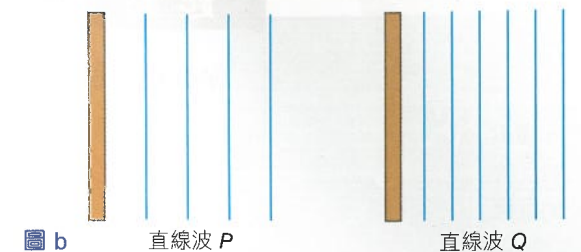


圖 b

直線波 P

直線波 Q

$$\lambda_P > \lambda_Q, v_P = v_Q, f_P < f_Q$$

習題與思考 5.1

- 21 棒子上下振動，在水波槽中產生一系列直線波。若把棒子的振動頻率加倍，波會有下列哪些改變？

- 波的傳播速率加倍。✗
- 波的頻率加倍。✓
- 波長維持不變。✗

- 只有 (1)
- 只有 (2)
- 只有 (1) 和 (2)
- (1)、(2) 和 (3)

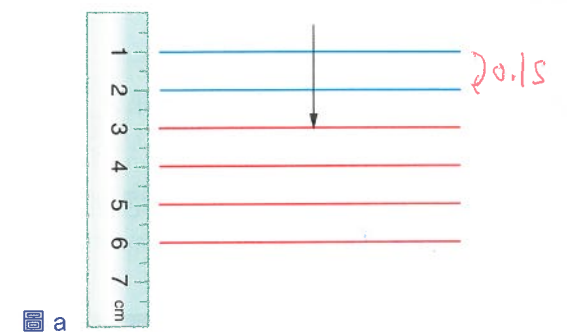


圖 a

- ★ 2 點振動源在水波槽中產生一系列圓形波。水波的影像投射在屏幕上，包括一連串亮線。下列哪些有關亮線的敘述是正確的？

- 亮線對應水波的波峯。
- 增加點振動源的振動頻率，相鄰亮線之間的距離便會減少。
- 波的傳播方向與亮線垂直。

- 只有 (1) 和 (2)
- 只有 (1) 和 (3)
- 只有 (2) 和 (3)
- (1)、(2) 和 (3)

- 1,2 3 在水波槽中，棒子每秒輕敲水面 10 次，產生一系列水波。圖 a 顯示在 $t = 0$ 時觀察到的波陣面。

- 求水波的傳播速率。
- 在圖 a 繪畫在 $t = 0.4\text{ s}$ 時觀察到的波陣面。
- 若棒子改為每秒輕敲水面 4 次，波長會變為多少？

$$f = 10\text{ Hz}$$

$$v = \frac{15\text{ cm}}{0.15} = 1\text{ m s}^{-1}$$

$$10 = 4\lambda$$

$$\lambda = 2.5\text{ cm}$$

- ★ 4 棒子上下振動，在水波槽中產生水波。圖 b 顯示水波的波陣面。

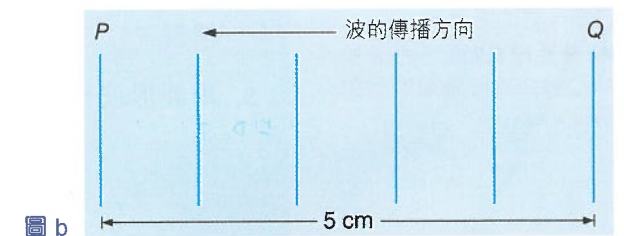


圖 b

- 求水波的波長。

- 波陣面由 Q 行進至 P 需時 2.5 s 。

$$v = \frac{5\text{ cm}}{2.5\text{ s}} = 2\text{ cm s}^{-1}$$

$$v = f\lambda$$

$$2 = f \times 1, f = 2\text{ Hz}$$

- 智傑說：「如果棒子振動的頻率上升，波陣面由 Q 行進至 P 所需的時間便較短。」你同意嗎？試簡單解釋。

不同意
 波速度不變

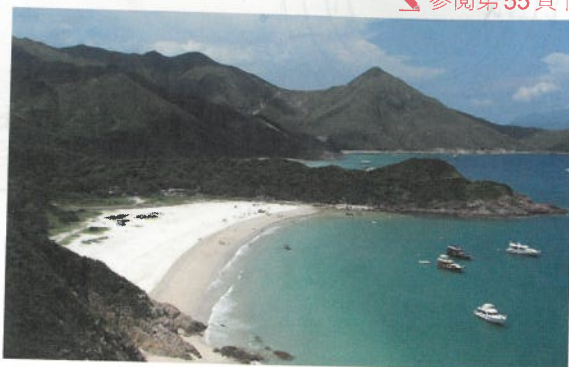
5.2

波的現象：反射與折射

起點

海浪靠岸的景象

你有沒有留意到海浪靠近海灘時，總是與海岸平行？你知道原因嗎？
 參閱第55頁「生活中的物理」。



本節重點

- 1 波的反射
- 2 波的折射

1 波的反射

水波遇到直線形障礙物時會有甚麼變化？完成以下實驗，便能找出答案。



模擬程式 5.1
錄像片段 5.2

→ 模擬程式 5.1 顯示直線波和圓形波被直線形和曲線形障礙物反射的情況。

→ 錄像片段 5.2 顯示水波被直線形和曲線形障礙物反射的情況。

實驗 5b

水波被直線形障礙物反射

- 1 在高映機上裝置水波槽。
- 2 向直線形障礙物發出直線波（圖 a）。觀察水波遇到障礙物時反射的情況。
- 3 用圓形波重複實驗。



圖 a

討論

水波遇到障礙物之前和之後的傳播方向有甚麼關係？反射角等於入射角。



模擬程式 5.2

→ 模擬程式 5.2 顯示直線波和圓形波被直線形障礙物反射的情況。學生可以改變入射波的角度和頻率。

(i)

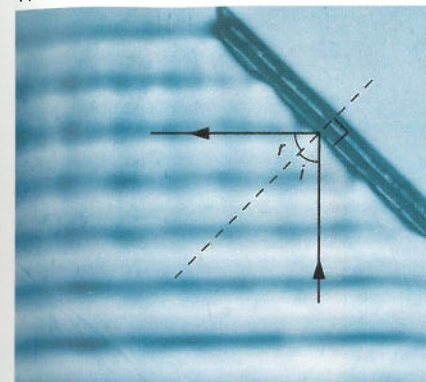
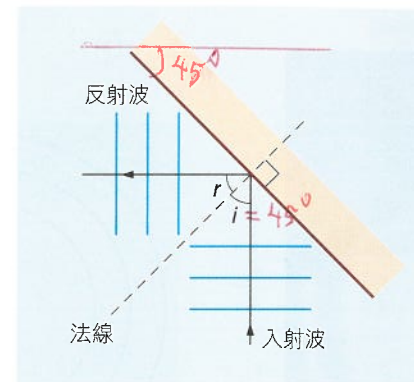
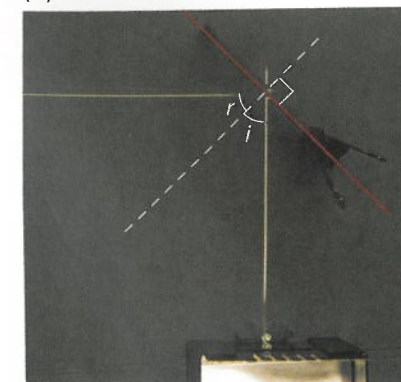


圖 5.2a 水波與光的反射 ($i = r$)

(ii)



(iii)



a 直線波的反射

在實驗 5b，水波遇到障礙物會反彈，這就是水波的反射現象。圖 5.2a 顯示直線波遇上直線形障礙物時反射的情況，這與光反射的情況相似。

向障礙物傳播的波稱為入射波，反彈出來的波稱為反射波。根據實驗結果，可找到兩者的關係：

反射角 r 等於入射角 i 。

$$r = i$$

其中 i 是入射波的傳播方向與法線之間的角度， r 是反射波的傳播方向與法線之間的角度。

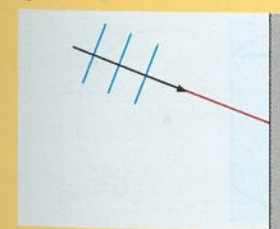
3A 冊第 1 課已介紹過反射定律。水波與其他波一樣，都遵從這條反射定律。波發生反射後，速率、頻率和波長都不會改變。

技巧分析

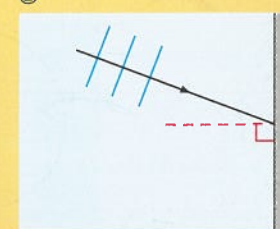
繪畫直線波反射後的波陣面 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

- ① 把顯示入射波傳播方向（與波陣面垂直）的直線延長。
- ② 在步驟 ① 所畫的直線與障礙物相交的位置，繪畫法線。
- ③ 根據反射定律，繪畫直線來顯示反射波的傳播方向。
- ④ 繪畫反射波的波陣面。波陣面與步驟 ③ 所畫的直線垂直，且兩個相鄰波陣面的距離與入射波相等。

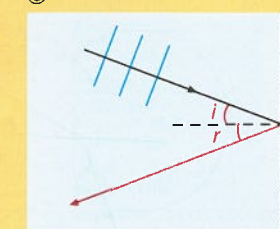
①



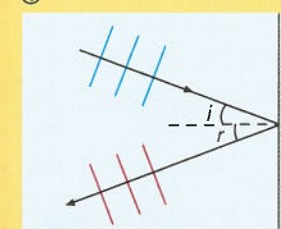
②



③



④





模擬程式 5.3

→ 模擬程式 5.3 展示波動模型和光線模型。

b 圓形波的反射

圖 5.2b 顯示一系列圓形波遇上直線形障礙物時反射的情況。反射波也呈圓形，看似源自障礙物背面的一個像點（圖 5.2c）。點源與障礙物的距離，相等於像點與障礙物的距離。

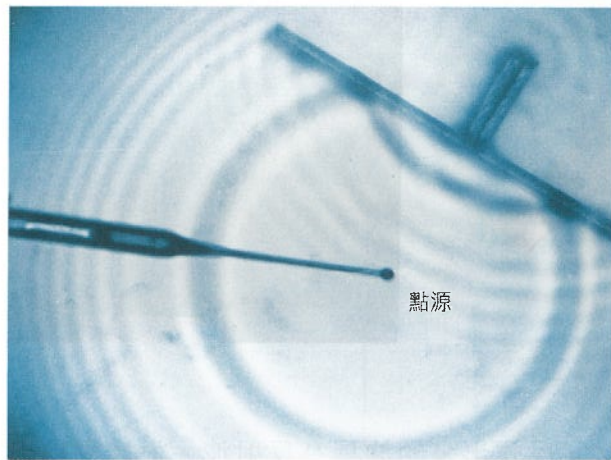


圖 5.2b 直線形障礙物反射圓形波

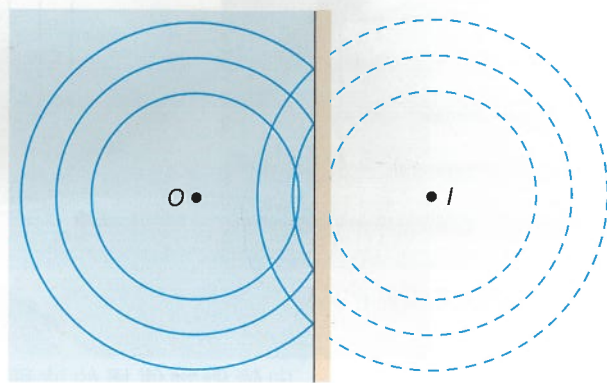


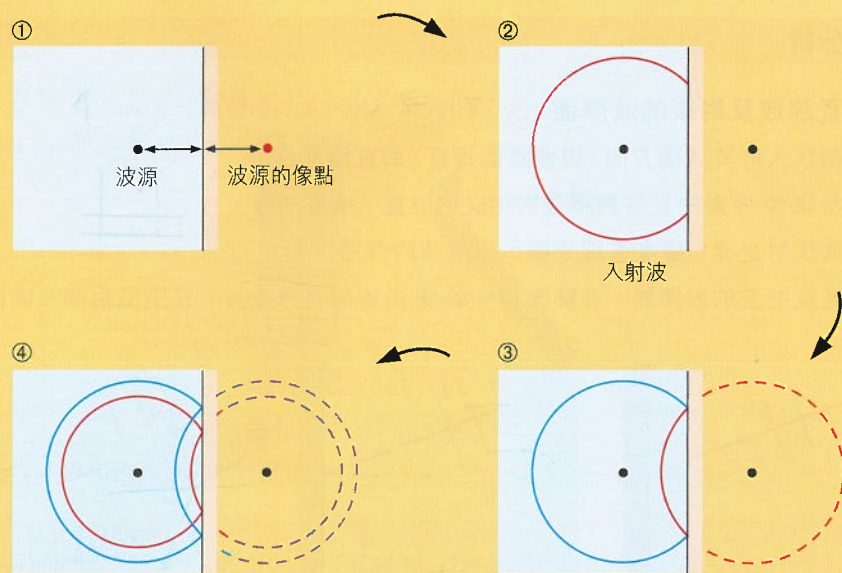
圖 5.2c 反射波看似源自障礙物背面的一個像點 I

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

繪畫圓形波反射後的波陣面

- ① 找出波源的像點。它在障礙物的背面，與障礙物的距離相等於波源與障礙物的距離。
- ② 以波源為中心，繪畫一個入射的圓形波陣面，波陣面與障礙物相交。
- ③ 以像點為中心，繪畫反射的波陣面，半徑與入射圓形波陣面相同。用虛線繪畫障礙物背面的波陣面，因為它們並非真的存在。
- ④ 用不同半徑的波陣面重複步驟 ② 和 ③。



進度評估 2

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.48）。

- 11 一系列直線波如圖 a 所示向障礙物傳播。

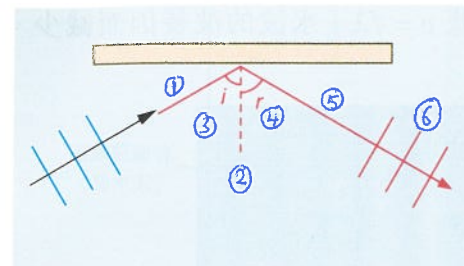


圖 a

(a) 在圖 a 繪畫反射波。

(b) 標示入射角 i 和反射角 r 。

- 12 點振動源在水波槽中產生一系列圓形波。過了 2 個週期後，觀察到的波陣面如圖 b 所示。試繪畫再過 2 個週期後所觀察到的水波圖形。

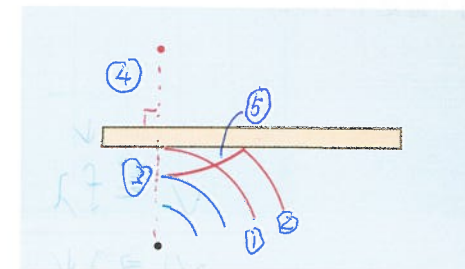


圖 b

2 波的折射

水波從深水區進入淺水區時會發生甚麼事？我們可以在以下實驗找出答案。

波速會改變



模擬程式 5.4
錄像片段 5.3

→ 模擬程式 5.4 顯示水波沿不同方向由深水區進入淺水區時會怎樣折射。

→ 錄像片段 5.3 示範實驗 5c。



實驗 5c

水波的折射

- 1 在高映機上裝置水波槽。
- 2 把一塊有機玻璃板放進水波槽，製造出一個淺水區。
- 3 向有機玻璃板（沿法線方向）發出直線波（圖 a）。觀察水波進入淺水區時有甚麼改變。
- 4 調整有機玻璃板的位置，使直線波以斜角越過有機玻璃板的邊界（圖 b）。觀察水波進入淺水區時有甚麼改變。

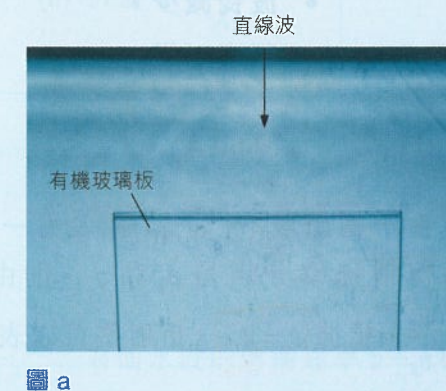


圖 a



圖 b

討論

- 1 水波沿法線方向進入淺水區時，波長和傳播方向有沒有改變？
只有波長改變。
- 2 水波以斜角進入淺水區時，波長和傳播方向有沒有改變？
兩者都改變。

a 波長與波速率的改變

如果水波在深水區和淺水區的頻率不同，在邊界兩面的波陣面數目便會不相同。這是不可能的。

在實驗 5c 中，水波進入淺水區時，波長減少（圖 5.2d）。這是由於水波的速率與水深有關。水波進入淺水區時，速率減少，頻率則不變（與振動源的頻率相同），根據 $v = f\lambda$ ，水波的波長因而減少。

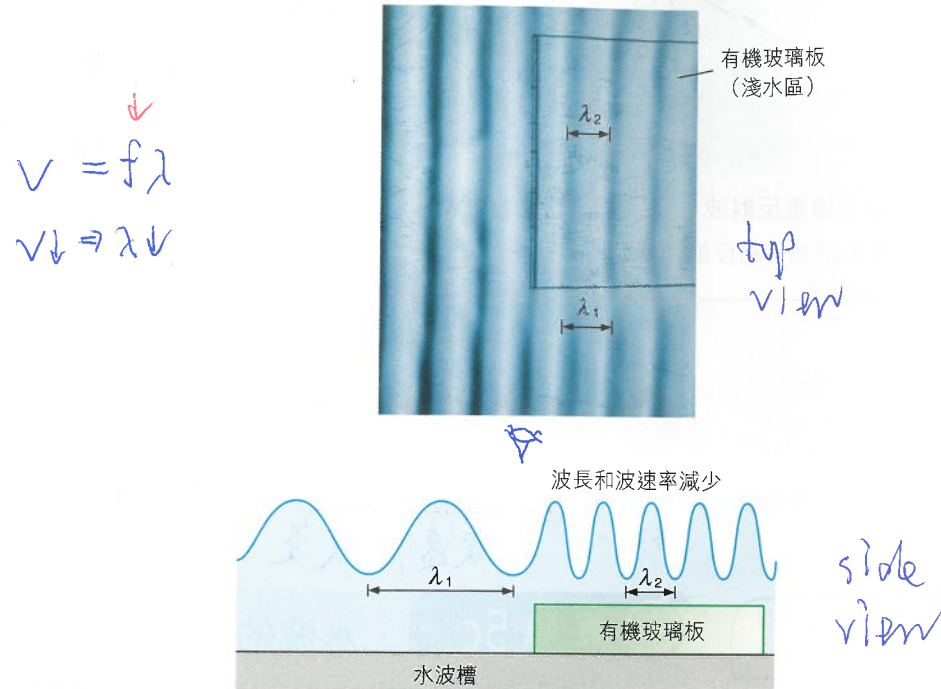


圖 5.2d 水波進入淺水區時，波長減少

相反，水波從淺水區進入深水區時，波速率和波長增加，頻率也依舊不變。

水波從深水區進入淺水區時，

- 波速率減少，
- 波長減少，
- 頻率不變。

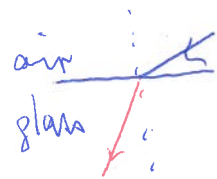
水波在水深不同的區域傳播，就正如光線在不同介質中傳播一樣。考慮一列波由一個區域（介質 1）進入另一區域（介質 2）。假設波在介質 1 和 2 的傳播速率分別是 v_1 和 v_2 ，則由介質 1 至介質 2 的折射率

$n_{1 \rightarrow 2}$ 相等於 $\frac{v_1}{v_2}$ 。根據 $v = f\lambda$ ，折射率可以表示為

$$n_{1 \rightarrow 2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

討論光的折射時會比較光在介質和真空中的速率，從而得出折射率，它的數值與光傳播的方向無關。但是，這裏的討論牽涉到兩個任意的介質，因此必須清楚寫出波傳播的方向。

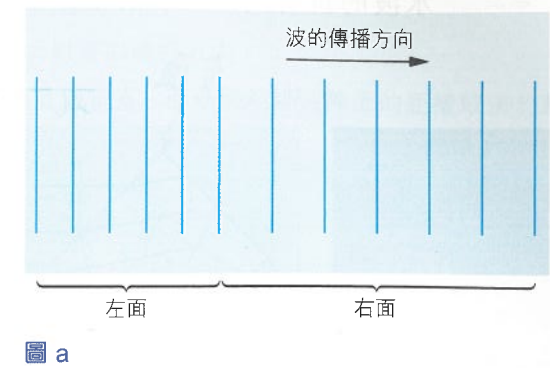
試把這公式與光線的公式 $n = \frac{c}{v}$ 比較。



正 OK

例題 2 越過邊界的水波

圖 a 顯示在水波槽中的一列直線波。水波槽的一邊放置了一塊玻璃板，玻璃板的邊界與水波的波陣面平行。



- (a) 玻璃板放置在圖 a 的左面還是右面？試解釋答案。
- (b) 在圖 a 中，左面水波的頻率是 0.5 Hz，波長是 2 cm。右面水波的波長則是 3 cm。
- 求右面水波的頻率。
 - 找出水波由左面進入右面的折射率。
 - 水波在左右兩面的傳播速率是多少？

題解

- (a) 玻璃板放置在左面。

左面水波的波長較短，顯示左面的水較淺。

- (b) (i) 右面水波的頻率也是 0.5 Hz。

$$\begin{aligned} \text{(ii) 折射率} &= \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \\ &= \frac{2}{3} \\ &= 0.667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(iii) 左面水波的傳播速率 } v &= f\lambda \\ &= 0.5 \times 2 \\ &= 1.0 \text{ cm s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{右面水波的傳播速率 } v &= f\lambda \\ &= 0.5 \times 3 \\ &= 1.5 \text{ cm s}^{-1} \end{aligned}$$

習題與思考 5.2 Q7 (p.57)



模擬程式 5.5

→ 模擬程式 5.5 顯示水波經過兩個介質的直線形邊界時會怎樣折射。學生可以改變入射波的方向和波長，以及介質的折射率。

b 傳播方向的改變

在實驗 5c 中，水波由深水區以斜角進入淺水區時，不僅波長和傳播速率改變，連傳播方向也會改變，即是說，水波發生折射。如圖 5.2e 所示，水波的折射與光的折射很相似。

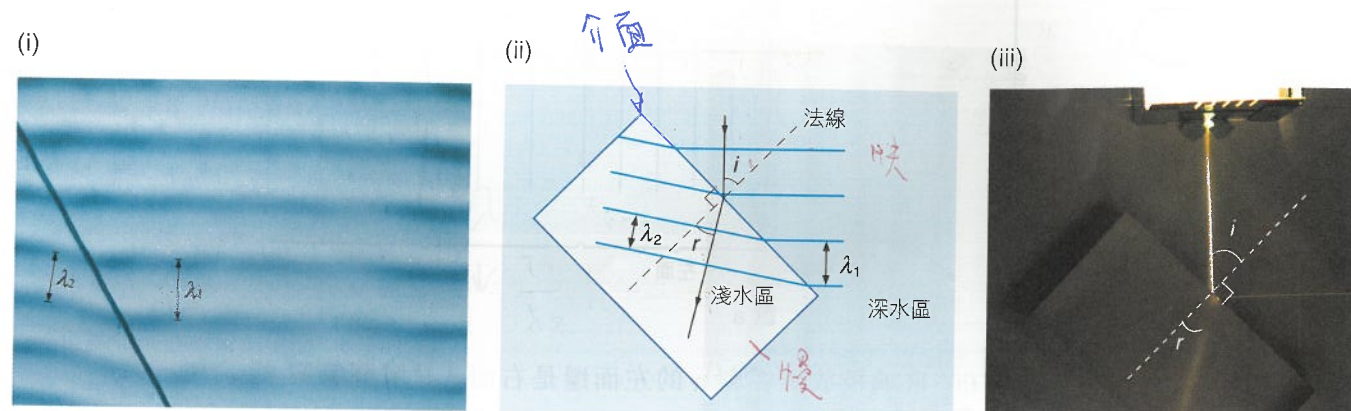


圖 5.2e 水波與光的折射

快 → 慢 ⇒ 偏向法線

圖 5.2e 顯示一系列水波以入射角 i 傳播到邊界。水波進入淺水區時，波速率減少，所以傳播方向會向法線偏折，即 $r < i$ 。相反，水波從淺水區進入深水區時，波速率增加，傳播方向因而偏離法線，即 $r > i$ 。

這與光線因速率減低而向法線偏折的情況相似。3A 冊第 44 頁的跑車類比可解釋箇中原因。

這些對折射的描述適用於所有種類的波，包括水波、光波、聲波等。

波沿法線方向越過邊界時，傳播方向不改變。

嚴格來說，波的傳播方向出現變化，折射才算發生。如果波以正向的角度射向邊界，傳播方向不會改變，因此不算是折射。但是，在答題時（例如香港中學會考 2005 年卷一 Q5），通常會把這類情況也視作折射。

波的折射是指速率改變而造成傳播方向改變。

1 當波的速率增加，傳播方向會偏離法線。

2 當波的速率減少，傳播方向會向法線偏折。

表 5.2a 總結了水波折射時的變化。

	由深水區進入淺水區	由淺水區進入深水區
頻率 f	保持不變	
波速率 v	減少	增加
波長 λ	減少	增加
傳播方向	向法線偏折	偏離法線

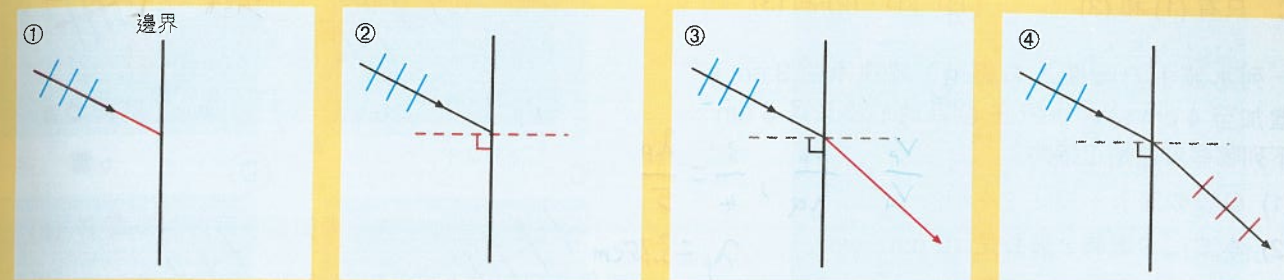
表 5.2a 水波的折射

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

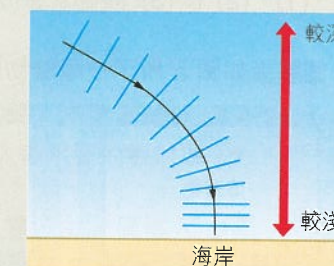
繪畫直線波折射後的波陣面

- 把顯示入射波傳播方向（與波陣面垂直）的直線延長至邊界。
- 在步驟 ① 所畫的直線與邊界相交的位置，繪畫法線。
- 根據越過邊界後的水深變化，繪畫直線來顯示折射波的傳播方向。
- 繪畫折射波的波陣面。波陣面與步驟 ③ 所畫的直線垂直，而兩個相鄰波陣面的距離取決於越過邊界後的水深變化。



生活中的物理 海浪靠岸的景象

愈接近海岸，水深逐漸下降。因此，海浪靠岸時，傳播速率會逐漸減少。海浪的傳播方向就會持續向法線偏折，直至與海岸互相垂直。這時，波陣面就與海岸互相平行。這便解答了起點的問題。



進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.48）。

21 圖 a 顯示一系列水波由深水區進入淺水區。

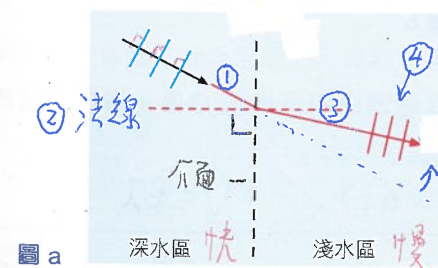
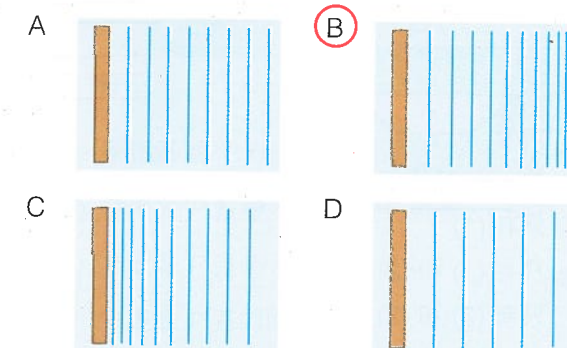
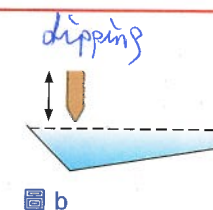


圖 a

- (a) 水波的傳播速率、頻率和波長會有甚麼改變？ v 減少， f 不變， λ 減少
- (b) 在淺水區繪畫水波折射後的波陣面。

23 把水波槽如圖 b 所示斜放，然後利用振動器產生一系列直線波。在振動器的右面，會觀察到下列哪一個水波圖形？



22 一系列波由介質 X 進入介質 Y 時，傳播速率減半。找出由 X 進入 Y 的折射率。2

$$n_{X \rightarrow Y} = \frac{v_X}{v_Y} = \frac{v}{\frac{v}{2}} = 2$$

習題與思考 5.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.48)。

- 1 1 一列水波遇上直線形障礙物而反射時，下列哪項會保持不變？

- (1) 波長
(2) 波的頻率
(3) 波速率
- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 2 一列水波由 P 區進入 Q 區時，波速率由 3 cm s^{-1} 增加至 4 cm s^{-1} 。水波在 Q 區時，波長是 5 cm 。下列哪些敘述是正確的？

- (1) Q 區較深水。
(2) 水波在 P 區時，波長是 10 cm 。
(3) 水波在 P 區時，頻率是 0.8 Hz 。

- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 3 一個脈衝如圖 a 所示被障礙物反射。



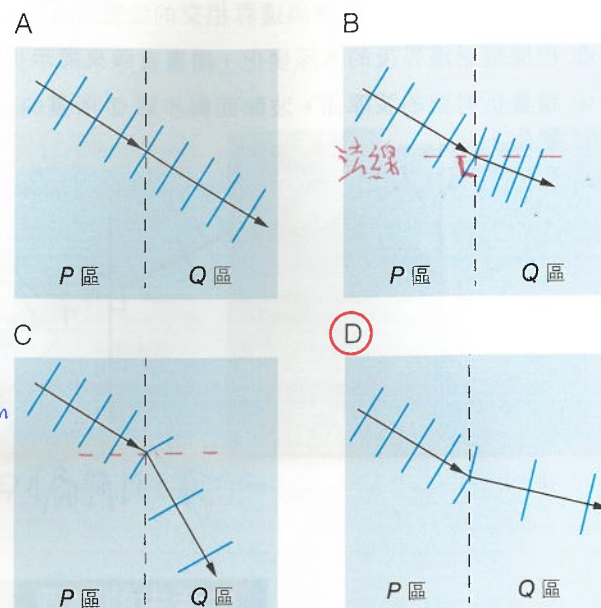
圖 a

下列哪個有可能是障礙物的形狀？

- (1) (2) (3)

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

- 4 一列水波由 P 區進入 Q 區。以下哪一種情況不可能發生？



- 5 點振動源產生一系列圓形波。過了 2 個週期後，觀察到的波陣面如圖 b 示。試繪畫再過 2 個週期後所觀察到的水波圖形。

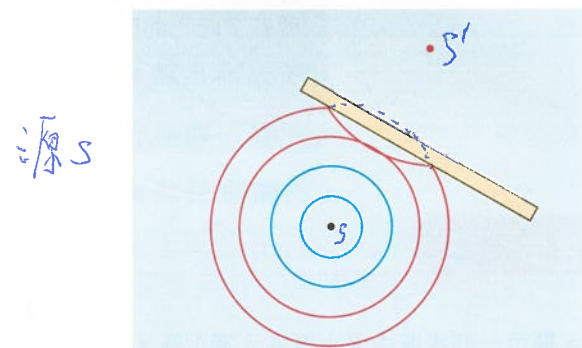


圖 b

- 6 一列直線波由 P 區進入 Q 區。兩個區域的水深不同。

(a) 完成表 a。

	P 區	Q 區
頻率 f	12 Hz	12 Hz
波長 λ	2 cm	1.5 cm
波速率 v	24 cm s^{-1}	18 cm s^{-1}

表 a

(b) 哪個區域的水較深？

$$v = f\lambda$$

$$v = 12 \times 2 = 24 \text{ cm s}^{-1}$$

$$18 = 12 \times \lambda$$

$$\lambda = 1.5 \text{ cm}$$

- 7 在圖 c 所示的水波槽中，P 區的水比 Q 區淺。振動器在水面產生直線波。

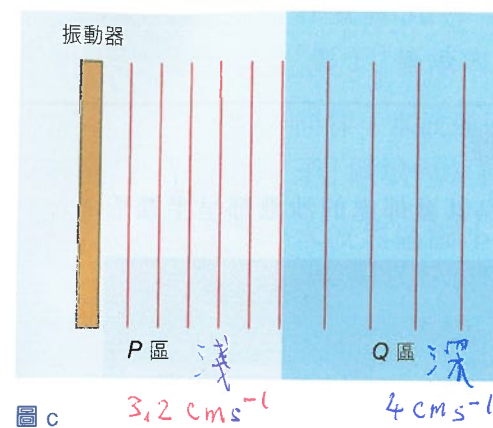


圖 c

(a) 在圖 c 繪畫兩個區域內所產生的水波圖形。

(b) 水波在 Q 區時，速率是 4 cm s^{-1} 。如果由 Q 區進入 P 區的折射率是 1.25，那麼水波在 P 區時，速率是多少？

- 8 一列直線波如圖 d 所示向障礙物傳播。

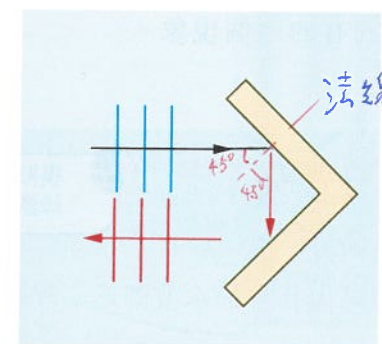


圖 d

(a) 繪畫箭號，以顯示每次反射後波的傳播方向。

(b) 據此繪畫反射波離開障礙物時的波陣面。

- 9 一列直線波如圖 e 所示向直線形障礙物傳播。

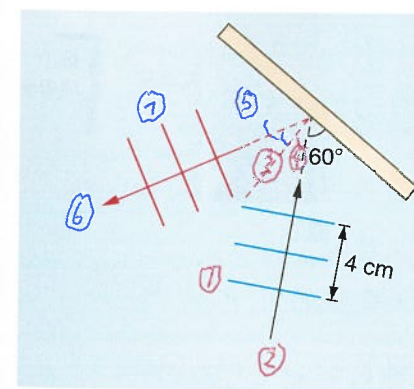


圖 e

- (a) 求直線波的波長。2 cm
(b) 求反射角。30°
(c) 求反射波的波長。2 cm
(d) 在圖 e 繪畫反射波。

- 10 圖 f 顯示一列水波由深水區進入淺水區。在深水區時，水波的頻率是 2 Hz ，傳播速率是 6 cm s^{-1} 。

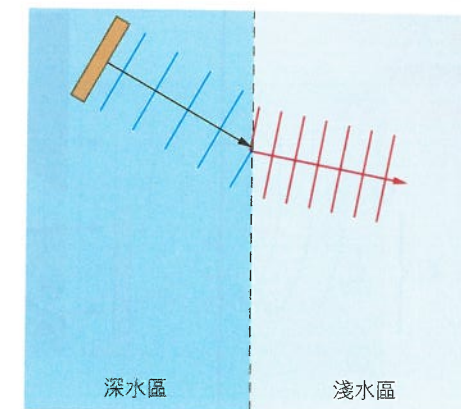


圖 f

(a) 完成淺水區的水波圖形。

(b) 求水波在深水區的波長。3 cm

(c) 在這兩個區域，波速率的比例是 2:1。找出由深水區進入淺水區的折射率。2

- 11 圖 g 顯示一列直線波由 P 區進入 Q 區。它在 P 區和 Q 區的速率分別是 2 cm s^{-1} 和 3 cm s^{-1} 。

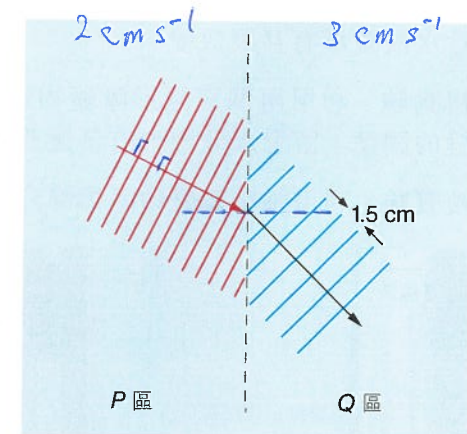


圖 g

(a) 哪個區域的水較深？Q

(b) 找出由 P 區進入 Q 區的折射率。0.667

(c) 水波在 P 區時，波長是多少？1 cm

(d) 繪畫在 P 區內的波陣面。

$$n_{P \rightarrow Q} = \frac{v_P}{v_Q} = \frac{2}{3}$$

$$n_{P \rightarrow Q} = \frac{v_P}{v_Q} = \frac{\lambda_Q}{\lambda_P}$$

$$\frac{2}{3} = \frac{\lambda_P}{1.5}$$

5.3

波的現象：衍射

起點 半圓形的沙灘

以下照片從意大利上空拍攝。為甚麼那處的沙灘都呈半圓形？

參閱第60頁的旁註。



✓ 本節重點

- 1 衍射：波的擴散
- 2 影響衍射幅度的因素

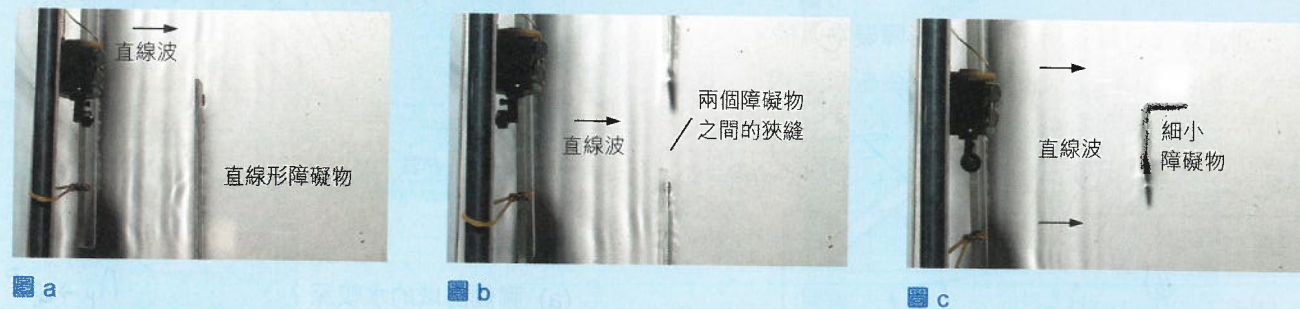
在單元 5.3 和 5.4，我們將會認識波獨有的兩個現象。

實驗 5d 水波的衍射

- 1 在高映機上裝置水波槽。
- 2 利用直線形障礙物阻擋部分直線水波（圖 a），觀察水波經過障礙物後的水波圖形。改變波長，留意水波圖形有甚麼改變。
- 3 重複實驗，利用兩個直線形障礙物造成一道狹縫，然後讓直線水波通過（圖 b）。改變波長和狹縫的闊度，留意水波圖形有甚麼改變。
- 4 重複實驗，利用細小障礙物阻擋部分直線水波（圖 c）。改變波長，留意水波圖形有甚麼改變。

→ 模擬程式 5.6 顯示水波通過障礙物邊緣、狹縫和細小障礙物時的衍射。
→ 錄像片段 5.4 示範實驗 5d。

模擬程式 5.6
錄像片段 5.4



討論

- 1 描述水波經過直線形障礙物、狹縫和細小障礙物後的水波圖形。參閱第59頁。
- 2 波長和狹縫的闊度對水波圖形有甚麼影響？波長愈長，或狹縫愈窄，波的擴散幅度就愈大。

1 衍射：波的擴散

在實驗 5d 中，水波經過直線形障礙物的邊緣時會偏折，進入障礙物的「影子」區域內（圖 5.3a）。

同樣，水波通過由兩個障礙物所造成的狹縫時會偏折，進入障礙物的「影子」區域內，並且擴散出去（圖 5.3b）。

水波經過細小障礙物時，也會在兩邊偏折，然後在障礙物的後方會合（圖 5.3c）。

虛線以上的波陣面不受影響，會繼續向前行進。

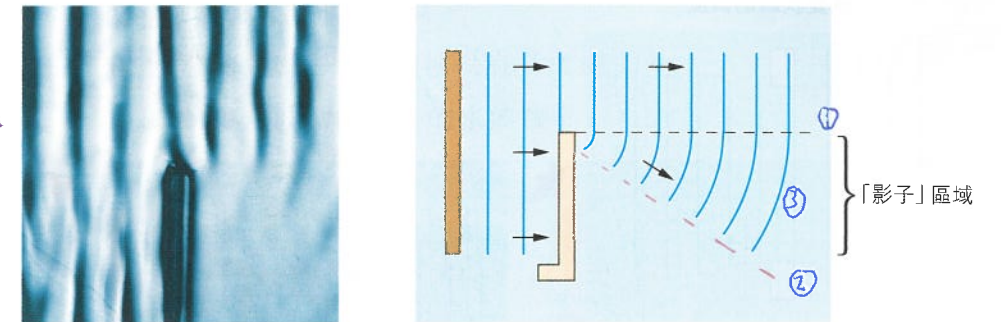


圖 5.3a 經過直線形障礙物邊緣時的衍射

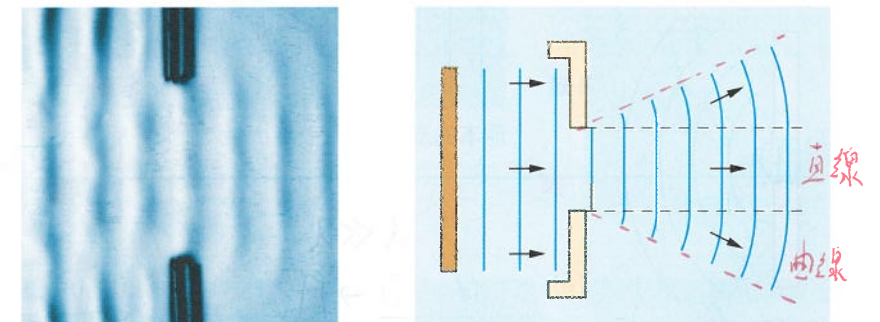


圖 5.3b 經過狹縫時的衍射

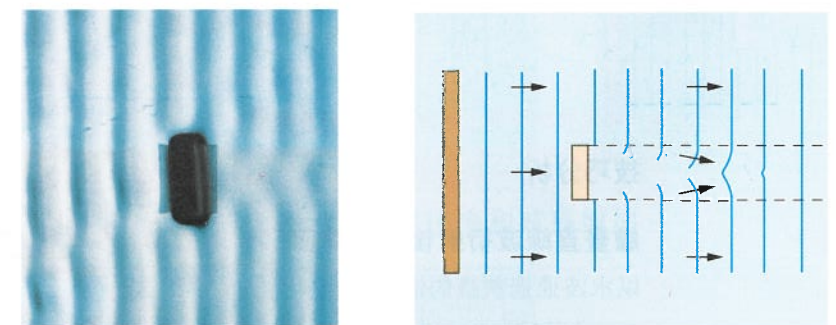


圖 5.3c 經過細小障礙物時的衍射

以上實驗所展示的現象稱為**衍射**或**繞射**。波在衍射後，傳播方向會改變，但波速率、頻率和波長都不變。

波會沿障礙物的邊緣偏折或擴散，進入障礙物的「影子」區域內，這現象稱為衍射。

5 波的現象和駐波

→ 模擬程式 5.7 顯示水波於狹縫和障礙物邊緣的衍射。

學生可以改變水波的波長和狹縫的大小。



模擬程式 5.7

2 影響衍射幅度的因素

在起點中，兩個防波堤之間缺口的闊度與海浪的波長相若，因此海浪通過缺口後發生衍射，形成圓形波。這些圓形波會沖刷沙灘，令沙灘慢慢變成半圓形。

在實驗 5d 中，改變水波的波長，衍射圖形會隨之改變。波長愈長，波的擴散幅度就愈大。當水波通過狹縫時，改變狹縫的闊度，也會令衍射圖形改變。狹縫愈窄，波的擴散幅度就愈大。

圖 5.3d 總結這些變化對衍射圖形的影響。總而言之，狹縫的闊度與水波的波長相若，我們才能夠清楚觀察到水波通過狹縫後的衍射。

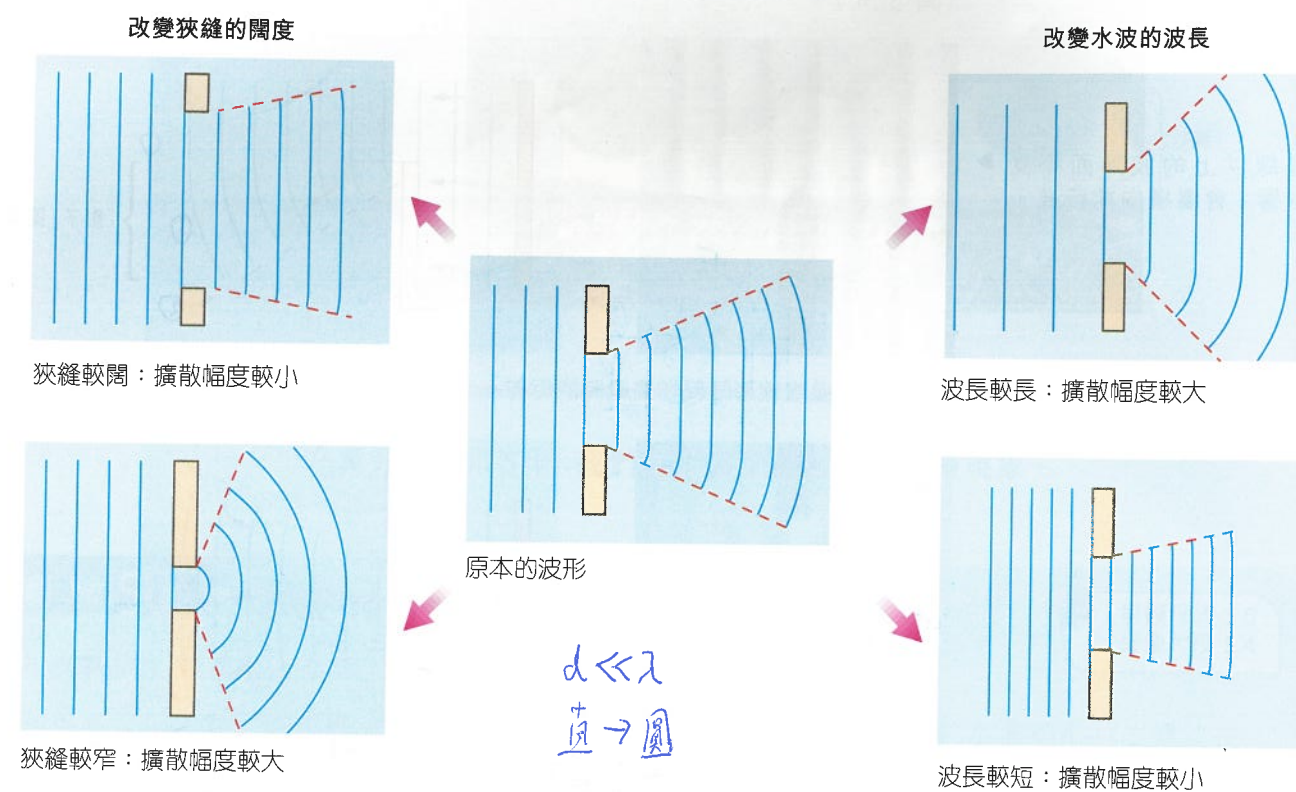


圖 5.3d 影響衍射圖形的因素

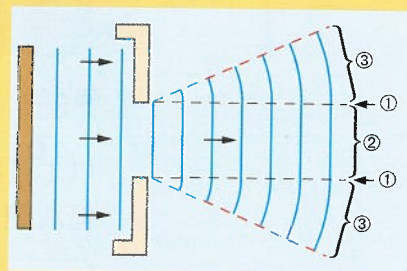
「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

繪畫直線波衍射後的波陣面

以水波通過狹縫的情況為例。

- ① 在狹縫兩端各繪畫一條與波的傳播方向平行的虛線。
- ② 在兩條虛線之間的區域中，繪畫波陣面。這些波陣面仍保持筆直。除非介質（水深）改變，否則波長與原本的相同。
- ③ 繪畫黑色虛線以外的波陣面，它們應是從步驟 ② 所畫的波陣面延伸出來的曲線。可以繪畫圖中的紅色虛線作輔助。



我們也可以用類似的方法，繪畫出水波經過障礙物邊緣或細小障礙物後的波陣面。

例題 3 繪畫水波的衍射圖形

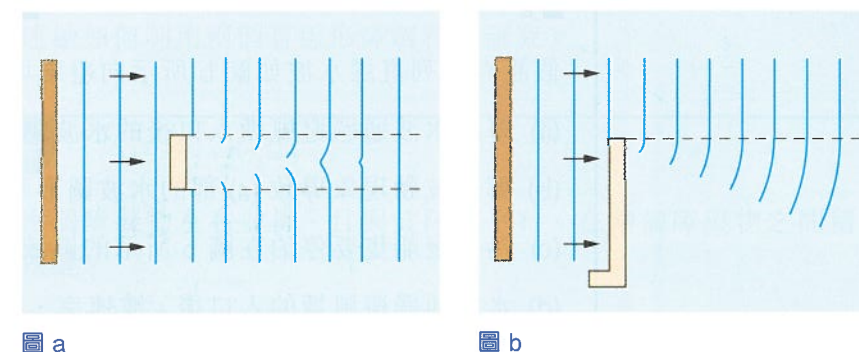
家駿利用水波槽來研究水波的衍射。

(a) 他讓直線波向細小障礙物傳播，產生圖 a 所示的衍射圖形。假設他作出以下改動，試繪畫所得的衍射圖形。

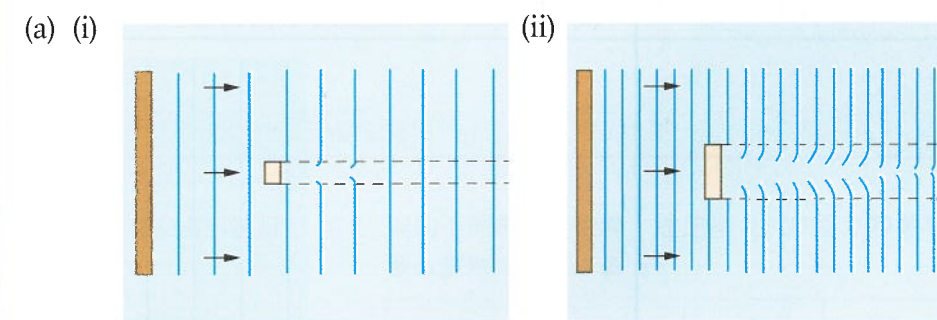
- 使用較窄的障礙物
- 縮短水波的波長

(b) 他又讓直線波向另一障礙物傳播，產生圖 b 所示的衍射圖形。然後，他增加水波槽的水深。

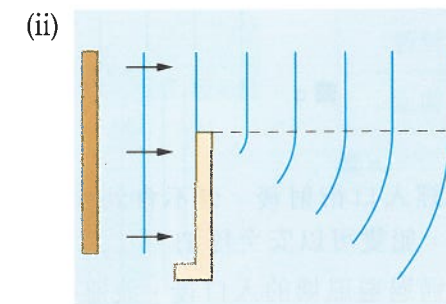
- 水波的頻率、速率和波長有甚麼變化？
- 試繪畫水波槽內產生的水波圖形。



題解



(b) (i) 水波的頻率不變，波速率和波長增加。



複習 Q23 (p.96)

例題 4 油麻地避風塘

圖 a 所示為油麻地避風塘。



圖 a

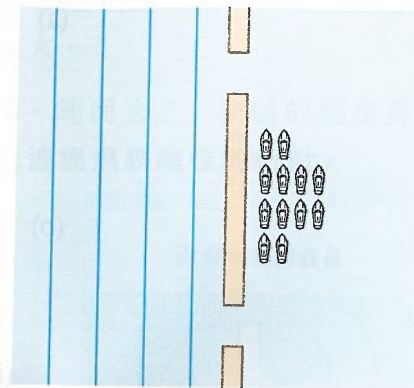


圖 b

假設有一列直線水波如圖 b 所示向避風塘傳播。

- 草繪水波通過避風塘入口後的水波圖形。
- 哪個波動現象導致 (a) 部的水波圖形產生？
- 為甚麼船隻要停泊在圖 b 所示的區域？
- 水波通過避風塘的入口後，波速率、頻率和波長有甚麼改變？

題解

- 圖 c 顯示所產生的水波圖形。

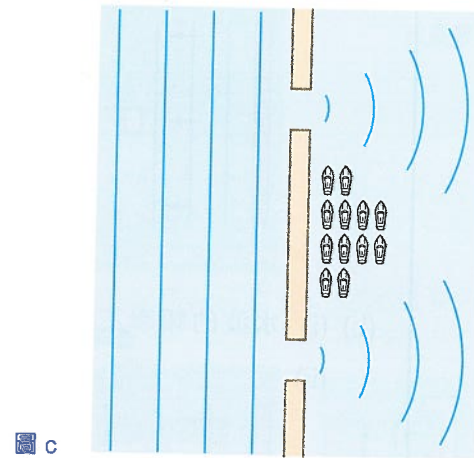


圖 c

- 衍射
- 水波經入口衍射後，也不會到達這區域。因此，那裏的海面較為平靜，船隻可以安全停泊。
- 水波通過避風塘的入口後，波速率、頻率和波長都沒有改變。

習題與思考 5.3 Q5 (p.64)

例題 5 研究水波的波長對衍射幅度的影響

思琪在水波槽中產生直線波（圖 a），她正要研究水波的波長怎樣影響衍射幅度。



圖 a

描述她如何利用兩個直線形障礙物來研究。

題解

把兩個障礙物左右並排，且與波陣面平行。在兩個障礙物之間留有一道狹縫。

讓直線波通過狹縫，觀察水波的衍射幅度。

改變振動源的頻率，從而改變水波的波長。

比較不同波長的水波經過狹縫後的衍射幅度。

複習 Q35 (p.101)

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.58）。

- 振動器產生如圖 a 所示的直線波。水波通過狹縫後發生衍射。
- 波的不同現象發生時，波速率 v 、波長 λ 和頻率 f 會改變嗎？試完成表 a。

- 在圖 a 繪畫水波通過狹縫後的水波圖形。
- 水波的波長（愈長/愈短），或狹縫（愈闊/愈窄），水波的擴散幅度就愈小。

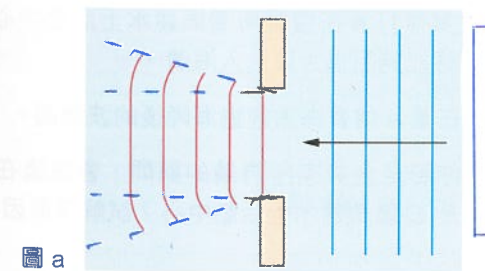


圖 a

表 a

	v	λ	f
反射	不變	不變	不變
折射	改變	改變	不變
衍射	不變	不變	不變

不變

習題與思考 5.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.58)。

1,2 1 一列直線波經過障礙物時會擴散，進入障礙物的影子區域內。下列哪些敘述是正確的？

- (1) 這個現象稱為衍射。繞射 diffraction
 (2) 當波擴散時，傳播速率會增加。✗
 (3) 波長會影響波的擴散幅度。

- A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

2 2 棒子上下振動，在水波槽中產生一系列直線波。圖 a 顯示直線波經過一道狹縫後，所產生的水波圖形。

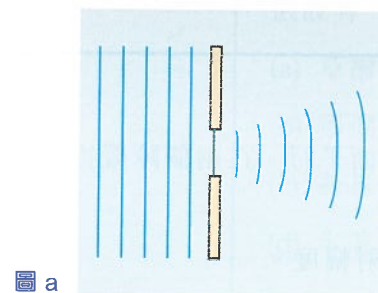


圖 a

草繪在下列情況產生的水波圖形。

(a) 水波的波長增加 (圖 b)

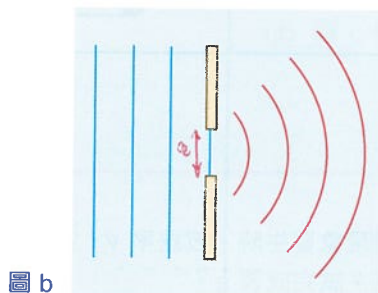


圖 b

when $\lambda \geq a$
 直線 $\Rightarrow$ 圓形

(b) 狹縫的闊度增加 (圖 c)

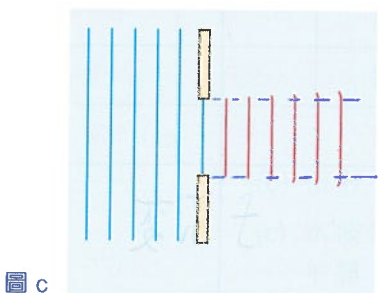


圖 c

1 3 在圖 d 中，直線水波經過 P 區後偏折。試在 P 區的適當位置繪畫直線形障礙物 (可多於一個)。

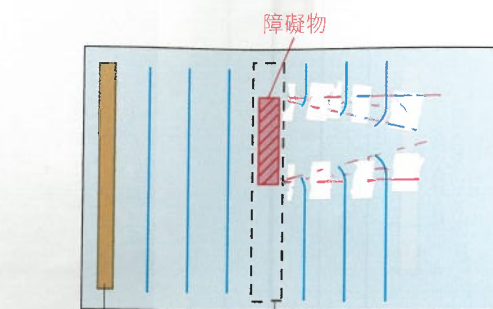


圖 d 振動器

P 區

★ 4 振動器在水波槽中產生一系列直線波。直線波通過一道狹縫後向外擴散。試解釋以下改變對水波的擴散幅度有甚麼影響。

- (a) 振動器的頻率增加 擴散幅度減少 $f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$
 (b) 水深減少 擴散幅度減少 $v \downarrow \Rightarrow \lambda \downarrow$

★ 5 圖 e 顯示一個海灣。在夏季，由於受東南風的影響，向西北方向的海浪非常大。

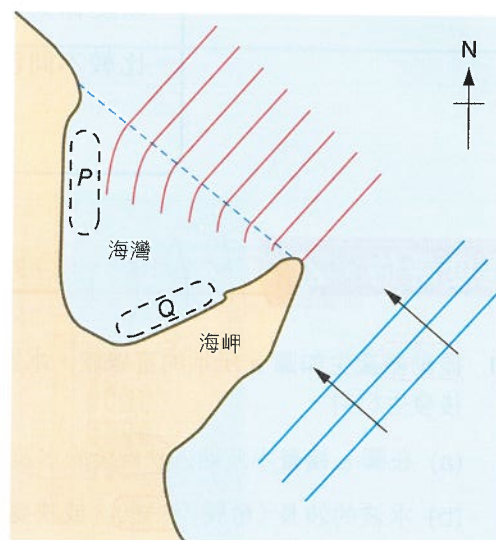


圖 e

某企業家打算在這個海灣興建水上活動中心。她認為海岬能夠阻擋大浪進入海灣。

- (a) 在圖 e 繪畫海浪經過海岬後的波陣面。
 (b) 你若是企業家所聘請的顧問，會建議在 P 區還是 Q 區興建水上活動中心？試解釋原因。Q

5.4

波的現象：干涉

起點

水波相交時的圖形

兩列水波相交時會發生干涉。在特定條件下，會產生如第 66 頁圖 5.4a 所示的水波圖形。

兩列水波相交時會發生甚麼事？所產生的水波圖形是怎樣的？



✓ 本節重點

- 1 波的疊加
 2 干涉圖形
 3 影響干涉圖形的因素

1 波的干涉

兩列或以上的波相交時，便會發生干涉。在特定條件下，兩列圓形波能夠產生穩定的干涉圖形。我們會在以下實驗觀察這個圖形。



模擬程式 5.8
 錄像片段 5.5

→ 模擬程式 5.8 顯示水波造成的干涉圖形。

→ 錄像片段 5.5 示範實驗 5e。

老師可先展示用一個小球產生的水波形狀，以作比較。



實驗 5e

產生干涉圖形

在高映機上裝置水波槽。在棒子上安裝兩個小球，然後使小球振動，以產生兩列圓形波 (圖 a)。觀察所產生的干涉圖形。



圖 a

討論

描述所產生的干涉圖形。圖形上，是否有些位置的水面一直保持平靜？是 是否有些位置的水面振動較劇烈？是 (明暗相間的弧線不停地向外傳播)

這裏解答了起點的問題。►在實驗 5e，兩個小球安裝到同一振動源上，所產生的兩列圓形水波重疊時，會形成穩定的干涉圖形（圖 5.4a）。

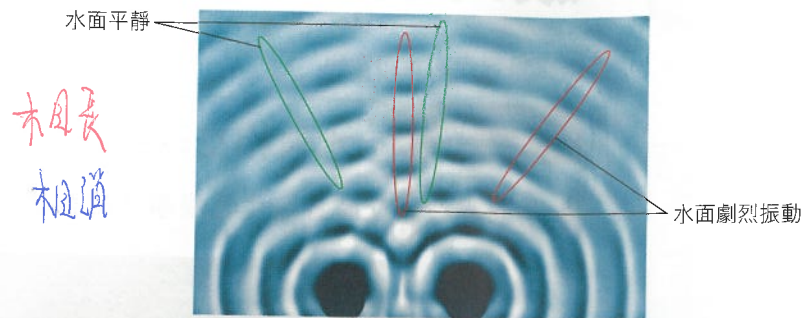


圖 5.4a 兩列圓形波產生的干涉圖形

仔細觀察這個干涉圖形，會發現以下兩個特點：

- 1 在某些位置，水面一直保持平靜，不會上下振動。
- 2 在另一些位置，水面的振動比只有一列波時更劇烈。在屏幕上，這些位置顯示為一列列明暗相間的弧線，各列弧線不停地向外傳播。

2 波的疊加

要明白圖 5.4a 的干涉圖形怎樣形成，首先要知道兩列波或兩個脈衝相遇時會發生甚麼事情。我們會用長彈簧來做以下實驗，從而找出答案。

錄像片段 5.6

►錄像片段 5.6 示範實驗 5f。脈衝的疊加為時甚短，學生或難以觀測，本錄像以慢鏡播放脈衝疊加的情況。

實驗 5f 脈衝的疊加

- 1 將長彈簧放在地上拉直。
- 2 把彈簧的兩端同時向同一方向橫向抖動一次，以產生兩個脈衝（圖 a）。觀察兩個脈衝相遇時的情形。
- 3 重複實驗，這次把彈簧的兩端同時向相反方向橫向抖動一次（圖 b）。

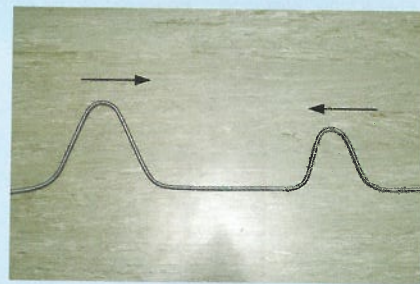


圖 a

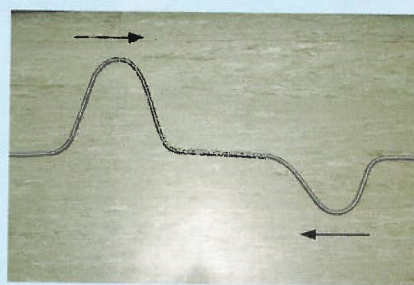


圖 b

討論

- 1 描述兩個在同一側的脈衝相遇時的情形。形成一個較大的合成脈衝。
- 2 描述兩個在對側的脈衝相遇時的情形。形成一個較小的合成脈衝。

►強調這裏是與兩個脈衝中較大的那個作比較。因此，「一個較小的合成脈衝」有可能會比原先的一個脈衝大。

模擬程式 5.9

►模擬程式 5.9 顯示兩個向相反方向傳播的脈衝相遇時的情況。學生可以改變脈衝的振幅和形狀，並觀察合成脈衝的變化。

圖 5.4b 顯示兩個在同一側的脈衝相遇時的情形，圖 5.4c 顯示兩個在對側的脈衝相遇時的情形。

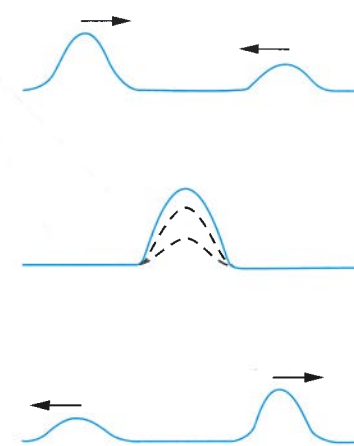


圖 5.4b 兩個在同一側的脈衝相遇

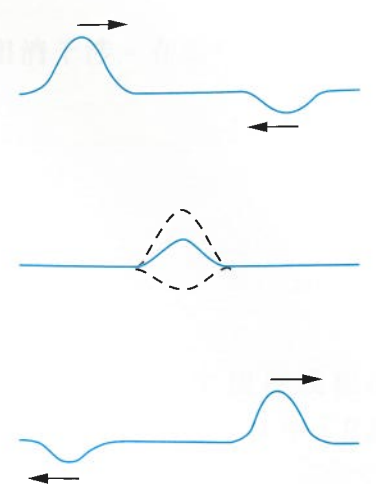


圖 5.4c 兩個在對側的脈衝相遇

由此可證明兩個在對側的脈衝振幅相等，它們相遇時，合脈衝上任何一點的位移都是零：



兩個脈衝相遇時會疊加起來，成為合脈衝。合脈衝上任何一點的位移，相等於這兩個脈衝於該點位移的總和，這稱為**疊加原理**（圖 5.4d）。

兩個脈衝穿過對方後，形狀、傳播速率和傳播方向與相遇前一樣。

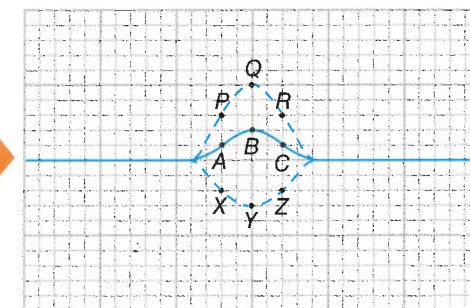
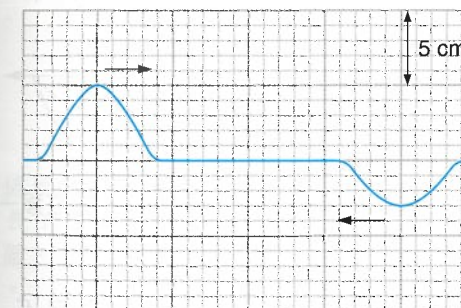


圖 5.4d 運用疊加原理計算合脈衝上各粒子的位移

A、B 和 C 的位移 s ：

$$s_A = s_P + s_X = 3 + (-2) = 1 \text{ cm}$$

$$s_B = s_Q + s_Y = 5 + (-3) = 2 \text{ cm}$$

$$s_C = s_R + s_Z = 3 + (-2) = 1 \text{ cm}$$

3 理解干涉圖形

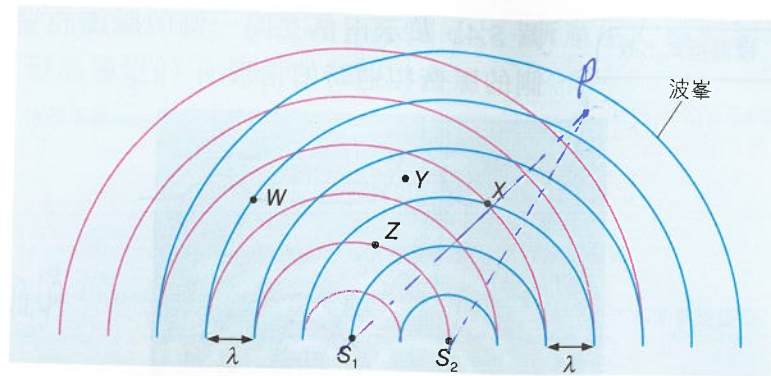
疊加原理能夠幫助我們明白干涉圖形怎樣形成。

a 用相位差來理解干涉圖形

圖 5.4e（見 p.68）顯示來自兩個波源 S_1 和 S_2 的水波在某一刻 ($t = t_1$) 所產生的干涉圖形。紅線和藍線分別代表由 S_1 和 S_2 產生的波峯。

模擬程式 5.10

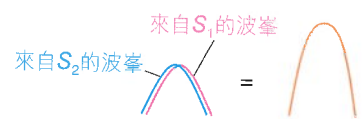
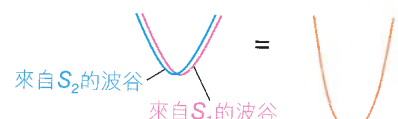
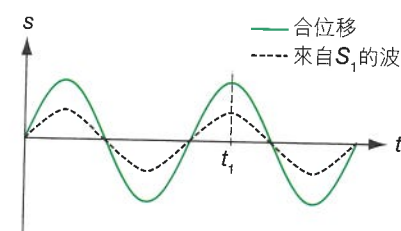
►模擬程式 5.10 顯示兩列波疊加的情況。學生可以改變波的相位差，並觀察所產生的相長干涉和相消干涉。

圖 5.4e 在 $t = t_1$ ， S_1 產生的波陣面與 S_2 產生的波陣面重疊

兩列波到達 X 點和 Y 點時是同相的。在這一刻，來自 S_1 的波峯在 X 點遇上來自 S_2 的波峯（圖 5.4f），根據疊加原理，兩者形成較高的波峯。同樣，來自 S_1 的波谷在 Y 點遇上來自 S_2 的波谷，形成較深的波谷（圖 5.4g）。在 X 點和 Y 點，兩列波都互相加強，因此，在這兩點發生的是**相長干涉**。

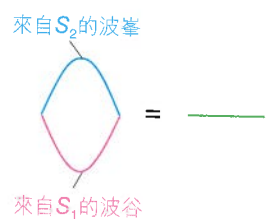
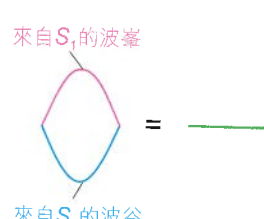
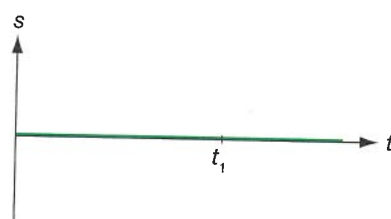
注意相長干涉不只發生在兩個波峯（或波谷）相遇的位置。往後部分會有詳細討論。

強調位於 X 點（或 Y 點）的粒子的位移會不斷改變，在某些時刻，兩列波在 X 點的位移剛好是零，所以合成位移也是零。

圖 5.4f 來自 S_1 的波峯遇上來自 S_2 的波峯，形成較高的波峯圖 5.4g 來自 S_1 的波谷遇上來自 S_2 的波谷，形成較深的波谷圖 5.4h 位於 X 點的粒子的位移—時間關係線圖

另一方面，兩列波到達 W 點和 Z 點時是反相的。在這一刻，來自 S_1 的波谷在 W 點遇上來自 S_2 的波峯（圖 5.4i），根據疊加原理，兩者互相抵銷。來自 S_1 的波峯在 Z 點遇上來自 S_2 的波谷，兩者同樣也互相抵銷（圖 5.4j）。因此，在這兩點發生的是**相消干涉**。

位於 W 點（或 Z 點）的粒子**一直保持靜止**。圖 5.4k 顯示這粒子的位移—時間關係線圖。

圖 5.4i 來自 S_1 的波谷遇上來自 S_2 的波峯，兩者互相抵銷圖 5.4j 來自 S_1 的波峯遇上來自 S_2 的波谷，兩者互相抵銷圖 5.4k 位於 W 點的粒子的位移—時間關係線圖

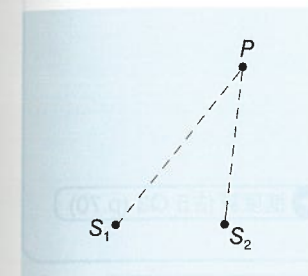
相長干涉 constructive interference 相消干涉 destructive interference

試在圖 5.4e 中找出其他發生相長或相消干涉的位置。

- 在兩列波以同相到達的位置會發生相長干涉。在這些位置，粒子會以更大的振幅振動。
- 在兩列波以反相到達的位置會發生相消干涉。在這些位置，粒子會一直保持靜止。

b 用程差來理解干涉圖形

我們也可以找出**程差**，以判斷在某個位置是否會發生相長或相消干涉。某點的程差是該點與兩個波源距離的差，例如在圖 5.4l 中， P 點的程差 (Δ) 就是 $S_1P - S_2P$ 。

圖 5.4l 程差 $\Delta = S_1P - S_2P$

可以讓學生找出圖 5.4e 中幾個不同點的干涉類型和程差，然後自行歸納兩者的關係。

再次考慮圖 5.4e 中 W 、 X 、 Y 和 Z 四點（見 p.68），它們的程差如表 5.4a 所示。

	干涉類型	與 S_1 的距離	與 S_2 的距離	程差
W	相消干涉	3.5λ	5λ	1.5λ
X	相長干涉	4λ	3λ	λ
Y	相長干涉	3.5λ	3.5λ	0
Z	相消干涉	2λ	2.5λ	0.5λ

表 5.4a 程差與干涉類型

從上表，可歸納出對於兩個同相的波源，在某位置發生的干涉類型與該點的程差有以下關係：

即 $\Delta = n\lambda$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)

即 $\Delta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$
($n = 0, 1, 2, \dots$)

- 某位置的程差等於波長的整數倍（即 0 、 λ 、 2λ 、 3λ 等），該處便會發生相長干涉。
- 某位置的程差等於 $\frac{1}{2}\lambda$ 、 $1\frac{1}{2}\lambda$ 、 $2\frac{1}{2}\lambda$ 等，該處便會發生相消干涉。

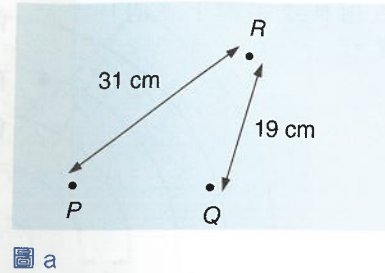
用相位差與用程差去理解干涉，所得的結果並無分別。如果兩列波在某點同相，該點離兩個波源的程差就是 $n\lambda$ ；如果兩列波在某點反相，該點離兩個波源的程差就是 $\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$ 。

程差 path difference

例題 6 判斷干涉類型

在水波槽中，兩個相干的點振動源在 P 點和 Q 點以同相振動（圖 a），產生兩列波長為 4 cm 的圓形波。

- (a) 判斷在 R 點發生的干涉類型。
 (b) 如果水波的波長加倍，在 R 點所發生的干涉類型會有甚麼改變？



題解

$$\lambda = 4\text{ cm}$$

- (a) R 點的程差 $= 31 - 19 = 12\text{ cm} = 3\lambda$

$\therefore$ 在 R 點會發生相長干涉。

- (b) 波長 $= 2 \times 4 = 8\text{ cm}$

$$R \text{ 點的程差} = 12\text{ cm} = 1.5\lambda$$

$\therefore$ 在 R 點會發生相消干涉。

▶ 進度評估 5 Q3 (p.70)

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.65）。

- 11 如圖 a 所示，兩個脈衝向相反方向傳播。試繪畫它們完全重疊時所產生的合脈衝。

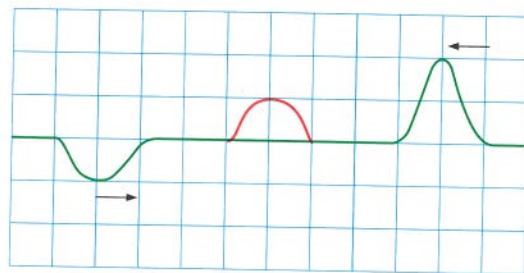


圖 a

- 22 在水波槽中，有兩列圓形波（圖 b）。圖中的線代表波峯。試判斷在 A 、 B 和 C 點發生的干涉類型。
 A 、 C ：相長干涉； B ：相消干涉

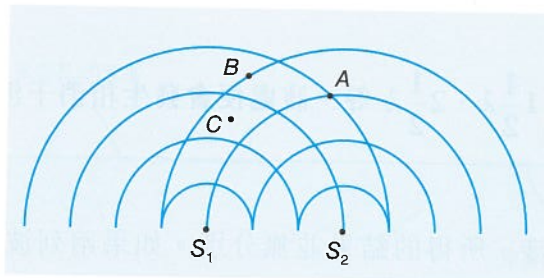


圖 b

- 23 兩個相干的波源在 X 點和 Y 點產生波長為 6 cm 的圓形波（圖 c）。

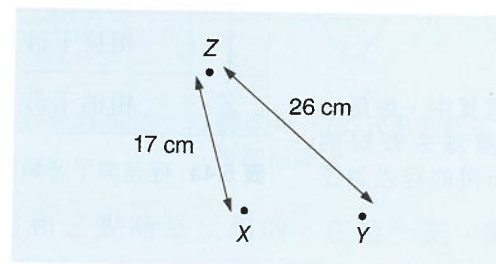


圖 c

$$\Delta = 26 - 17 = 9\text{ cm} \quad \lambda = 6\text{ cm}$$

- (a) 以波長 λ 表示 Z 點的程差。 1.5λ
 (b) 判斷來自 X 點和 Y 點的波是否以同相或反相到達 Z 點。反相
 (c) 判斷在 Z 點發生的干涉類型。相消干涉

4 節線與腹線

至此我們已了解實驗 5e 中所得的干涉圖形怎樣形成（圖 5.4m）。

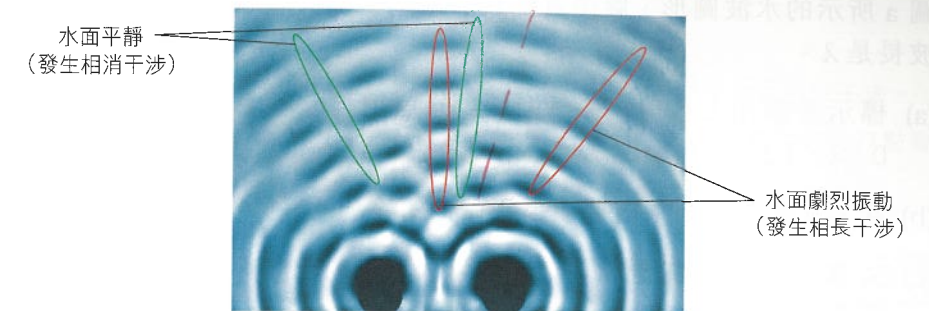


圖 5.4m 兩列圓形波產生的干涉圖形

在這干涉圖形中，發生相消干涉的點可連成一條條的線（圖 5.4n），這些線稱為節線。在節線上，水面總是平靜的。在節線之間就是腹線，它們把發生相長干涉的點連起來。

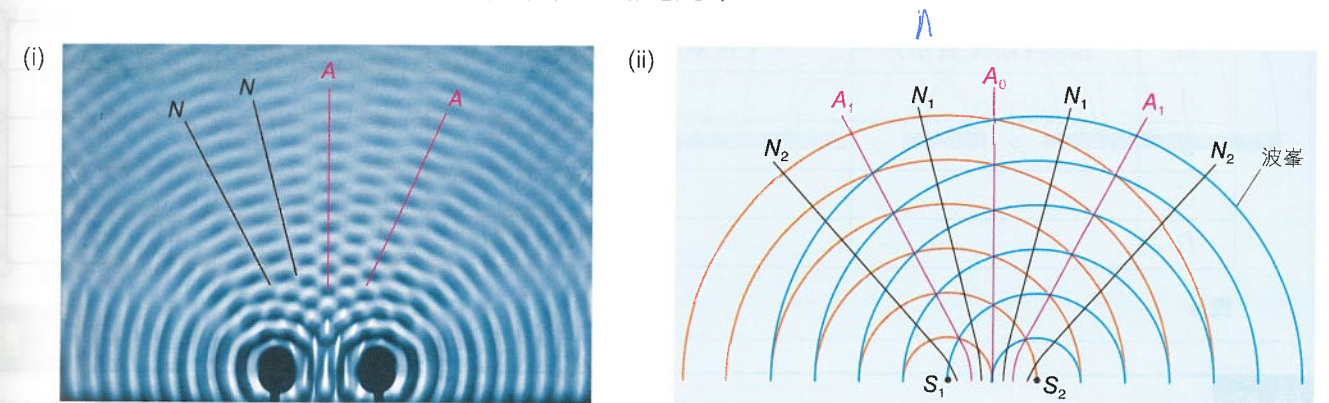


圖 5.4n 節線 (N) 與腹線 (A)

提醒學生，即使兩個波源不相干，也會出現干涉，不過干涉圖形會顯得不穩定，令人難以觀測。可以利用第 42 頁的應用程式展示相干與不相干波源所產生的干涉圖形，也可參考以下網站的模擬程式。

<http://www.falstad.com/ripple/ex-2source.html>



在同一條腹線（或節線）上，所有點的程差都相同。以圖 5.4n(ii) 為例，在腹線 A_0 和 A_1 上的點，程差分別是 0 和 1λ ；在節線 N_1 和 N_2 上的點，程差分別是 0.5λ 和 1.5λ 。

注意圖中顯示的干涉圖形並不是靜止的，因為波陣面會不斷向外行進，但各節線和腹線的位置卻總是維持不變。

5 產生穩定干涉圖形的條件

在實驗 5e 中，兩個小球連接到同一個振動器上，所以它們的振動同相，且頻率相同，因此它們是相干源。

相長干涉和相消干涉的位置不隨時間改變，干涉圖形才算穩定和易於觀察（就像圖 5.4m 一樣）。要符合這個條件，兩個波源就要有相同的頻率，而且相位差恆定不變（如一直保持同相或反相）。符合這些條件的波源稱為相干波源。
 1. Same freq
 2. similar amplitude 振幅
 3. 固定相差

節線 nodal line 腹線 antinodal line 相干 coherent

例題 7 同相波源與反相波源產生的干涉圖形

兩個相干的點振動源 S_1 和 S_2 以同相振動，產生如圖 a 所示的水波圖形，圖中實線代表波峰。水波的波長是 λ 。

(a) 標示並繪出 L_1 、 L_2 、 L_3 三條線，分別把程差為 0 、 λ 、 1.5λ 的點連起來。

(b) 在表 a 的首兩個空白欄填上正確的答案。

(c) S_1 和 S_2 改以反相振動，產生如圖 b 所示的水波圖形。實線代表波峰，虛線代表波谷。在表 a 最後一欄填上正確的答案。

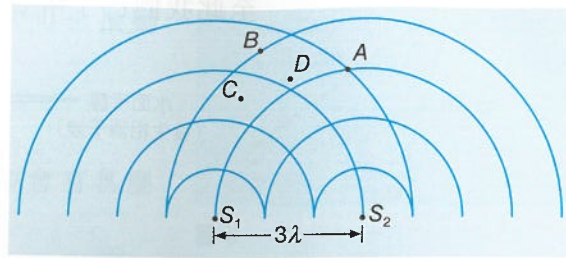


圖 a

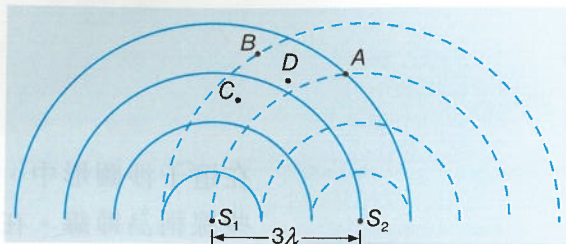


圖 b

點	程差 (以 λ 表示)	干涉類型 (同相波源)	干涉類型 (反相波源)
A			
B			
C			
D			

表 a

題解

(a)

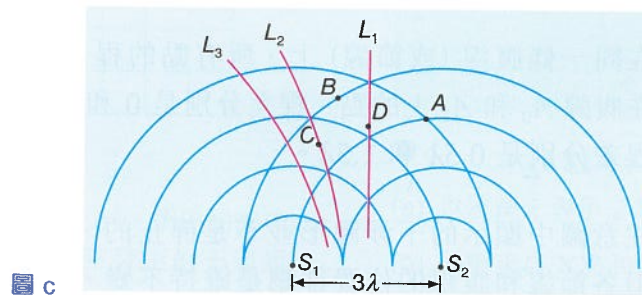


圖 c

強調節線 (或腹線) 可以是直線或平滑曲線，應繪畫合適的線穿越那些擁有特定程差的點。

若學生未能直接繪畫曲線，可建議他們先將那些點標示出來，然後才畫出曲線。

(b) 和 (c)

點	程差 (以 λ 表示)	干涉類型 (同相波源)	干涉類型 (反相波源)
A	λ	相長干涉	相消干涉
B	0.5λ	相消干涉	相長干涉
C	λ	相長干涉	相消干涉
D	0	相長干涉	相消干涉

► 習題與思考 5.4 Q5 (p.77)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

兩個反相波源產生的干涉圖形

對於兩個反相的波源：

某位置的程差若等於 $\frac{1}{2}\lambda$ 、 $1\frac{1}{2}\lambda$ 、 $2\frac{1}{2}\lambda$ 等，便會發生相長干涉；

某位置的程差若等於波長的整數倍 (即 $0\cdot\lambda$ 、 2λ 、 3λ 等)，便會發生相消干涉。

在例題 7 中，D 點在程差為 0 的連線上，所以當兩個波源以反相振動，在 D 點會發生相消干涉。

預試訓練 1 水波的干涉圖形 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q36

在水波槽中，水波通過兩道狹縫 S_1 和 S_2 。在時間 t ，水波的波陣面如圖 a 所示。實線代表波峰，虛線代表波谷。

下列哪一項敘述是正確的？

- A 在 P 點發生相消干涉。
- B 在 Q 點既不發生相長干涉，也不發生相消干涉。
- C 位於 Q 點的粒子在時間 t 的位移是零。
- D 位於 R 點的粒子總是處於波峯。

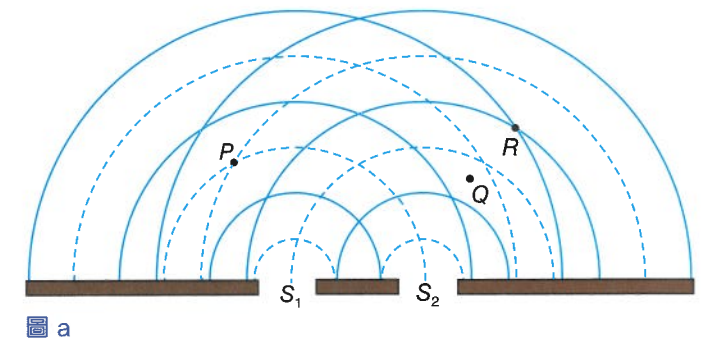


圖 a

題解

在時間 t ，兩個波谷在 P 點相遇。因此，在 P 點發生相長干涉。

∴ 選項 A 不正確。

Q 點位於程差為 1 個波長的腹線上，所以在 Q 點發生相長干涉。

∴ 選項 B 不正確。

在時間 t ，兩個波峯在 R 點相遇。這顯示在 R 點發生相長干涉，而位於 R 點的粒子就會以較大的振幅振動。

∴ 選項 D 不正確。

先考慮來自 S_1 的波。在時間 t ，Q 點位於波峯和波谷的正中間，所以來自 S_1 的波於 Q 點的位移是零。同樣地，來自 S_2 的波於 Q 點的位移也是零。因此，位於 Q 點的粒子的合位移是零。

∴ 選項 C 正確。

常見錯誤

學生或會錯誤以為在某一時刻只有兩個波峯或波谷相遇的位置，才會發生相長干涉。

常見錯誤

學生或會錯誤以為位於發生相長干涉位置的粒子會一直處於最大位移。

在 Q 點發生相長干涉，但在時間 t ，位於該點的粒子的合位移是零。

► 複習 Q19 (p.95)

6 影響干涉圖形的因素

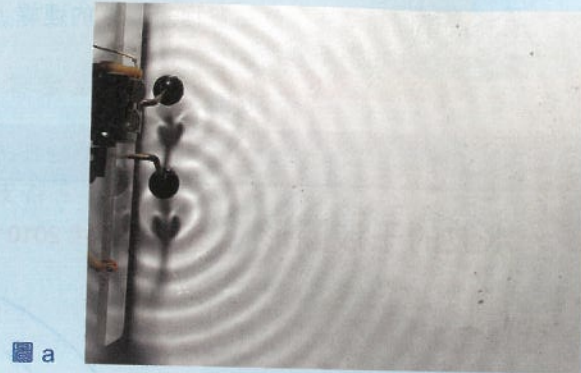
錄像片段 5.7

→ 模擬程式 5.7 示範實驗 5g。

實驗 5g

影響干涉圖形的因素

- 1 在高映機上裝置水波槽。在棒子上安裝兩個小球，然後使小球振動，以產生干涉圖形（圖 a）。



- 2 分別改變波長（即改變小球的振動頻率）和兩個小球之間的距離。觀察每個改動對干涉圖形的影響。

討論

增加波長和增加兩個小球之間的距離，分別對所產生的干涉圖形有甚麼影響？

增加波長會使節線和腹線變疏。
增加兩個小球之間的距離會使節線和腹線變密。

模擬程式 5.11

→ 模擬程式 5.11 顯示兩組圓形波重疊時所產生的干涉圖形。學生可以改變波長和兩個波源之間的距離，並觀察干涉圖形的變化。

從以上實驗，我們可以知道干涉圖形受以下兩項因素影響：

- 1 波長 (λ)
- 2 兩個波源之間的距離 (D)

當 λ 減少或 D 增加，干涉圖形中的節線和腹線會變密（圖 5.4o）。如果 D 繼續增加，節線就會因靠得太近而難以辨認。

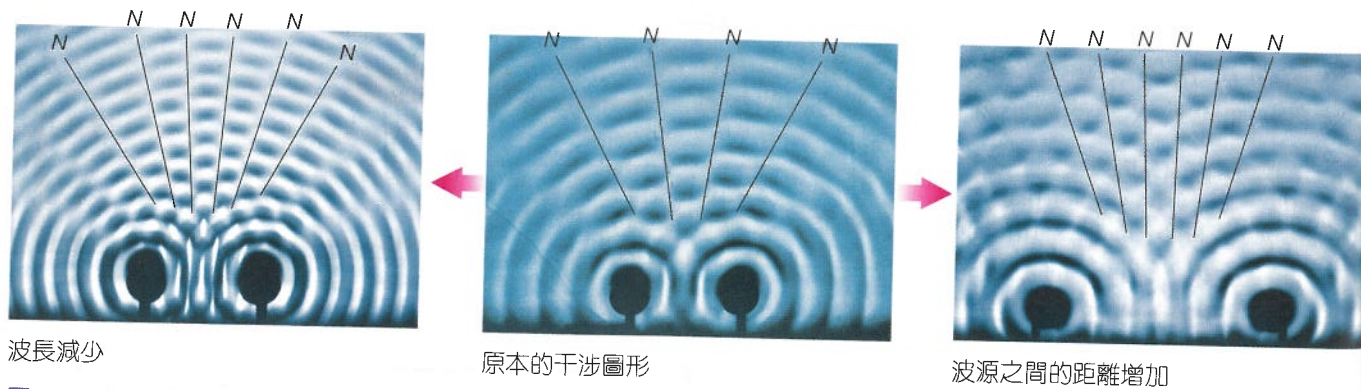


圖 5.4o 當 λ 減少或 D 增加，節線會變密

圖 5.4p 總結了波長和波源之間的距離對干涉圖形的影響。

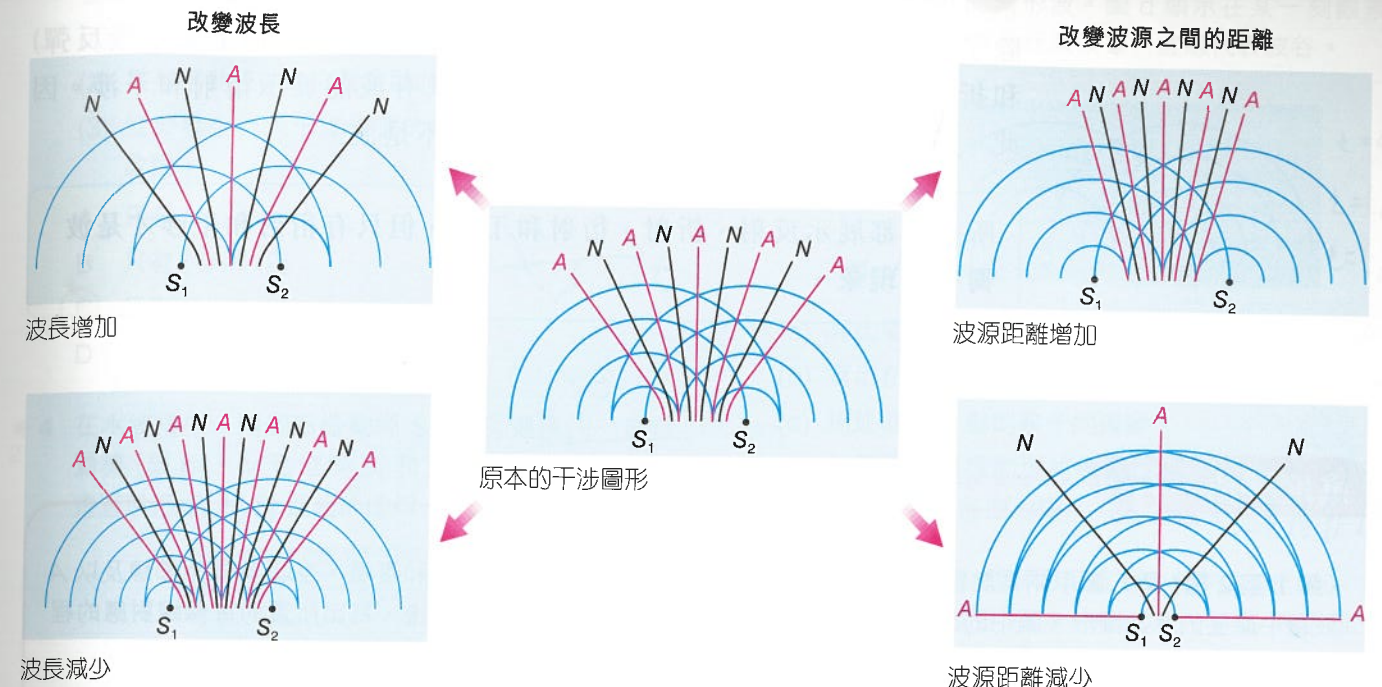


圖 5.4p 影響干涉圖形的因素

以下情況會令干涉圖形中的節線和腹線變密：

- 水波的波長減少
- 兩個波源之間的距離增加

疏
 $\lambda \uparrow$
 $S_1 S_2 \downarrow$

補充資料 利用一個波源產生干涉圖形

利用以下兩種方法，可以用一個波源來產生干涉圖形。

- 1 讓直線波通過兩道相隔很近的狹縫（圖 a），直線波通過狹縫時發生衍射，產生的兩列圓形波會互相干涉。不過，這方法所產生的干涉圖形通常不會很明顯。
- 2 讓圓形波向直線形障礙物傳播（圖 b），波反射後，入射波和反射波會產生干涉圖形。

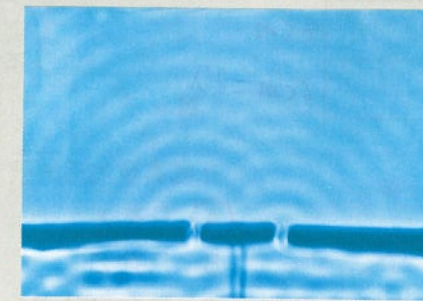


圖 a

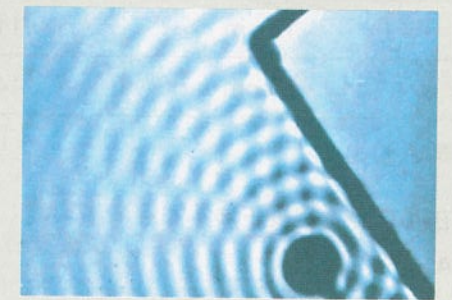


圖 b

7 以衍射及干涉來分辨波

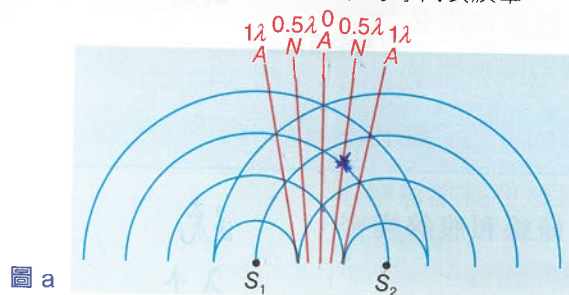
除了波以外，其他事物也有可能展示反射（例如皮球撞上牆壁後反彈）和折射（例如賽車從跑道衝上沙地），但只有波能展示衍射和干涉。因此，我們會用這兩個現象來分辨某事物是不是波。

所有波都展示反射、折射、衍射和干涉，但只有衍射和干涉才是波獨有的現象。

進度評估 6

各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.65）。

（第 1 至 2 題）圖 a 顯示兩個點振動源 S_1 和 S_2 在水波槽中產生的水波圖形。圖中的線代表波峯。



2 1 在圖 a 繪畫節線和腹線，並以 N 標示節線及以 A 標示腹線。完成後，寫出所畫的每條線對應的程差。

3 2 水波的波長（愈長/愈短），或 S_1 和 S_2 之間的距離（愈大/愈小），節線和腹線就會分隔得愈遠。

習題與思考 5.4

2 1 兩個相干的點振動源 P 和 Q 在水波槽中產生水波。水波的波長是 3 cm。X、Y 和 Z 是水波槽中的三點。表 a 列出了這三點與 P 和 Q 的距離。

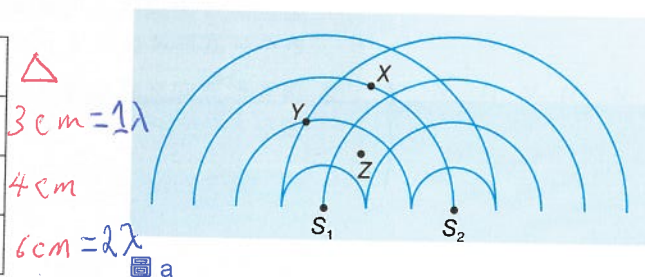
	與 P 的距離	與 Q 的距離
X	$PX = 9$ cm	$QX = 12$ cm
Y	15 cm	11 cm
Z	20 cm	14 cm

表 a

在哪裏發生相長干涉？

- A 只有 X
B 只有 Y
C 只有 X 和 Y
D 只有 X 和 Z

2 2 圖 a 顯示在水波槽中產生的兩列圓形波。圖中的線代表波峯。



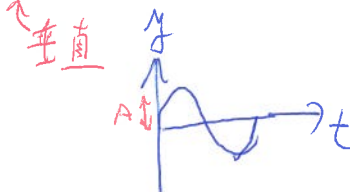
在哪裏發生相消干涉？

- A 只有 X
B 只有 Z
C 只有 X 和 Z
D 只有 Y 和 Z

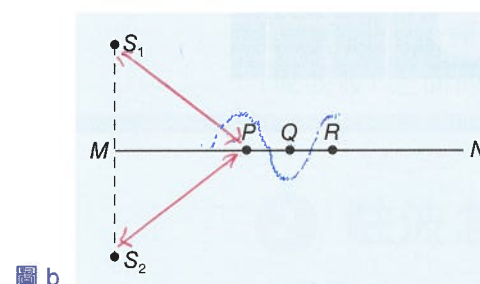
★ 3 兩個相干的波源所產生的圓形波發生干涉。下列哪些敘述是正確的？

- (1) 干涉圖形中的波陣面會隨時間改變。
(2) 發生相長干涉的位置會隨時間改變。
(3) 位於發生相長干涉位置的粒子的位移會隨時間改變。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)



★ 4 在水波槽中，兩個點振動源 S_1 和 S_2 連接同一部電動機（圖 b）。M 點位於 S_1 和 S_2 的正中間，MN 則垂直於把 S_1 和 S_2 連起的虛線。

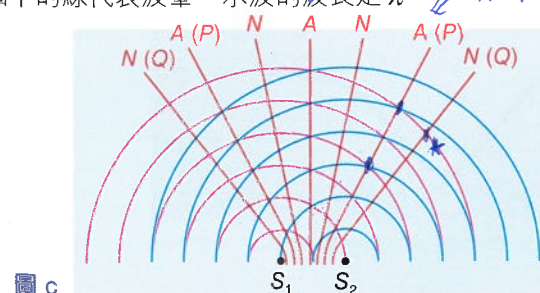


下列哪些敘述必然正確？

- (1) 在 P 、 Q 和 R 點都發生相長干涉。
(2) 位於 P 、 Q 和 R 點的粒子於同一時刻到達各自的最高位移。
(3) Q 點與 S_1 的距離相等於波長的整數倍。

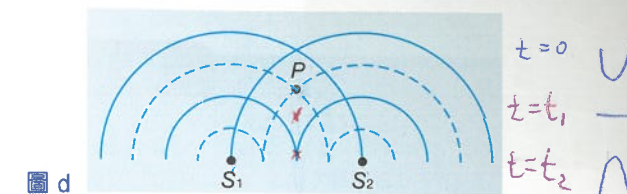
- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2 5 圖 c 顯示兩個相干的波源 S_1 和 S_2 產生的干涉圖形。圖中的線代表波峯。水波的波長是 λ 。



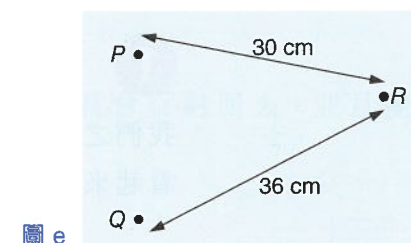
- (a) 繪畫節線和腹線。
(b) 找出程差為 1λ 的一點，把它標示為 P 。
(c) 找出程差為 1.5λ 的一點，把它標示為 Q 。

★ 6 兩個振動同相的點振動源 S_1 和 S_2 在水波槽中產生振幅為 0.2 cm 的圓形波。圖 d 顯示在某一時刻觀察到的干涉圖形。實線代表波峯，虛線代表波谷。



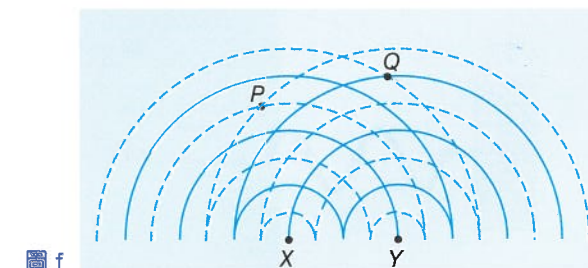
- (a) 寫出疊加原理。
(b) 寫出在 P 點發生的干涉類型。
(c) 描述位於 P 點的粒子的運動。
(d) 如果兩個點振動源的振動反相，(b) 部和 (c) 部的答案會有甚麼改變？

★ 7 兩個振動器 P 和 Q 以同相振動，頻率為 15 Hz。它們在水波槽中產生水波。 R 點與 P 和 Q 的距離分別是 30 cm 和 36 cm（圖 e）。水波的傳播速率是 30 cm s^{-1} 。

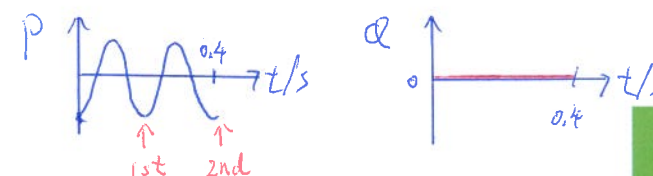


- (a) 求水波的波長。
(b) 判斷在 R 點發生的干涉類型。
(c) 如果兩個振動器改以反相振動，(b) 部的答案會有甚麼改變？

★ 8 圖 f 顯示在時間 $t = 0$ 時，在水波槽中觀察到的干涉圖形。X 和 Y 是兩個相干的點振動源。實線代表波峯，虛線代表波谷。水波的週期是 0.2 s。



- (a) 寫出在 P 點和 Q 點發生的干涉類型。
(b) 草繪位於 P 點和 Q 點的粒子由 $t = 0$ 至 $t = 0.4$ s 的位移—時間關係線圖。



起點

在結他弦線上有波產生嗎？

你有沒有彈過結他？撥一下弦線，它便會振動。

我們都知道波是由粒子的振動產生。那麼在結他弦線上有波產生嗎？

參閱第 87 頁頁頂文字。



✓ 本節重點

- 1 駐波的成因
- 2 駐波的特性
- 3 駐波的頻率

1 彈簧上的駐波

我們之前探討的波都是行波，它會由一處傳播到另一處。然而，有些波看起來卻是靜止不動的。



模擬程式 5.12
錄像片段 5.8

→ 模擬程式 5.12 顯示波在固定末端的反射情況，以及駐波的成因。

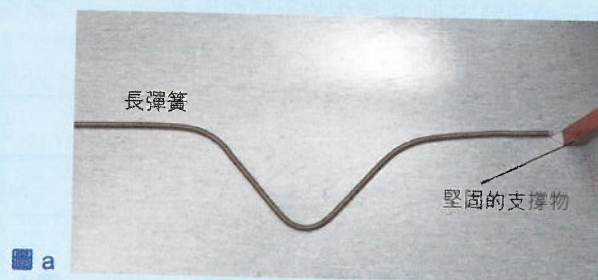
→ 錄像片段 5.8 示範實驗 5h。



實驗 5h

駐波

- 1 把長彈簧的一端連接堅固的支撐物，然後放在地上拉直。
- 2 在彈簧上產生一個脈衝（圖 a），觀察脈衝傳播的情況。
- 3 連續抖動彈簧的末端，並逐漸提高頻率。觀察彈簧上產生的波動圖形。



討論

- 1 脈衝到達固定末端時，會發生甚麼事？
波峯到達固定末端時會反射回去，並且變為波谷。
- 2 描述在步驟 3 所產生的波動圖形。
彈簧上出現一個或多個不停振動的波圈。

在實驗 5h 中，連續抖動長彈簧，並逐漸提高頻率，當到達某些頻率，長彈簧上會出現一個或多個不停振動的波圈（圖 5.5a），這時波形不會前進或後退。這種波稱為**駐波**。

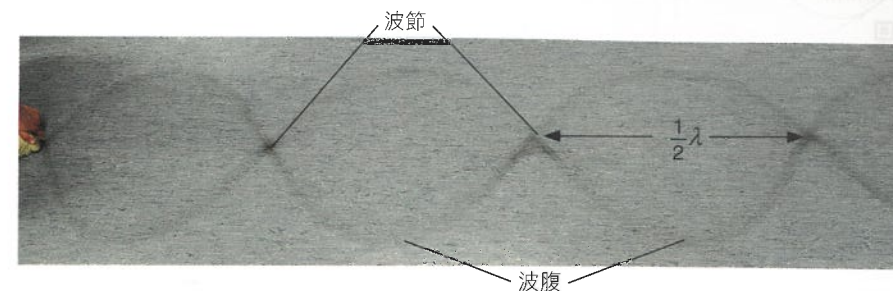


圖 5.5a 長彈簧上的駐波

在駐波上有某些位置不會振動，這些位置稱為**波節**。在兩個波節之間的正中位置，長彈簧以最大振幅振動，這些位置稱為**波腹**。兩個相鄰波節（或波腹）之間的距離相等於半個波長。

2 駐波怎樣形成？

在實驗 5h 中，當波峯到達固定末端，就會反射回去，並且變為波谷（圖 5.5b）。

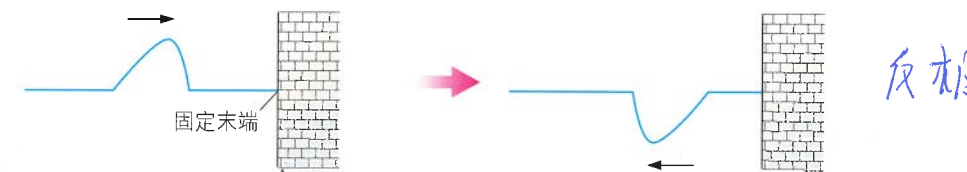


圖 5.5b 脈衝到達固定末端後反射回去

在實驗中，持續地抖動彈簧的末端會產生一系列波。這列波到達固定末端時也會發生反射（圖 5.5c），反射波的傳播速率、頻率和波長都與入射波相同。

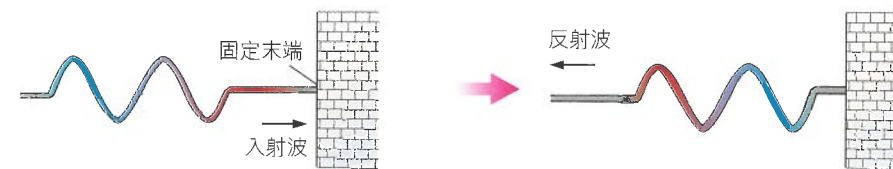


圖 5.5c 波到達固定末端後反射回去

當入射波與反射波相交，就會發生干涉，一般來說，彈簧會不規則地振動。然而，在某些特定頻率下，彈簧上會產生駐波，第 80 頁的圖 5.5d 就顯示了在某頻率下產生的駐波。

以下網站的模擬程式顯示駐波怎樣形成。

<http://www2.biglobe.ne.jp/~norimari/science/JavaEd/e-wave4.html>



在圖 5.5d 中，合波上的 P 、 R 、 T 和 V 點是波腹。入射波和反射波以同相到達這些位置，所以這些位置以最大振幅振動。 Q 、 S 和 U 點則是波節。入射波和反射波以反相到達這些位置，所以這些位置一直保持靜止。

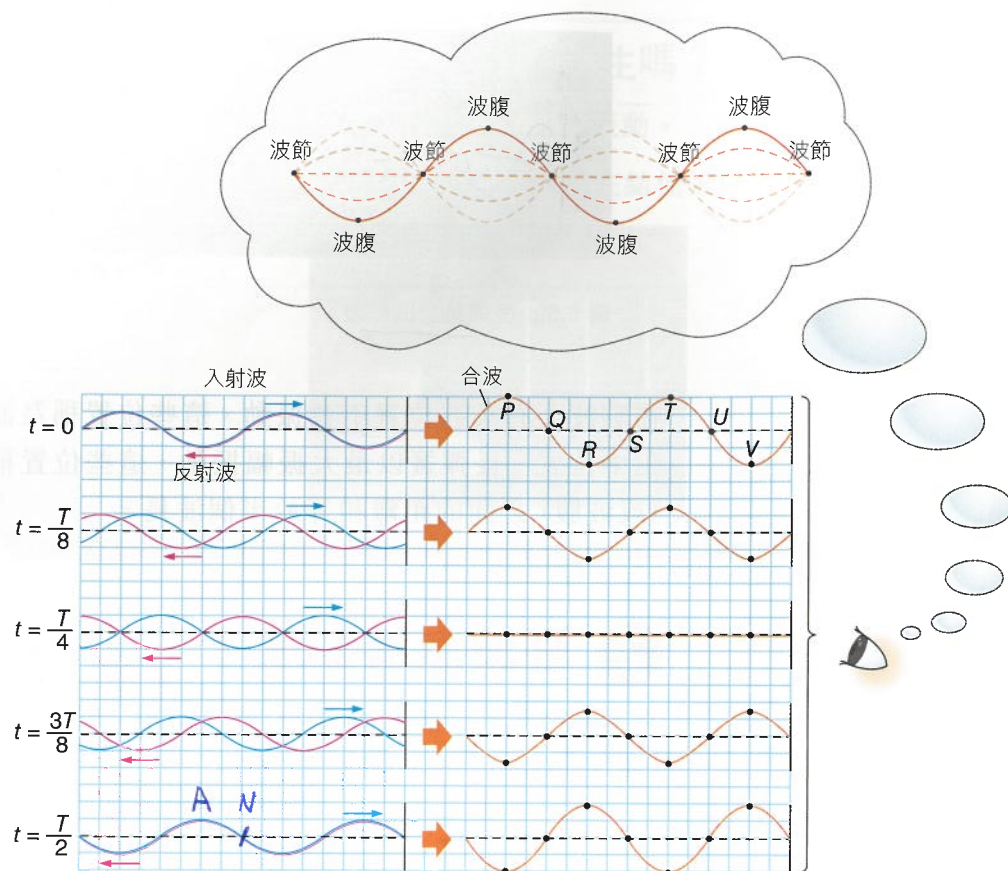


圖 5.5d 入射波和反射波疊加並產生駐波

一般而言，駐波由兩列相同頻率和振幅的波，以相同速率向相反方向傳播時發生干涉而產生。

3 駐波的特性

橫駐波模型（圖 5.5e）可以用來研究駐波上的粒子振動。

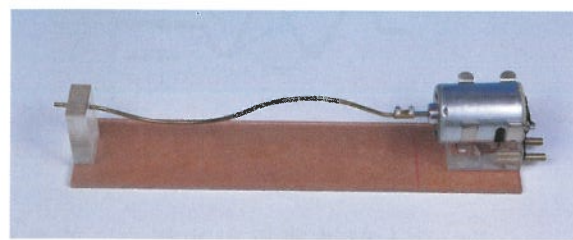


圖 5.5e 橫駐波模型有一條由電動機帶動的正弦曲線狀金屬絲

錄像片段 5.9

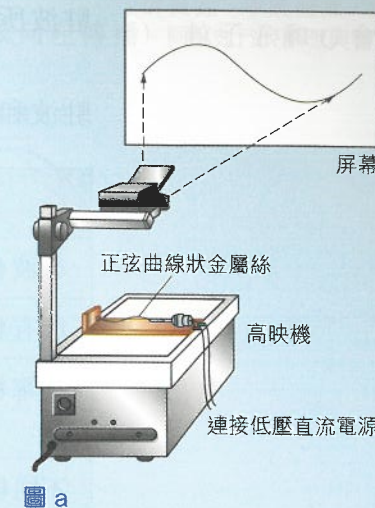
→ 錄像片段 5.9 示範實驗 5i。

實驗 5i 橫駐波模型

- 1 在高映機上裝置橫駐波模型（圖 a），把駐波模型的像投映在屏幕上。
- 2 在正弦曲線狀金屬絲上平均地黏上幾塊小膠泥，觀察這些「粒子」怎樣振動。

討論

- 1 各「粒子」以相同的振幅和週期振動嗎？各粒子振動的週期相同，但振幅則各不相同。
- 2 描述「粒子」之間的相位關係。在同一波圈的粒子振動同相，在兩個相鄰波圈的粒子則振動反相。



a 粒子的振幅

從以上實驗，可以見到不同位置的粒子振動頻率相同，但振幅卻各不相同（圖 5.5f）。

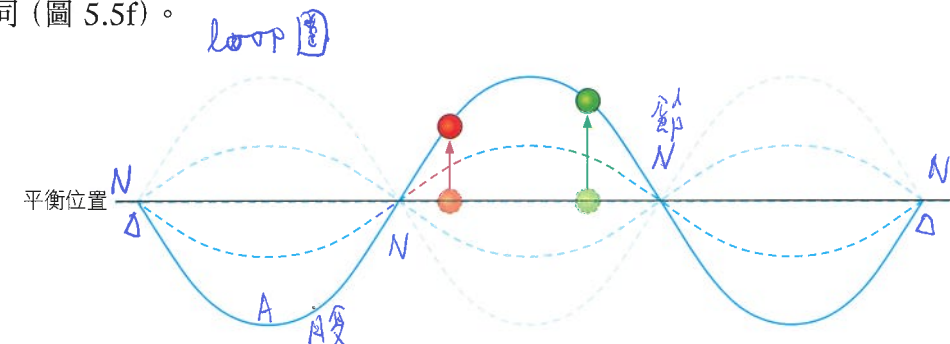


圖 5.5f 駐波上不同粒子的振幅各不相同

b 相鄰粒子的相位關係

在駐波上的同一波圈內，所有粒子的振動同相；但在兩個相鄰波圈的粒子，振動則反相（圖 5.5g）。所有粒子都在同一時間到達各自的最大位移。

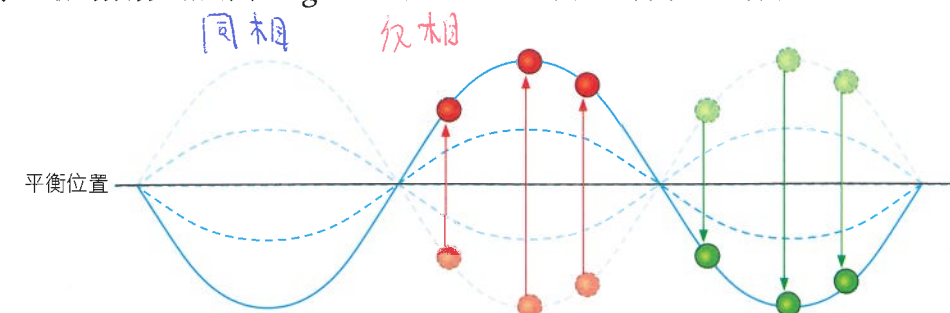


圖 5.5g 在同一波圈，粒子的振動同相；在相鄰波圈，粒子的振動反相

提醒學生，由兩列向相反方向傳播的行波相遇而形成的駐波，無論頻率、波長和波速率都與那兩列行波相同。

c 能量的傳遞

駐波所載的能量不會從一處傳遞到另一處，而是儲存在駐波內。

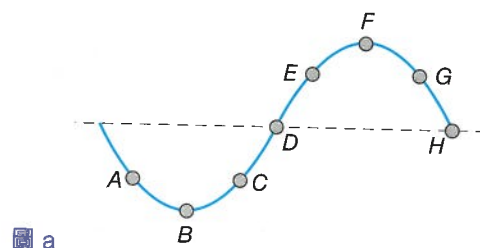
駐波和行波有很多不同的地方。表 5.5a 比較了兩者的特性。

行波	駐波
行波會由一處傳播到另一處。	駐波不會由一處傳播到另一處。
所有粒子都以相同振幅振動。	不同粒子的振幅各不相同。
相鄰粒子的振動異相。	在同一波圈內，粒子的振動同相；在相鄰波圈內，粒子的振動反相。
不同粒子在不同時間到達最大位移。	所有粒子都在同一時間到達各自的最大位移。
能量由一處傳遞到另一處。	能量不會從一處傳遞到另一處，而是儲存在駐波內。

表 5.5a 行波和駐波的比較

例題 8 駐波上的粒子運動

繩子上有一列波。圖 a 顯示這列波以及繩子上的粒子在某一刻的情況。在這一刻，粒子 E 和 G 都正向下移動。



- 繩子上的是行波還是駐波？試簡單解釋原因。
- 在這一刻，哪些粒子是瞬時靜止的？
- 哪些粒子與粒子 F 的振動同相？
- 在時間 $t = 0$ ，粒子 F 到達它的最高位移，即平衡位置以上 20 cm 的地方。
 - 在 $t = 0$ ，哪些粒子是瞬時靜止的？
 - 粒子 F 在 $t = 0.1$ s 回到平衡位置。求波的頻率。
 - 草繪粒子 F 和 G 由 $t = 0$ 至 $t = 0.8$ s 的位移—時間關係線圖。

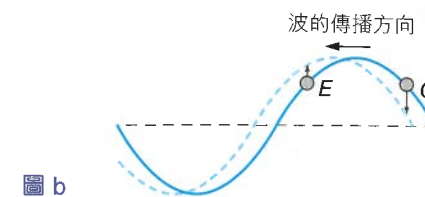
駐波上的波節會一直保持靜止。

在駐波上的同一波圈內，所有粒子的振動同相。

所有粒子在同一時間到達各自的最大位移。

題解

- (a) 繩子上的是駐波。如果它是行波（設向左傳播），粒子 E 和 G 會向相反方向移動（圖 b）。



- (b) 粒子 D 和 H

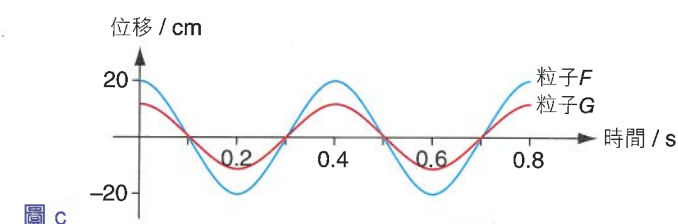
- (c) 粒子 E 和 G

- (d) (i) 在 $t = 0$ ，所有粒子都是瞬時靜止的。

(ii) 週期 $T = 4 \times 0.1 \text{ s} = 0.4 \text{ s}$

$$\text{頻率 } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ Hz}$$

- (iii) 粒子 F 和 G 的位移—時間關係線圖如圖 c 所示。

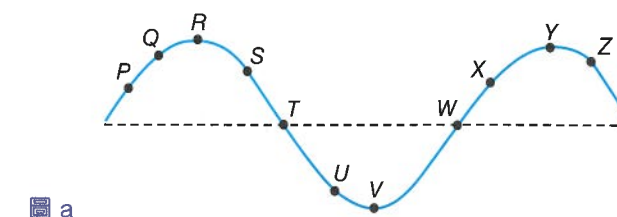


進度評估 7 Q1 (p.83)

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.78）。

- 21 圖 a 顯示一列駐波在某一刻的波形。P 至 Z 是駐波上的粒子。在這一刻，粒子 P 正向上移動。



- 在這一刻，哪些粒子是瞬時靜止的？T、W
- 在這一刻，哪些粒子正向上移動？P、Q、R、S、X、Y、Z
- 在這一刻，哪些粒子正向下移動？U、V
- 試比較粒子 P 和 Q 的振動頻率。相同
- 試比較粒子 P 和 Q 的振幅。P 的振幅比 Q 的振幅小

4 彈性索上的駐波

在以下實驗，我們會用彈性索來產生駐波。

錄像片段 5.10, 5.11

→ 錄像片段 5.10 示範實驗 5j。

→ 錄像片段 5.11 示範怎樣用頻閃觀測器「凝住」波的運動。

▲ 可利用頻閃觀測器研究駐波的真實外貌。如果閃燈的頻率與波的頻率相同（或波的頻率是閃燈頻率的倍數），便可以「凝住」波。

▲ 如果把訊號產生器同時接駁至示波器，便可更準確地量度振動器的頻率。第 178 頁會介紹示波器。

實驗 5j 彈性索上的橫向駐波

- 1 把彈性索的一端固定在振動器上，另一端則固定在鐵支架上。調整鐵支架的位置，使彈性索稍為拉緊。把振動器連接到訊號產生器。
- 2 改變振動器的頻率，直至彈性索上出現一個波圈的駐波（圖 a）。
- 3 逐漸增加頻率，觀察彈性索的振動會怎樣受到影響。找出在甚麼頻率下，彈性索上會出現 2 個、3 個及 4 個波圈的駐波。

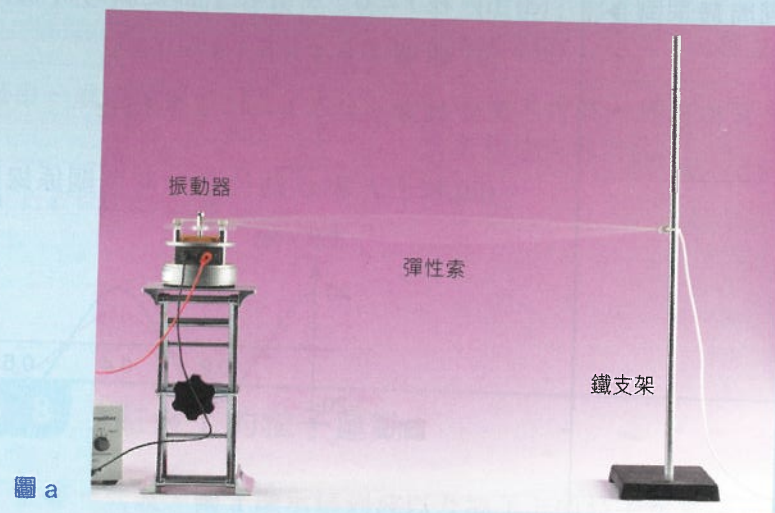


圖 a

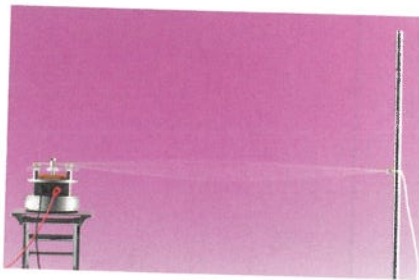
在某些特定頻率下，繩子上的兩個末端之間會出現不同波圈數目的駐波。在其他頻率下，繩子只會不規則地振動。

討論
彈性索的振動怎樣隨訊號產生器的頻率改變？

與波腹的振動相比，繩子連接振動器的一端振動十分微小，無須考慮。因此，繩子的兩端可視為波節。

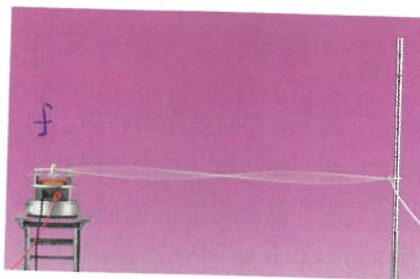
在實驗 5j 中，只有在某些特定頻率下，繩子上的兩個末端之間才會出現不同波圈數目的駐波（圖 5.5h）。在其他頻率下，繩子只會不規則地振動，不會產生駐波。

$$v = f \lambda$$

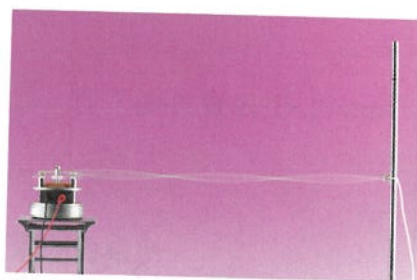


(i) 一個波圈的駐波

圖 5.5h 彈性索上的駐波



(ii) 兩個波圈的駐波



(iii) 三個波圈的駐波

事實上，我們觀察到駐波上的波圈（圖 5.5i）只是視覺暫留造成的錯覺。如果用高速照相機拍下駐波的照片，就會看見駐波在某一刻的真實波形（圖 5.5j）。

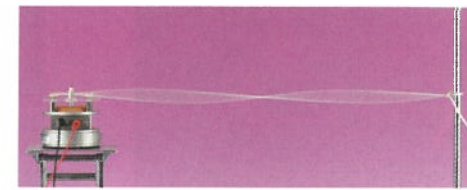


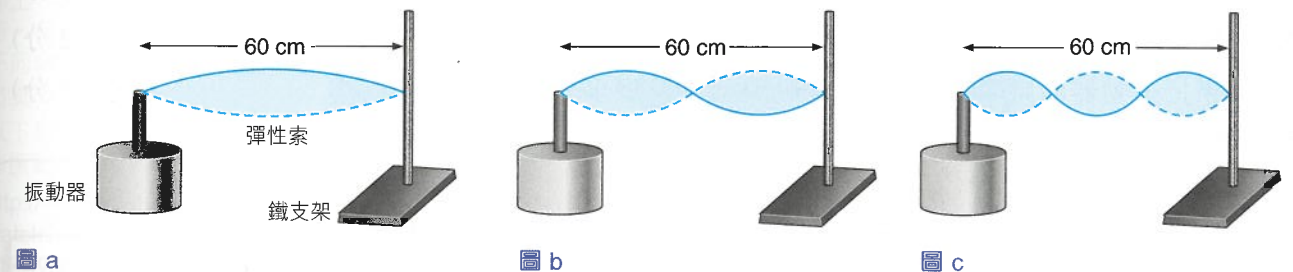
圖 5.5i 駐波上的波圈



圖 5.5j 用高速照相機拍下的駐波

例題 9 產生駐波的頻率

學生把彈性索拉長至 60 cm，然後用它來產生 1 個、2 個和 3 個波圈的駐波（圖 a、b 和 c）。已知繩子上波的速率是 4.8 m s^{-1} 。



- 計算以上各駐波的波長。
- 計算以上各駐波的頻率。
- 駐波的波圈數目不同，產生它們的頻率也不一樣。這些頻率之間有甚麼關係？

題解

- 兩個相鄰波節之間的距離（即一個波圈的闊度）相等於半個波長。

$$\text{對於一個波圈的駐波：} 0.5\lambda_1 = 60 \Rightarrow \lambda_1 = 120 \text{ cm}$$

$$\text{對於兩個波圈的駐波：} 0.5\lambda_2 = \frac{60}{2} \Rightarrow \lambda_2 = 60 \text{ cm}$$

$$\text{對於三個波圈的駐波：} 0.5\lambda_3 = \frac{60}{3} \Rightarrow \lambda_3 = 40 \text{ cm}$$

- 運用 $v = f\lambda$ 。

$$\text{對於一個波圈的駐波：} f_1 = \frac{4.8}{1.2} = 4 \text{ Hz}$$

$$\text{對於兩個波圈的駐波：} f_2 = \frac{4.8}{0.6} = 8 \text{ Hz}$$

$$\text{對於三個波圈的駐波：} f_3 = \frac{4.8}{0.4} = 12 \text{ Hz}$$

▲ 只有一個波圈時 ($n = 1$)，繩子處於基譜振動模式，頻率為最低值，稱為基頻或第一諧波。其他可能的頻率稱為第二諧波 ($n = 2$)、第三諧波 ($n = 3$)，以此類推。

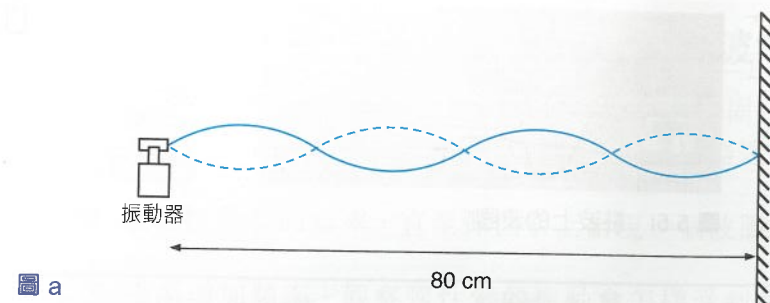
- 設 f_1 是產生一個波圈的駐波所需的頻率，則產生多個波圈的駐波所需的頻率就是 f_1 的整數倍。
($f_n = nf_1$)

▶ 進度評估 8 Q2 (p.87)

預試訓練 2

振動器產生的駐波 ☆ OCR GCE June 2009 Physics A Unit G482 Q5

學生把繩子的一端固定在振動器上，另一端則固定在牆壁上。繩子的長度是 80 cm。學生把振動器的頻率調至 20 Hz，繩子上就出現了圖 a 所示的駐波。



- 寫出波的疊加原理。 (1 分)
- 解釋駐波為何會在繩子上形成。 (3 分)
- 求波長。 (1 分)
- 求繩子上波的速率。 (2 分)
- 如果把振動器的頻率調校至 16 Hz，會發生甚麼事？ (1 分)

題解

- (a) 當兩個波相遇，合波上任何一點的位移相等於兩個波在該點位移的總和。

1A

常見錯誤

學生或錯誤地把答案寫為振幅的總和，而不是位移的總和。

- (b) 入射波與反射波以相同速率向相反方向傳播，且兩者的頻率和振幅相同。它們發生干涉而形成駐波。

1A

1A

1A

常見錯誤

學生或未能清楚指出兩個波必須向相反方向傳播。

- (c) 考慮 4 個波圈的總闊度。

$$4 \times \frac{\lambda}{2} = 0.8$$

$$\lambda = 0.4 \text{ m}$$

它們發生干涉而形成駐波。

1A

1A

∴ 波長是 0.4 m。

- (d) 波速率 $v = f\lambda$

$$= 20 \times 0.4$$

$$= 8 \text{ m s}^{-1}$$

1M

1A

- (e) 繩子會不規則地振動。

1A

產生一個波圈的頻率 f_1

$$= \frac{v}{\lambda_2} = \frac{8}{2 \times 0.8} = 5 \text{ Hz}$$

16 Hz 不是 5 Hz 的整數倍
⇒ 繩子上不會形成駐波

▶ 複習 Q32 (p.99)

這解答了起點的問題。

▶ 橫駐波在弦樂器上很常見 (圖 5.5k)。彈奏這些樂器時，橫駐波會在弦線上形成，從而產生聲音。



(i) 結他



(ii) 小提琴



(iii) 古箏

圖 5.5k 弦樂器的一些例子

在鼓面上形成了二維的駐波，而沙粒只能停留在波節上，由此產生出特別的圖形。在不同頻率下，駐波有不同的波形，所以鼓面上會出現不同的圖形。

以下影片是利用圓形金屬片和振動器來做示範。

<http://www.youtube.com/watch?v=CGiiSIMFFII>



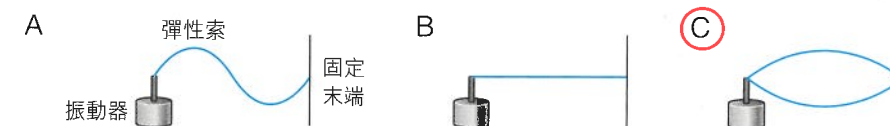
生活中的物理 鼓上的駐波

鼓的表面也能形成駐波。如果在鼓上灑上沙粒，然後用振動器令鼓以不同頻率振動，沙粒便會形成特別的圖形。這時，沙粒正好處於駐波波節的位置。

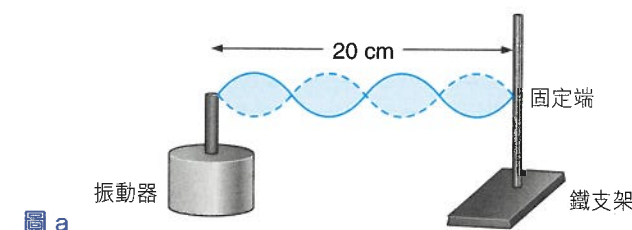


進度評估 8 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.78)。

- 2.1 駐波在兩個固定端之間形成。下列哪一幅圖顯示的不是駐波在某一刻的波形？



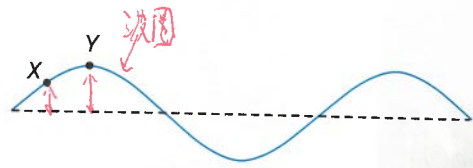
- 3.2 學生把彈性索拉長至 20 cm，然後把其中一端固定在振動器上，另一端則固定在鐵支架上。如果她想在繩子上產生 4 個波圈的駐波 (圖 a)，她應把振動器的頻率調至多高？假設繩子上波的速率是 6 m s^{-1} 。60 Hz



習題與思考 5.5

各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.78)。

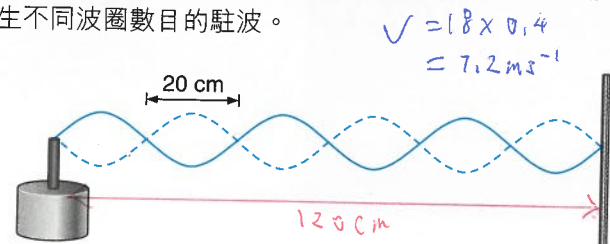
- 2 1 粒子 X 和 Y 在一列駐波上(圖 a)。下列哪些敘述是正確的?



- (1) 粒子 X 和 Y 以相同的振幅振動。
 (2) 粒子 X 和 Y 以相同的頻率振動。
 (3) 粒子 X 和 Y 在同一時間到達平衡位置。

- A 只有 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

(第 2 至 3 題) 圖 b 顯示當振動器的頻率為 18 Hz 時，在繩子上產生的駐波。透過調校振動器的頻率，就能產生不同波圈數目的駐波。



- 2 下列哪些有可能是繩子上所產生的駐波波長?

- (1) 60 cm
 (2) 80 cm
 (3) 240 cm

- A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- 3 下列哪一個頻率不會在繩子上產生駐波?

- A 2 Hz
 B 3 Hz
 C 6 Hz
 D 9 Hz

共鳴
 Resonance

if $f = 2 \text{ Hz}$
 $7.2 = 2\lambda$
 $\lambda = 3.6 \text{ m} = 360 \text{ cm}$
 if $f = 3 \text{ Hz}$
 $7.2 = 3\lambda$
 $\lambda = 2.4 \text{ m}$

- 4 兩個相同的波在繩子上向相反方向傳播，形成駐波。在圖 c 所示的一刻，粒子 P 到達它的最大位移。

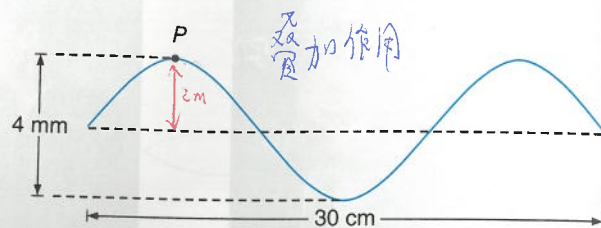


圖 c

每個行波的振幅是多少?

- A 1 mm
 B 2 mm
 C 4 mm
 D 20 cm



- 5 從以下兩方面比較行波和駐波:

- (a) 能量的傳遞
 (b) 物質的傳遞

- 6 在繩子上有一列駐波，圖 d 顯示駐波在某一時刻的波形。粒子 P 在這一時刻正向上移動，它的振動頻率是 50 Hz。

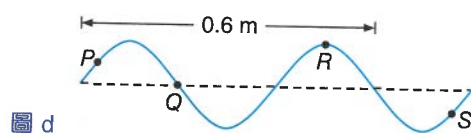


圖 d

- (a) 求波長。
 (b) 求繩子上波的速率。
 (c) 描述粒子 Q、R 和 S 這一刻的運動。

Q: 靜止; R: 向上; S: 向下

- 7 圖 e 顯示振動器的振動頻率為 200 Hz 時，在繩子上產生的駐波。

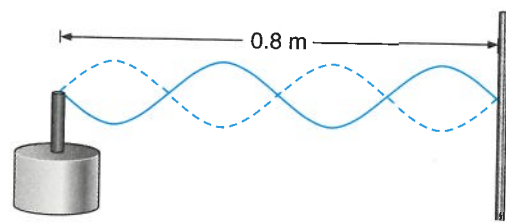


圖 e

- (a) 駐波的波長是多少?
 (b) 求繩子上波的速率。

$\frac{0.8}{4} \times 2$
 $v = 200 \times 0.4$

總結 5

詞彙

1 水波槽 ripple tank	p.42	10 相消干涉 destructive interference	p.68
2 直線波 straight wave	p.44	11 程差 path difference	p.69
3 平面波 plane wave	p.44	12 節線 nodal line	p.71
4 圓形波 circular wave	p.44	13 腹線 antinodal line	p.71
5 波陣面 wavefront	p.46	14 相干 coherent	p.71
6 衍射 / 繞射 diffraction	p.59	15 駐波 stationary wave/standing wave	p.79
7 干涉 interference	p.65	16 波節 node	p.79
8 疊加原理 principle of superposition	p.67	17 波腹 antinode	p.79
9 相長干涉 constructive interference	p.68		

課文摘要

5.1 利用水波研究波的現象

- 水波槽中產生的水波可以投映在屏幕上。屏幕上的亮線對應水波的波峯，暗線則對應水波的波谷。
- 若水波槽的水深固定不變，水波的傳播速率 v 就不變，而水波的頻率 f 與波長 λ 則成反比。
- 波陣面是由一系列振動同相的相鄰點所連成的線，總是與波的傳播方向垂直。

5.2 波的現象：反射與折射

4 波的反射

- 波遇到障礙物便會發生反射。
- 波的反射遵從反射定律：入射角 i = 反射角 r 。
- 反射後，波速率、頻率和波長都不變。

5 波由一種介質經邊界進入另一種介質(水深不同的區域)，便會發生折射。

6 波的折射是指波速率改變而造成的傳播方向改變。

- 當波的速率增加，傳播方向會偏離法線。
- 當波的速率減少，傳播方向會向法線偏折。

7 表 a 總結了水波折射時的變化。

	由深水區進入淺水區	由淺水區進入深水區
頻率 f	保持不變	
波速率 v	減少	增加
波長 λ	減少	增加
傳播方向	向法線偏折	偏離法線

表 a

- 8 由介質 1 進入介質 2 的折射率可表示為波在兩個介質中的傳播速率或波長的比例。

$$n_{1 \rightarrow 2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

5.3 波的現象：衍射

- 9 波會沿障礙物的邊緣偏折或擴散，進入障礙物的「影子」區域內，這現象稱為衍射。
- 10 波在衍射後，波速率、頻率和波長都不變。
- 11 若狹縫的闊度減少，或水波的波長增加，水波通過狹縫時的衍射幅度（擴散幅度）就會增加。

5.4 波的現象：干涉

- 12 疊加原理指出當兩個脈衝/波相遇時，合脈衝/波上任何一點的位移相等於兩個脈衝/波在該點位移的總和。
- 13 兩列波相交時，會發生干涉。
- 14 兩個相干波源的頻率相同，且相位差恆定不變。它們可產生出穩定的干涉圖形（圖 a）。

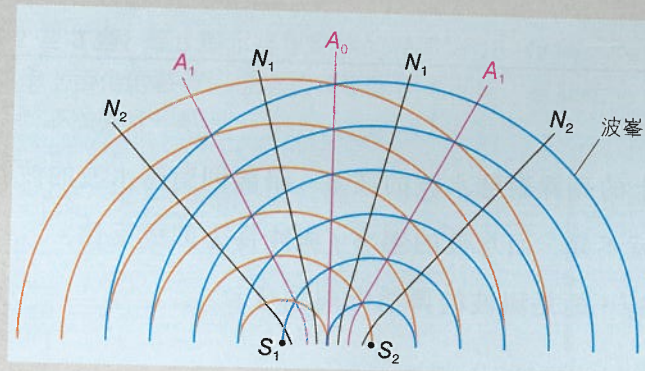
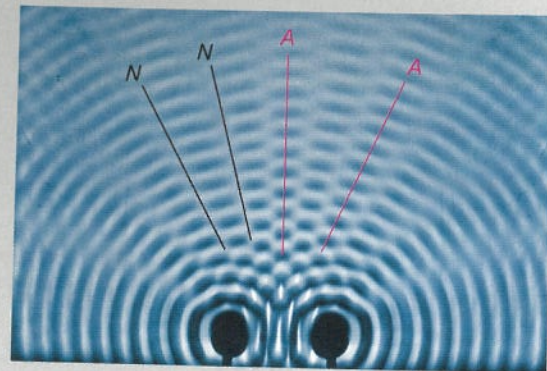


圖 a



15 相長干涉

- a 在兩列波以同相到達的位置（例如兩個波峯或兩個波谷相遇的位置）會發生相長干涉。
- b 在發生相長干涉的位置，兩列波互相加強，所以粒子會以更大的振幅振動。
- c 相長干涉發生在程差相等於 $0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda$ 等的位置。

16 相消干涉

- a 在兩列波以反相到達的位置（例如波峯與波谷相遇的位置）會發生相消干涉。
- b 在發生相長干涉的位置，兩列波總是互相抵銷，所以粒子會一直保持靜止。
- c 相消干涉發生在程差相等於 $\frac{1}{2}\lambda, 1\frac{1}{2}\lambda, 2\frac{1}{2}\lambda$ 等的位置。

- 17 把發生相消干涉的點連起來的線稱為節線，把發生相長干涉的點連起來的線則稱為腹線（圖 a）。

- 18 當波長減少，或兩個波源之間的距離增加，干涉圖形中的節線和腹線會變密。

- 19 所有波都展示反射、折射、衍射和干涉，但只有衍射和干涉才是波獨有的現象。

5.5 駐波

- 20 駐波是由兩列相同頻率及振幅的波，以相同速率向相反方向傳播時發生干涉而產生的。

- 21 駐波上的粒子振動（圖 b）

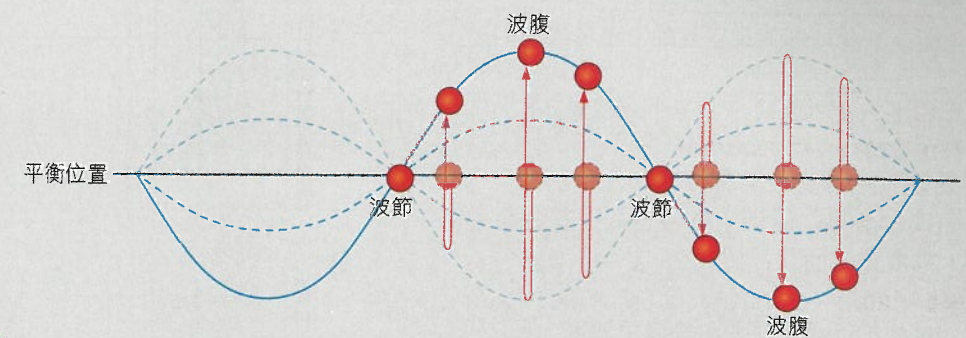
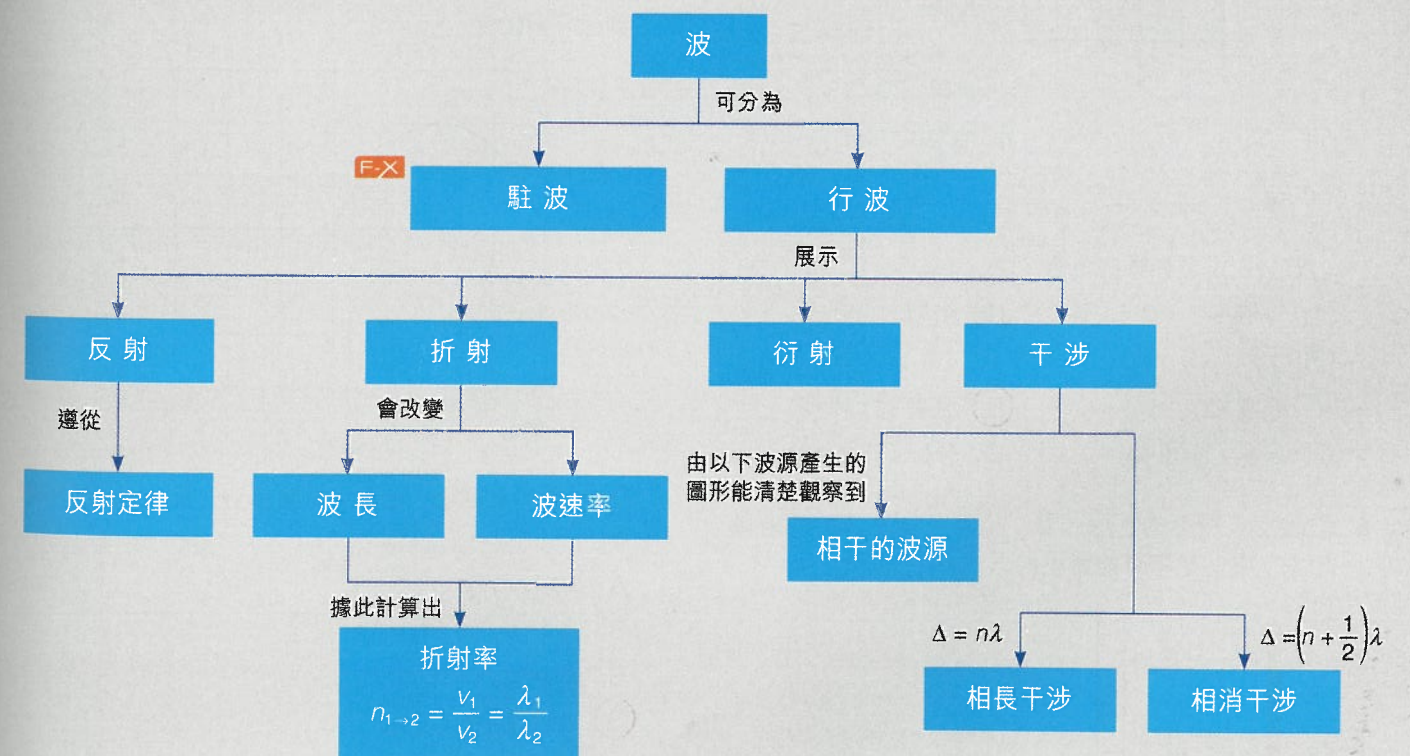


圖 b

- a 不同粒子的振幅各不相同。
- b 粒子完全沒有振動的位置稱為波節，粒子以最大振幅振動的位置則稱為波腹。
- c 在同一波圈內，所有粒子的振動同相；在兩個相鄰波圈內，粒子的振動則反相。
- 22 兩個相鄰波節之間的距離（每個波圈的闊度）或兩個相鄰波腹之間的距離相等於半個波長。
- 23 駐波所載的能量不會從一處傳遞到另一處，而是儲存在駐波內。

概念圖



複習 5

- Q2 兩個波谷相遇的位置會發生相長干涉；波峯與波谷相遇的位置會發生相消干涉（見 p.68）。
 Q3 在相長干涉發生的位置，粒子會上下振動，振幅比只有一列波時大（見 p.68）。
 Q4 兩列波相交時，便會發生干涉。要產生穩定的干涉圖形時，才須用相干波源（見 p.71）。

概念重溫

(第1至4題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 5.2 1 水波由深水區進入淺水區時，頻率不會改變。T
 ☆ 香港中學會考 2011 年卷二 Q37
 5.4 2 兩列波相遇時，兩個波峯相遇的位置會發生相長干涉，形成更高的波峯；兩個波谷相遇的位置會發生相消干涉，形成更深的波谷。F
 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q36
 5.4 3 在相長干涉發生的位置，粒子總是處於波峯。F
 5.4 4 當兩個波源在水波槽中產生圓形波，它們必須是相干的波源，水波才會發生干涉。F

多項選擇題

綜合題 5 圖 a 顯示一系列直線波向水波槽的右面傳播。

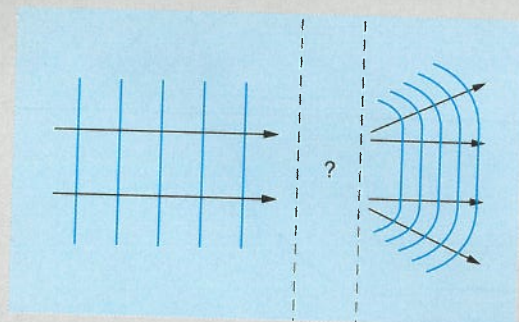
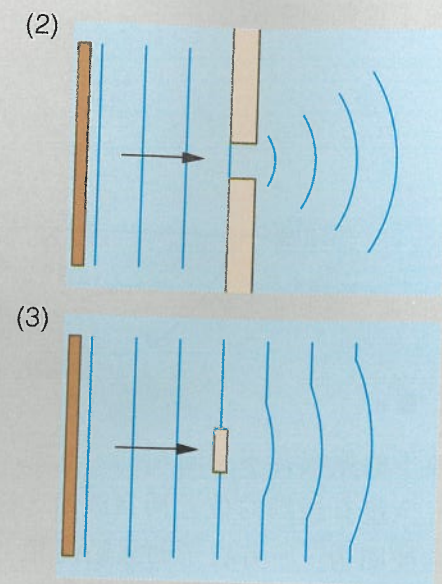
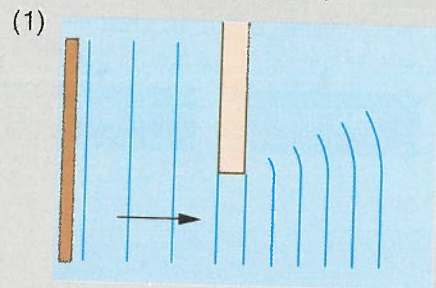


圖 a

水波發生了下列哪些現象？

- (1) 折射 (2) 衍射
 (3) 干涉
 A 只有 (2) B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

5.3 6 假設水波槽中的水深一致，下列各個水波的衍射圖形中，哪些是不可能產生的？



- A 只有 (1)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

5.5 7 圖 b 顯示一系列駐波上的粒子 P、Q 和 R 在某一時刻的位置。粒子 P、Q 和 R 分別在 p 秒、q 秒和 r 秒後到達平衡位置。

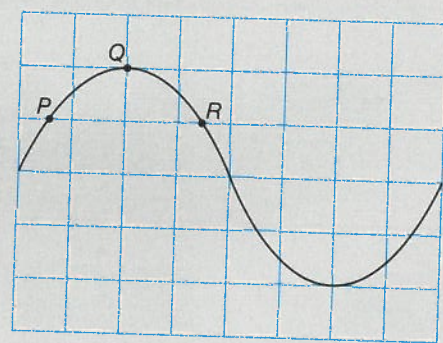


圖 b

下列各項有關 p、q 和 r 的關係中，哪一項是正確的？

- A $r > q > p$
 B $q > r = p$
 C $p > q > r$
 D $p = q = r$

8 如圖 c 所示，把繩子拉長至長度 L，一端連接到振動器，另一端則連接到固定末端。

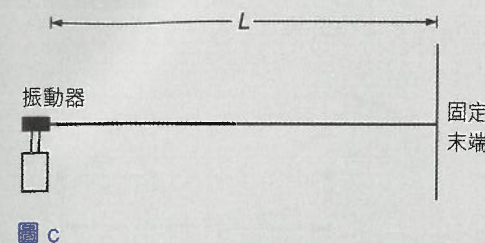


圖 c

啟動振動器，在繩子上產生駐波。如果繩子上所產生駐波的波長最大只能是 6 m，L 是多少？

- A 2 m
 B 3 m
 C 6 m
 D 12 m

9 連接電動機的棒子在水波槽中產生一系列直線水波。水波通過一道狹縫後發生衍射。下列哪些改變會影響水波的衍射幅度？

- (1) 改變狹縫的闊度
 (2) 改變電動機的振動頻率
 (3) 改變水波槽中的水深

- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

10 在水波槽中，兩個點振動源 X 和 Y 以相同頻率振動，產生圓形水波。圖 d 顯示所產生的干涉圖形，以及圖形上的幾條腹線。

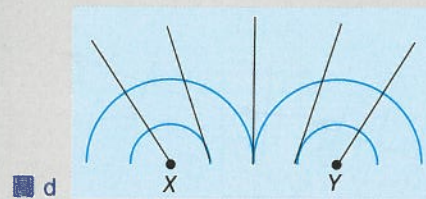


圖 d

下列哪些改變可以令腹線變疏？

- (1) 增加點振動源的振動頻率。
 (2) 增加 X 和 Y 之間的距離。
 (3) 增加水深。

- A 只有 (1)
 B 只有 (3)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

11 圖 e 顯示一系列水波被障礙物反射。

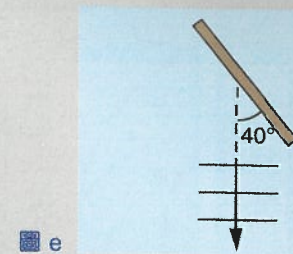
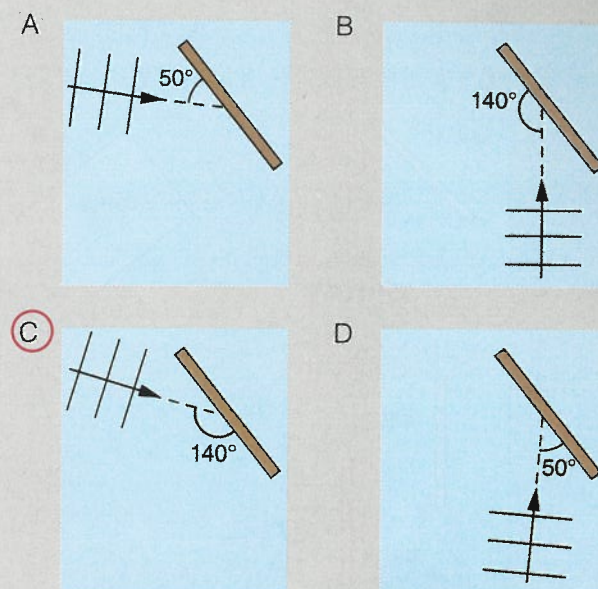


圖 e

下列哪一幅圖展示出入射波？



12 圖 f 顯示一系列直線水波向直線形障礙物傳播。

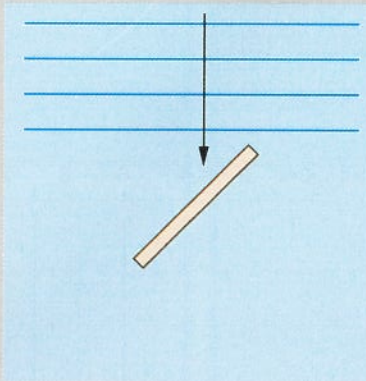


圖 f

下列哪些波的現象會發生？

- (1) 反射
 (2) 衍射
 (3) 干涉

- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★ 13 圖 g (不按比例繪成) 顯示一系列水波如何進入和離開 X 區。

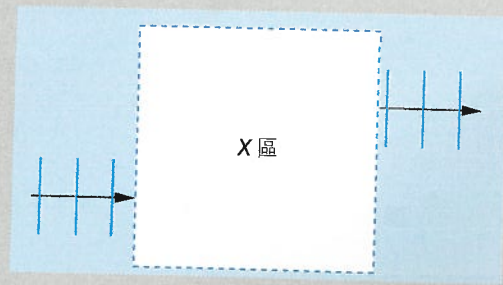
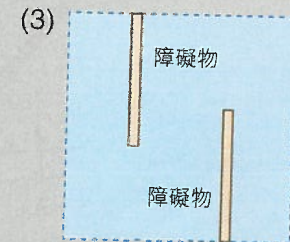
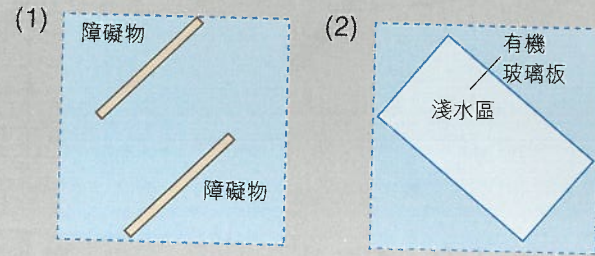


圖 g

下列哪些有可能是放置在 X 區的裝置？



- A 只有 (1)
 B 只有 (1) 和 (2)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

- ★★ 14 綜合題



圖 h

在水波槽中，一系列直線水波由淺水區進入深水區 (圖 h)。水波在深水區的傳播速率是 12 cm s^{-1} ，它在淺水區的傳播速率是多少？

- A 2 cm s^{-1}
 B 8 cm s^{-1}
 C 12 cm s^{-1}
 D 18 cm s^{-1}

▶ 參看 例題 2 (p.53)

- ★★ 15 5.4 兩個相干的波源 X 和 Y 在水波槽中產生圓形水波 (圖 i)，水波的波長是 3 cm 。X 和 Y 之間的距離是 17 cm 。在 X 和 Y 之間的筆直虛線上有幾個出現相長干涉的點？

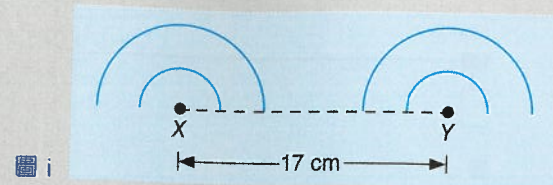
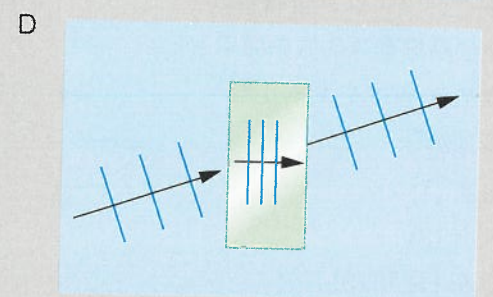
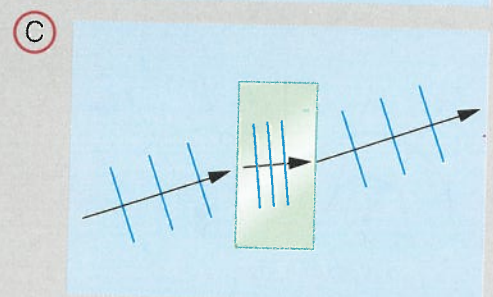
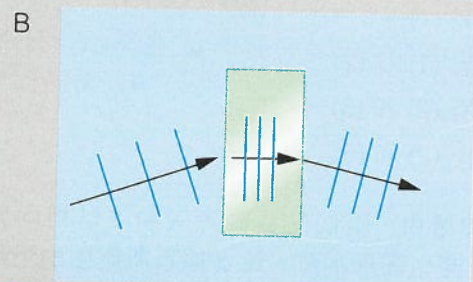
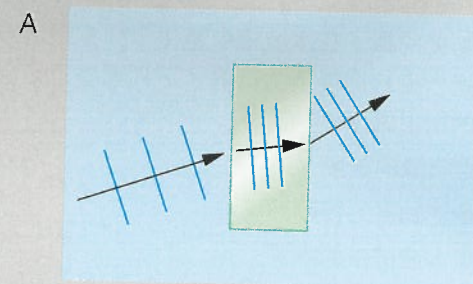


圖 i

- A 5
 B 6
 C 11
 D 12

▶ 參看 p.68

- ★★ 16 5.2 水波槽的中間放置了一塊玻璃板。有一列直線水波在水波槽中傳播。下列哪一幅圖顯示有可能觀察到的波陣面？



▶ 參看 p.54

- 5.217 香港中學會考 2006 年卷二 Q15

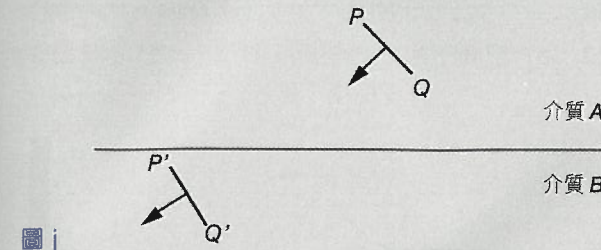


圖 j

一系列平面波從介質 A 傳播至介質 B 內。圖 j 顯示一個波陣面在進入介質 B 前、後的位置 PQ 和 P'Q'，當波從介質 A 進入介質 B 後，其速率和波長發生甚麼變化？

- | 速率 | 波長 |
|------|----------|
| A 增大 | 增長 (57%) |
| B 增大 | 保持不變 |
| C 減小 | 變短 |
| D 減小 | 保持不變 |

- 5.418 香港中學會考 2009 年卷二 Q38

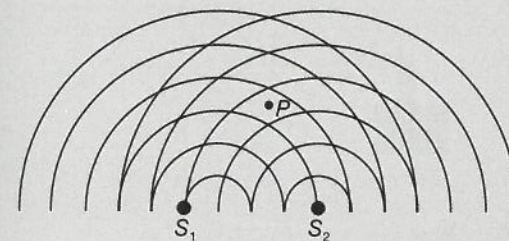
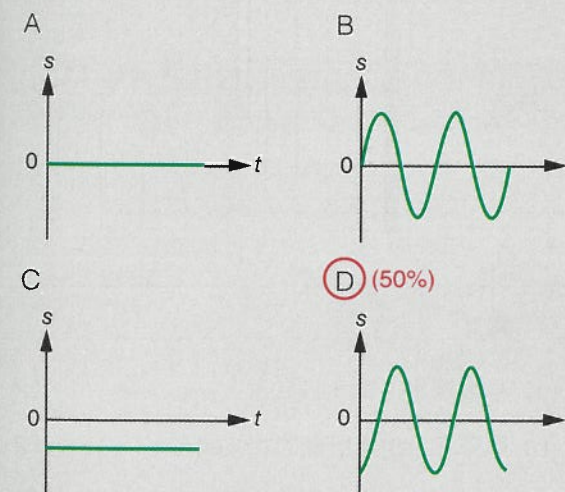


圖 k

圖 k 所示，水波槽中，兩個相同點振器 S_1 和 S_2 在時間 $t = 0$ 所產生的圓形波陣面。實線代表波峯。將木塞放置在水面上的 P 點。以下哪一個線圖最能表示該木塞的位移 s 隨時間 t 的變化？(取向上為正方向)



- 5.419 香港中學會考 2010 年卷二 Q36

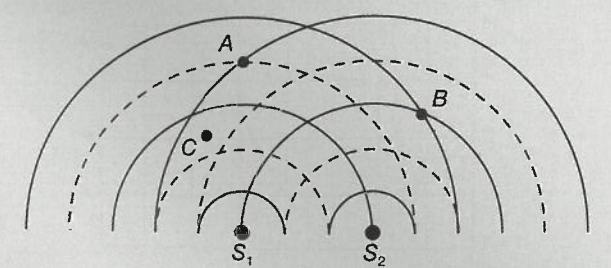


圖 l

S_1 和 S_2 兩個點振源在一水波槽中產生圓形水波。圖 l 顯示某一刻的水波圖。實線表示波峯而虛線表示波谷。以下哪項 / 哪些敘述是正確的？

- (1) 位於 A 的水粒子恆常靜止。
 (2) 位於 B 的水粒子恆常為波峯。
 (3) 位於 C 的干涉現象既非相長亦非相消。
 A 只有 (1) (33%)
 B 只有 (2)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

- 5.5 20 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q18

於兩端 X 與 Y 皆固定的弦線上有一駐波。在時刻 $t = 0$ ，弦線的寫照如圖 m 所示。在波腹處振幅為 A。

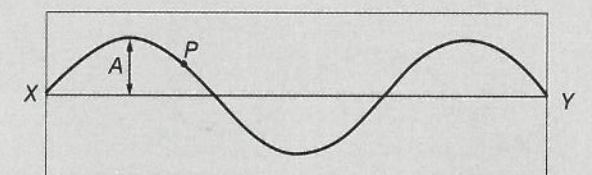
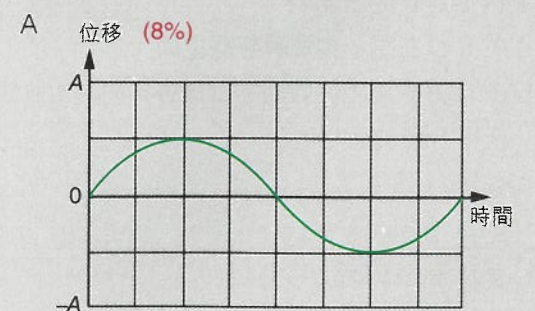
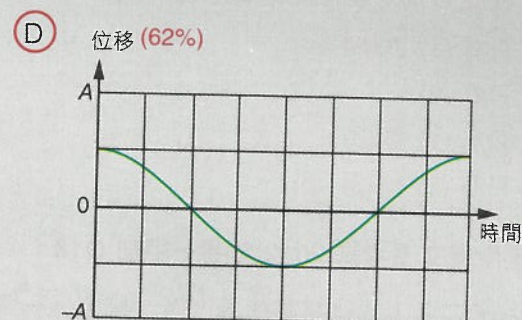
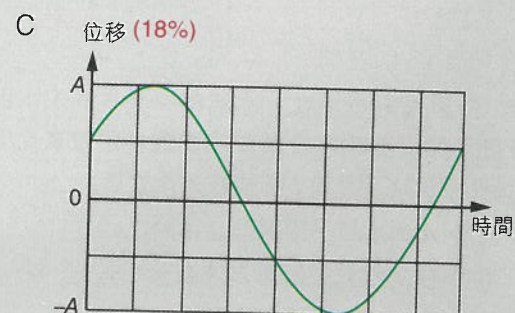
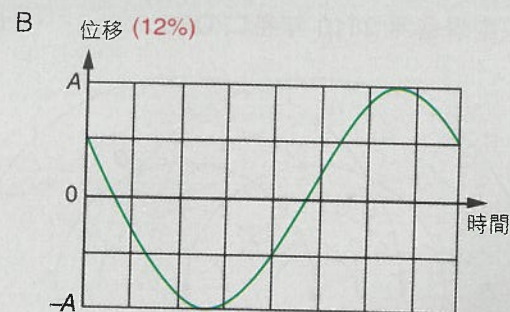


圖 m

下列哪一個位移—時間線圖顯示弦線上 P 點所完成的一個週期？(向上位移取作正值)





★ 21 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q18

5.5

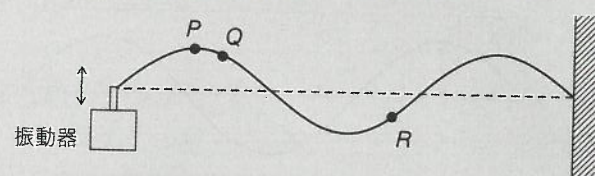


圖 n

在一端固定的弦線上以振動器產生駐波。圖示於某一刻弦線的模樣。以下哪些有關粒子 P、Q 和 R 運動的描述必定正確？

- (1) P 和 Q 在這一刻是瞬時靜止的。
- (2) Q 和 R 需要相同時間才到達各自的平衡位置。
- (3) P 和 R 恆為反相的。

- A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3) (52%)

問答題

- ★ 22 (a) 把繩子的一端固定在牆壁上，然後向牆壁的方向產生一個脈衝 (圖 o)。

5.5

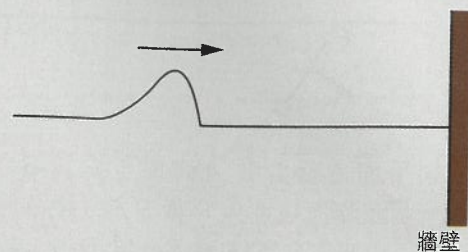


圖 o

脈衝到達連接牆壁的末端時，會發生甚麼事？ (1 分)

- (b) 隨後，把繩子的另一端固定在振動器上，然後把繩子拉長至 1.8 m。振動器的頻率為 440 Hz 時，繩子上出現 3 個波圈的駐波 (圖 p)。

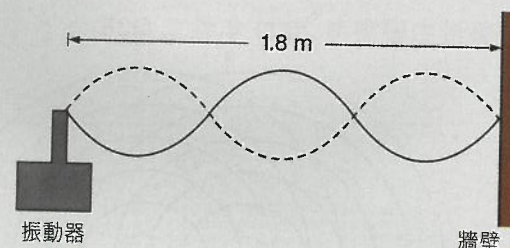


圖 p

- (i) 求駐波的波長。1.2 m (1 分)
- (ii) 求繩子上波的速率。528 m s⁻¹ (2 分)

- ★ 23 學生把障礙物放置在水波槽中淺水區和深水區的邊界上，然後產生一系列直線波 (圖 q)。

綜合題

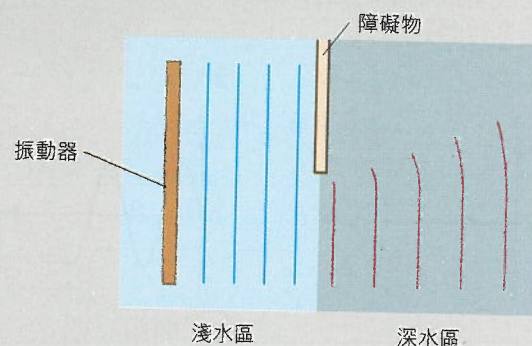


圖 q

- (a) 草繪深水區的水波圖形。 (2 分)
- (b) 解釋在 (a) 部所畫的水波圖形。 (2 分)
- (c) 比較水波在深水區和在淺水區的頻率。 (1 分)

相同

- ★ 24 圖 r 顯示一系列駐波在時間 $t = 0$ 時的位移—距離關係圖。波的頻率是 0.5 Hz。P 和 Q 是駐波上的粒子。在 $t = 0$ 時，P 是瞬時靜止的。

5.5

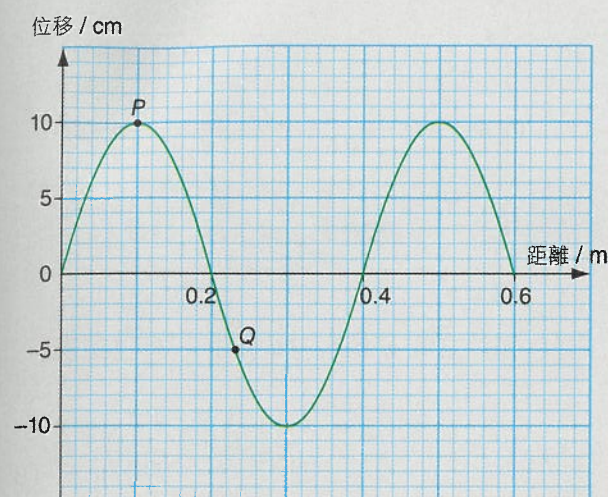


圖 r

- (a) 繪畫 P 由 $t = 0$ 至 $t = 3$ s 的位移—時間關係圖。 (3 分)
- (b) 在 (a) 部所畫的圖中，繪畫 Q 由 $t = 0$ 至 $t = 3$ s 的位移—時間關係圖。 (2 分)

- ★ 25 如圖 s 所示，一艘小艇位於海面某位置，有一列縱波向岸邊傳播。

綜合題

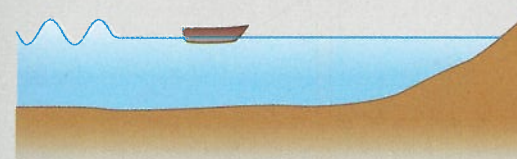


圖 s

- (a) 描述小艇在水波經過時的運動。 (1 分)
- (b) 水波接近岸邊時，波速率、波長和頻率會有甚麼變化？ v 減少， λ 減少， f 不變 (2 分)
- (c) 海嘯是大量海水被垂直干擾時產生的強大水波。地震、火山爆發和大型山泥傾瀉都可能引發海嘯。
 - (i) 在某次海嘯中，水波的波長是 100 km，週期是 8 分鐘。求水波的傳播速率。 208 m s⁻¹ (2 分)
 - (ii) 海嘯橫跨海洋時，波陣面或會偏折。試指出一個可能原因。 (1 分)

- ★ 26 圖 t 顯示一系列在水波槽中傳播的水波，它的頻率是 5 Hz。水波槽分為 A 區和 B 區，兩個區域的水深不同。

綜合題

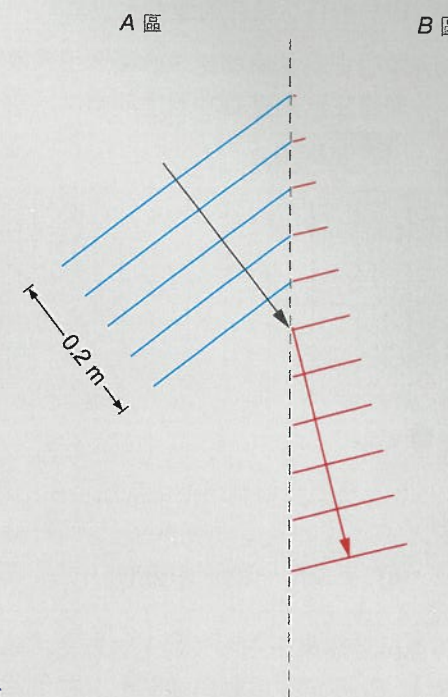


圖 t

- (a) 求水波在 A 區的波長和傳播速率。 (3 分)
- (b) 水波由 A 區進入 B 區的折射率是 0.8。
 - (i) 求水波在 B 區的波長。0.0625 m (2 分)
 - (ii) 哪個區域的水較深？B (1 分)
- (c) 在 B 區繪畫折射後的波陣面。 (2 分)

- ★ 27 偉明站在游泳池中，有一玩具船浮在水面 (圖 u)。偉明用左手在水面上上下下撥動，產生一系列水波。假設水波到達池邊後不會反射

綜合題

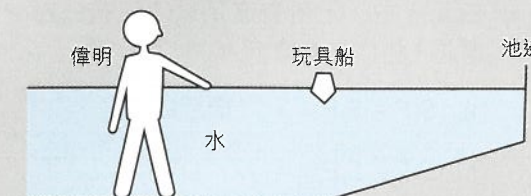


圖 u

- (a) 偉明認為水波會把玩具船推前。試解釋他是否正確。不正確 (2 分)
- (b) 若偉明提高左手上下撥動的頻率，水波的波長會有甚麼改變？減少 (1 分)

(c) 偉明的左右手同時上下撥動，產生波長為 8 cm 的水波。左右手的運動同相，左手與玩具船相距 30 cm，右手則與玩具船相距 42 cm。試描述和解釋玩具船的運動。(3 分)

(d) 偉明把玩具船移走，然後利用長發泡膠棒在水面產生一系列直線水波。如圖 v 所示，水波向池邊傳播。

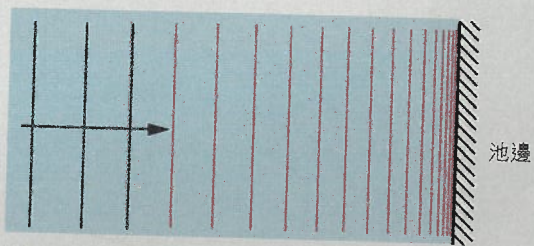


圖 v

- 寫出水波到達池邊前所發生的現象。折射 (1 分)
- 完成圖 v 的水波圖形。 (1 分)

★★ 28 巧盈做實驗來研究水波的干涉現象。她把兩個小球 S_1 和 S_2 固定在振動的棒子上，在水波槽中產生兩列波長為 λ 的圓形波。圖 w 顯示在時間 $t = 0$ 時的波陣面。實線代表波峰，虛線代表波谷。

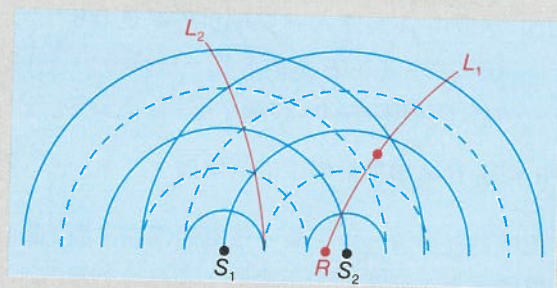


圖 w

- 在圖 w 中，把所有滿足以下程差的點 P 用線連起，並作適當標示。
 (i) $S_1P - S_2P = \lambda$ (標示為 L_1)
 (ii) $S_1P - S_2P = -\frac{1}{2}\lambda$ (標示為 L_2) (2 分)
- 如果獨立地作出以下改變， L_1 和 L_2 的距離會有甚麼改變？試解釋你的答案。
 (i) 增加棒子的振動頻率。
 (ii) 增加水波槽的水深。 (4 分)

(c) R 是 L_1 上的粒子。圖 x 顯示它由 $t = 0$ 至 $t = 1$ s 的位移—時間關係線圖。

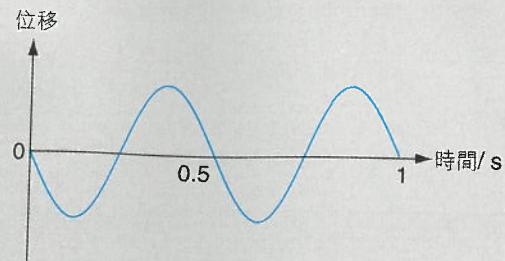


圖 x

- 在圖 w 標示 R 的其中一個可能位置。 (1 分)
- 如果水波的波長是 6 cm，波速率是多少？ 12 cm s^{-1} (3 分)

▶ 參看 p.71, 74

★★ 29 在圖 y 中，兩道狹縫 A 和 B 與點振動源 S 的距離相等。P 點與狹縫 A 的距離是 23 cm，與狹縫 B 的距離則是 21 cm。波長為 4 cm 的水波由 S 產生，向狹縫 A 和 B 傳播。

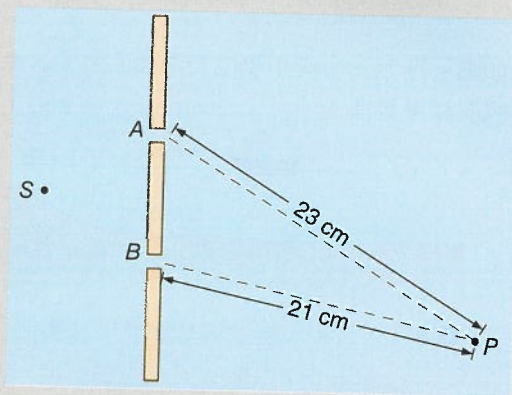


圖 y

- 證明位於 P 點的粒子一直保持靜止。 (3 分)
- 獨立地作出以下改變後，位於 P 點的粒子就不再保持靜止。試解釋原因。
 (i) 點振動源 S 的振動頻率加倍。 (2 分)
 (ii) 移走點振動源 S 和組成兩個狹縫的物件，然後以兩組獨立的點振動源 M 和 N 代替，放置在狹縫 A 和 B 原本的位置。 (2 分)

▶ 參看 p.69, 70

★★ 30
F-X
5.5

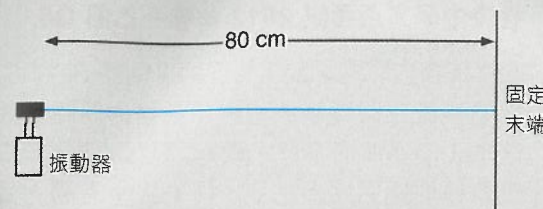


圖 z

學生把繩子的一端連接到振動器上，另一端則固定 (圖 z)。這時，繩子的長度是 80 cm。學生啟動振動器，在繩子上產生一系列駐波。

- (i) 繩子上所產生駐波的最大波長是多少？ 160 cm (1 分)
 (ii) 學生把振動器的頻率調校至 4 Hz，才產生出擁有最大波長的駐波。求繩子上波的速率。 640 cm s^{-1} (2 分)
- 學生把振動器的頻率調校至 16 Hz。圖 aa 顯示在時間 $t = 0$ 時的波形。A、B、C、D 和 E 是駐波上的粒子。在 $t = 0$ 時，粒子 C 正向下移動，且它所處的位置比它能到達的最高位置低 3 cm。

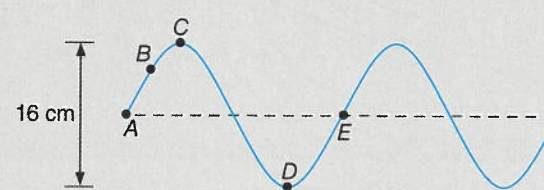


圖 aa

- 在 $t = 0$ 時，哪些粒子也正向下移動？ B (1 分)
- 求 C 的振動週期 T。 0.0625 s (2 分)
- 繪畫 D 由 $t = 0$ 至 $t = 2T$ 的位移—時間關係線圖。 (3 分)

▶ 參看 例題 8 (p.82)

▶ 考試報告見第 101 頁。
綜合題 31 香港中學會考 2008 年卷一 Q5

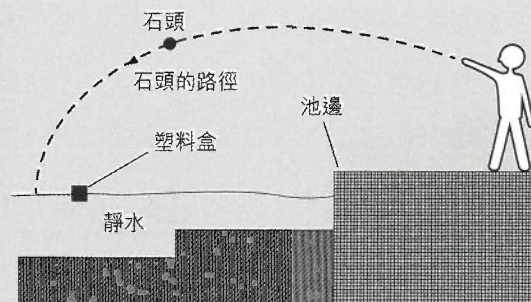


圖 ab

圖 ab 顯示一個有深水區和淺水區的水池，池面上浮着一個塑料盒。有小童試圖將盒取回。他向上池投出一塊石頭以產生波，並預計水波會把該盒「推」向池邊。

- 根據水分子運動的方向，指出在水面產生的波是哪一種波。橫波 (1 分)
- 解釋水波能否將盒「推」向池邊。不能 (2 分)

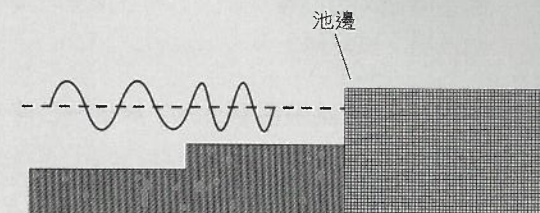


圖 ac

- 圖 ac 顯示一道連續水波向池邊行進。推論水波速度與池水深度的關係。試加以解釋。 (3 分)

▶ 考試報告見第 101 頁。
OCR GCE Jun 2009 Q5
Physics A Unit G482

- 試解釋以下用來描述駐波的詞彙。
 (i) 波節 (1 分)
 (ii) 波腹 (1 分)
- 在圖 ad 中，學生把繩子的一端固定，然後在接近固定末端的地方放置一部機械振盪器。他改變振盪器的頻率，直至在拉緊的繩子上產生駐波。

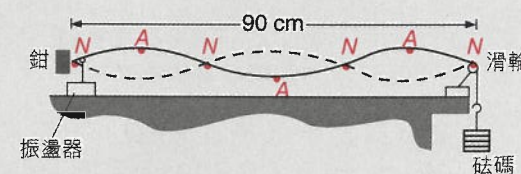


圖 ad

- 試以繩子上的行波來解釋駐波的形成。 (3 分)
- 在圖 ad 中，以字母 N 標示其中一個波節，以字母 A 標示其中一個波腹。 (1 分)
- 在圖 ad 顯示的繩子上，一共有多少個波腹？ 3 (1 分)
- 學生把振盪器的頻率調校至 120 Hz，才產生圖 ad 所示的駐波。固定末端與滑輪之間那段繩子的長度是 90 cm。求繩子上行波的速率。 72 m s^{-1} (3 分)

(c) 繩子上行波的速率 v 可由下式求得：

$$v = k\sqrt{W}$$

其中 k 是一個常數（對於同一條繩子而言）。
 W 是繩子的張力，相等於繩子所連接砝碼的重量。

在 (b) 部，繩子所連接砝碼的重量是 4.0 N。
如果振盪器的振動頻率維持 120 Hz，而砝碼的重量改為 9.0 N，學生仍會在繩子上觀察到駐波嗎？試解釋。會 (3 分)

綜合題 33 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q5

(a) 把兩個矩形障礙物放在水波槽內。一振動器以 25 Hz 振動並產生直線波陣面的水波。水波的波長為 0.8 cm。當水波通過兩矩形障礙物的缺口後形成圓形的波陣面。圖 ae 顯示裝置的鳥瞰圖。

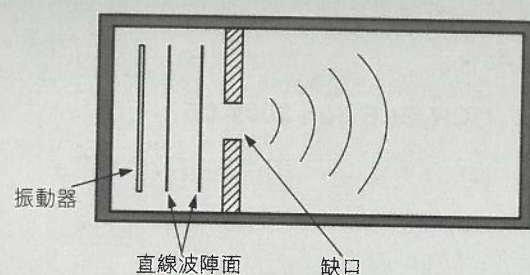


圖 ae

(i) 指出當水波通過缺口時發生的波動現象。

衍射 (1 分)

(ii) 計算水波槽內水波的速率。20 cm s⁻¹ (2 分)

(iii) 若調高振動器的頻率重複實驗，描述圖 ae 所示水波圖形或有的改變。 (2 分)

(b) 圖 af 顯示水波槽內 P、Q 和 R 三點，使得 PR = 8 cm 和 QR = 10 cm。把一個點振源放在 P，產生波長為 0.8 cm 的圓形水波。

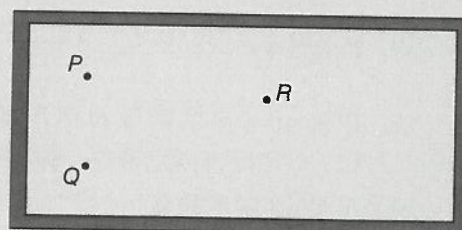


圖 af

稍後把另一個相同的點振源放在 Q，和在 P 的點振源同相振動。解釋在 R 點水波振幅或有的改變。減少 (3 分)

□ 考試報告見第 101 頁。

5.4 34 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q6

☆ 略去 (d) 部

在水波槽內，兩個頻率相同的振動器 S_1 和 S_2 同相振動以產生圓形水波。兩振動器的間距為 3.5λ ，其中 λ 為水波的波長。圖 ag 顯示於某一刻在水面上傳播的兩組圓形水波，線 L 上所有點 P 皆滿足程差 $S_1P - S_2P = 0$ 。

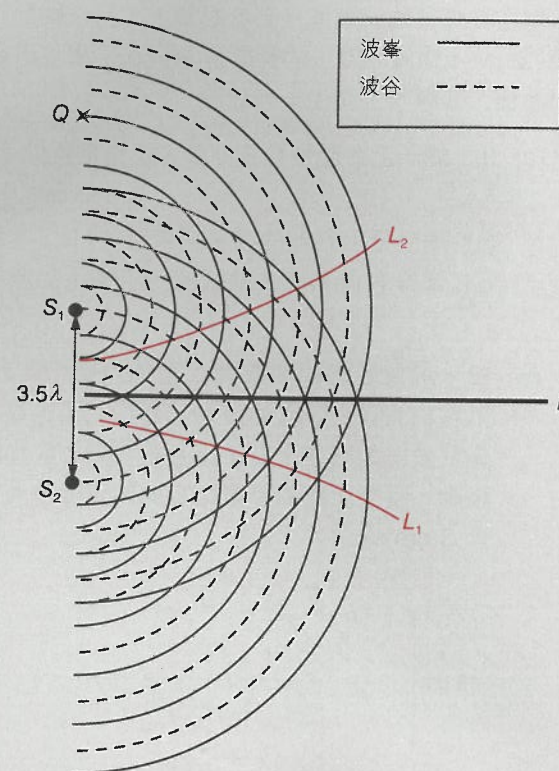


圖 ag

(a) 在圖 ag 上繪出及標示滿足以下程差的所有點 P 的連線

(i) $S_1P - S_2P = \lambda$ (標示為 L_1)

(ii) $S_1P - S_2P = -\frac{3}{2}\lambda$ (標示為 L_2)

如果將 S_1 和 S_2 的間距稍為縮短，對 L_1 和 L_2 會有甚麼影響？ (3 分)

(b) 圖 ah 展示在某一時刻沿線 L 的水位剖面圖。在同一圖上草繪出在時間 $\frac{T}{2}$ 後的剖面圖，其中 T 為水波的週期。 (1 分)

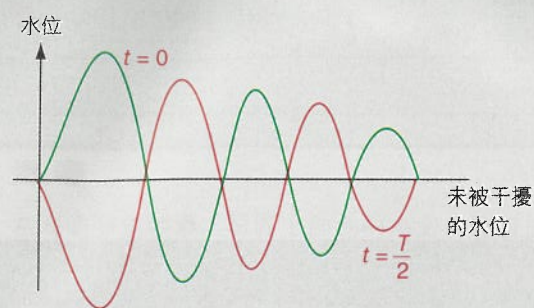


圖 ah

(c) 如圖 ag 所示，Q 點位於 S_1 與 S_2 的連線上。指出 Q 點出現的干涉類型並說出原因。 (2 分)

相消干涉

實驗題

5.4 35 施敏在水波槽中產生一系列直線波 (圖 ai)。



圖 ai

(a) 她獲提供一系列直線形障礙物。試以繪圖輔助，描述她如何利用這些道具來產生類似圖 aj 所示的干涉圖形。 (3 分)



圖 aj

(b) 她移走 (a) 部的裝置，然後如圖 ak 所示，用兩組電動機和小球來產生類似圖 aj 所示的干涉圖形。

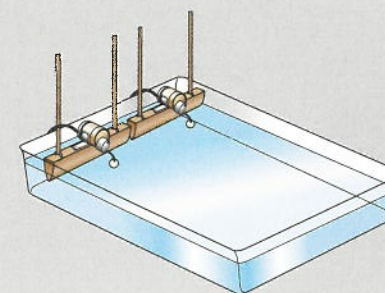


圖 ak

你認為她可以觀察到穩定的干涉圖形嗎？試簡單解釋。不可以 (2 分)

□ Q31 考試報告：本題是有關波動的直接題目，所用的處境是水池深淺區域上水面波動的情況。考生表現良好。

(a) 大部分考生知道水面產生的是橫波，但部分英文卷的考生卻未能正確串出 'transverse'。

(b) 部分能力較弱的考生認為水波能將盒子沿水波移動的方向「推」向池邊。

(c) 部分能力較弱的考生在推論水波速度與池水深度的關係時，未能根據題目提供有關水波由深水區域到淺水區域造成波長減少的資料，提出清晰及具邏輯的說法。

□ Q32 考試報告：

(a) 部分考生錯誤地將波節描述為最小振幅振動的點。大部分考生正確描述波腹為最大振幅振動的點，但也有部分考生錯誤描述為最大位移振動的點。

(b) 大部分考生知道波到達滑輪處會發生反射，但不少考生卻因沒有提及入射波與反射波的干涉而被扣 1 分。考生在 (ii) 和 (iii) 部的表現令人滿意。在 (iv) 部，大部分考生知道波動方程，但有少部分考生得到錯誤的速率 7200。

(c) 很多考生不明白本部分須以計算的方式來作答。本部分可用來辨別考生的能力，能力較強的考生能夠計算出新的速率和波長。

□ Q34 考試報告：考生在 (a) 部表現令人失望，極少考生能辨別腹線 L_1 及節線 L_2 的正確位置，以致不能畫出平滑曲線穿越每條線上的標點，很多人把 L_1 和 L_2 錯畫成直線，只有能力較佳者能準確指出當 S_1S_2 間距縮短導致 L_1 和 L_2 的距離增加。考生在 (b) 和 (c) 的表現令人滿意，但很多人不能找到在 Q 點的正确程差。

物理文章分析

- 36** 以下文章與網球拍上的波動有關。閱讀後回答以下問題。

網球拍上的波動

用網球拍擊球時，手會感覺到球拍因受網球撞擊而產生的振動。事實上，球拍的振動是一個駐波（圖 a1）。這個駐波的一個波節鄰近球拍線的中心，另一個波節則在手柄上。若握拍的位置正確，且用球拍線上波節的位置擊中網球，手所感覺到的振動便會大大減低。

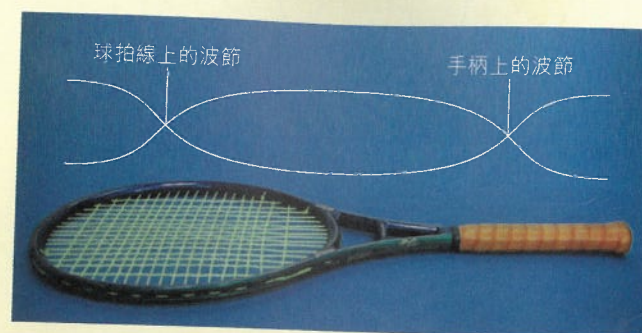


圖 a1

- (a) 若球拍上兩個波節之間的距離是 0.5 m，駐波的波長是多少？ **1 m** (1 分)
- (b) 假設球拍上波的速率是 140 m s^{-1} 。求波的頻率。 **140 Hz** (2 分)
- (c) 若想減低手所感覺到的振動，應握着球拍上的哪個位置？ **波節** (1 分)

綜合題 37 香港中學會考 2011 年卷一 Q3

閱讀以下有關海嘯的文章，並回答以下問題。

海嘯

當海底發生地震，震區上面的海水會有垂直位移。隨着海水嘗試重返平衡狀態，便會產生波浪。當大面積的海床升高或下降時，便可能產生海嘯。除了地震，山泥傾瀉和海底的火山爆發也可引發海嘯。

海嘯跟因風而起的波浪有所不同。一般我們在海灘見到因風而起的波浪，波長可能有 150 m，週期約 10 s。但海嘯的波長可超過 100 km，週期可達數小時。

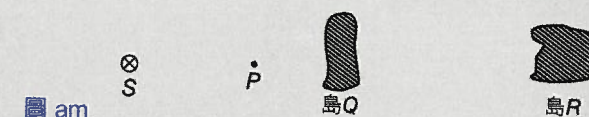
因其波長很長，海嘯可被視作淺水波。淺水波的波速遵從以下方程

$$v = \sqrt{gd}$$

方程中 g 是重力加速度，而 d 是水深。

海嘯可傳播很遠的距離，而散失的能量有限。當海嘯自深海開闊水域傳播至近岸時，它的波速減慢，其高度卻增加。海嘯登岸時，其高度可超過海平面 20 m 或以上，造成嚴重破壞。

- (a) 指出兩種可以引發海嘯的自然現象。 (2 分)
- (b) 太平洋普遍的水深約為 4000 米。如該處發生海嘯，試估算其波速。 **200 m s^{-1}** (1 分)
- (c) 如圖 am 的地圖所示，地震在 S 點的海底發生並引發海嘯。Q 和 R 兩島均受海嘯侵襲。



- (i) 為甚麼即使在島 R 和 S 點之間有島 Q 阻隔，島 R 仍受海嘯侵襲？ (1 分)
- (ii) 海嘯發生時有一船隻正在深海開闊水域 P 點處，如圖 am 所示。接到海嘯警報後，該船的船長決定把船留在 P 點而不駛回島 Q。試根據上述文章，評論船長的決定是否正確。 **正確** (2 分)

自我評核 5

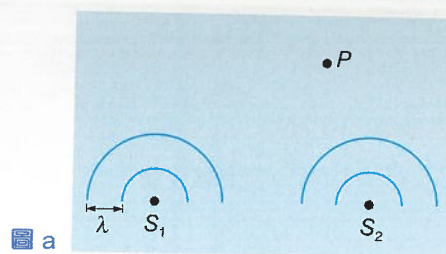
時間：15 分鐘 總分：13 分

答題須知

- 1 全部題目均須作答。
- 2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 3 答案須寫在預留的空位內。
- 4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 5.4 1 兩個相干的波源 S_1 和 S_2 在水波槽中產生波長為 λ 的圓形水波 (圖 a)。水波在 P 點發生相長干涉。



下列哪些敘述是正確的？

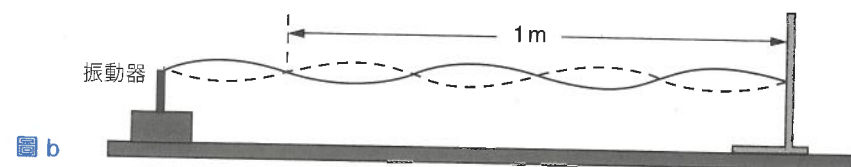
- (1) P 與 S_1 的距離必定相等於波長的整數倍。
- (2) 位於 P 點的粒子總是處於波峯。
- (3) 位於 P 點粒子的位移遵從疊加原理。

- A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

B

乙部

- 5.5 2 學生利用圖 b 所示的裝置示範如何在繩子上產生駐波。



- (a) 試解為甚麼繩子上會形成駐波。

(2 分)

- (b) (i) 圖中所示駐波的波長是多少？

(1 分)

0.5 m

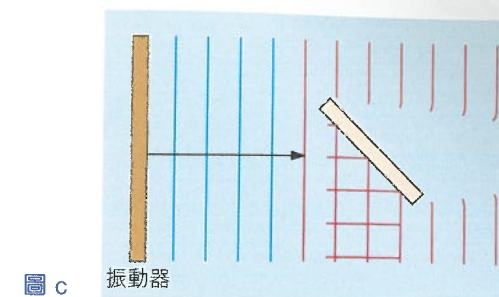
- (ii) 如果振動器的頻率是 40 Hz，繩子上波的速率是多少？

(2 分)

20 m s⁻¹

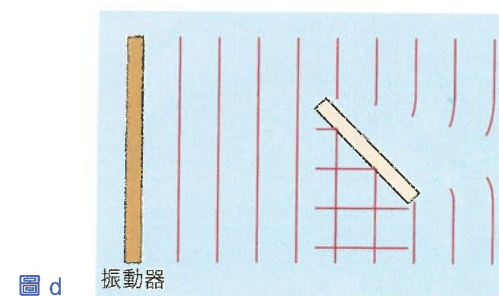
- 綜合題 3 可欣透過觀察在水波槽中的水波來研究波的現象。

- (a) 如圖 c 所示，她向直線形障礙物產生一系列直線水波。波的傳播方向與障礙物成 45° (圖 c)。在圖 c 繪畫觀察到的水波圖形。(2 分)



- (b) 可欣調低振動器的振動頻率。

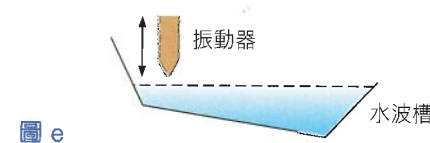
- (i) 在圖 d 繪畫觀察到的水波圖形。(2 分)



- (ii) 解釋水波圖形的改變。

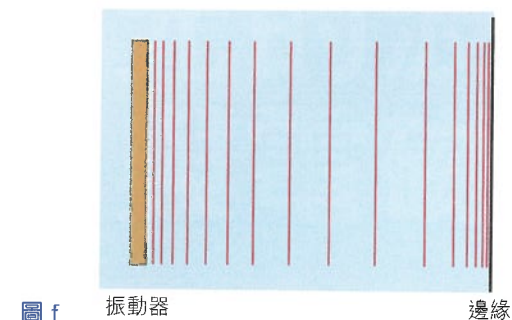
(2 分)

- (c) 可欣把障礙物移走，然後如圖 e 所示把水波槽傾斜。假設水波到達水波槽的邊緣後不會反射。



- 在圖 f 草繪振動器產生的水波圖形。

(1 分)





6

光的波動本質 與電磁波

我們在這一課會學到

- 光的波動本質
- 雙縫和平面透射光柵產生的干涉圖形
- 電磁波的特性

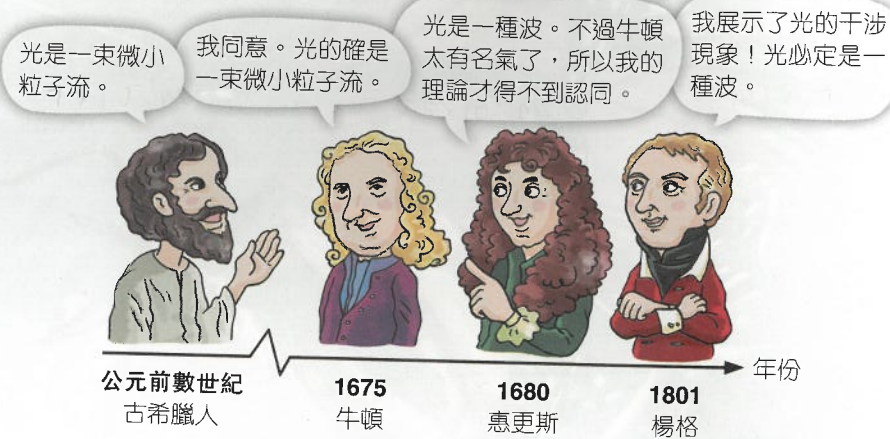
6.1

光的波動本質

起點

光的本質

很久以前，人類便開始思考光的本質是甚麼。以下是一些科學家對這問題的看法，你知道他們探索的經過嗎？



✓ 本節重點

- 1 光的波動本質
- 2 光的衍射
- 3 光的干涉

牛頓和惠更斯的部分：p.108
楊格的部分：p.112、115
光的干涉現象經展示後所發生的事：p.114

1 光是粒子還是波？

正如第5課所述，能展示出衍射和干涉的，必定是波。那麼，到底光是波還是粒子呢？

很久以前，科學家對這個問題持有不同意見。1680年左右，惠更斯（圖 6.1a）等科學家提出了光是一種波的說法。然而，這個說法卻與日常的觀察結果有所出入：光通過狹縫時，並不像水波一樣會發生衍射（圖 6.1b）。所以，牛頓等的另一批科學家認為光不是波，而是一束束的微小粒子流。

牛頓在研究物體運動和引力方面成就卓越，促使他的這套粒子流理論廣受科學界支持。直至約1800年，科學家在研究光的衍射和干涉現象取得成果，情況才改變過來。



圖 6.1a 惠更斯 (1629–1695)

惠更斯 Christiaan Huygens

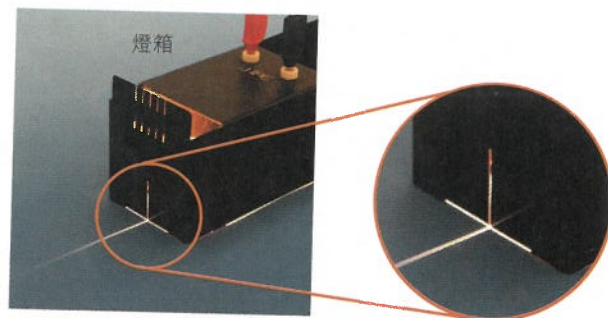


圖 6.1b 光通過狹縫後，看似沒有擴散（衍射）

第一個詳細觀測光的衍射的人是意大利物理學家格里馬地(Grimaldi)，他於1665年發表研究成果，但要等到楊格和菲涅耳提出更多證據後，光的波動理論才廣為人所接受。

a 光的衍射

我們可以在以下實驗觀察到光的衍射。



錄像片段 6.1

→ 錄像片段 6.1 示範實驗 6a。



警告！切勿把激光直射入眼睛。

激光的功率必須低於 1 mW。



實驗 6a

光的衍射

- 1 透過黑膠片上的單縫觀看光線箱內的燈泡（圖 a）。也可把激光射向單縫，將衍射圖形投射在屏幕上（圖 b）。
- 2 用不同闊度的單縫重複實驗。如有不同顏色的激光，也可用來重複實驗。



圖 a 透過單縫觀察光的衍射



圖 b 將衍射圖形投射在屏幕上

討論

- 1 在下列情況中，衍射圖形會怎樣改變？
 - (a) 改變激光的顏色 (a) 在紅光、綠光和藍光中，紅光的衍射幅度最大，藍光則最小。
 - (b) 改變狹縫的闊度 (b) 狹縫較窄時，衍射幅度較大。
- 2 若狹縫闊度達數毫米，就不能觀察到光的衍射。從這結果，可推斷光的波長有甚麼特點？光的波長遠比數毫米短。

i 光的衍射圖形

在實驗中，當紅色激光直接射到屏幕上，會產生如圖 6.1c(i) 所示的強烈光點。如果讓激光先通過狹縫，則會在屏幕上產生如圖 6.1c(ii) 所示的圖形。實驗結果清楚顯示，光通過狹縫後，會擴散到狹縫兩邊的影子區域內，這證明光通過狹縫時發生衍射。

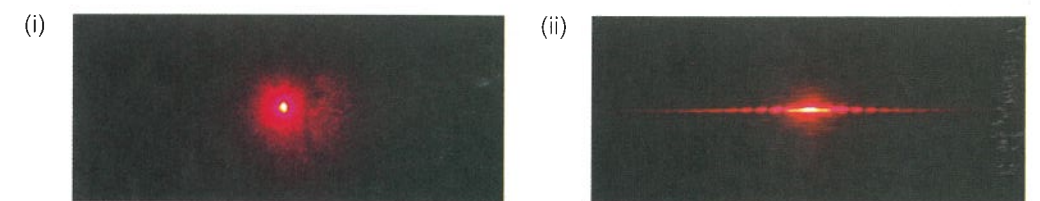


圖 6.1c 光 (i) 直接射向白紙和 (ii) 通過狹縫所產生的圖形

衍射圖形中有明暗相間的條紋，它們的成因超出本書的討論範圍。

干涉圖形每條亮紋的闊度都相同，而衍射圖形則不同，中央亮紋比旁邊的亮紋闊。



模擬程式 6.1

→ 模擬程式 6.1 示範不同色光的衍射。

ii 光的顏色對衍射圖形的影響

從第 5 課可知，波的衍射幅度受波長影響。波長較長時，衍射幅度較大。

圖 6.1d 顯示三個衍射圖形，分別由紅光、綠光和藍光通過同一闊度的狹縫而產生。紅光的衍射幅度最大，藍光則最小。這些結果顯示，如果光真的是波，在這三種顏色中，紅光的波長最長，藍光則最短（圖 6.1e）。

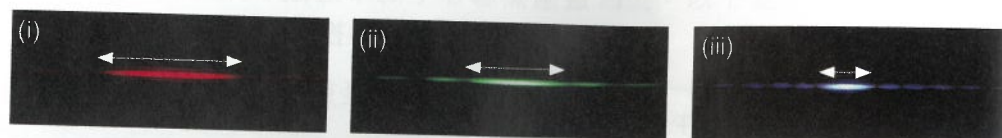


圖 6.1d (i) 紅光、(ii) 綠光、(iii) 藍光產生的衍射圖形

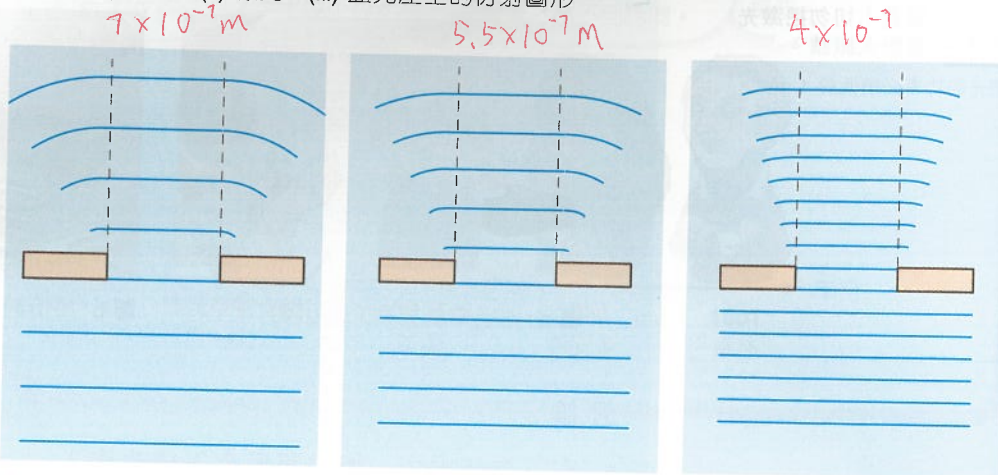


圖 6.1e 波長影響衍射幅度

iii 狹縫闊度對衍射圖形的影響

光的衍射受狹縫的闊度影響。狹縫較窄時，衍射幅度較大（圖 6.1f），情況與水波的衍射相似（圖 6.1g）。



圖 6.1f (i) 較窄的狹縫和 (ii) 較闊的狹縫產生的衍射圖形

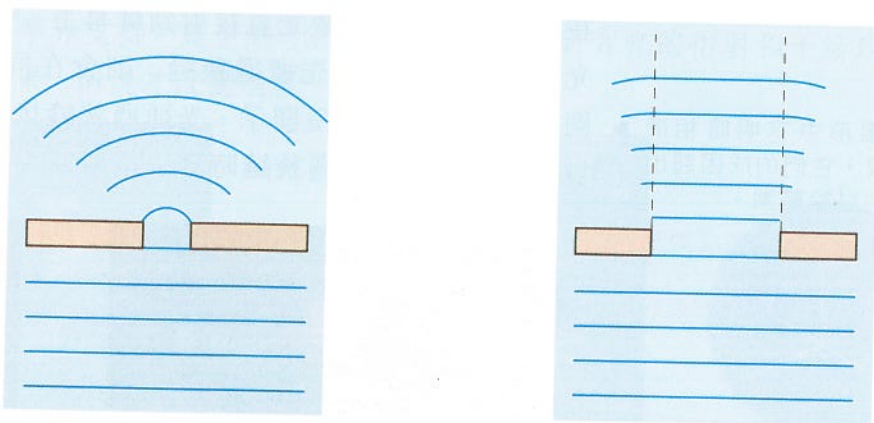


圖 6.1g 狹縫的闊度影響衍射幅度

如果狹縫的闊度遠比波長大，衍射幅度便很小，波好像直穿過狹縫一樣。

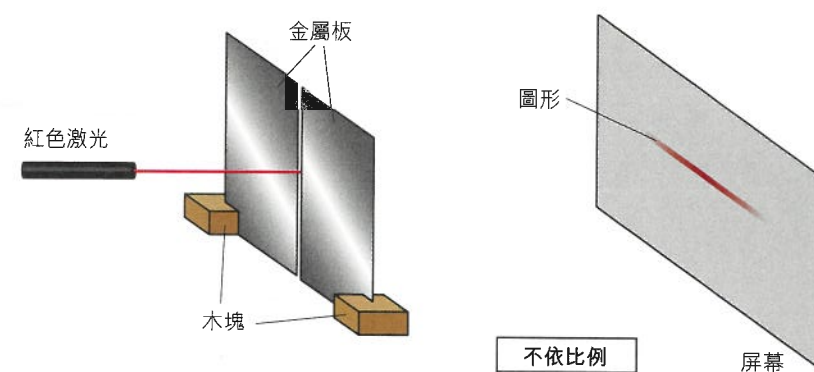
可鼓勵學生去估計狹縫的闊度，並用 λ 來表達結果（如 0.1 mm 約為 200λ ）。這樣，學生便會知道 0.1 mm 闊的狹縫對光來說已經是太闊了。

一般來說，實驗 6a 所用的狹縫闊 $6.25 \times 10^{-5} \text{ m}$ 。我們可以用移測顯微鏡來量度狹縫的闊度。

第 5 課曾提及，狹縫的闊度與波的波長大小相若，衍射才會明顯。在實驗 6a 中所用的狹縫必須很窄，才能觀察到光的衍射，這表示光的波長極短。我們將會在單元 6.2 用實驗的方法找出光的波長，結果顯示光的波長約為 10^{-7} m ，這就解釋了為甚麼光通過燈箱的狹縫（約 1 mm 寬）時，衍射好像沒有發生。

例題 1 光通過狹縫

兩塊金屬板平排放置，中間留有一道狹縫。兩塊金屬板離狹縫較遠的一側都有木塊固定。一束紅色激光射向狹縫，在屏幕上形成圖形（圖 a）。圖形的闊度遠比狹縫闊。



- 屏幕上的圖形由哪種波的現象所產生？
- 為甚麼在日常生活中難以觀察到 (a) 部的現象？
- 假設現在把兩塊金屬板加熱。試描述和解釋屏幕上產生的圖形有甚麼變化。

題解

- 衍射
- 光的波長遠比日常物品的狹縫短。
- 金屬板受熱膨脹，兩者之間的距離減少，光的衍射幅度因而增加，屏幕上所產生的圖形變闊。

▶ 進度評估 1 Q1 (p.113)

上述觀察結果顯示光會發生衍射，由此支持光是波的理論。接下來，我們會看看光是否也會發生干涉。

b 光的干涉



錄像片段 6.2

→ 錄像片段 6.2 示範實驗 6b。



警告！切勿把激光直射入眼睛。

激光的功率必須低於 1 mW。



實驗 6b

光的干涉

- 1 透過雙縫(圖 a)觀看光線箱內的燈泡(圖 b)。也可把激光射向雙縫，將干涉圖形投射在屏幕上(圖 c)。
- 2 用不同狹縫間距的雙縫重複實驗(如有不同顏色的激光，也可用來重複實驗)。

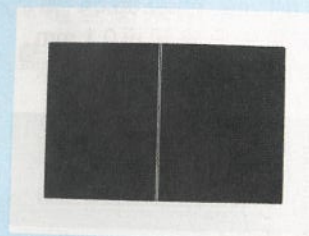


圖 a 雙縫

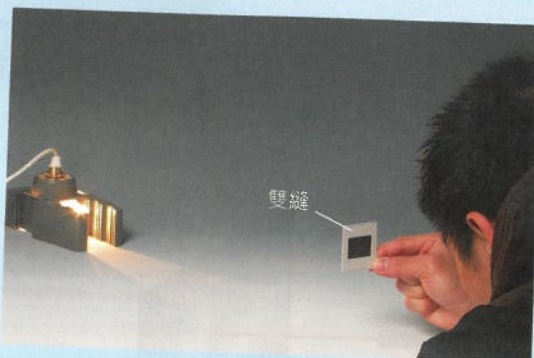


圖 b 透過雙縫觀察光的干涉

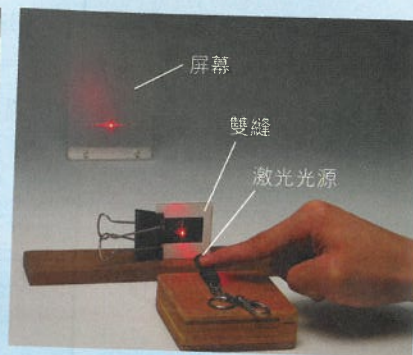


圖 c 將干涉圖形投射在屏幕上

討論

在下列情況中，干涉圖形會怎樣改變？

- (a) 改變狹縫間距 (a) 狹縫間距增加，條紋間距便減少。
- (b) 改變激光的顏色 (b) 在紅光、綠光和藍光中，紅光的干涉圖形條紋間距最大，藍光則最小。

在實驗 6b 中，光通過雙縫後，會產生一系列等距且明暗相間的條紋。圖 6.1h 顯示由紅光產生的干涉圖形。

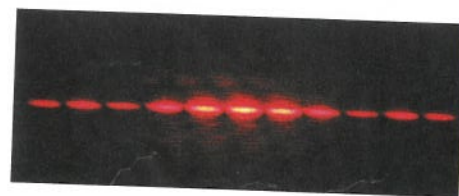
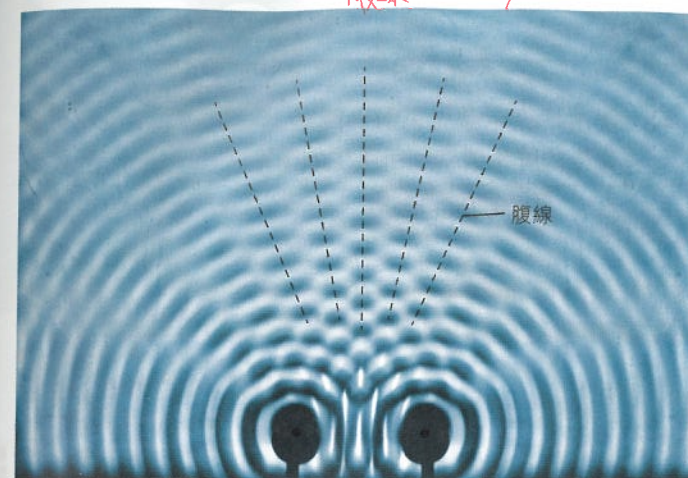


圖 6.1h 紅光產生的干涉圖形

把光視為一種波，就能解釋這個圖形怎樣形成，成因其實與水波的干涉相似(圖 6.1i，見 p.113)。在圖形中，來自兩道狹縫的衍射光，程差會隨位置改變。發生相長干涉的位置對應圖形中的亮紋，發生相消干涉的位置則對應圖形中的暗紋。

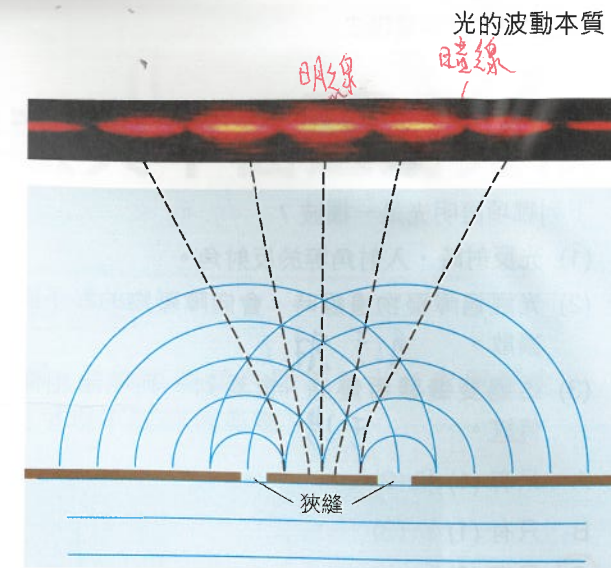
1801 年，楊格首次展示光的干涉現象。我們會在單元 6.2 討論他所做的雙縫實驗。

條紋 fringe 楊格 Thomas Young



(i) 水波的干涉圖形

圖 6.1i 解釋光的干涉圖形



(ii) 光的干涉圖形

相干源

c 光的波動本質

光展示出衍射和干涉現象，牛頓所提出粒子的理論無法解釋這兩種現象怎樣產生。自此之後，愈來愈多科學家摒棄光的粒子理論，改為接受光是一種波這種說法。

2 光線模型還是波動模型？

要繪畫水波的傳播方向，會用垂直於波陣面且帶箭號的直線來表示。對光波來說，這些帶箭號的直線就稱為光線(圖 6.1j)。如果衍射和干涉的影響無須考慮，便可以用光線來表示光波的傳播，就像在 3A 冊所用的表示方式一樣。

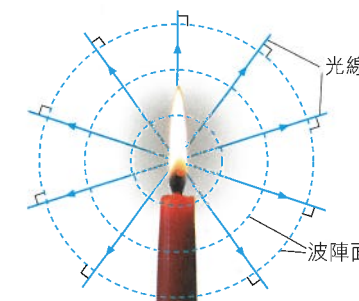


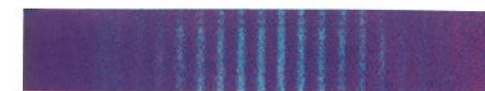
圖 6.1j 光可用波陣面或光線表示

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.108)。

- 21 綠光射向膠片上的一道狹縫，產生衍射圖形。在下列情況中，衍射圖形會怎樣改變？
 - (a) 改用一道較闊的狹縫 衍射幅度減少
 - (b) 改用藍光 衍射幅度減少 $\lambda \downarrow$
- 32 藍光通過雙縫，產生圖 a 所示的干涉圖形。圖形中的亮紋和暗紋分別對應哪一類型的干涉？亮紋：相長干涉；暗紋：相消干涉

圖 a



習題與思考 6.1

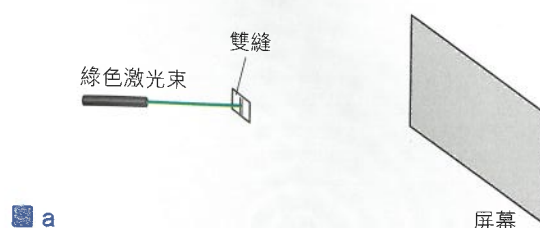
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.108)。

1,2,3 1 下列哪項證明光是一種波？

- (1) 光反射時，入射角等於反射角。
 (2) 光經過障礙物邊緣時，會向障礙物的影子區域擴散。
 (3) 透過雙縫觀看燈絲，會看到一系列明暗相間的條紋。

- A 只有 (1) 和 (2)
 B 只有 (1) 和 (3)
 C 只有 (2) 和 (3)
 D (1)、(2) 和 (3)

3 2 學生把綠色激光束射到雙縫上 (圖 a)，然後在雙縫背後的屏幕觀察到所產生的圖形。



- (a) 描述屏幕上產生的圖形。
 (b) 解釋該圖形的成因。

歷史點滴 思想的碰撞

至此我們看過起點中那些科學家怎樣探索光的本質，但故事尚未完結。楊格發表了光的干涉現象後，立即受到支持粒子理論的科學家猛烈抨擊。1818 年，另一位支持光波理論的科學家菲涅耳利用光波理論解釋光的衍射現象，而支持粒子理論的帕松則試圖證明他是錯的。



菲涅耳 (1788-1827)



帕松 (1781-1840)

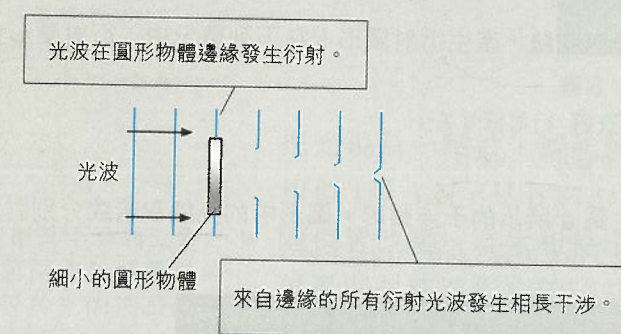


阿拉戈 (1786-1853)

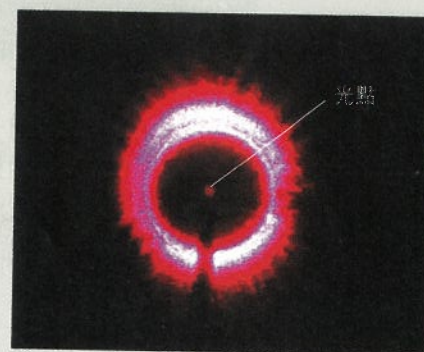
帕松認為，如果光波理論正確，那麼以下實驗便會得出一個荒謬的結果：

一個細小的圓形物體受遠處的光源照射，在屏幕上出現該物體的影子。如果光是一種波，那麼光波經過圓形物體的邊緣時便會發生衍射 (圖 a)。衍射光波到達影子中央時會發生相長干涉，並在那裏產生一個光點。

帕松提出這個看來相當荒謬的預測，試圖否定光波理論。但是，阿拉戈真的做了這個實驗，發現這光點的確存在！這個實驗結果是支持光波理論的鐵證，許多科學家都不得不相信光是一種波。



a 光波經過圓形物體的情況



b 影子中央的光點

菲涅耳 Augustin-Jean Fresnel 帕松 Siméon Poisson 阿拉戈 François Arago
 楊氏雙縫實驗 Young's double slit experiment

6.2

楊氏雙縫實驗與平面透射光柵

起點 蝴蝶的彩色翅膀

很多蝴蝶的翅膀都色彩斑斕，然而這些顏色卻不是由色素所產生。你知道為甚麼蝴蝶的翅膀能呈現不同的色彩嗎？

參閱第 124 頁「生活中的物理」。



✓ 本節重點

- 1 楊氏雙縫實驗的干涉圖形及影響圖形的因素
- 2 $\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$
- 3 平面透射光柵的干涉圖形及影響圖形的因素
- 4 $d \sin \theta = n\lambda$

1 楊氏雙縫實驗

a 實驗裝置與注意事項

1801 年，楊格透過實驗展示了光的干涉，這個實驗現今稱為楊氏雙縫實驗，它對確定光的波動本質有重大幫助。圖 6.2a 顯示該實驗的裝置。

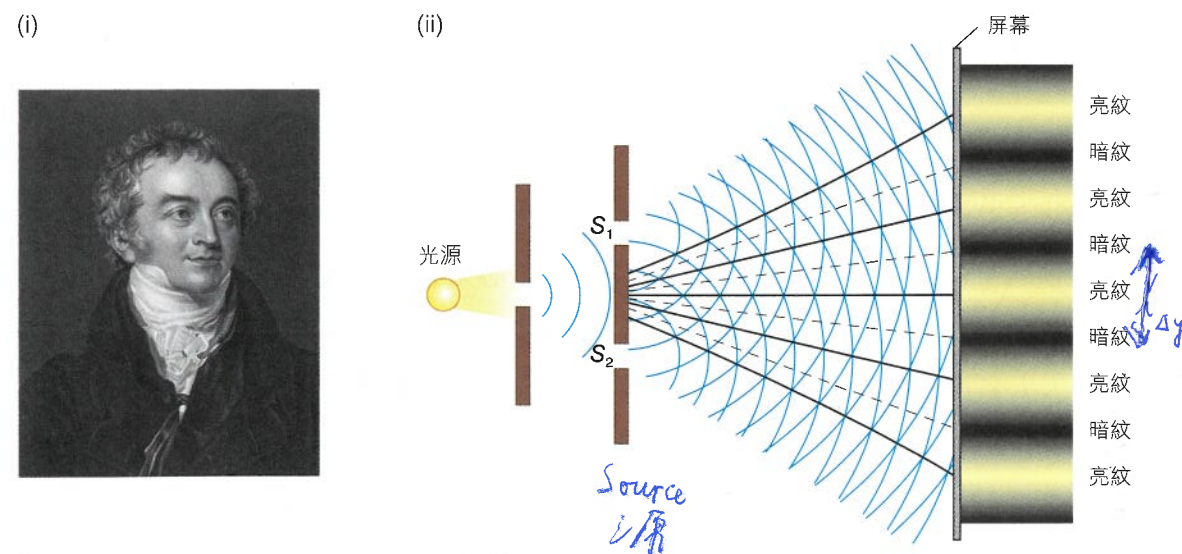


圖 6.2a (i) 楊格 (1773-1829) (ii) 楊氏雙縫實驗

楊氏雙縫實驗 Young's double slit experiment

與水波的干涉相似，如果要以光波產生穩定以便觀察的干涉圖形，來自 S_1 和 S_2 的光波必須符合下列條件。

我們曾在第 5 課 (p.71) 介紹過相干波源。

- 1 S_1 和 S_2 須為相干源 (即兩者頻率相同，相位差恆定不變)。
- 2 光波的振幅須近乎相等。
- 3 S_1 和 S_2 不能相距太遠，兩者的距離應只有數個波長。

這個裝置與實驗 6b (p.112) 在學校實驗室內，我們一般會用圖 6.2b 所示的裝置。

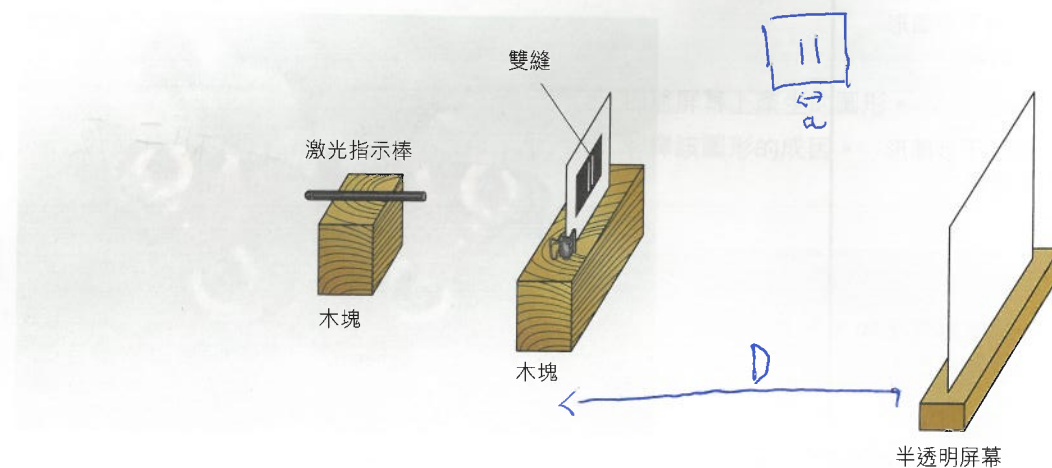


圖 6.2b 學校實驗室所用的雙縫實驗裝置

進行雙縫實驗時，應注意以下事項。

- 1 使用強光源 (圖 6.2c) (或把實驗室保持黑暗)，並遮擋屏幕，防止雜散光射到屏幕上。



圖 6.2c 激光指示棒是其中一種常用的強光源

提醒學生狹縫的闊度必須與光的波長相若。

- 2 狹縫應儘量狹窄。
- 3 兩道狹縫的間距必須很小 (~0.5 mm)。
- 4 屏幕應與雙縫保持適當距離 (1–2 m)，一邊確保各條紋清晰可辨，一邊避免干涉圖形的亮度過低。
- 5 如果以燈絲燈泡作為光源，須確保燈絲與雙縫平行。
- 6 使用單色光 (即單一波長的光，如激光) 以產生清晰的條紋。

單色光 monochromatic light



模擬程式 6.2

→ 模擬程式 6.2 展示雙縫產生的干涉圖形。學生可選擇不同色光並改變狹縫間距，以觀察干涉圖形的改變。

b 影響干涉圖形的因素

與水波的干涉相似，光的干涉圖形受以下因素影響。

i 狹縫間距

狹縫間距增加，條紋間距便減少 (圖 6.2d)。

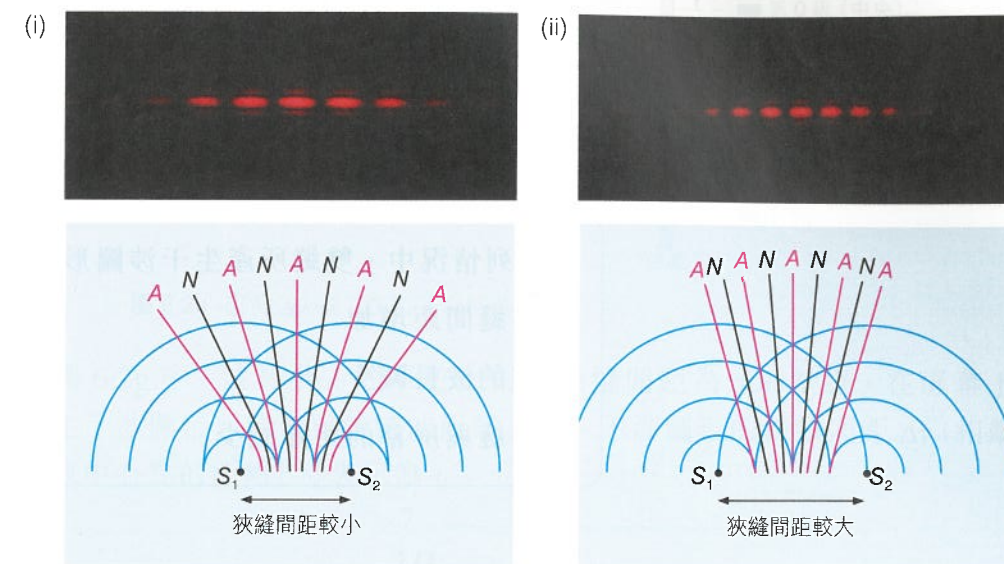


圖 6.2d 狹縫間距 (i) 較小和 (ii) 較大的雙縫產生的干涉圖形

ii 波長

光的波長減少，條紋間距便減少 (圖 6.2e)。

與紅光和藍光相比，綠光的干涉圖形又會怎樣？

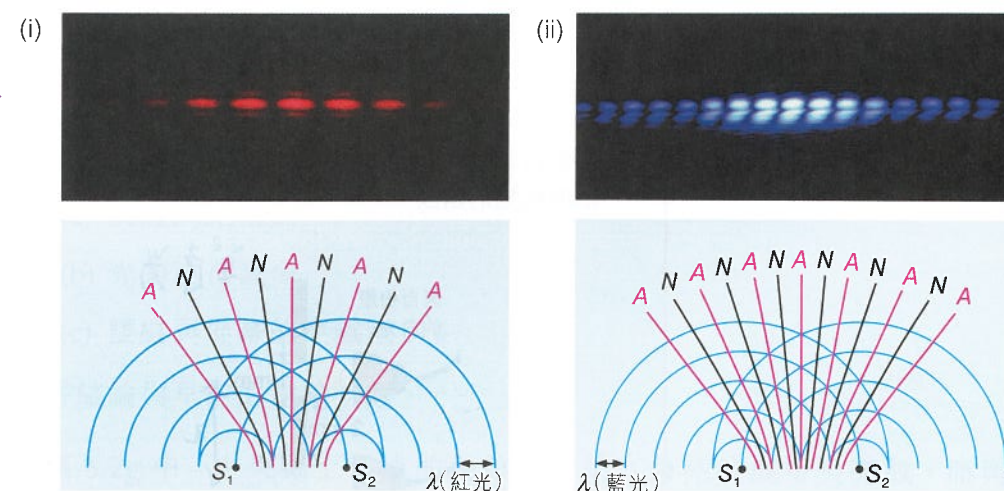


圖 6.2e (i) 紅光 (波長較長) 和 (ii) 藍光 (波長較短) 產生的干涉圖形

iii 雙縫與屏幕的距離

雙縫與屏幕的距離減少，條紋間距便減少（圖 6.2f）。

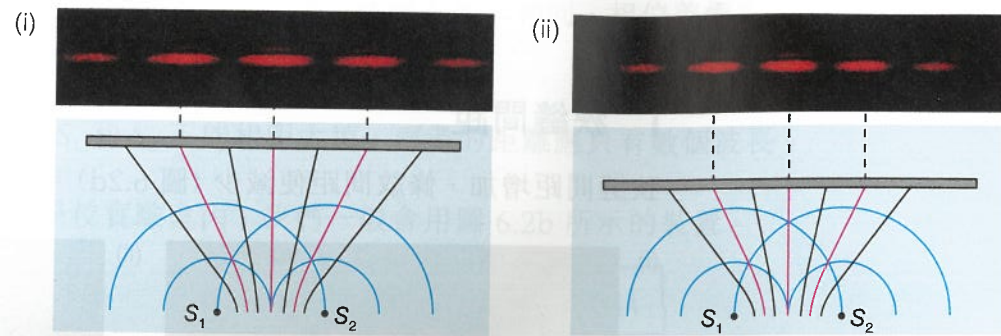


圖 6.2f 在 (i) 較遠和 (ii) 較近的屏幕上產生的干涉圖形

在下列情況中，雙縫所產生干涉圖形的條紋間距會減少：

- 1 狹縫間距增加
- 2 光的波長減少
- 3 雙縫與屏幕的距離減少

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.115）。

- 11 綠色光線通過雙縫後，在屏幕上產生干涉圖形。如果出現下列各項改變，條紋間距會有甚麼變化？

- (a) 用黃色光取代綠色光。增加
- (b) 用狹縫間距較小的雙縫。增加
- (c) 把屏幕移到距離雙縫較近的位置。減少

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$$

- 12 學生打算利用圖 a 所示的裝置進行楊氏雙縫實驗，以產生明顯的條紋。試指出他所犯的錯誤。光源不相干；狹縫太大；狹縫間距太大；雙縫與屏幕太近。

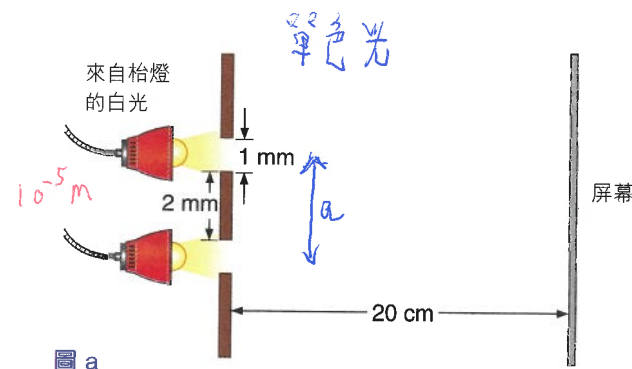


圖 a

c 計算條紋間距

圖不依比例繪製。一般而言，屏幕與雙縫的距離 D 約為 1 m，狹縫間距 a 則約為 0.5 mm。

提醒學生條紋間距（及狹縫間距）指條紋中心（狹縫中心）之間的距離，而不是條紋之間黑暗區域的間距。

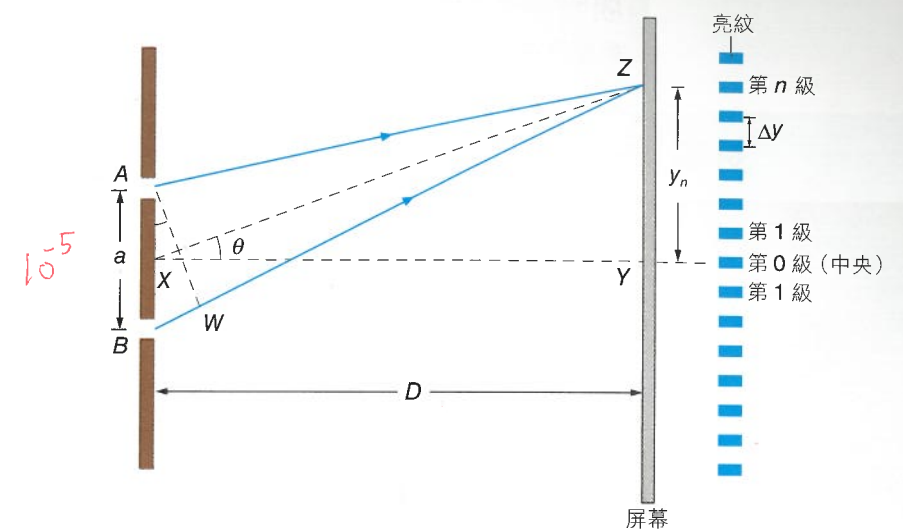
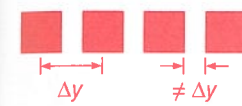


圖 6.2g 研究 Δy 、 λ 、 D 和 a 之間的關係

在圖 6.2g 中，波長為 λ 的單色光射向狹縫間距為 a 的雙縫，在屏幕上產生干涉圖形。屏幕與雙縫的距離為 D 。干涉圖形的條紋間距 Δy （相鄰亮紋中心點的距離）可表示為：

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{a} \quad (\text{適用於 } D \gg a)$$

這公式也可以用來計算相鄰暗紋的距離。

上述公式只適用於以下兩項條件同時符合的情況：

- 1 D 遠大於 a ($D \gg a$)；
- 2 屏幕上干涉圖形的大小遠比 D 小。

從以上結果，我們知道：

- 1 在整個干涉圖形中，條紋間距保持不變，即條紋是等距的；
- 2 在下列情況中，條紋間距會減少：
 - (a) 狹縫間距增加
 - (b) 光的波長減少
 - (c) 雙縫與屏幕的距離減少

參看第 117 至 118 頁。這些結論與早前的討論一致。

在圖 6.2g 中，中央軸上形成的亮紋稱為第 0 級亮紋或中央亮紋，而與它相鄰的左右兩道亮紋稱為第 1 級亮紋，依此類推。此外，更深入的研究顯示，對於第 n 級亮紋，

$$a \sin \theta = n\lambda \quad (\text{適用於 } D \gg a)$$

補充資料 推導楊氏雙縫公式

以下列出推導楊氏雙縫公式的過程。

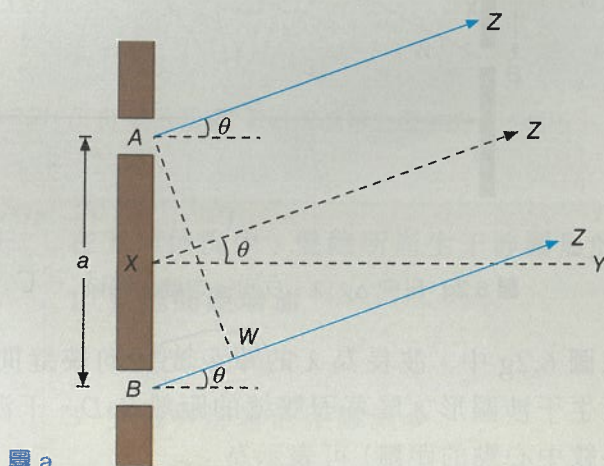
參看第 119 頁圖 6.2g。

在 $\triangle XYZ$ 中， $\tan \theta = \frac{y_n}{D}$ (1)

當 D 遠大於 a ，兩道光線可當作與 XZ 平行：

$$AZ \parallel XZ \parallel BZ$$

換言之，兩道光線與 XY 之間的角度為 θ (圖 a)。



在圖 a 中， W 是 BZ 上的一點，且 $AZ = WZ$ ， $\angle AWB$ 約為 90° 。

$$\begin{aligned} \text{在 } \triangle ABW \text{ 中，} \angle BAW &= 180^\circ - \angle AWB - \angle ABW \text{ (三角形內角和)} \\ &= 180^\circ - 90^\circ - \angle ABW \\ &= 90^\circ - \angle ABW \\ &= \theta \end{aligned}$$

此外， $BW = AB \sin \angle BAW$

$$\therefore BW = a \sin \theta \text{ (2)}$$

兩道光線在 Z 點的程差 = BW

當來自雙縫的兩道光線發生相長干涉，就會產生亮紋。這情況發生在光線的程差相等於波長整數倍的時候。對於第 n 級亮紋，程差為 $n\lambda$ 。

由 (2) 可得：

$$a \sin \theta = n\lambda \text{ (3)}$$

實際上，所觀察到的干涉圖形比距離 D 小得多，所以 θ 的值很小，我們可應用小角近似值：

$$\sin \theta \approx \tan \theta \text{ (4)}$$

把 (1) 和 (4) 代入 (3)，可得：

$$\begin{aligned} a \times \frac{y_n}{D} &= n\lambda \\ y_n &= \frac{n\lambda D}{a} \end{aligned}$$

同樣地，對於第 $(n+1)$ 級亮紋，

$$y_{n+1} = \frac{(n+1)\lambda D}{a}$$

因此，條紋間距是

$$\Delta y = y_{n+1} - y_n = \frac{(n+1)\lambda D}{a} - \frac{n\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$$

對於一個很小的角 (以弧度 rad 為單位)：
 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$
 例如，若
 $\theta = 0.01 \text{ rad } (= 0.57^\circ)$
 則 $\sin \theta = 0.009948$
 $\tan \theta = 0.009949$
 三者大小極之接近。



錄像片段 6.3

→ 錄像片段 6.3 示範實驗 6c。



警告！切勿把激光直射入眼睛。

激光的功率必須低於 1 mW。

d 光的顏色與波長

現在，我們可以用雙縫來找出單色光的波長。



實驗 6c

利用雙縫找出光的波長

- 1 如圖 a 所示裝置實驗器材。
- 2 把激光的干涉圖形投射在屏幕上，量度雙縫與屏幕的距離 D 和條紋間距 Δy 。
- 3 如有不同顏色的激光，也可用來重複步驟 2。



圖 a

討論

光的波長大約是多少？

紅光的波長約為 $6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

以下例題展示了實驗 6c 的結果。

例題 2

利用雙縫來找出單色光的波長

圖 a 和 b 展示了實驗 6c 的結果。實驗中，雙縫的狹縫間距是 $a = 0.3 \text{ mm}$ ，雙縫與屏幕的距離是 $D = 600 \text{ cm}$ 。試估算紅光和藍光的波長。

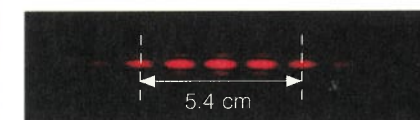


圖 a

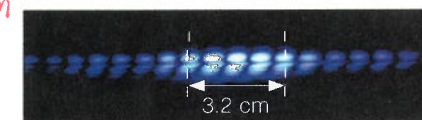


圖 b

我們沒有直接量度相鄰條紋的間距，而是量度多段條紋的總距離後再計算出來。這樣做能減少量度引致的百分誤差。

題解

$$D = 600 \text{ cm} = 6 \text{ m}, a = 0.3 \text{ mm} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{紅光的條紋間距 } \Delta y = \frac{5.4}{4} = 1.35 \text{ cm} = 0.0135 \text{ m} = 1.35 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\text{藍光的條紋間距 } \Delta y = \frac{3.2}{4} = 0.8 \text{ cm}$$

$$\text{根據 } \Delta y = \frac{\lambda D}{a}, \text{ 可得 } \lambda = \Delta y \times \frac{a}{D}.$$

$$\text{紅光的波長} = 1.35 \times 10^{-2} \times \frac{0.3 \times 10^{-3}}{6} = 6.75 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{藍光的波長} = 0.8 \times 10^{-2} \times \frac{0.3 \times 10^{-3}}{6} = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$$

▶ 進度評估 3 Q1 (p.122)

從例題 2 得知，光的波長約為 10^{-7} m，與單元 6.1 提出的數值一致。深入研究的話，會發現光的波長大約介乎 400 nm 至 700 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)。不同顏色的光各有不同的波長 (和頻率) (圖 6.2h)。

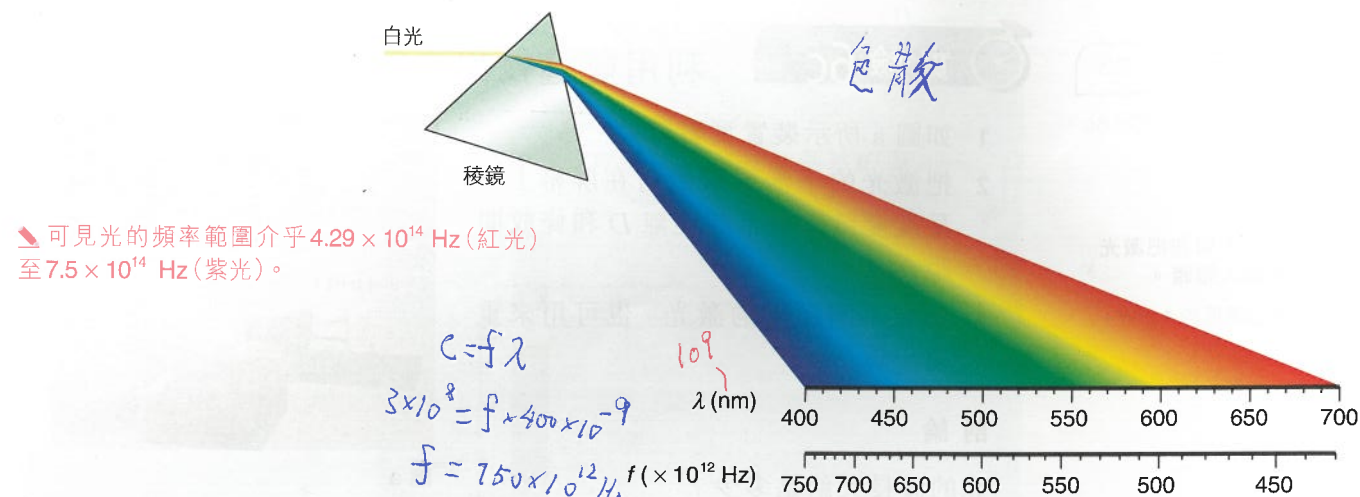


圖 6.2h 可見光的波長大約介乎 400 nm 至 700 nm

進度評估 3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.115)。

- 21 學生用波長為 $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ 的光進行雙縫實驗。光在距離雙縫 1.5 m 的屏幕上產生干涉圖形，圖形上的條紋間距為 $8 \times 10^{-4} \text{ m}$ 。求雙縫的狹縫間距。
- [提示：根據 $\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$ ， $a = ?$]
- $8 \times 10^{-4} = \frac{5 \times 10^{-7} \times 1.5}{a}$ Exp

2 平面透射光柵

平面透射光柵是衍射光柵的一種。它以玻璃或膠片製成，上面畫滿許多等距的不透明平行線 (圖 6.2i)，線與線之間形成一道道狹縫，所以光柵上的狹縫數目眾多。舉例來說，圖 6.2i 內的光柵每毫米刻有 600 條線，即是說每毫米有 600 道狹縫。

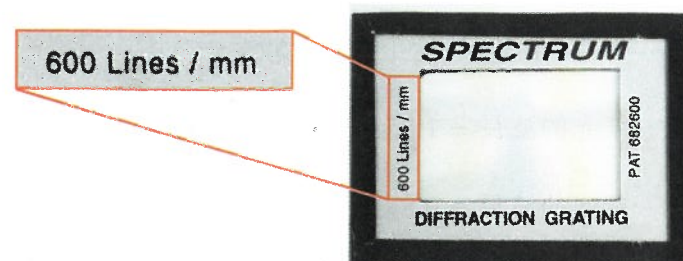


圖 6.2i 平面透射光柵

錄像片段 6.4

→ 錄像片段 6.4 示範實驗 6d。



警告！切勿把激光直射入眼睛。

激光的功率必須低於 1 mW。

實驗 6d 平面透射光柵

- 1 透過每毫米刻有 300 條線的細紋光柵，觀看光線箱內的燈泡 (圖 a)。
- 2 用每毫米刻有 100 條線的粗紋光柵重複步驟 1。
- 3 也可把激光射向細紋光柵，將圖形投射在屏幕上 (圖 b)。
- 4 用粗紋光柵重複步驟 3。如有不同顏色的激光，也可用來重複步驟 3。



圖 a



圖 b

討論

- 1 平面透射光柵產生的圖形與雙縫產生的圖形有甚麼分別？
光柵產生的條紋較光亮，相鄰的條紋也分隔得較遠。
- 2 在下列情況中，平面透射光柵產生的圖形會怎樣改變？
(a) 改用粗紋光柵 條紋間距減少。
(b) 改變激光的顏色 在紅光、綠光和藍光中，紅光的圖形條紋間距最大，藍光則最小。

a 平面透射光柵產生的干涉圖形

圖 6.2j 顯示平面透射光柵所產生的干涉圖形。雖然圖形同樣由條紋組成，但看起來卻跟雙縫產生的干涉圖形不一樣 (圖 6.2k)。光柵產生的條紋較光亮，相鄰的條紋也分隔得較遠。



圖 6.2j 平面透射光柵產生的條紋



圖 6.2k 雙縫產生的條紋

這兩幅相片是依照比例刊出的。光柵產生的圖形比雙縫大一倍以上；如果光柵產生的圖形闊度為數厘米，雙縫產生的圖形闊度便只有不足一毫米，看起來只不過是一個光點。

$$\frac{1 \text{ mm}}{600} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{600}$$

$$d = 1.67 \times 10^{-6} \text{ m}$$

光波通過平面透射光柵時，會在每道狹縫發生衍射。在某些特定方向，來自每道狹縫的衍射波會發生相長干涉，在屏幕上產生亮紋（圖 6.2l）。

相長干涉發生時，任何兩道光線的程差須等於光的波長的整數倍。在這裏，光線的程差是指光線所行走路徑長度的差。

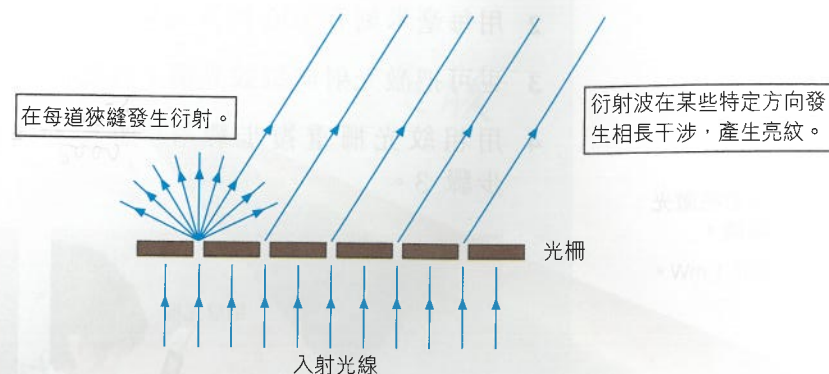


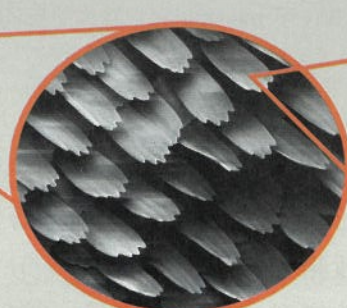
圖 6.1l 在某個方向，來自每道狹縫的衍射波發生相長干涉，產生亮紋

生活中的物理

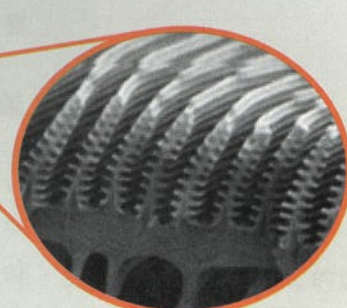
蝴蝶的彩色翅膀



圖 a



放大 200 倍



放大 15 000 倍

蝴蝶的翅膀其實是一塊透明膜，上面佈滿鱗片，每塊鱗片都有多層的微觀結構（圖 a）。

光照射在蝴蝶翅膀上，就會在每一層發生反射。對於特定顏色（即波長）的光，來自每一層的反射波剛好發生相長干涉（光波的程差 $= n\lambda$ ）（圖 b），這種顏色的光便顯得特別鮮明。隨著翅膀上的位置不同，這些多層微觀結構的厚度也有所不同，因此就會顯現出不同的顏色。這正好解答了起點的問題。

以下影片解釋變色龍如何利用一個相似的機制來改變身體的顏色。

<https://www.youtube.com/watch?v=SQggDnScsvI>



圖 b



b 影響干涉圖形的因素

從實驗 6d 可得知，平面透射光柵產生的干涉圖形受以下因素影響。

也稱為「狹縫間距」。

i 柵線間距

平面透射光柵的柵線間距是光柵上兩道相鄰狹縫之間的距離。舉例來說，對於一塊每毫米刻有 600 條線的光柵，

$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m} \quad \text{柵線間距} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{600 \text{ 條}} = 1.67 \times 10^{-6} \text{ m}$$

光柵的柵線間距愈大，產生的條紋間距愈小（圖 6.2m 和 6.2n）。



圖 6.2m 細紋光柵（柵線間距較小）產生的亮紋



圖 6.2n 粗紋光柵（柵線間距較大）產生的亮紋

ii 波長

光的波長愈短，產生的條紋間距愈小（圖 6.2o 和 6.2p）。

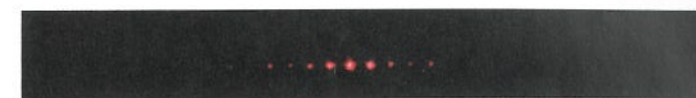


圖 6.2o 紅光（波長較長）產生的亮紋



圖 6.2p 藍光（波長較短）產生的亮紋

iii 光柵與屏幕的距離

光柵與屏幕的距離愈短，產生的條紋間距愈小（圖 6.2q）。

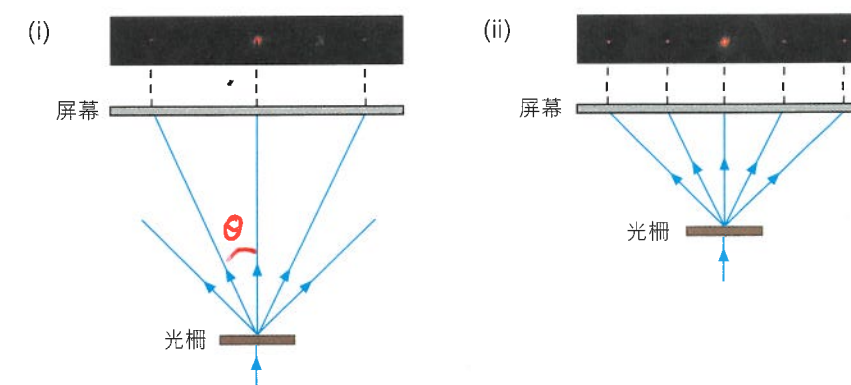


圖 6.2q 在 (i) 較遠屏幕和 (ii) 較近屏幕產生的干涉圖形

在下列情況中，平面透射光柵所產生干涉圖形的條紋間距會減少：

- 1 柵線間距增加
- 2 光的波長減少
- 3 光柵與屏幕的距離減少

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.115)。

1 雙縫產生的條紋較平面透射光柵產生的 (光亮 / 暗淡), 也分隔得較 (遠 / 近)。

32 一塊平面透射光柵每厘米刻有 5000 條線。求它的柵線間距。 $2 \times 10^{-6} \text{ m}$

$$d = \frac{1 \times 10^{-2}}{5000}$$

33 學生把藍色激光射向每厘米刻有 5000 條線的平面透射光柵, 在屏幕產生干涉圖形。下列改變對屏幕上的條紋間距會有甚麼影響?

- (a) 用紅色激光取代藍色激光。增加
(b) 用每厘米刻有 3000 條線的平面透射光柵。減少
(c) 把屏幕移到距離光柵較遠的位置。增加

c 條紋的角位置

在圖 6.2r 中, 波長為 λ 的單色光射向柵線間距為 d 的平面透射光柵, 在屏幕上產生亮紋。屏幕與光柵的距離為 D 。

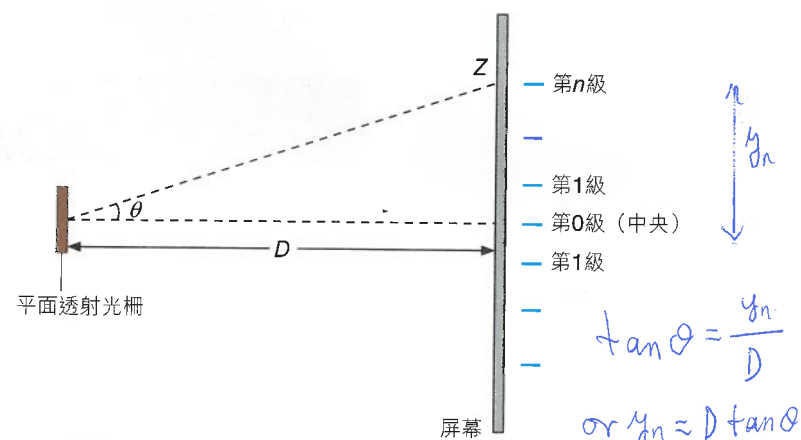


圖 6.2r 光通過光柵產生的條紋

中央軸上形成的亮紋稱為第 0 級亮紋或中央亮紋, 而與它相鄰的兩道亮紋稱為第 1 級亮紋, 依此類推。

對於第 n 級亮紋,

$$d \sin \theta = n\lambda$$

留意 $\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$ 不適用於平面透射光柵產生的亮紋。這些亮紋不是等距的。

θ 就是第 n 級亮紋的角位置。

第 n 級亮紋與中央亮紋之間的距離 y_n 則可由下式求得:

$$\tan \theta = \frac{y_n}{D} \quad y_n = D \tan \theta$$

有時候, 我們要知道可觀察到的條紋的最高級別。考慮正弦函數的上限為 1 ($\sin \theta \leq 1$), 可導出條紋的最高級別就是滿足以下條件的最大整數 n :

$$n = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda}$$

補充資料 推導衍射光柵公式

以下列出推導衍射光柵公式的過程。參看第 126 頁圖 6.2r。

考慮屏幕上的 Z 點。由於屏幕與光柵的距離 D 遠大於柵線間距 d , 所有抵達該亮紋位置的光線可視為互相平行, 與中央軸之間的角度為 θ (圖 a)。這時, 兩道相鄰光線的程差 Δ 如下:

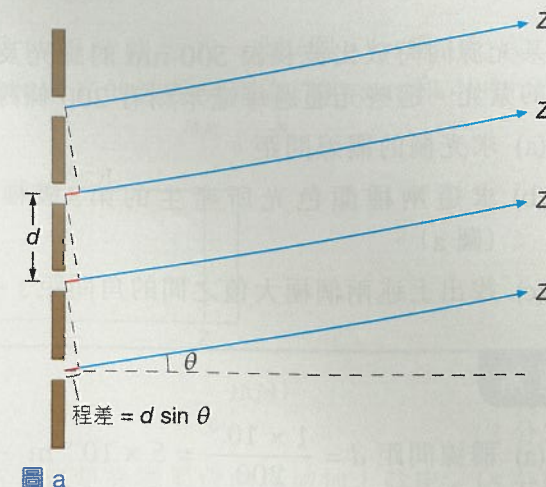
$$\Delta = d \sin \theta \quad (1)$$

當來自光柵的所有光線發生相長干涉, 就會產生亮紋。這情況發生在相鄰光線的程差相等於波長整數倍的時候。對於第 n 級亮紋, 程差為 $n\lambda$ 。

由 (1) 可得:

$$d \sin \theta = n\lambda$$

與楊氏雙縫實驗不同, 平面透射光柵所產生的亮紋的角位置 θ 通常都不小, 所以不能應用小角近似值。



例題 3 條紋的最高級別

波長為 630 nm 的紅色激光射向平面透射光柵, 在距離光柵 1 m 的屏幕上產生以下圖形 (圖 a)。圖形上第 2 級條紋之間的距離是 72 cm。



- (a) 求第 2 級條紋的角位置。
(b) 求柵線間距。
(c) 可觀察到的條紋的最高級別是多少?

題解

(a) 參看圖 b,

$$\tan \theta = \frac{0.72 \div 2}{1}$$

$$\theta = 19.8^\circ$$

第 2 級條紋的角位置是 19.8° 。

(b) 根據 $d \sin \theta = n\lambda$,

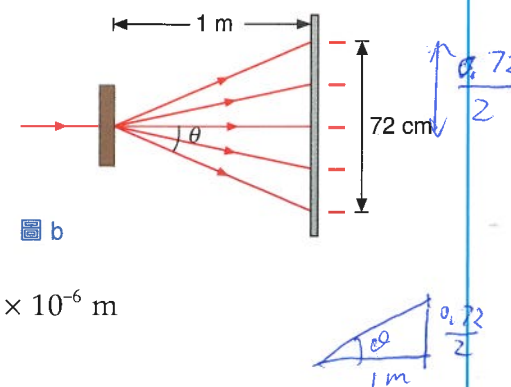
$$d = \frac{n\lambda}{\sin \theta} = \frac{2 \times 630 \times 10^{-9}}{\sin 19.8^\circ} = 3.72 \times 10^{-6} \text{ m}$$

(c) 根據 $d \sin \theta = n\lambda$,

$$n = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{3.72 \times 10^{-6}}{630 \times 10^{-9}}$$

$$\Rightarrow n \leq 5.90$$

條紋的最高級別是 5。



學生或會犯以下錯誤:

$$\tan \theta_4 = \frac{0.72}{1}$$

$$\theta_4 = 35.8^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{\theta_4}{2} = 17.9^\circ$$

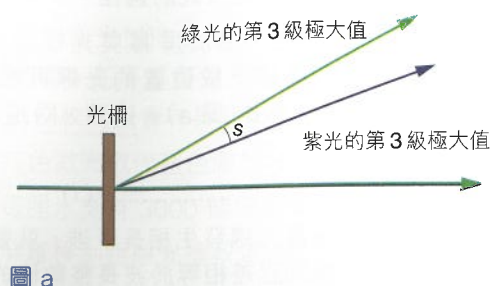
這表示 n 可等於 0、1、2、3、4 和 5, 可觀察到的條紋總共有 11 道。

進度評估 5 Q1 (p.131)

例題 4 多色衍射圖形

某光源同時放出波長為 500 nm 的綠光及波長為 400 nm 的紫光。這些光通過每毫米刻有 200 條線的衍射光柵。

- (a) 求光柵的柵線間距。
 (b) 求這兩種顏色光所產生的第3級極大值的角位置 (圖 a)。
 (c) 找出上述兩個極大值之間的角間距 s 。



題解

(a) 柵線間距 $d = \frac{1 \times 10^{-3}}{200} = 5 \times 10^{-6} \text{ m}$

(b) 根據 $d \sin \theta = n\lambda$,

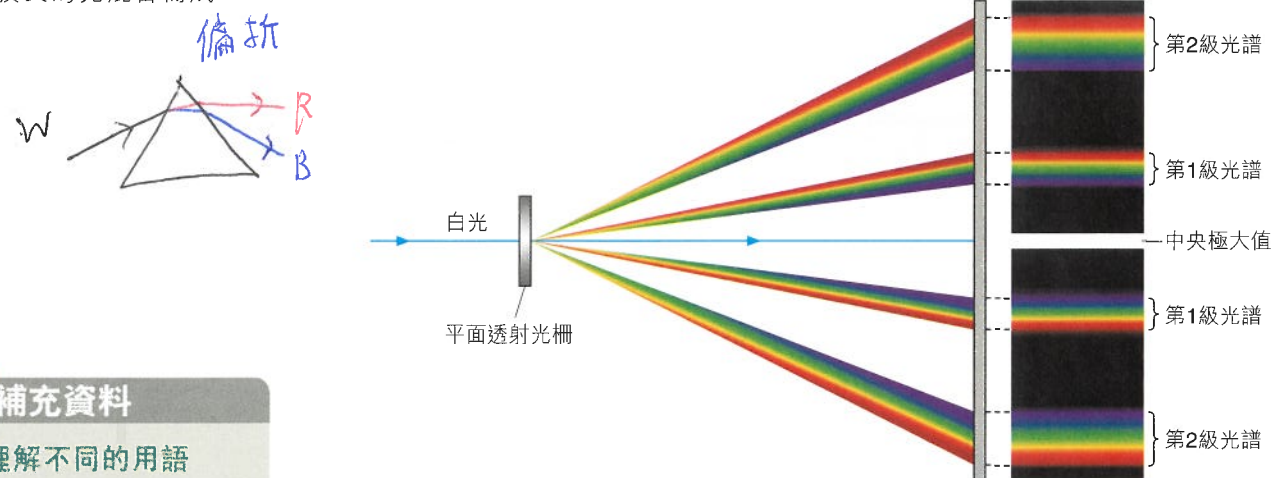
對於綠光, $\sin \theta_g = \frac{n\lambda}{d} = \frac{3 \times 500 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} \Rightarrow \theta_g = 17.46^\circ$

對於紫光, $\sin \theta_v = \frac{n\lambda}{d} = \frac{3 \times 400 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-6}} \Rightarrow \theta_v = 13.89^\circ$

(c) $s = 17.46^\circ - 13.89^\circ = 3.57^\circ$

► 複習 Q13 (p.153)

從以上例子得知, 不同顏色 (波長) 的光會在不同的衍射角形成極大值 (即早前曾提及, 白光是由不同波長的光混合而成)。



補充資料

理解不同的用語

部分題目會採用不同的用語, 例如「第2級衍射光/光束」或「第2級極大值」, 兩者都是對應「第2級條紋」。同樣, 「光的衍射角」對應「條紋的角位置」, 「衍射光的級別」則對應「條紋的級別」。

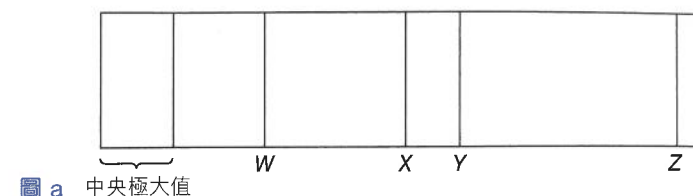
圖 6.2s 白光產生的干涉圖形

這圖形有以下特點:

- 1 中央極大值是白色的。
- 2 在其他級別的極大值有光譜形成。
- 3 光譜 (極大值) 的級別愈大, 範圍愈闊。
- 4 每個光譜的內側都是紫色, 外側都是紅色。
- 5 相鄰光譜有可能重疊。

預試訓練 1 觀察白光產生的干涉圖形 ☆ 香港高級程度會考 2011 年卷一-Q3

小芬透過衍射光柵觀看白光 LED。下圖顯示她觀察到的干涉圖形的一側 (圖 a)。線 W、X、Y 和 Z 代表紅光和紫光首兩個級別的亮紋。已知: 紅光和紫光的波長分別為 700 nm 和 400 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)。



- (a) 試解釋第1級光譜與第2級光譜有沒有重疊。 (2分)
 (b) 據此寫出每條線所代表的色光和級別, 並在圖 a 中所有可見光譜形成的區域加上陰影。 (5分)

題解

(a) 應用 $d \sin \theta = n\lambda$ 。

1M

第1級紅色衍射光:

$$d \sin \theta_{R1} = 1 \times 700 \times 10^{-9}$$

$$\sin \theta_{R1} = \frac{700 \times 10^{-9}}{d}$$

第2級紫色衍射光:

$$d \sin \theta_{V2} = 2 \times 400 \times 10^{-9}$$

$$\sin \theta_{V2} = \frac{800 \times 10^{-9}}{d}$$

$$\sin \theta_{R1} < \sin \theta_{V2} \Rightarrow \theta_{R1} < \theta_{V2}$$

因此第1級光譜與第2級光譜沒有重疊。

1A

如果第1級光譜與第2級光譜重疊, θ_{R1} 就會大於 θ_{V2} 。

(b) 線 W: 第1級紫色衍射光

1A

線 X: 第1級紅色衍射光

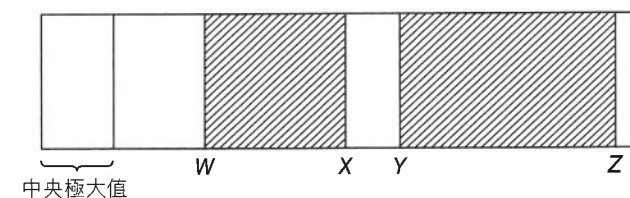
1A

線 Y: 第2級紫色衍射光

1A

線 Z: 第2級紅色衍射光

1A



中央極大值

(陰影區域正確)

1A

► 複習 Q29 (p.157)

d 雙縫與平面透射光柵產生的干涉圖形

從觀察可見，平面透射光柵產生的條紋比雙縫產生的條紋光亮，相鄰的條紋也分隔得較遠（見 p.123）。

平面透射光柵上的狹縫數目遠比雙縫多，能讓較多光通過，所以產生的條紋較光亮。要知道為甚麼平面透射光柵產生的條紋分隔得較遠，就要考慮以下兩條公式：

$$a \sin \theta = n\lambda \text{ (雙縫)} \quad \text{和} \quad d \sin \theta = n\lambda \text{ (光柵)}$$

光柵上相鄰狹縫的間距遠小於雙縫上的狹縫間距，即 $d \ll a$ 。因此，對於同一級別的條紋，光柵所產生條紋的 θ 值較大。也就是說，光柵產生的條紋分隔得較遠。

e 利用光柵來找出單色的波長

在以下實驗，我們會利用平面透射光柵來找出光的波長。

錄像片段 6.5

→ 錄像片段 6.5 示範實驗 6e。

實驗 6e 利用光柵找出光的波長

- 1 兩把米尺以「T」字排列，「T」字的頂部指向 LED（發光二極管）（圖 a）。



- 2 把光柵拿到指向 LED 的米尺的末端，然後透過光柵觀看 LED。
- 3 請同學把一支筆沿另一把米尺移動，直至筆與極大值成一直線。
- 4 記錄每個極大值與中央極大值的距離，並以此計算出每個極大值的角位置 θ 。
- 5 標繪 $\sin \theta$ 對極大值級別 n 的關係線圖。估算光的波長。

討論

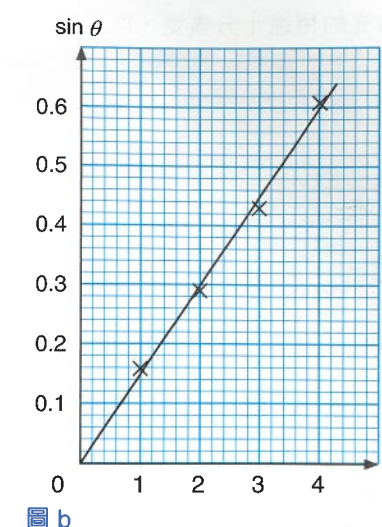
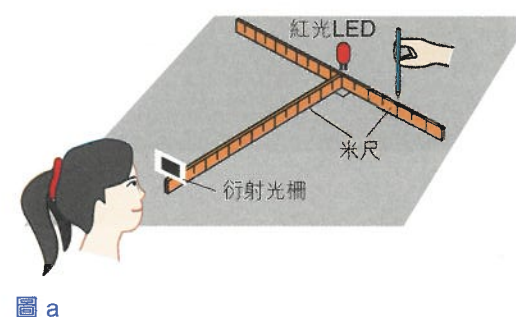
怎樣從線圖求得光的波長？參閱第 131 頁例題 5。

以下例題展示了實驗 6e 的結果。

例題 5 利用光柵來找出波長

小芬如圖 a 所示進行實驗 6e。光柵與紅光 LED 的距離是 1 m。小芬透過光柵觀看 LED 時，看見數條亮紋。她量度亮紋的角位置 θ ，再標繪 $\sin \theta$ 隨亮紋級別 n 變化的關係線圖（圖 b）。

衍射光柵的柵線間距為 4.5×10^{-3} mm。試根據圖 b 找出紅光的波長。



題解

根據 $d \sin \theta = n\lambda$ ， $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} n$ 。

∴ 線圖的斜率 = $\frac{\lambda}{d}$

$$\frac{0.6 - 0}{4 - 0} = \frac{\lambda}{4.5 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}$$

$$\lambda = 6.75 \times 10^{-7} \text{ m}$$

紅光的波長是 6.75×10^{-7} m。

複習 Q33 (p.158)

進度評估 5 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.115）。

41 藍光通過粗紋光柵後，形成亮紋。藍光的波長是 460 nm，光柵的柵線間距是 $d = 10^{-5}$ m。

(a) 求可觀察到條紋的最高級別。21

(b) 求最高級別條紋的角位置。75.0°

$$n \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{1 \times 10^{-5}}{460 \times 10^{-9}} = 21.7$$

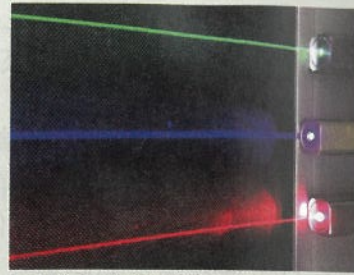
$$d \sin \theta = n\lambda$$

$$10^{-5} \sin \theta = 21 \times 460 \times 10^{-9}$$

$$\theta = 75^\circ$$

生活中的物理 激光

激光(又稱雷射)是一種特別的光源,會發出單一頻率(單色)且同相的光波。這些光波發生相長干涉,形成極強而幼細的光束。為安全計,切勿把激光直射向眼睛。

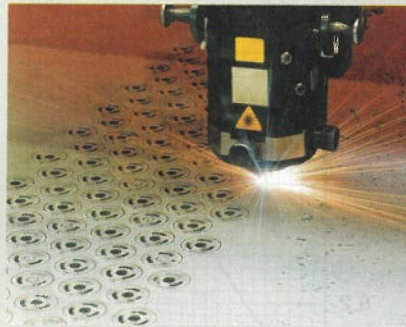


不同顏色的激光光束



激光的警告標誌

激光的用途十分廣泛,以下是激光在日常生活上的一些應用例子。



在金屬上打出精細小孔



掃描條碼



演唱會中的燈光效果

生活中的物理 DVD 光柵

DVD 本身只有一種顏色,但看起來卻色彩繽紛(圖 a)。從不同的角度觀看,甚至會看到不同的顏色。你知道原因嗎?

DVD 上佈滿極小的圓形軌道,作記錄數據之用。軌道之間最短只相隔 740 nm,即 DVD 上每毫米約有 1350 條線。DVD 就像透射光柵,只不過它不是讓光通過,而是把光反射。不同顏色的光會於不同角度發生相長干涉。因此,DVD 上不同位置(眼睛觀看每個位置的角度略有差別)就會呈現不同的顏色。



圖 a

科學本質 光與科學本質

二百年來,經過牛頓、惠更斯、楊格、菲涅耳和阿拉戈等一代又一代科學家的努力,科學界終於達成共識,認為光是一種波。

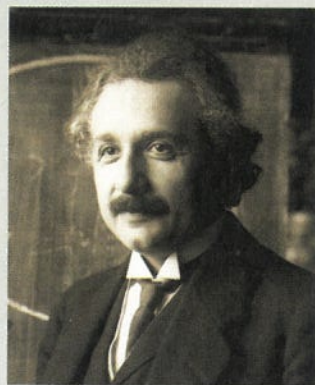
然而,科學界不久對光的本質又再起爭議。1887 年,赫茲發現一個有關光的新效應;但若從光波的角度出發,這個效應根本無法解釋得到。直至 1905 年,愛因斯坦提出把光視為粒子流,並解釋出現這個效應的原因。

今天,我們相信光同時具有粒子和波這兩種本質。

由研究光的本質這個過程中,我們可看到科學本質的一些特點:

- 科學研究着重事實和證據,而非科學家的地位。
- 科學知識會隨新證據出現而改變,有些知識甚至會被推翻。
- 科學知識建基於前人艱苦努力的成果。

故事未必就此完結。你願意繼續努力延續這個故事嗎?



愛因斯坦 (1879-1955)

習題與思考 6.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.115)。

1 光通過平面透射光柵後,在光柵背後的屏幕形成亮紋。這實驗展示光會發生哪些波動現象?

- (1) 折射
- (2) 衍射
- (3) 干涉

- A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2 雙縫和平面透射光柵都會產生明暗相間的條紋。下列哪些有關它們所產生亮紋的敘述是正確的?

- (1) 光柵產生的亮紋分隔得較遠。
- (2) 雙縫產生的亮紋較光亮。
- (3) 兩者產生的亮紋都是等距的。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

3 學生用波長為 570 nm 的單色光進行楊氏雙縫實驗。兩道狹縫之間的距離是 0.2 mm。屏幕上,相鄰條紋之間的距離是 1.7 mm。求屏幕與雙縫的距離。

- A 0.50 m
B 0.55 m
C 0.60 m
D 0.65 m

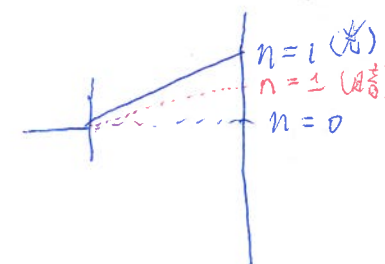
$$\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$$

$$1.7 \times 10^{-3} = \frac{570 \times 10^{-9} D}{0.2 \times 10^{-3}}$$

$$D = 0.60 \text{ m}$$

4 單色光射向雙縫,在屏幕上產生干涉圖形。若光的波長為 λ ,屏幕上第 n 道暗紋(由中央亮紋計起)的位置到兩道狹縫的程差是多少?

- A $(n - \frac{1}{2})\lambda$
B $n\lambda$
C $(n + \frac{1}{2})\lambda$
D $(n + 1)\lambda$



5 學生利用平面透射光柵,在光柵背後的屏幕上產生光的干涉圖形。下列哪些改變會令所產生干涉圖形的條紋間距減少?

- (1) 使用柵線間距較大的光柵。
- (2) 把屏幕移到距離光柵較近的位置。
- (3) 用雙縫代替光柵。

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

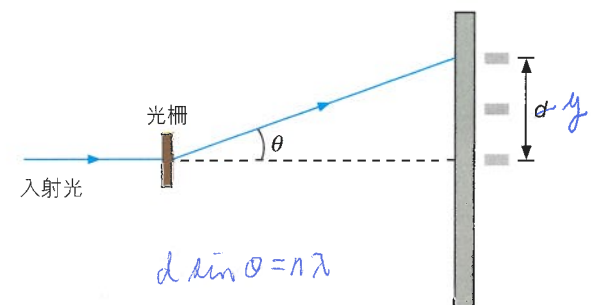
$$d \sin \theta = n\lambda$$

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{d}$$

6 單色光通過平面透射光柵後產生亮紋。下列哪一個組合所產生的亮紋分隔得最遠?

	每厘米線數 $d \downarrow$	光的顏色 $\lambda \uparrow$
A	3000 $\frac{0.01 \text{ m}}{3000}$	紅色
B	3000 $\frac{0.01 \text{ m}}{3000}$	藍色
C	5000 $\frac{0.01 \text{ m}}{5000}$	紅色
D	5000 $\frac{0.01 \text{ m}}{5000}$	藍色

7 學生把單色光射向衍射光柵,在屏幕上產生亮紋。第 2 級亮紋的角位置為 θ ,且與中央亮紋的距離為 d (圖 a)。



$$d \sin \theta = n\lambda$$

圖 a

若改用柵線間距為原先一半的衍射光柵,下列哪一項是正確的?

- A 第 2 級亮紋的角位置會變為 $\frac{1}{2}\theta$ 。
B 第 2 級亮紋的角位置會變為 2θ 。
C 第 2 級亮紋與中央亮紋的距離會變為 $2d$ 。
D 在角位置 θ 會形成第 1 級亮紋。

$$d \sin \theta = n\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{n'\lambda}{\frac{d}{2}} = \frac{2n'\lambda}{d}$$

$$n = 2n'$$

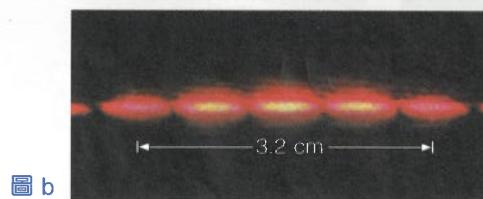
18 (a) 寫出可見光的波長範圍。

(b) 在 (a) 部的範圍內，哪種顏色光的波長最長？
哪種的波長最短？**紅光最長，紫光最短**

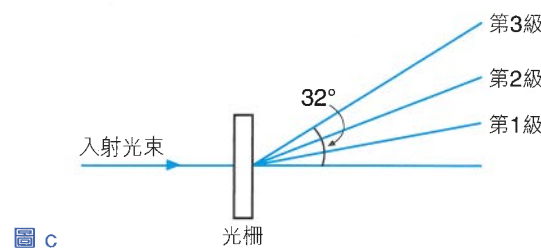
19 在楊氏雙縫實驗中，我們可以用兩個獨立的光源取代原先的單一光源和雙縫，來獲得清晰的干涉圖形嗎？試簡單解釋。**不可以**

110 用雙縫來研究光的干涉時，為甚麼使用單色光會較適合？試簡單解釋。

11 學生利用單色光源進行楊氏雙縫實驗，在距離雙縫 1.2 m 的屏幕上產生亮紋 (圖 b)。若狹縫間距為 6.5×10^{-4} m，光的波長是多少？ **4.33×10^{-6} m**



12 學生把波長為 590 nm 的黃光射向平面透射光柵。第 3 級衍射光束的衍射角是 32° (圖 c)。



(a) 求光柵的柵線間距。 **3.34×10^{-6} m**
(b) 求第 2 級與第 3 級衍射光束之間的角度。 **11.3°**

13 單色光通過雙縫，在屏幕上產生干涉圖形。光的波長為 550 nm，狹縫間距為 0.4 mm，屏幕與雙縫的距離則為 1.6 m。

(a) 求第 4 級亮紋與中央亮紋之間的距離。**0.0088 m**
(b) 屏幕上第 4 級亮紋的位置到兩道狹縫的程差是多少？ **2.2×10^{-6} m**

14 波長為 620 nm 的單色光入射一平面透射光柵，在光柵背後產生亮紋。光柵每厘米刻有 3000 條線。

(a) 求所產生亮紋的最高級別。**5**
(b) 提出一個增加所產生亮紋數量的方法。

15 學生把橙光射向平面透射光柵，在距離光柵 80 cm 的屏幕上產生圖形。光柵每厘米刻有 3200 條線。

(a) 若第 3 級極大值與中央極大值的距離是 55 cm，第 3 級極大值的角位置是多少？ **34.5°**

(b) 據此計算橙光的波長。 **5.90×10^{-7} m**

16 圖 d 顯示紅光通過雙縫後產生的干涉圖形。



(a) 這些亮紋是怎樣形成的？
(b) 提出一個增加亮紋之間距離的方法。

17 (c) 解釋 (b) 部的方法為何適用。

17 在雙縫實驗中，紅光在屏幕上產生由亮紋組成的圖形。

(a) 如果獨立地作出下列改變，條紋間距會有甚麼變化？
(i) 增加狹縫間距。**減少**
(ii) 把屏幕移到距離雙縫較遠的位置。**增加**
(iii) 用藍光取代紅光。**減少**

18 (b) 解釋 (a) 部的答案。

18 學生把波長為 520 nm 的單色光束，射向每毫米刻有 250 條線的平面透射光柵。其中所產生的一道衍射光束與入射方向之間的角度為 23° 。

(a) 求該衍射光束的級別。**3**
(b) 證明該衍射光束並非所產生衍射光束中的最高級別。

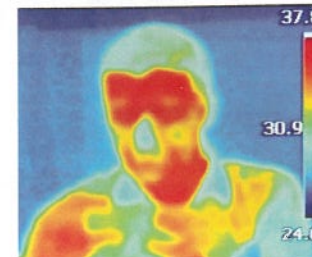
6.3

電磁波 Vs 機械波

起點

人體溫度的差異

這幅影像顯示人體的溫度變化。根據影像右方的標尺，可以知道不同顏色代表的溫度。你知道這幅影像所拍攝的是甚麼嗎？這種影像又是如何產生的？**參閱第 141 頁的旁註。**



本節重點

- 1 電磁波譜
- 2 電磁波的特性
- 3 不同種類電磁波的特性和應用

1 色譜以外的「光」

白光通過稜鏡時，組成白光的各種色光會按各自的波長分散成色譜。那麼在色譜以外，還有沒有其他看不見的「光」呢？我們可以在以下實驗找出答案。



錄像片段 6.6

→ 錄像片段 6.6 示範實驗 6f。



實驗 6f

色譜以外的光

- 1 裝置實驗器材，在屏幕上產生色譜。
- 2 用 3 個溫度感應器 (或 3 支塗黑了溫度計泡的溫度計) 分別量度色譜兩端，以及色譜紅色末端以外區域的溫度 (圖 a)。
- 3 把熒光紙貼在屏幕上，使色譜投射到熒光紙的中間，但不遮蓋熒光紙的兩端 (圖 b)。觀察熒光紙發亮的位置。

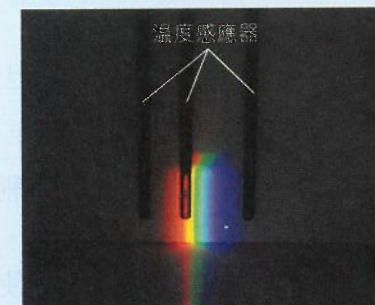


圖 a

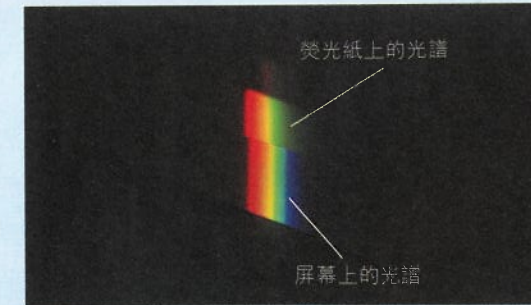


圖 b

討論

- 1 在屏幕上哪個位置量度到溫度上升得最多？**在色譜的紅光以外區域**
- 2 熒光紙上哪個位置發亮？**在色譜的紫光以外區域**

在實驗 6f 中，

- 1 在色譜的紅光以外區域，溫度上升得最多；
- 2 在色譜的紫光以外區域，熒光紙發亮。

上述結果是由色譜兩端以外的一些「光」造成，這些「光」都是看不見的。紅光以外的「光」稱為**紅外輻射**，紫光以外的「光」稱為**紫外輻射**（圖 6.3a）。

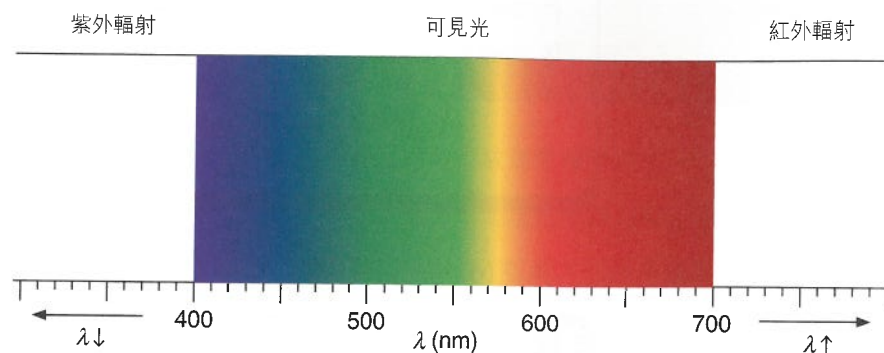


圖 6.3a 紅外輻射和紫外輻射位於可見光譜的兩端外

白光通過稜鏡產生色譜後，色光的位置是按波長的長短而定，由此可以推斷紅外輻射的波長比紅光長，紫外輻射的波長則比紫光短。

在屏幕上出現的比我們看見的更多。原來，色譜以外還有一些看不見的輻射，因此色譜也稱為**可見光譜**。

2 電磁波

在單元 6.1 中，我們展示了光的波動本質，但光波到底是甚麼波呢？

科學家一直無法回答這個問題。直至 1862 年，**麥克斯韋**（圖 6.3b）提出不斷振動變化的電場和磁場會產生一種波，稱為**電磁波**。他計算這種波在真空中的速率，發現結果為 $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，正好就是光在真空中的速率！這大大出乎麥克斯韋的意料之外，也驅使他想到光其實就是一種電磁波。

麥克斯韋也預測還有其他種類的電磁波。1886 年，這個預測獲赫茲以實驗證明。在那一年，赫茲以電火花產生了一種新的波。毫無疑問，這種波是電磁波，他把這種波命名為**無線電波**。



圖 6.3b 麥克斯韋 (1831–1879)

seeing is believing

紅外輻射 infra-red radiation 紫外輻射 ultra-violet radiation 可見光譜 visible spectrum
麥克斯韋 James Clerk Maxwell 電磁波 electromagnetic wave 無線電波 radio wave

繼無線電波後，科學家陸續發現了其他種類的電磁波。電磁波現分類為無線電波、**微波**、紅外輻射、可見光、紫外輻射、**X 射線**和**伽瑪射線**，各種的本質相同，但波長卻相差很大（圖 6.3c）。把各種電磁波按波長排列起來，就組成**電磁波譜**。

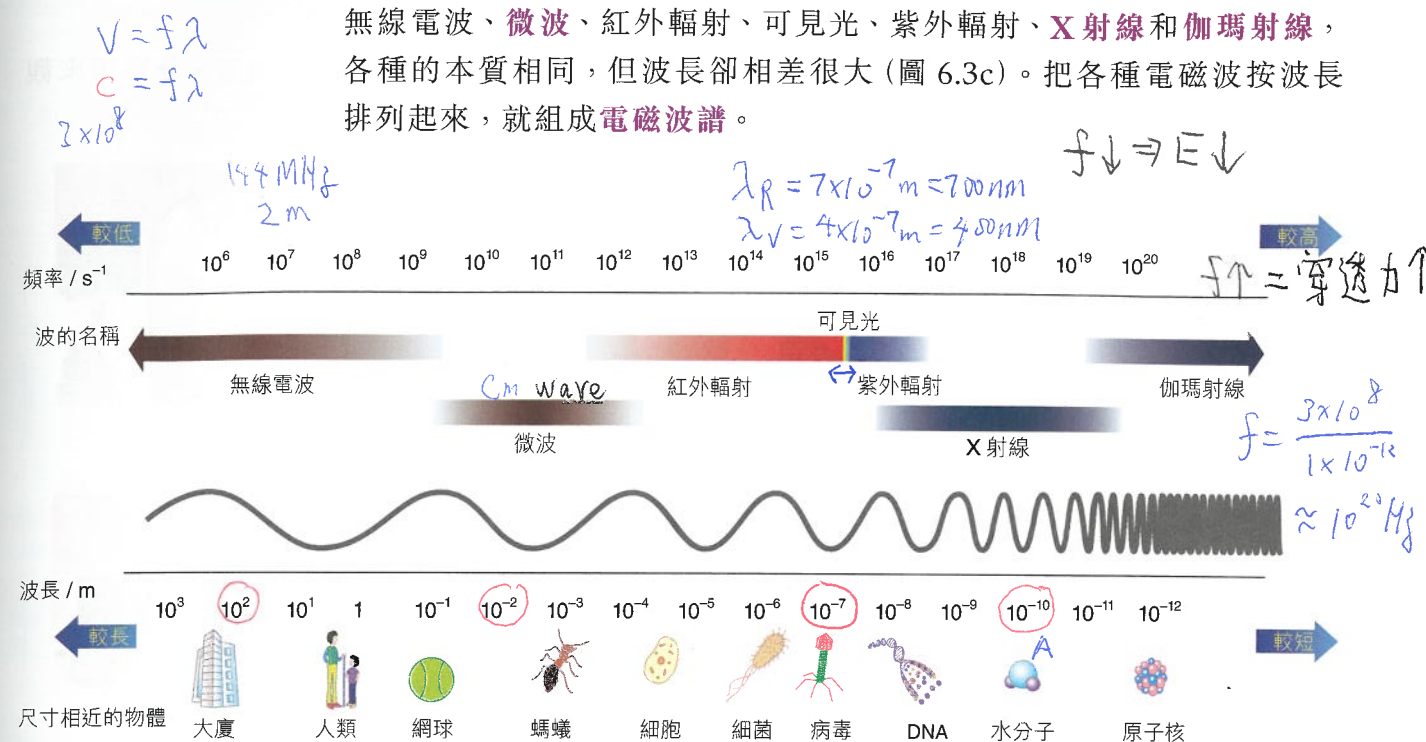


圖 6.3c 電磁波譜（每種電磁波的波長沒有明顯的分界線，可見光只佔整個電磁波譜極小部分）

3 電磁波的特性

大部分電磁波都是看不見的，因此不易觀察。然而，我們可以利用圖 6.3d 顯示的 3 cm 微波發射和接收裝置，觀察微波的反射、折射、衍射和干涉。



圖 6.3d 3 cm 微波發射和接收裝置

微波 microwave X 射線 X-ray 伽瑪射線 gamma ray
電磁波譜 electromagnetic spectrum

錄像片段 6.7

→ 錄像片段 6.7 示範實驗 6g。

實驗 6g 以微波展示波的現象

如圖 a、b、c 和 d 所示設置 3 cm 微波發射和接收裝置，分別用來觀察微波的反射、折射、衍射和干涉。

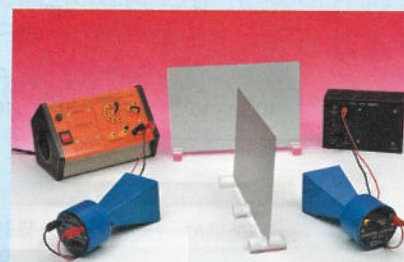


圖 a 微波的反射



圖 b 微波的折射



圖 c 微波的衍射

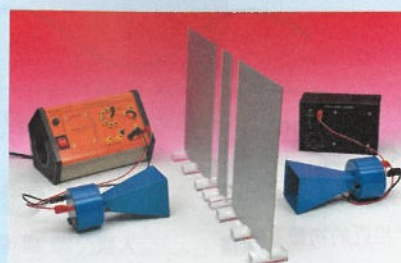


圖 d 微波的干涉

討論

微波展示出反射、折射、衍射和干涉嗎？是

從以上實驗，可見微波展示出反射、折射、衍射和干涉。

現在我們知道電磁波有以下特性。

我們會在第 4 冊第 1 和第 4 課學習電場和磁場。

1 電磁波是橫波，由不斷變化的電場和磁場所構成（圖 6.3e）。

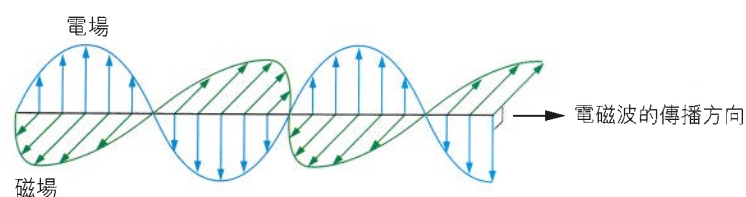


圖 6.3e 電場和磁場都與電磁波的傳播方向互相垂直

在真空或任何介質中，任何波或物體的速率都不能超越這個數值。

2 電磁波與水波不同，無須經介質傳播。在真空中，所有電磁波都以 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 的固定速率傳播，這速率以符號 c 表示。

3 電磁波與其他波一樣都載有能量。行進的電磁波把能量從一處傳遞到另一處。

4 電磁波遵從關係式 $v = f\lambda$ 。

5 電磁波展示反射、折射、衍射和干涉。

實驗技巧應用

例題 6 微波的干涉

志良準備研究微波的干涉。他如圖 a 所示把微波發射器放置在鋁板前。鋁板上有兩道狹縫 X 和 Y，兩者相距 8 cm。他把接收器連接揚聲器，並把接收器沿 PQ 移動（P 點位於 XY 的垂直平分線上）。

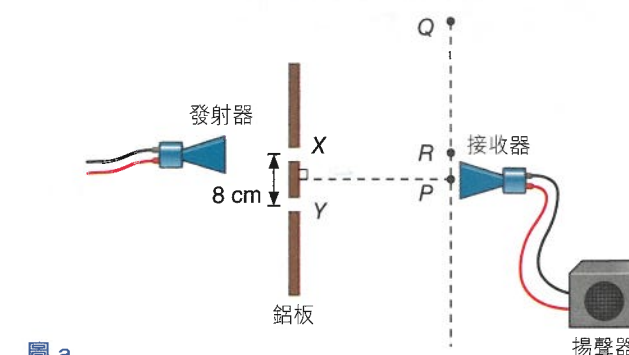


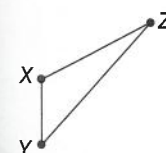
圖 a

- 這實驗對狹縫的闊度有甚麼限制？
- 志良預期當接收器位於 P 點時，揚聲器會產生響亮聲音（對應極大值）。然而這並沒有發生。試簡單解釋出現這個問題的原因，並建議一個解決方法。
- 志良解決了 (b) 部的問題後，把接收器由 P 點向 Q 點移動。第一次響亮聲音出現於 P 點，第二次則出現於 R 點。已知 $XR = 17 \text{ cm}$ ， $YR = 20 \text{ cm}$ 。
 - 求發射器所發出微波的波長。
 - 由 P 點開始，最多能出現多少次響亮聲音？

題解

- 狹縫的闊度須與微波的波長相若。
- 發射器與 X 和 Y 距離不同，所以從兩道狹縫出來的微波可能並非同相。解決方法是把發射器移至 XY 的垂直平分線上。
- (i) 由於第二次響亮聲音出現於 R 點，

$$\begin{aligned} R \text{ 點的程差} &= YR - XR = \lambda \\ 20 - 17 &= \lambda \\ \lambda &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$
 (ii) 任何位置到兩個狹縫的程差都一定小於距離 XY。因此，在出現響亮聲音的位置，程差只可以是 0、 λ 和 2λ 。換言之，最多只能出現 3 次響亮聲音。



根據三角不等式，對於上圖顯示的三角形 XYZ，

$$XY + XZ > YZ$$

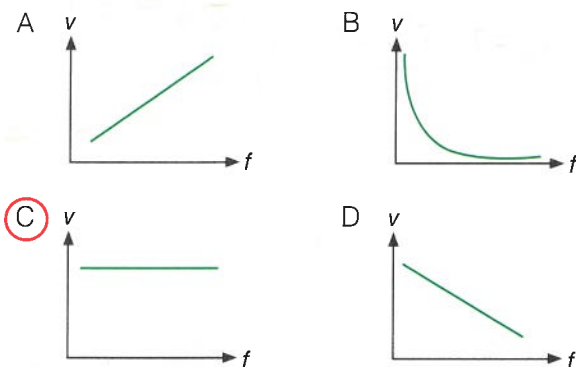
$$XY > YZ - XZ$$

▶ 複習 Q31 (p.157)

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.135)。

- 21 下列哪幅線圖顯示在真空中電磁波的速率 v 與頻率 f 的關係？



- 22 太陽與地球的距離是 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ 。求紫外輻射由太陽傳播到地球所需的時間。500 s

- 23 完成表 a。

電磁波 (在真空中)	頻率 (Hz)	波長 (m)
無線電波	9.3×10^7	3.2
微波	2.5×10^9	0.12
紅外輻射	4.2×10^{13}	7.2×10^{-6}
紅光	4.4×10^{14}	6.8×10^{-7}
藍光	6.4×10^{14}	4.7×10^{-7}
紫外輻射	3.4×10^{15}	8.8×10^{-8}
X 射線	8.3×10^{16}	3.6×10^{-9}
伽瑪射線	2.2×10^{21}	1.4×10^{-13}

表 a

4 不同種類的電磁波

不同種類的電磁波相繼發現後，逐漸應用在不同範疇，至今已徹底改變了我們的生活。試想想，如果沒有這些電磁波，我們的生活會變成怎樣？接下來將逐一介紹各種電磁波的特性和用途，以及產生和探測的方法。

a 紅外輻射

紅外輻射的波長比可見光長。所有物體都發出紅外輻射，物體溫度愈高，發出的紅外輻射愈多。溫度計、溫度探測器和特製的感光元件都可以探測紅外輻射，而人的皮膚也能探測紅外輻射 (產生冷熱的感覺)。圖 6.3f 至 6.3h 展示了一些紅外輻射的用途。



(i) 輻射式暖爐直接照射物體來加熱，減少熱傳遞到周圍的空氣

圖 6.3f 電器發出紅外輻射來加熱



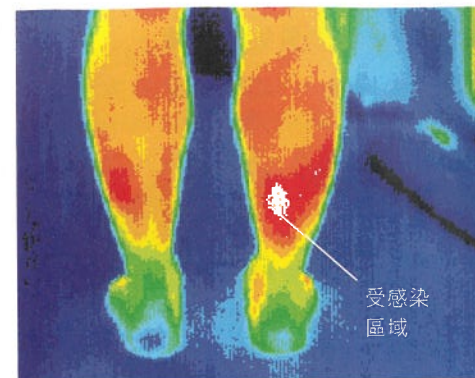
(ii) 電焗爐放出大量紅外輻射來煮食

起點所展示的是人臉的熱力圖。只要探測從臉部不同位置放出多少紅外輻射，就能製成這種影像。



錄像片段 6.8

→ 錄像片段 6.8 展示紅外輻射攝影機所拍攝的畫面。



(i) 熱力圖顯示物體各部分的溫度變化

圖 6.3g 透過探測紅外輻射產生影像



(ii) 紅外輻射攝影機能拍攝到受遮蔽或在黑暗環境中的物體，讓人在夜間或濃煙中保持視力

市面上大部分夜視鏡都是在接近全黑 (而並非全黑) 的環境下操作，可偵測近紅外輻射。這種輻射通常源自物體反射的月光和星光，而並非由物體本身發出。夜視鏡備有增幅器，以放大接收到的微弱訊號。



錄像片段 6.9

→ 錄像片段 6.9 示範的實驗展示了紅外輻射如何用於資料傳送。



(i) 自動感應水龍頭



(ii) 遙控器

圖 6.3h 紅外輻射的發射和接收常見於自動感應設備及資料傳送工具

b 紫外輻射

紫外輻射的波長比可見光短，由非常高溫的物體，如太陽和水銀燈放出。紫外輻射會誘發皮膚製造維他命 D，因此我們要曬太陽來維持健康，但時間要適量。陽光裏的紫外輻射會令皮膚變黑，但過量的紫外輻射會令皮膚曬傷，甚至罹患白內障和皮膚癌。圖 6.3i 和 6.3j 展示紫外輻射的一些用途。

洗衣粉通常含有熒光化學物，這種物質在紫外輻射下會發亮，使衣服在太陽下顯得更光亮。

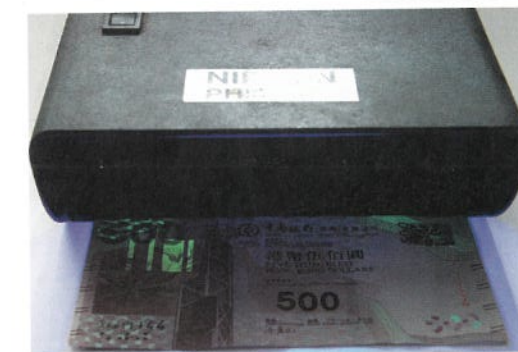


圖 6.3i 在紫外輻射下，鈔票上用熒光墨水印上的標記會發亮，以辨別鈔票真偽

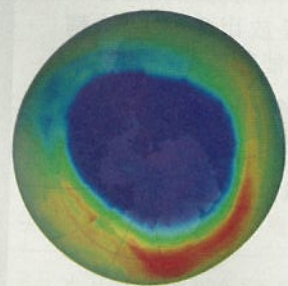


圖 6.2j 某些消毒器利用短波長紫外輻射殺滅微生物

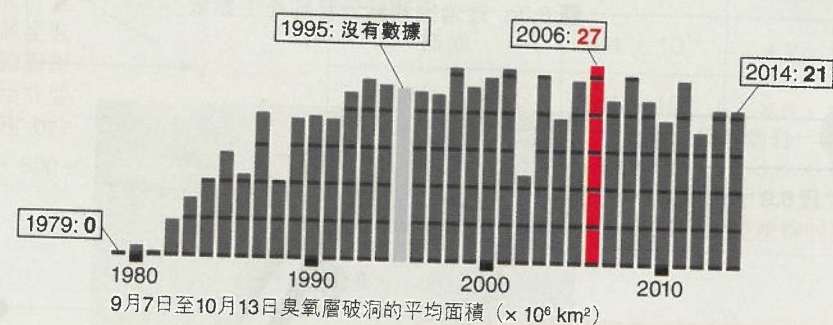
STSE 紫外輻射的威脅：臭氧層耗損

臭氧(O_3)是一種無色氣體。大氣中的臭氧多半集中在離地球表面 15 至 35 公里的範圍內。這個稱為臭氧層的部分像過濾器一樣，能阻擋大部分來自太陽的有害紫外輻射。

1985 年，科學家首次公佈南極上空的臭氧層出現破洞，成因主要是人類過量排放某些化學物質，特別是氯氟碳化合物(CFCs)。自此，CFC 產品的生產和使用受到嚴格管制。2003 年，科學家宣佈臭氧層的耗損可能正在減慢，相信是全球禁用 CFC 產品的成果。



臭氧層在南極上空的破洞(藍色區域)，攝於 2014 年 9 月



臭氧層破洞於每年 9 月 7 日至 10 月 13 日的平均面積
(資料來源：美國太空總署)

生活中的物理

紫外線指數

香港天文台所提供的紫外線指數顯示紫外輻射的強度。這個指數會在每天定時更新。

紫外線指數 (每小時更新)

日期: 19/09/2014

香港時間	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
十五分鐘平均紫外線指數* (每小時前十五分鐘)	0.9	3	5	6	5	2	2	0.4	0.8	0.6	0.1
一小時平均紫外線指數*	0.5	2	4	6	7	4	2	0.4	0.5	0.8	0.2

*紫外線指數大於 1 時會以最接近的整數表示

紫外線指數及曝曬級數

紫外線指數	曝曬級數
0-2	低
3-5	中
6-7	高
8-10	甚高
>= 11	極高

太陽油

太陽油能保護我們免受紫外輻射傷害。每支太陽油的包裝上都會列出防曬系數(SPF)，例如塗上 SPF 15 的太陽油後，我們可以曬太陽而不被曬傷的時間便延長至原來的 15 倍。



生活中的物理

動物能看得見紫外輻射嗎？

有些動物能夠看見紫外輻射，圖中的黃色花朵在蜜蜂眼中就呈現出不同面貌。在陽光的紫外輻射照射下，花朵上的圖案有助蜜蜂找到花蜜。



我們(左)和蜜蜂(右)所見的花朵

c 無線電波

無線電波透過無線電發射器中的電子振動而產生，可以由無線電天線接收。它的波長是所有電磁波中最長的。無線電波訊號經過高樓大廈或其他障礙物邊緣時會發生顯著的衍射，讓受阻隔的天線也能接收到訊號，因此無線電波常用於資料傳送，例如電台及電視廣播、電訊技術(例如飛機和的士)、流動電話通訊、Wi-Fi、藍牙技術、八達通等(圖 6.3k)。



(i) 電視廣播



(ii) 流動電話通訊



(iii) 利用 Wi-fi 上網



(iv) 八達通的資料傳送

圖 6.3k 無線電波的應用

STSE

輻射與健康

香港大部分人都擁有流動電話，有些人更有超過一部，甚至會以流動電話取代固網電話，因此公眾都十分關注流動電話產生的輻射問題。試搜集資料，探討流動電話對健康有甚麼影響。

例題 7 無線電波的衍射（電台廣播）

電台廣播會使用不同頻率的無線電波。舉例來說，香港電台第二台和第五台所採用無線電波的頻率分別是 $9.48 \times 10^7 \text{ Hz}$ 和 $7.83 \times 10^5 \text{ Hz}$ 。

- 求香港電台第二台和第五台所採用無線電波的波長。
- 無線電波經過大廈或高山等障礙物的頂部時，會發生波的哪種現象？
- 如果你住在圖 a 中的低矮樓宇內，哪條廣播頻道會接收得較好？試簡單解釋，並繪圖加以說明。
- 有飛機在上空經過時，訊號的接收就會受影響。試簡單解釋。
- 為了讓無線電波訊號覆蓋整個城市，不同地區都建有訊號發射站。對於同一頻道，不同地區的廣播頻率會有些微不同。試舉出以上設計的一個優點。

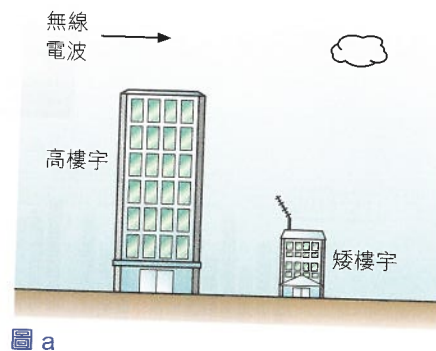


圖 a

題解

(a) 香港電台第二台所採用無線電波的波長 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^8}{9.48 \times 10^7} = 3.16 \text{ m}$

香港電台第五台所採用無線電波的波長 $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^8}{7.83 \times 10^5} = 383 \text{ m}$

(b) 衍射

- (c) 由於香港電台第五台所採用無線電波的波長較長，該無線電波經過高樓頂部時，衍射幅度就會較大。因此，低矮樓宇的住戶接收香港電台第五台會較好（圖 b 和 c）。

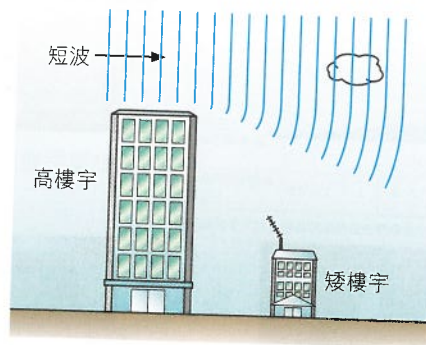


圖 b

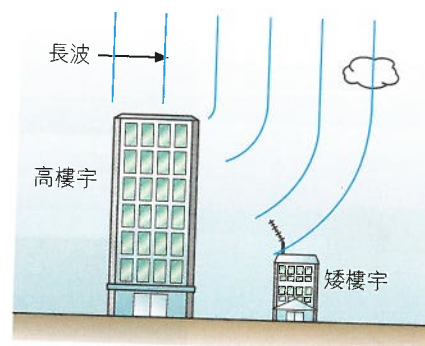


圖 c

- 飛機會反射無線電波，而反射波會與來自發射站的波發生干涉，訊號的接收因而受影響。
- 這設計可避免來自不同發射站的訊號發生干涉。

習題與思考 6.3 Q10 (p.147)

d 微波

微波可視作波長較短的無線電波，它的波長範圍由幾毫米至少於 1 米。微波可用於雷達，用來偵測飛機和降雨的位置（圖 6.3l）。例題 8 說明雷達的運作原理。

微波能穿過地球的大氣層，因此也可用於衛星通訊（圖 6.3m）。這種技術應用於電視直播（圖 6.3n）及交通工具的通訊。

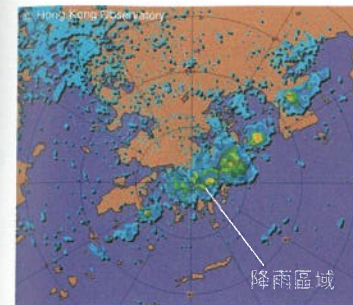


圖 6.3l 香港天文台拍攝的天氣雷達圖像

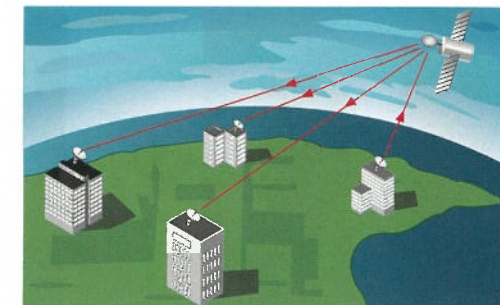


圖 6.3m 通訊衛星從某地方接收微波訊號，然後再轉發到其他地方



圖 6.3n 用於電視直播的發射天線

例題 8 微波的反射（雷達）

雷達包括一組發射器和接收器。發射器發出微波短脈衝，脈衝遇到飛機等物體時，就會有部分反彈回接收器（圖 a）。

如果雷達在脈衝發出後 $4 \times 10^{-5} \text{ s}$ 接收到從飛機反彈回來的脈衝，飛機與雷達站的距離是多少？

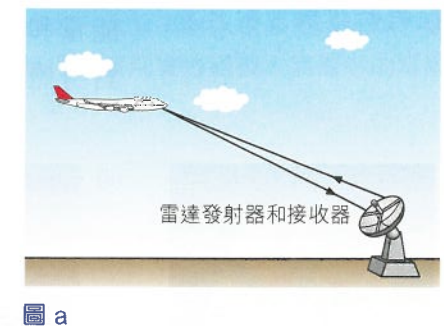


圖 a

題解

$$\text{距離} = \text{速率} \times \text{時間} = (3.00 \times 10^8) \times \left(\frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-5} \right) = 6000 \text{ m}$$

習題與思考 6.3 Q7 (p.147)

STSE 安全使用微波爐

水分子會大量吸收特定波長的微波並激烈地振動。微波爐就利用這原理來加熱食物，不須任何加熱元件。試從互聯網搜集資料，找出使用微波爐的安全守則。

e X 射線

我們會在第 5 冊第 1 課 ▶ X 射線的波長比紫外輻射短。X 射線可由電子高速撞擊金屬而產生，也可以用照相底片或探測器來探測。

X 射線具高能量及高穿透能力，可穿透肌肉，但視乎情況或會被骨骼和金屬阻擋。長期暴露在 X 射線下，或接觸高強度的 X 射線都非常危險，會對體內細胞造成破壞。

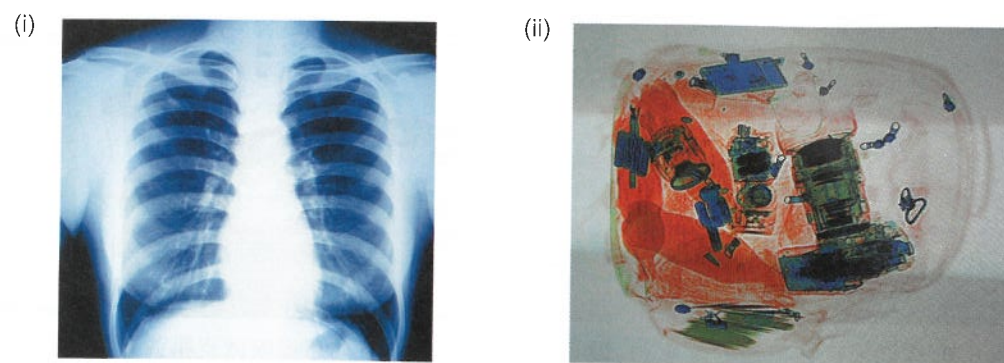


圖 6.3o X 射線的高穿透能力使它適合用來透視 (i) 人體及 (ii) 行李

f 伽瑪射線

我們會在第 5 冊詳細討論伽瑪射線與放射性物質。伽瑪射線的波長是所有電磁波中最短的。伽瑪射線由放射性物質放出，能量和穿透能力均為所有電磁波之冠。暴露在伽瑪射線下非常危險，會對身體內部的細胞造成破壞。



圖 6.3p 伽瑪射線的應用：(i) 醫學造影；(ii) 殺死癌細胞（放射療法）；(iii) 為食物殺菌

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.135）。

31 試舉出以下每一項應用中所使用的其中一種電磁波。

- (a) 雷達 微波
- (b) 辨別偽鈔 紫外輻射
- (c) 醫學造影 X 射線或伽瑪射線
- (d) 夜視功能 紅外輻射

習題與思考 6.3

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.135）。

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

$$s = V \times t = 3 \times 10^8 \times \frac{8.5 \times 10^{-5}}{2}$$

2 1 下列哪些有關電磁波的敘述是正確的？

- (1) 在任何一種介質中，所有電磁波的速率相等。
- (2) 所有電磁波都帶有能量。
- (3) 所有電磁波都是橫波。

- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)**
- D (1)、(2) 和 (3)

3 2 在以下哪一個情況中，牛扒會釋放最多紅外輻射？

- A 存放在雪櫃內的牛扒
- B 解凍後的牛扒
- C 剛煮好的牛扒**
- D 以上情況都沒有分別。

★ 3 以下各項有關紅外輻射和紫外輻射的比較，哪些是正確的？

- (1) 它們的顏色不同。
- (2) 陽光含有紫外輻射，但沒有紅外輻射。
- (3) 它們的波長不同。

- A 只有 (2)
- B 只有 (3)**
- C 只有 (1) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

★ 4 光波由空氣進入水時，下列哪項會改變？

- (1) 速率
- (2) 頻率
- (3) 波長

- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (1) 和 (3)**
- D (1)、(2) 和 (3)

2 5 哪種電磁波的波長最長？哪種的波長最短？

無線電波最長，伽瑪射線最短

3 6 看電視（圖 a）涉及電磁波的哪些應用？試舉出其中三種。



圖 a

3 7 雷達站在微波脈衝發出後 8.5×10^{-5} s 接收到反彈回來的脈衝。求所探測到的物體與雷達站的距離。

12 750 m

2 8 NGC 1300 是距離我們很遠的螺旋星系（圖 b），從這個星系發出的光約需六千一百萬年才到達地球。試估算 NGC 1300 與地球的距離。

5.77×10^{23} m



圖 b

$$s = 3 \times 10^8 \times 61000000 \times 365 \times 24 \times 3600$$

$$= 5.77 \times 10^{23} \text{ m}$$

3 9 高清翡翠台所採用的無線電波頻率範圍是 582 MHz 至 590 MHz。已知 1 MHz 等於 10^6 Hz，求高清翡翠台所採用的無線電波波長範圍。

0.508 m 至 0.515 m

★ 10 在無線電通訊中，不同頻率的無線電波會透過不同方法傳播到遠處。低頻率無線電波會沿地球表面傳播，高頻率無線電波則會透過被大氣層中的電離層反射來傳播（圖 c）。

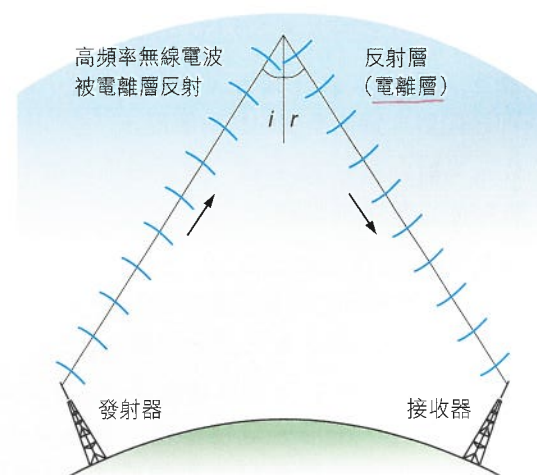


圖 c

(a) 為甚麼高頻率無線電波不適合沿地球表面傳播到遠處？

(b) 如果高頻率無線電波由發射器行進了 600 km 到達電離層，被反射後也行進了相同距離到達接收器。那麼這次訊號傳送共用了多少時間？

$$t = \frac{s}{c} = \frac{600 \times 10^3 \times 2}{3 \times 10^8}$$

0.004 s

科學本質 從 X 射線衍射發現 DNA 結構

1950 年代初期，很多科學家都希望率先找出 DNA 結構這幅生命藍圖。不同的研究團隊先後提出各種模型，但沒有一個獲得廣泛認同。

1952 年，富蘭克林所拍攝的一張 DNA 的 X 射線衍射照片，成為解開 DNA 結構的關鍵線索。她在倫敦國王學院的同事威爾金斯把這張照片交給劍橋大學卡文迪許實驗室的沃森和克里克，兩人根據照片所顯示的 DNA 衍射圖形，終於在 1953 年成功推導出 DNA 的雙螺旋結構。

由於沃森、克里克和威爾金斯在找出 DNA 結構的過程中貢獻良多，三人同時獲頒 1962 年的諾貝爾生理學或醫學獎。

雖然富蘭克林對破解這個生命的秘密也作出極大貢獻，但由於她在 1958 年因病逝世，未能獲頒諾貝爾獎。諾貝爾獎原則上僅能授予在世者。

從發現 DNA 結構的過程，可看到科學本質的一些特點：

- 科學家經常透過建構模型來解釋觀察結果。
- 有些科學家注重實驗，另一些則注重建構模型。科學發展往往有賴科學家之間互相分享研究成果和互相合作（雖然在以上例子，富蘭克林並沒有正式同意透露她的實驗結果）。同時，科學家之間的競爭也可以十分激烈，甚至是不道德的。
- 科學（波的干涉）與科技（X 射線晶體學）相互關連。

以下模擬能夠幫助我們了解為甚麼富蘭克林的照片可以揭示出 DNA 的結構。

- 在透明膠片上印上 A、B、C 三種圖形。
- 把激光束依次射在圖形 A、B 和 C 上，觀察在透明膠片背後產生的衍射圖形。

把激光束射在圖形 C 上時，你觀察到的圖形與富蘭克林的照片相似嗎？

DNA 內的原子有規律地排列，就像一系列的狹縫。X 射線的波長約為數個原子的間距，因此，X 射線通過 DNA 時，會形成衍射圖形。

在以上模擬中，圖形 A 的狹縫產生出垂直的光點（衍射圖形），圖形 B 可視作與水平線成 45° 的狹縫。圖形 C 是兩組與水平線成 45° 狹縫交織而成，可視作 DNA 的雙螺旋結構，在背後產生的光點成交叉狀。

老師可透過以下途徑從教師資源中心下載含有圖形 A、B 和 C 的檔案：

教師資源中心

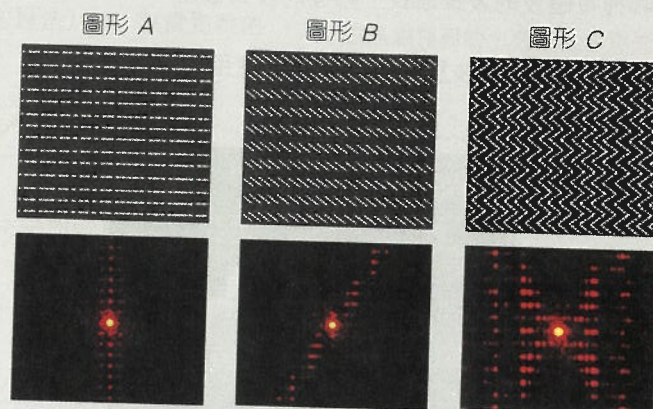
→ 教學良伴

→ 補充材料

→ 不同排列的狹縫



富蘭克林拍攝的 X 射線衍射照片（左）揭示 DNA 的雙螺旋結構（右）



狹縫的排列與產生的衍射圖形



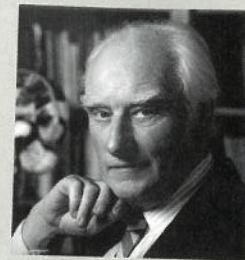
富蘭克林
(1920–1958)



威爾金斯
(1916–2004)



沃森
(1928–)



克里克
(1916–2004)

各種電磁波的總結

電磁波	來源	探測儀器	用途	危險
無線電波	- 無線電波發射器 - 閃電 - 恆星	- 無線電天文望遠鏡 - 無線電天線	- 電台及電視廣播 - 電訊技術（例如飛機和的士） - 流動電話通訊 - 資料傳送（例如 Wi-Fi 和藍牙技術） - 宇宙研究	可能損害健康
微波	- 微波發射器 - 恆星	- 微波天文望遠鏡 - 微波接收器	- 煮食（微波爐） - 車輛超速攝影機 - 雷達（導航、天氣預測） - 衛星通訊 - 宇宙研究	白內障
紅外輻射	所有物體	- 皮膚 - 紅外輻射感應器 - 紅外輻射天文望遠鏡	- 遙控器 - 紅外輻射燈（治療運動創傷） - 紅外衛星拍攝 - 量度溫度 - 熱力圖 - 紅外輻射攝影機 - 主動式自動對焦（相機） - 防盜系統 - 資料傳送 - 宇宙研究	過熱
可見光	- 電燈 - 火焰 - 恆星	- 眼睛 - 影像感應器 - 照相底片	- 視覺 - 太陽能電池 - 激光（例如指示棒、DVD 播放器、打印機） - 衛星圖 - 宇宙研究	損害視網膜
紫外輻射	- 極高溫物體 - 水銀燈 - 紫外輻射燈 - 恆星	- 紫外輻射天文望遠鏡 - 螢光物質 - 照相底片	- 辨別偽鈔 - 消毒（食水和醫學設備） - 曬黑皮膚 - 在人體製造維他命 D - 宇宙研究	- 曬傷皮膚 - 皮膚癌 - 白內障
X 射線	- X 射線管 - 恆星	- X 射線探測器 - 照相底片	- 醫學造影 - 保安檢查（例如行李檢查） - 宇宙研究	- 破壞細胞 - 癌症
伽瑪射線	- 放射性物質 - 宇宙射線 - 恆星	- 蓋革—彌勒計數器 - 照相底片	- 放射療法（殺死癌細胞） - 殺菌（食物和醫療用具） - 醫學造影 - 宇宙研究	- 破壞細胞 - 基因突變 - 癌症

總結 6

詞彙

1 條紋 fringe	p.112	8 可見光譜 visible spectrum	p.136
2 楊氏雙縫實驗 Young's double slit experiment	p.115	9 電磁波 electromagnetic wave	p.136
3 單色光 monochromatic light	p.116	10 無線電波 radio wave	p.136
4 平面透射光柵 plane transmission grating	p.122	11 微波 microwave	p.137
5 衍射光柵 diffraction grating	p.122	12 X 射線 X-ray	p.137
6 紅外輻射 infra-red radiation	p.136	13 伽瑪射線 gamma ray	p.137
7 紫外輻射 ultra-violet radiation	p.136	14 電磁波譜 electromagnetic spectrum	p.137

課文摘要

6.1 光的波動本質

- 光是一種波。它會展示反射、折射、衍射和干涉。
- 光通過狹縫後會產生衍射圖形。狹縫較窄或光的波長較長時，衍射圖形擴散得較多。
- 光通過雙縫後，會在雙縫背後的屏幕上產生干涉圖形，該圖形由等距的條紋組成。

6.2 楊氏雙縫實驗與平面透射光柵

- 在下列情況中，雙縫所產生干涉圖形的條紋間距會減少：
 - 狹縫間距增加
 - 光的波長減少
 - 雙縫與屏幕的距離減少

- FX** **Ext** 5 在雙縫實驗中，條紋間距 Δy 可表示為：

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$$

- 可見光的波長大約介乎 400 nm (紫) 至 700 nm (紅)。
- 光通過平面透射光柵後，會在光柵背後的屏幕上產生干涉圖形，該圖形由亮紋組成。在下列情況中，條紋間距會減少：
 - 柵線間距增加 (即每單位長度範圍內的線減少)
 - 光的波長減少
 - 光柵與屏幕的距離減少

- FX** **Ext** 8 在平面透射光柵實驗中，

- 第 n 級條紋的角位置 θ 可表示為：

$$d \sin \theta = n\lambda$$

- 條紋的最高級別是滿足以下條件的最大整數 n ：

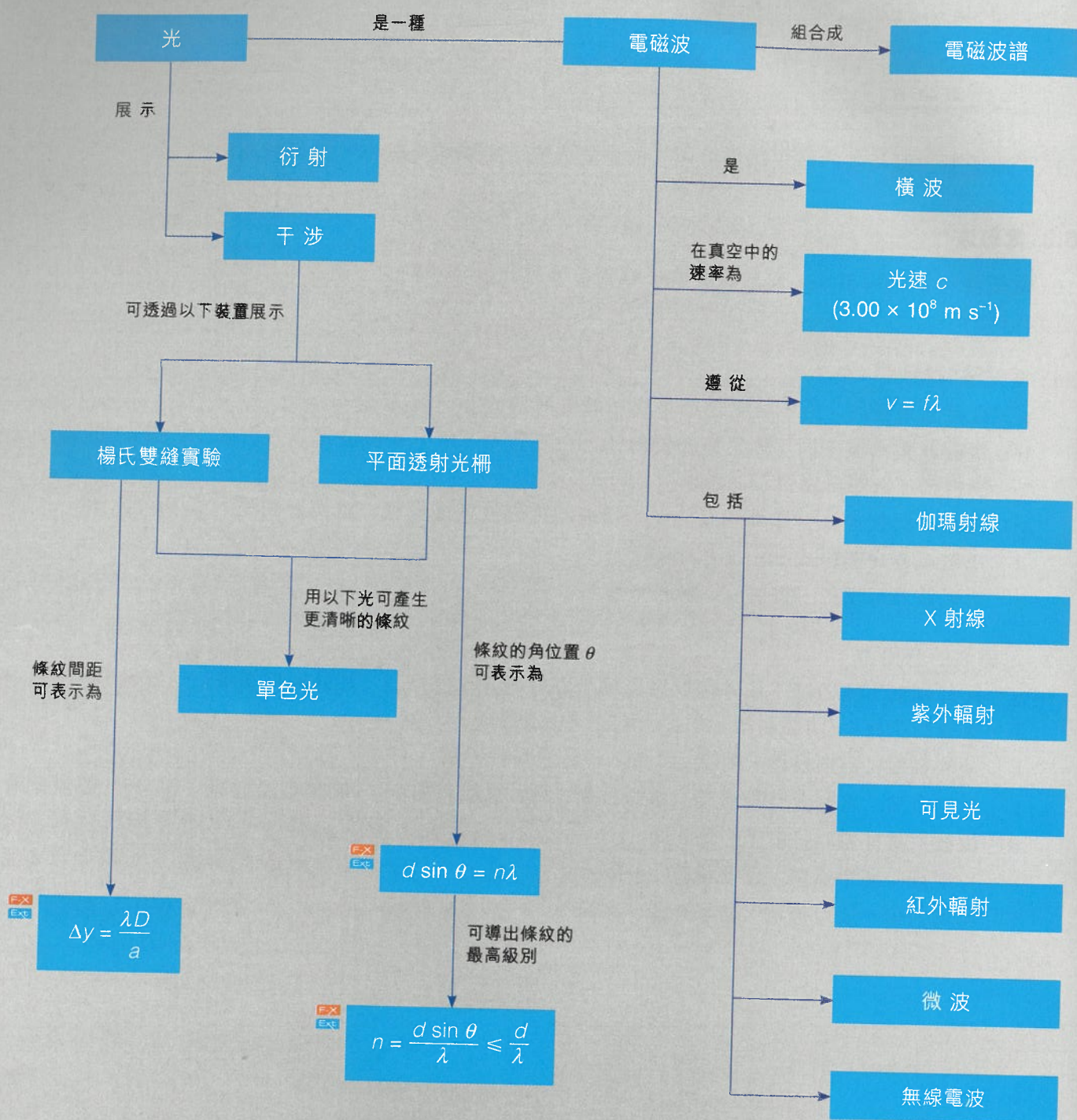
$$n = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda}$$

- 平面透射光柵產生的條紋比雙縫產生的條紋光亮，相鄰的條紋也分隔得較遠。

6.3 電磁波

- 電磁波包括伽瑪射線、X 射線、紫外輻射、可見光、紅外輻射、微波和無線電波 (按波長由小至大排列)。
- 電磁波的特性：
 - 電磁波是橫波，由不斷變化的電場和磁場所構成。
 - 電磁波與水波不同，無須經介質傳播。在真空中，所有電磁波都以 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 的固定速率傳播，這速率以符號 c 表示。
 - 電磁波與其他波一樣都載有能量。行進的電磁波把能量從一處傳遞到另一處。
 - 電磁波遵從關係式 $v = f\lambda$ 。
 - 電磁波展示反射、折射、衍射和干涉。
- 電磁波的應用：
 - 紅外輻射：熱力圖、紅外射攝影機、資料傳送、遙控器、紅外輻射溫度計、紅外輻射燈 (治療運動創傷)、防盜系統、煮食 (焗爐)、自動對焦
 - 紫外輻射：辨別偽鈔、消毒
 - 無線電波：電台及電視廣播、電訊技術 (例如飛機和的士)、流動電話通訊、Wi-Fi、藍牙技術
 - 微波：衛星通訊、雷達、微波爐
 - X 射線：醫學造影、保安檢查
 - 伽瑪射線：放射療法、醫學造影、殺菌

概念圖



Q1 有些電磁波 (例如無線電波) 的波長很長 (見 p.137)。

Q4 在玻璃中, 不同顏色的可見光就以不同速率傳播。

複習 6

在真空中光的速率 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

概念重溫

(第 1 至 5 題) 判斷以下各項敘述是正確的, 還是錯誤的。

6.3.1 我們在日常生活中難以觀察到電磁波的衍射, 因為它們的波長都非常短。F

☆ 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q13

綜合題 2 光進入較密的介質時, 波長和速率都會減少。T

6.3.3 平面透射光柵所產生的條紋是等距的。F

6.3.4 在任何一種介質中, 所有種類的電磁波都以同一速率傳播。F

☆ 香港中學會考 2006 年卷二 Q33

6.3.5 若有工具利用某一種電磁波來判斷物件的距離, 則該物件本身必需放出那一種電磁波。F

多項選擇題

6.2.6 下列哪些是進行楊氏雙縫實驗時須注意的事項?

- (1) 狹縫應盡量狹窄。
- (2) 屏幕的位置愈遠愈好, 以產生明顯的條紋。
- (3) 須確保光源的燈絲與雙縫平行。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

6.3.7 學生在白紙上繪畫出圖 a 中的電磁波譜, 但忘了畫 X 射線的部分。這部分應放在下列哪一個位置?

	P	Q	R	S	
無線電波	微波	紅外輻射	紫外輻射	伽瑪射線	
			可見光		

圖 a

- A P
B Q
C R
D S

6.3.8 雷達發出一個微波脈衝, 並在 $1.8 \times 10^{-5} \text{ s}$ 後接收到反射回來的脈衝。求把脈衝反射的物體與雷達之間的距離。

- A 1800 m
B 2700 m
C 3600 m
D 5400 m

9 X 和 Y 是顏色不同的可見光。兩者通過單縫時, X 所產生的衍射圖形比 Y 擴散得多。以上結果顯示

- A 在真空中 X 比 Y 傳播得慢。
B 在真空中 X 比 Y 傳播得快。
C X 的頻率高於 Y。
D X 的頻率低於 Y。

10 學生把激光射向每厘米刻有 5300 條線的平面透射光柵, 在距離光柵 1.7 m 的牆上產生條紋。第 0 級與第 1 級條紋的距離是 0.48 m。求激光的波長。

- A 513 nm
B 532 nm
C 571 nm
D 668 nm

11 單色光通過雙縫, 在雙縫背後的屏幕上產生亮紋。下列哪項能使條紋間距減少?

- (1) 增加狹縫間距。
(2) 改用頻率較低的光。
(3) 把屏幕移到距離雙縫較近的位置。

- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

12 我們難以從家中的兩盞電燈觀察到光的干涉。下列哪些是可能的原因?

- (1) 可見光的波長非常短。
(2) 光的速率非常高。
(3) 來自兩盞電燈的光並不相干, 且不是單色光。
- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

13 波長為 550 nm 的光以法向入射一平面透射光柵 (每毫米刻有 300 條線)。求第 1 級極大值與第 2 級極大值之間的角度。

- A 8.90°
B 9.37°
C 9.50°
D 9.77°

- ★★ 14 學生把一束白光垂直射向平面透射光柵（每厘米刻有 4000 條線），在距離光柵 0.8 m 的屏幕上產生圖形。求圖形中第 1 級光譜的闊度。已知：可見光的波長介乎 400 nm 至 700 nm。

- (A) 10 cm
(B) 13 cm
(C) 16 cm
(D) 23 cm

$$\frac{0.01}{4000} \sin \theta = 700 \times 10^{-9}$$

$$\frac{0.01}{4000} \sin \theta = 400 \times 10^{-9}$$

$$\theta = 16.26^\circ \quad \theta = 9.206^\circ$$

$$y_R = 0.8 \tan 16.26^\circ = 0.233 \text{ m}$$

$$y_V = 0.8 \tan 9.206^\circ = 0.129 \text{ m}$$

參看 p.128

- ★★ 15 X 和 Y 是兩塊衍射光柵，X 的柵線間距是 Y 的 3 倍，而其他條件則完全相同。單色光以法向入射光柵 X。學生把在屏幕上產生的條紋圖形標示出來，然後用光柵 Y 代替光柵 X，讓單色光在屏幕上產生另一組條紋圖形。下列哪些敘述是正確的？

- (1) 對於光柵 X 和 Y，光的衍射角與光的波長成正比。
(2) 光柵 X 所產生的第 3 級極大值與光柵 Y 所產生的第 1 級極大值的位置重疊。
(3) 光柵 Y 所產生的第 2 級極大值的衍射角是光柵 X 的 3 倍。

- (A) 只有 (1)
(B) 只有 (2)
(C) 只有 (1) 和 (2)
(D) 只有 (2) 和 (3)

$$d \sin \theta = n \lambda$$

$$\frac{d \sin \theta}{\lambda} = n$$

$$n \leq \frac{d}{\lambda}$$

參看 p.126

綜合題 16 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q13

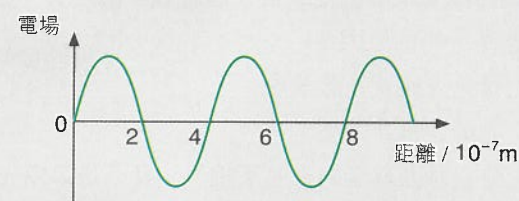


圖 b

圖 b 所示為一束單色光在折射率為 1.5 的介質中，於某一刻它的電場跟距離變化的圖線。下列哪一項有關該光束的顏色及頻率的描述是正確的？

	顏色	頻率 / Hz	AL	ASL
A	紫	5.0×10^{14}	(19%)	(20%)
B	紫	7.5×10^{14}	(32%)	(41%)
C	橙	5.0×10^{14}	(39%)	(27%)
D	橙	7.5×10^{14}	(10%)	(12%)

17 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q17

綜合題

如圖 c 所示，某單色光穿越介質 X，試求介質 X 的折射率。

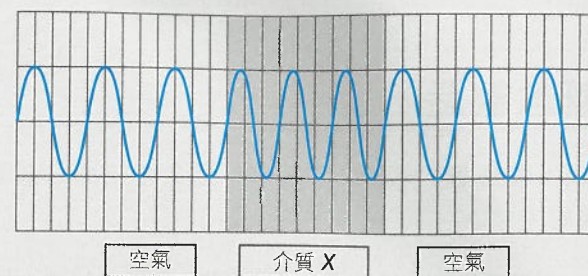


圖 c

- (A) 1.25
(B) 1.33 (78%)
(C) 1.50
(D) 1.65

$$v = f \lambda$$

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

18 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q20

Ext 6.2

採用每 1 mm 有 600 線的衍射光柵，衍射出的紅光 (657 nm) 與衍射出的紫光 (438 nm) 在 52° 衍射角處重合。衍射的紅光與紫光的對應級數分別是多少？

	紅光	紫光
(A)	2	3 (65%)
B	3	4
C	3	2
D	4	3

19 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q23

Ext 6.2

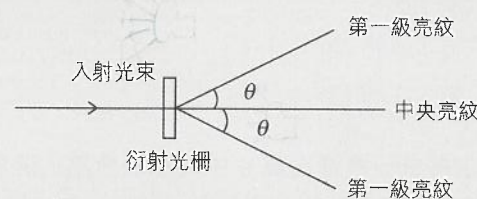


圖 d

如圖所示，當單色光穿過衍射光柵，會產生亮紋圖樣。下列哪個組合可使中央與第一級亮紋間產生最大的角度 θ ？

	光柵 (每 mm 線數)	光的顏色
(A)	400	綠 (46%)
B	400	藍
C	200	綠
D	200	藍

問答題

- 6.3 20 思明正在收聽電台節目。無線電發射站發出該廣播頻道的無線電波頻率為 90.3 MHz。已知：1 MHz = 10^6 Hz。

- (a) 廣播頻道的無線電波波長是多少？3.32 m (2 分)
(b) 思明利用遙控器調校收音機的音量。
(i) 遙控器發出哪一種電磁波？紅外輻射 (1 分)
(ii) 廣播頻道的無線電波與 (i) 部的電磁波中，哪一種的波長較長？無線電波 (1 分)

- ★ 21 波長為 610 nm 的光以法向入射每厘米刻有 4000 條線的平面透射光柵。

Ext 6.2

- (a) 求柵線間距，答案以 m 為單位。 2.5×10^{-6} m (1 分)
(b) 求第 2 級極大值的衍射角。 29.2° (2 分)
(c) 求光柵所產生極大值的最高級別。 4 (2 分)
(d) 試指出如何增加同一光柵所產生極大值的數量。 (1 分)

- ★ 22 學生把鋁板放在微波發射器前，鋁板上的兩道狹縫 X 和 Y 與發射器等距 (圖 e)。P 點在鋁板的另一面，也與狹縫 X 和 Y 等距。學生把接收器沿 PR 移動。

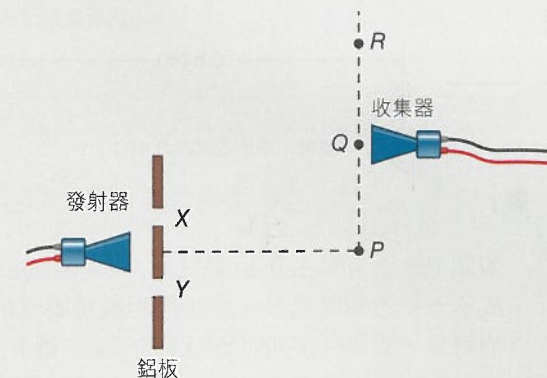


圖 e

與接收器連接的電腦記錄所得的數據，產生圖 f 的線圖。線圖顯示接收器沿 PR 移動時所接收微波的振幅。

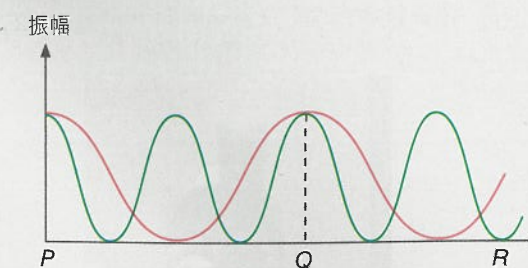


圖 f

- (a) 試解釋線圖上出現的峯值。 (3 分)
(b) 若 XQ = 21 cm, YQ = 25 cm, 求微波的波長。 2 cm (2 分)
(c) 隨後，學生把兩道狹縫的距離縮短，接收器在 Q 點仍錄得峯值。試在圖 f 草繪新的振幅線圖。 (1 分)

- ★ 23 學生把單色光射向狹縫間距為 6×10^{-4} m 的雙縫，在雙縫背後的屏幕產生亮紋。屏幕與雙縫的距離是 1.2 m，條紋間距則是 0.7 mm。

Ext 6.2

- (a) 求光的波長。 3.5×10^{-7} m (2 分)
(b) 隨後，學生把屏幕移到距離雙縫 1.5 m 的位置。
(i) 求條紋間距。 0.875 mm (1 分)
(ii) 試解釋亮紋的亮度有何改變。變暗 (2 分)

- ★ 24 志豪有一部自動對焦相機。這部相機透過放出紅外輻射來判斷目標距離相機有多遠。 3.00×10^8 m s⁻¹

6.3

- (a) 寫出紅外輻射在空氣中行進的大約速率。 (1 分)
(b) 試簡單解釋相機如何判斷目標的距離。 (3 分)
(c) 試解釋為甚麼自動對焦功能不適合在以下情況使用。
(i) 拍攝漆黑的物體 (圖 g) (2 分)



圖 g

(ii) 拍攝鏡中的自己(圖 h)

(2分)



圖 h

★ 25 圖 i 顯示電磁波譜的一部分，且依比例繪製。P、Q、R 和 S 是電磁波譜的成員。

6.3



圖 i

- (a) 指出電磁波的本質。(1分)
- (b) 試舉出一種電磁波獨有的特性。(1分)
- (c) 把 P、Q、R、S 按波長由小至大排列。(1分)
- (d) 寫出 P 和 S 的名稱。P: 紅外輻射; S: 紫外輻射 (2分)
- (e) 電磁波 Q 和 R 通過單縫後，哪一種的衍射幅度會較大? Q (1分)

★ 26 黃色光以法向入射雙縫，在雙縫後後的屏幕上產生圖形。

6.2

- (a) 要在實驗中產生可清楚觀察到的圖形，需注意甚麼事項? 試寫出其中一項。(1分)
- (b) 描述及解釋屏幕上產生的圖形。(3分)
- (c) 若用藍光代替黃光，所產生的圖形會有甚麼不同? (1分)

(d) 透過考慮適當的公式，解釋 (c) 部的答案。(2分)

(e) 入射黃光的波長是 590 nm，雙縫的狹縫間距則是 0.15 mm。若只觀察某範圍內的極大值，而該範圍兩側與中央極大值的角度都是 2° ，那麼觀察到的極大值的總數是多少? 17 (3分)

▶ 參看 p.116, 119

★ 27 波長為 4.8×10^{-7} m 的光以法向入射每厘米刻有 3500 條線的平面透射光柵。學生把光柵後後的屏幕上產生的亮紋標示出來。

F-X Ext 6.2

- (a) 求入射光的頻率。 6.25×10^{14} Hz (2分)
- (b) 求所產生條紋的最高級別。 5 (2分)
- (c) 隨後，學生改用另一波長的單色光在屏幕上產生亮紋，其中一條亮紋正好與原先圖形的第 4 級亮紋重疊。
- (i) 求該亮紋的角位置。 42.2° (2分)
- (ii) 已知可見光的波長介乎 400 nm 至 700 nm，求單色光的波長。 640 nm (2分)

▶ 參看 例題 3 (p.127)

☆ New Specification
WJEC GCE Winter 2010 PH2 Q2

F-X Ext 6.2

(a) 學生用激光產生楊氏條紋。

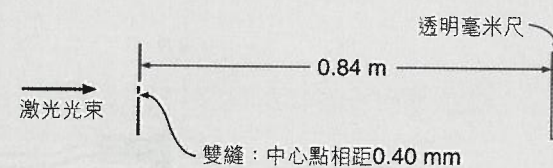


圖 j

如圖 j 所示，學生在距離雙縫 0.84 m 的位置放了一把透明毫米尺。學生用相機拍攝毫米尺的特寫，看到一系列明暗相間的條紋(圖 k)。

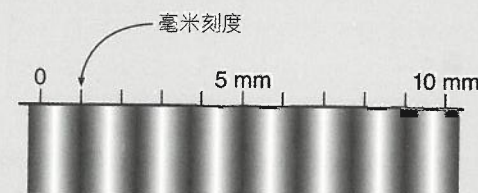


圖 k

- (i) 試利用有關干涉、相位差和程差的知識，解釋亮紋的形成。(4分)
- (ii) 試利用圖 j 和 k 所顯示的數據，計算光的波長。 6.3×10^{-7} m (3分)

(b) 隨後，學生把激光以法向(即 90°)射向一衍射光柵。光柵每米有 5.00×10^5 道狹縫。

- (i) 計算光柵上相鄰狹縫中心點的距離。 2×10^{-6} m (1分)
- (ii) 有 7 條光束從光柵射出，各條光束的中線如圖 l 所示。

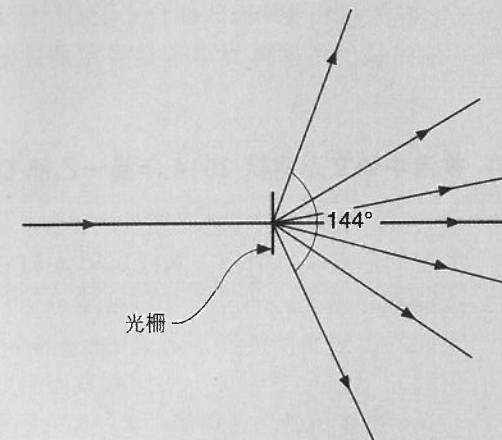


圖 l

利用圖中提供的角度，計算激光的波長，並寫出計算步驟。 6.3×10^{-7} m (4分)

- (c) 假設你要親自做實驗及進行量度，以找出激光的波長。試討論你會選擇楊氏條紋的方法還是衍射光柵的方法，以得到較準確的波長數值。(2分)

▶ 考試報告見第 159 頁。
香港高級程度會考 2011 年卷一 Q3

F-X Ext 6.2

☆ 略去原題(a)部
如圖 m 所示，波長為 λ 的單色光從激光源以法向入射一衍射光柵，屏幕放置於光柵後距離 D 處，圖中亦顯示有衍射圖樣的中央部分。

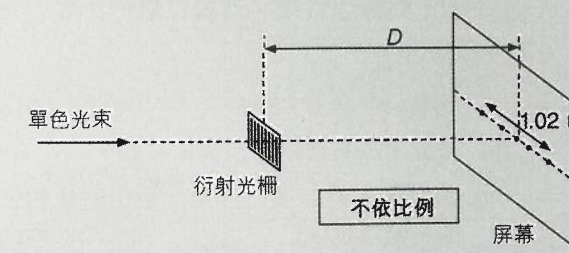


圖 m

- (a) 單色光的波長 λ 為 570 nm，距離是 1.00 m。衍射圖樣兩邊第二級光點相距 1.02 m。估算柵線間距 d。 2.5×10^{-6} m (3分)
- (b) 如用燈絲豎直的燈發出白光重做上述實驗，草繪在屏幕一邊所得由中央至第二級的衍射圖樣。定量解釋第二級光譜會否跟第三級光譜重疊。已知：在空氣中紅光和紫光的波長分別為 750 nm 和 400 nm。(4分)

☆ 略去原題(a)、(b)(i)&(ii)、(c)、(d)部

6.2 30 香港高級程度會考 2012 年卷二 Q2

- (a) 說明為甚麼衍射光柵造成的條紋，比雙縫造成的會較光亮且條紋間距較大。(3分)
- (b) 相干光源的意思是甚麼? 在楊氏雙縫實驗中，如以兩個燈泡取代雙縫則不能觀察到干涉圖樣，試加以解釋。(2分)

▶ 考試報告見第 159 頁。

6.3 31 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q7

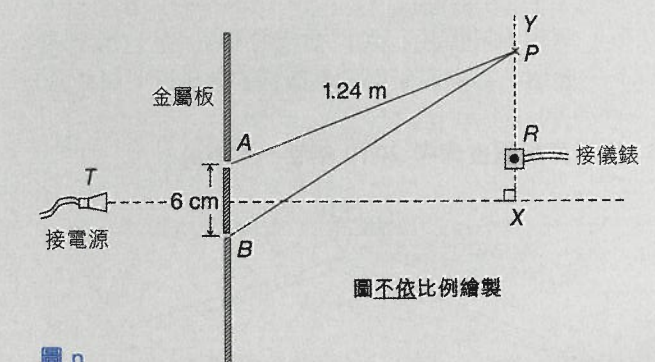


圖 n

圖 n 顯示用以探究微波干涉的實驗裝置。發射器 T 發射出波長為 2 cm 的微波，並通過金屬板所形成的兩狹縫 A 和 B。如圖所示，狹縫相距 6 cm。連接着儀錶的探測器 R 從 X 移向 Y，以偵測微波的強度。發射器 T 以及點 X 跟 A 和 B 等距。

- (a) 計算微波的頻率。 1.5×10^{10} Hz (2分)
- (b) (i) 當 R 沿 XY 移動，儀錶顯示強弱相間的訊號。試加以說明。(2分)
- (ii) 在位置 P 測得第二個最小訊號，而 $AP = 1.24$ m。求 BP。 1.27 m (2分)
- (iii) 當 R 沿 XY 從 X 移向 Y 並繼續外移，解釋可否偵測到超過三個最大訊號。(2分)
- (c) 微波可應用於雷達。為甚麼頻率較低的無線電波並不適用於雷達? (2分)

實驗題

- 32** 現給你一塊雙縫、一支激光指示棒、一塊半透明屏幕和一把米尺 (圖 o)。



圖 o

- (a) 描述一實驗以找出激光指示棒所放出單色光的波長，並寫出計算波長時用到的方程。(5分)
- (b) 寫出 (a) 部實驗的一項安全措施。(1分)
- (c) 解釋為甚麼用衍射光柵代替雙縫進行 (a) 部的實驗，能提高所得波長數值的準確度。(2分)

□ 考試報告見第 159 頁。

- 33** 香港高級程度會考 2010 年卷一 Q2(a)

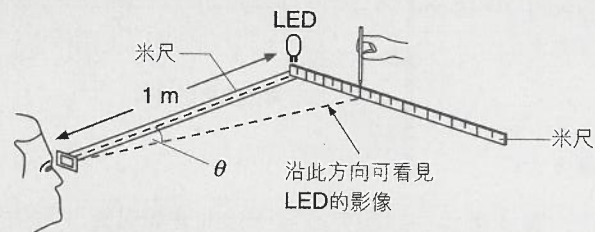


圖 p

透過一塊每毫米刻有 160 條線的衍射光柵，觀察從一顆 LED (發光二極管) 發出波長為 λ 的單色光，如圖 p 所示。用一枝鉛筆及兩把互相垂直的米尺，如圖所示定出數個對應極大值的影像位置。圖 q 顯示透過此光柵的觀察結果。

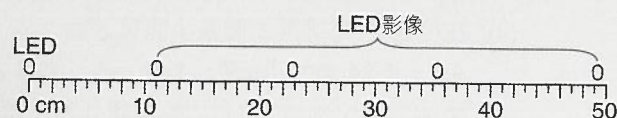


圖 q

- (a) 根據上面的觀察結果，求出各影像的角位置 θ 。選擇一個適當的物理量以完成表 a，然後據此標繪出一個直線圖並藉以求 λ 。(6分)

極大值的級別 n	1	2	3	4
影像的角位置 $\theta / ^\circ$	6.28	12.73	19.44	26.20
$\sin \theta$	0.109	0.220	0.333	0.442

表 a $\lambda = 6.88 \times 10^{-7} \text{ m}$

- (b) 倘在實驗中以激光取代 LED，草繪實驗裝置以顯示必要的修改部分。指出一個安全措施，以及一個要得到準確結果所需注意的事項。(3分)

- 34** 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q7

圖 r 顯示用來測定單色光波長的裝置。單色光從放電燈的豎直狹縫射出，兩把米尺 A 和 B 互相垂直放於實驗檯上，米尺 A 指向放電燈。刻線為豎直定向的衍射光柵放在米尺 A 的另一端。使豎直的長針 P 沿米尺 B 移動，直至觀察者看到長針與第二級衍射像重疊。透過量度其對應的距離 x 以找出衍射角 θ 。

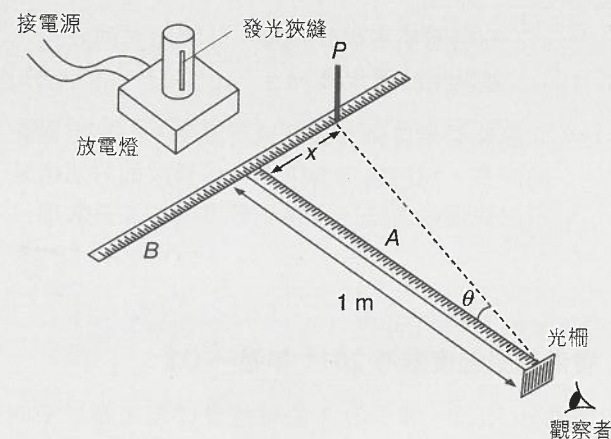


圖 r

光柵每 mm 刻有 300 線，而第二級衍射像對應的 x 量得為 0.38 m。

- (a) (i) 計算衍射角 θ 。20.8° (1分)
- (ii) 據此求放電燈所射出光的波長。5.92 × 10⁻⁷ m (3分)
- (iii) 說出量度第二級而非第一級衍射像的位置的一個優點。(1分)
- (b) 在這個實驗中，發光狹縫未必完全對準米尺 A。試建議一個減低該誤差的方法。(3分)

物理文章分析

- 35** 閱讀以下有關激光測速槍的文章，並回答以下問題。

激光測速槍

警察會使用激光測速槍來監察車速 (圖 s)。測速槍會發射短促的紅外激光脈衝，並量度脈衝遇到汽車並反射回來的往返時間，由此即時計算出汽車與測速槍的距離。在一段短時間後，測速槍再發射另一個脈衝，從而得知汽車的新距離。根據這段短時間內的距離變化，便可計算出汽車當時的車速。激光測速槍的其中一個好處是能夠鎖定個別車輛，不受其他車輛的影響。

(資料來源：HowStuffWorks 網站及促進學生學習科學的網上文章網站)



圖 s

- (a) 上文所說的激光測速槍應用了波的哪種現象？反射 (1分)
- (b) 在一條車速限制為 100 km h⁻¹ 的公路上，警員懷疑一輛汽車超速。他把激光測速槍瞄準那輛車，錄得兩次往返時間，分別為 300.00 ns 和 300.24 ns。兩次量度相隔 0.001 s。已知：1 ns = 10⁻⁹ s。
- (i) 求汽車與測速槍在每次量度時的距離。45 m, 45.036 m (3分)
- (ii) 據此計算汽車的速率，答案以 km h⁻¹ 表示。它有超速嗎？130 km h⁻¹，有 (2分)

□ Q29 考試報告：平平。在 (a) 部，很多考生誤用近似值 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ ，能力較弱者更誤用雙縫干涉實驗方程 $y = D\lambda/d$ 以致失分。考生在 (b) 部表現尚可，大多數考生能找出第二級紅光及第三級紫光的位置，並得到正確的結論。然而，他們的繪圖能力甚弱，很多未能用合適的陰影或標誌清楚地表示光譜的位置，或表示 $V_2 R_2 > V_1 R_1$ 。

□ Q31 考試報告：考生大多能正確完成 (a) 部，雖然有些忘了把波長的單位轉換成米，亦有考生不知道微波是以光速行進，更有考生誤用了聲速 (340 m s⁻¹)。在 (b)(i) 部，考生明瞭相長和相消干涉會導致相間的最大和最小，但極少考生指出其原因是由於沿 XY 的程差改變。在 (b)(ii) 部，部分考生不知所涉的程差是 1.5λ ，或將其錯認作 $AP - BP$ 。(b)(iii) 部答得甚差，很多考生沒有計及零級最大或誤以為對應於 $\theta = 90^\circ$ 的級數仍可觀測得到，而方程 $d \sin \theta = n\lambda$ 亦被誤用，因狹縫間距在這情況下不能忽略。在 (c) 部，大多數考生知悉與微波相比，無線電波的衍射效應較為明顯，但極少能指出細小障礙物對反射波會因此產生的影響。

□ Q33 考試報告：良好。在 (a) 部，考生大多能正確完成表中答案，但考生所繪圖線卻變化甚多，令評分添加難度。很多考生在表或圖線上犯了一些微小的錯誤，引致失去分數，包括錯誤的軸線標示、單位、次方和有效數字不足等。部分考生直接以數據點去計算波長而非利用線圖。在 (b) 部，大多考生明瞭激光的潛在危險，但未能提供正確的安全措施，常見的錯誤包括使用一般實驗室所用的護目鏡，或在裝置繪圖中以激光指向眼睛。考生多未能提出措施以獲取更準確的結果。

自我評核 6

⌚ 時間：15 分鐘 ✓ 總分：9 分

答題須知

- 1 全部題目均須作答。
- 2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 3 答案須寫在預留的空位內。
- 4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲 部

6.31 下列哪一種電磁波在日常生活中衍射的效果最顯著？

- A 可見光 B 紅外輻射
C 無線電波 D 伽瑪射線

C

6.22 學生把紅光射向雙縫，在屏幕上產生亮紋。下列哪些改變能減少條紋間距？

- (1) 用紫光。 (2) 用較闊的屏幕。
(3) 用狹縫間距較大的雙縫。
- A 只有 (1) B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

C

3 下列哪一項能顯示光是波？哪一項能顯示光是電磁波？

綜合題

- (1) 光能夠在真空中傳播。
(2) 光帶有能量。
(3) 白光通過稜鏡後形成可見光譜。
(4) 單色光通過單縫後形成條紋。

光是波

光是電磁波

- | | | |
|---|-----|-----|
| A | (2) | (4) |
| B | (3) | (4) |
| C | (4) | (1) |
| D | (4) | (2) |

C

乙 部

4 一束波長為 700 nm 的紅光以法向入射每厘米刻有 5000 條線的衍射光柵，在光柵背後的屏幕上產生由光點組成的圖形。

6.2

(a) 計算柵線間距。

(1 分)

$$2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

(b) 求第 2 級光點的衍射角。

(2 分)

$$44.4^\circ$$

(c) 證明光點的最高級別 n 就是小於 $\frac{d}{\lambda}$ 的最大整數，其中 d 是柵線間距， λ 則是光的波長。

(2 分)

(d) 求光點的最高級別。

(1 分)

$$2$$



7 聲音

我們在這課會學到

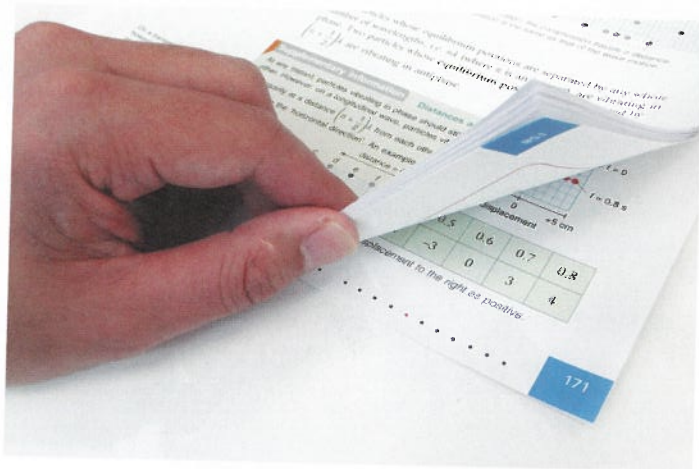
- 縱波的特性
- 聲音的波動本質
- 聲音的特性
- 樂音與噪音

7.1

縱波

起點 觀察縱波

快速翻動課本的書角，就會看到縱波傳播的情況。



留意紅色粒子的運動。波的傳播方向與粒子的振動方向有甚麼關係？
粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行。

✓ 本節重點

- 1 粒子振動和波動
- 2 以線圖描述縱波

我們已經認識了縱波，接下來會更深入研究縱波的特性。第4課中一些有關橫波的討論其實都適用於縱波。

1 粒子振動和波動

縱波包含一連串密部與疏部（圖 7.1a），它與橫波的最大分別在於粒子的振動方向。在縱波上，粒子的振動方向與波的傳播方向互相平行。利用縱波模型（圖 7.1b），可以觀察縱波上的粒子振動與波動，並藉此研究它們的關係。

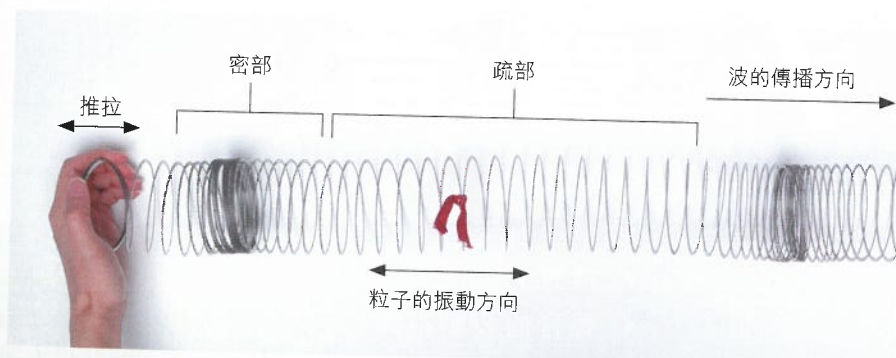


圖 7.1a 縱波



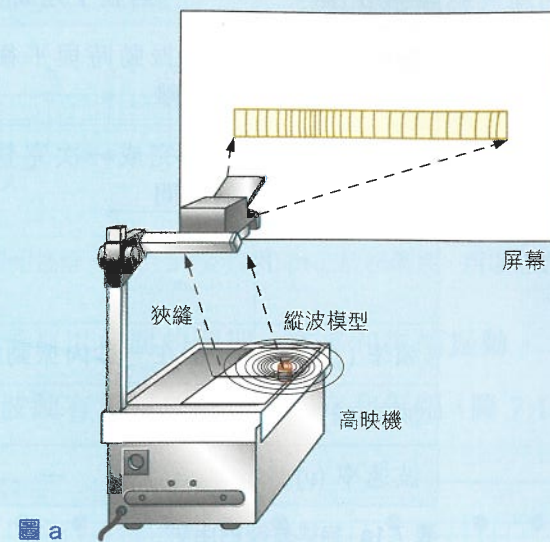
圖 7.1b 縱波模型包含一個透明圓盤，圓盤上面畫有一組特別的圓形條紋

錄像片段 7.1

→ 錄像片段 7.1 示範實驗 7a。

實驗 7a 縱波模型

- 1 在高映機上裝置縱波模型（圖 a）。
- 2 轉動模型的圓盤，觀察投映在屏幕上的「波」。



討論

描述「波」向前行進時，當中一條線段的運動情況。
它沿「波」的傳播方向前後振動。

從以上實驗可見，粒子振動，因而產生一連串密部與疏部，並形成波動（圖 7.1c）。

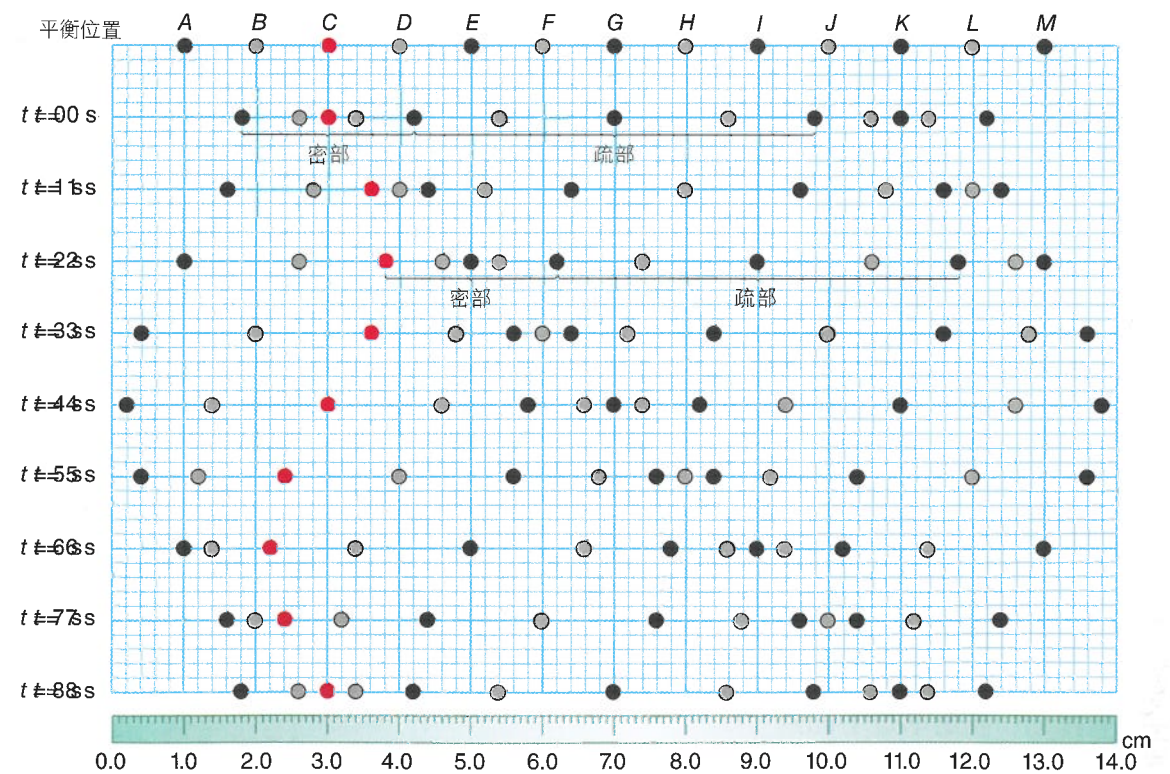
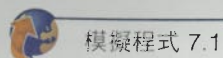


圖 7.1c 縱波上的粒子振動



模擬程式 7.1

→ 模擬程式 7.1 闡述何謂縱波的振幅、週期、頻率和波長。學生可改變這些量的大小，看看縱波如何受這些量影響。

表 7.1a 所列的用語，可用來描述粒子的振動和波動。根據它們的定義，我們可更清楚了解粒子振動與波動的關係。這些用語和定義與描述橫波的不同（見 p.14）。

用語	對粒子運動而言	對波動而言
振幅 (A)	粒子振動時與平衡位置的最大距離	波動中振動部分與平衡位置的最大距離
週期 (T)	粒子完成一次完整振動所需的時間	產生一個完整波所需的時間 或 波行進一個波長的距離所需的時間
頻率 (f)	粒子在一秒內振動的次數	一秒內產生的完整波數目
波長 (λ)	—	波形重複的最短距離
波速率 (v)	—	波在一秒內行進的距離

表 7.1a 描述縱波的用語

例題 1 粒子振動與波動

一列縱波向右傳播。它於不同時刻的波形如圖 7.1c (見 p.163) 所示。

- 求粒子 B 振動的週期和振幅。
- 求波速率。

題解

- 粒子 B 在 $t = 0$ 至 $t = 8$ s 之間完成了一次完整振動 (圖 a)。

因此，它振動的週期是 8 s。

振幅
= 與平衡位置的最大距離
= 0.8 cm

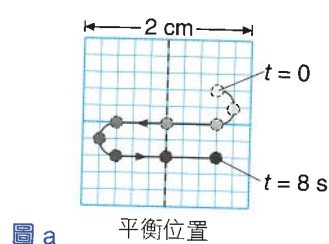


圖 a

- 密部在 $t = 0$ 至 $t = 1$ s 之間移動了 1 cm (圖 b)。

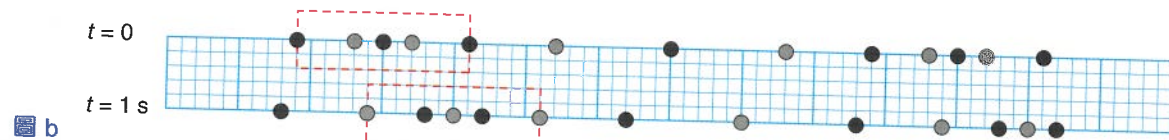


圖 b

因此，波速率是 1 cm s^{-1} 。

▶ 習題與思考 7.1 Q6 (p.173)

縱向行波和波的粒子有以下特性。我們可將以下各項與描述橫波的特性 (見 p.17) 比較一下。

在密部中心或疏部中心兩旁的粒子，會沿這些中心對稱分佈。知道這個特性，便可找出密部中心或疏部中心的位置。

- 在密部中心或疏部中心的粒子處於平衡位置。
- 兩個相鄰密部中心 (或疏部中心) 之間的距離為一個波長 λ (圖 7.1d)。

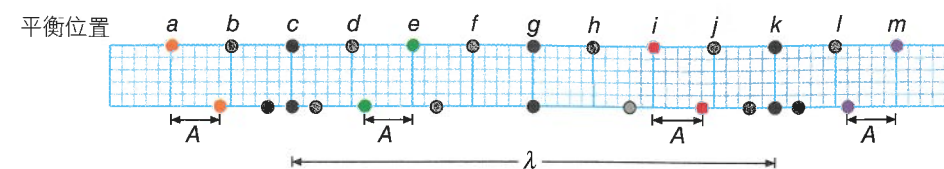


圖 7.1d 縱波的波長和振幅。粒子 a、e、i 和 m 的位移最大，所以它們位移的量值是振幅 A

- 波上所有粒子都以相同的週期、頻率和振幅振動。
- 粒子振動與波動有相同的週期、頻率和振幅 (圖 7.1e)。

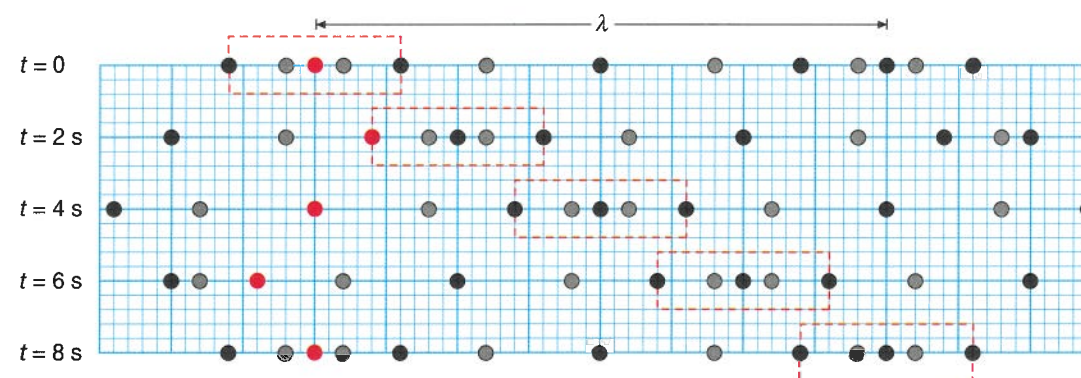


圖 7.1e 當紅色粒子完成了一次完整振動，密部便移動了一個波長的距離，這表示粒子振動與波動的週期相同

$$f: \text{頻率}; T: \text{週期}; v: \text{波速率} \quad \bullet \quad f = \frac{1}{T} \text{ 及 } v = f\lambda$$

這敘述對於橫向行波來說也是正確的。

- 當兩個粒子的平衡位置相距波長的整數倍，即 $n\lambda$ (n 是整數)，它們的振動同相；當兩個粒子的平衡位置相距 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ ，它們的振動反相。

補充資料 粒子的距離與相位的關係

在一列縱波上，兩個振動同相的粒子必然相距 $n\lambda$ 。但兩個振動反相的粒子則未必相距 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ ，原因是粒子有「水平位移」。以下例子展示了這種情況。

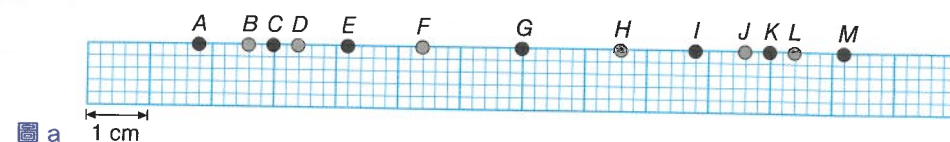


留意這與橫波的情況不同。在橫波上，兩個振動反相的粒子必然相距 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ (見 p.19)。

例題 2 縱波上的振動

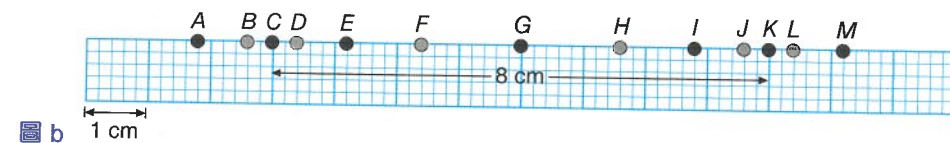
圖 a 顯示一列縱向行波上各粒子在某一刻的位置。

- 描述這些粒子的運動。
- 求這列縱波的波長。
- 若波的頻率是 5 Hz，它的週期和波速率是多少？
- 哪些粒子與粒子 B 的振動同相？



題解

- 它們沿着波的傳播方向前後擺動。
- 波長 = 兩個相鄰密部中心的距離 (圖 b) = 8 cm



(c) 週期 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ s}$

波速率 $v = f\lambda = 5 \times 0.08 = 0.4 \text{ m s}^{-1}$

- (d) 粒子 J (與粒子 B 的距離為 λ)

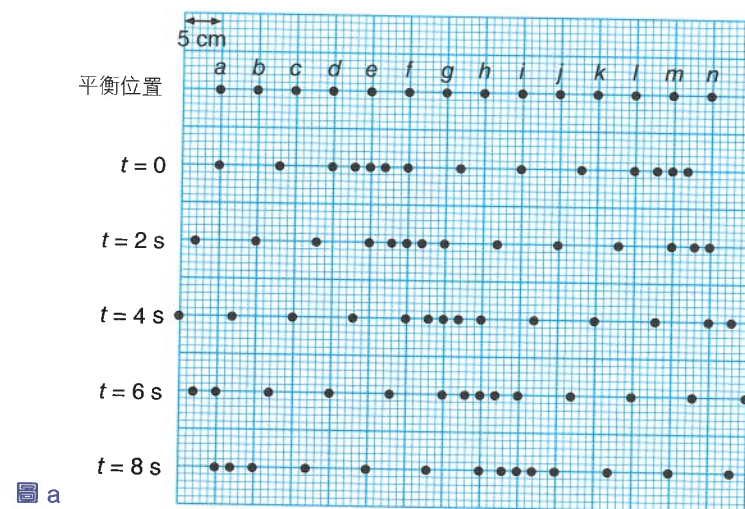
▶ 進度評估 1 Q1 (p.166)

進度評估 1 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.162)。

11 圖 a 顯示一列縱波在不同時刻的波形。

a 至 n 是縱波上的粒子。

- 求粒子 b 振動的振幅。5 cm
- 求波速率。2.5 cm s⁻¹
- 求波長。40 cm
- 據此，計算波的頻率。0.0625 Hz
- 哪些粒子與粒子 b 的振動同相？j
哪些粒子與粒子 b 的振動反相？f、n



2 以線圖描述縱波

位移—距離關係線圖和位移—時間關係線圖除了可以描述橫波外，也可用來描述縱波。

a 位移—距離關係線圖

在某時刻 t ，縱波上不同位置的粒子各有不同的位移 (圖 7.1f)。要表示粒子的位置，可先找出各個粒子的平衡位置，並量度它們與參考粒子 A 的平衡位置之間的距離，然後將各個粒子的位移 (s) 和距離 (d) 記錄下來 (表 7.1b)。

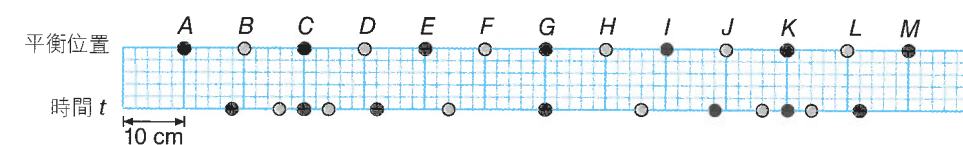


圖 7.1f 不同位置的粒子各有不同的位移

粒子	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
d / cm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
s / cm	8	6	0	-6	-8	-6	0	6	8	6	0	-6	-8

表 7.1b 各個粒子的位移 (取向右位移為正)

位移—距離關係線圖顯示某一刻波上各個粒子的位移。利用 s 與 d 的數據標繪線圖，所得的就是波的位移—距離關係線圖 (s - d 線圖) (圖 7.1g)。從這線圖可讀出波的振幅和波長。

我們習慣取向右位移為正。如果取向左位移為正，所得的 s - d 線圖會與圖 7.1g 上下倒轉。

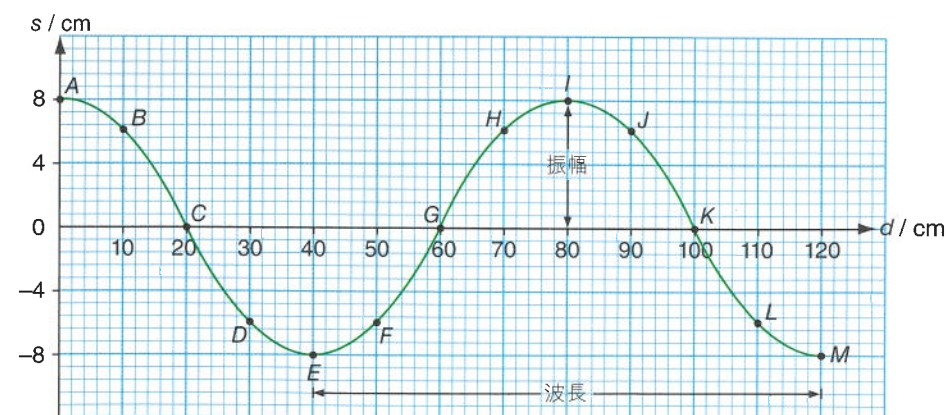


圖 7.1g 波的位移—距離關係線圖，顯示波的振幅為 8 cm，波長為 80 cm

例題 3 位移—距離關係線圖

一列縱波向右傳播。圖 a 顯示波上的粒子在 $t = 0$ 時的位置。

(a) 取向右位移為正，繪畫縱波在 $t = 0$ 的位移—距離關係線圖。

(b) 判斷縱波的波長。

(c) 哪些粒子與粒子 K 的振動反相？

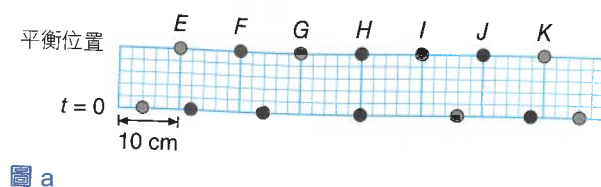


圖 a

題解

(a) 圖 b 顯示縱波的位移—距離關係線圖。

粒子	E	F	G	H	I	J	K
與粒子 E 平衡位置的距離 d / cm	0	10	20	30	40	50	60
位移 s / cm	-6	-8	-6	0	6	8	6

從 s - d 線圖讀出波長和振幅 (或從 s - t 線圖讀出週期和振幅)，比直接從縱波的波形找出容易得多。

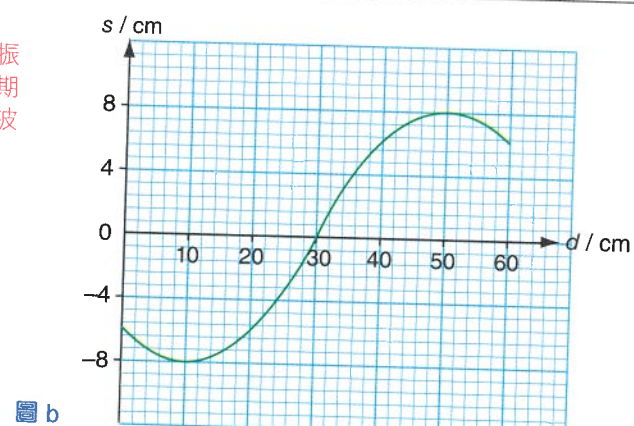


圖 b

(b) 在位移—距離關係線圖中，最低點 (F) 與相鄰的最高點 (J) 相距 $\frac{1}{2}\lambda$ 。因此，縱波的波長等於 $2 \times 40 \text{ cm} = 80 \text{ cm}$ 。

(c) 粒子 G 與 K 的振動反相，因為兩者的平衡位置相距 $\frac{1}{2}\lambda$ 。

進度評估 2 Q1 (p.169)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

利用位移—距離關係線圖找出密部中心或疏部中心 強調在以下討論中取向右位移為正。

圖線與距離軸的相交點代表密部中心或疏部中心。以圖 7.1g (見 p.167) 為例，當圖線由正值穿過距離軸變為負值，那個相交點就對應密部中心 (圖 a)。相反，當圖線由負值穿過距離軸變為正值，那個相交點就對應疏部中心 (圖 b)。

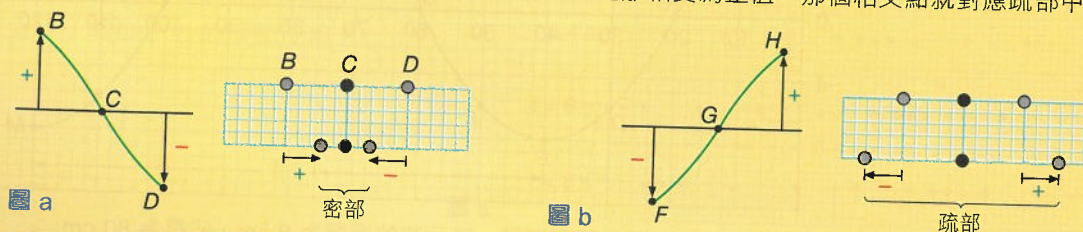


圖 a

圖 b

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.162)。

21 圖 a 顯示粒子 A 至 K 的平衡位置。一列縱波由左至右傳播，經過這些粒子。圖 b 顯示各粒子在時間 $t = 0$ 時的位置。

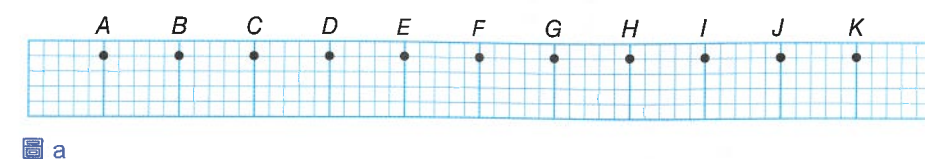


圖 a

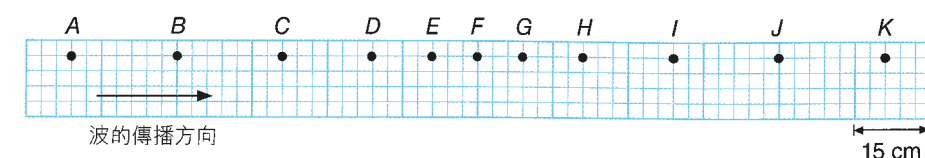


圖 b

(a) 取向右位移為正。在表 a 記錄各粒子的平衡位置與粒子 A 的平衡位置之間的距離 d ，以及各粒子在 $t = 0$ 時的位移 s ，然後在圖 c 繪畫波在 $t = 0$ 時的位移—距離關係線圖。

粒子	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
d / cm	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
s / cm	-6	0	6	9	6	0	-6	-9	-6	0	6

表 a

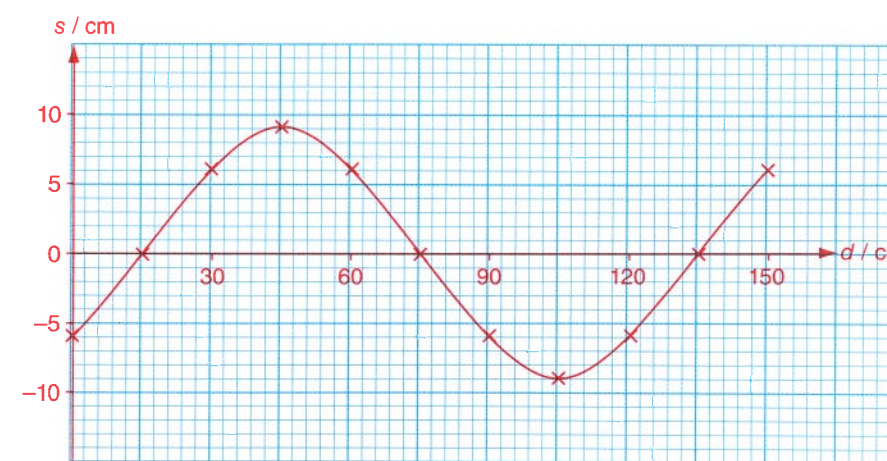


圖 c

(b) 判斷波的振幅和波長。 $A = 9 \text{ cm}$, $\lambda = 120 \text{ cm}$

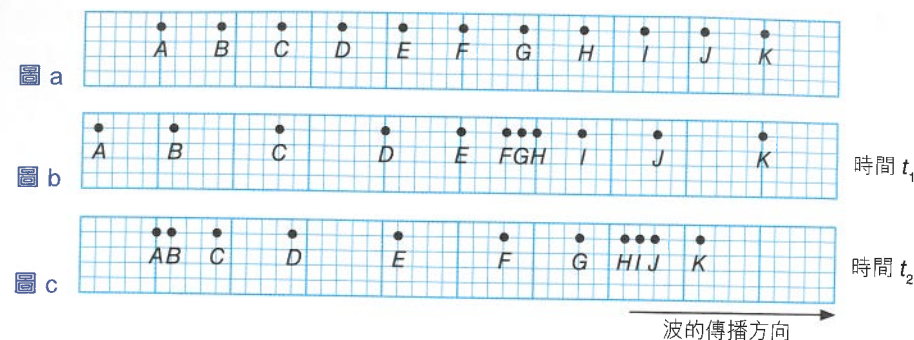
(c) 哪一(些)粒子與粒子 A 的振動同相？

位移—距離關係線圖會隨時間不斷改變，可用來找出縱波上的粒子在某一刻的運動方向。在下頁的問題中，我們就會應用這種方法。

預試訓練 1

縱波上粒子的運動方向 ☆ 香港中學文憑考試練習卷2012年卷一甲部 Q17

圖 a 顯示粒子 A 至 K 的平衡位置。一列縱波由左至右傳播，經過這些粒子。圖 b 和 c 分別顯示各粒子在時間 t_1 和 t_2 時的位置。



在時間 t_1 和 t_2 ，粒子 G 的運動方向是怎樣的？

	在 t_1	在 t_2
A	向左	瞬時靜止
B	向右	瞬時靜止
C	瞬時靜止	向左
D	瞬時靜止	向右

題解

取向右為正。考慮 G 以及它的鄰近粒子 F 和 H 的位移。草繪這部分波的位移—距離關係線圖。

圖 d 顯示在 t_1 的線圖。把圖線右移，就得到一段短時間後的線圖，可見在這一時刻，G 向正值的方向移動（向右移動）。

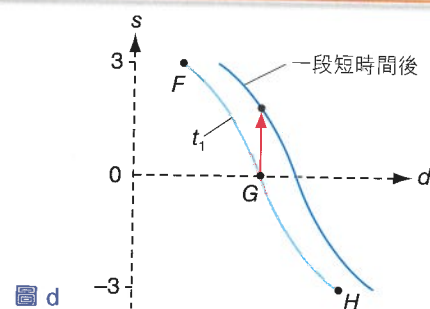
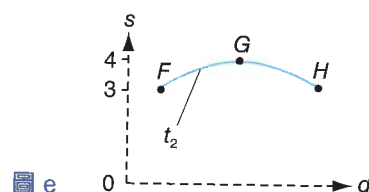


圖 e 顯示在 t_2 的線圖，可見在這一時刻，G 處於最大位移，因此，是瞬時靜止的。



∴ 答案是 B。

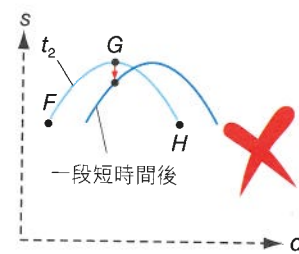
常見錯誤

學生或誤以為處於平衡位置的粒子是瞬時靜止的。

緊記縱波上的粒子並非如圖示般向上或向下移動，它們是向右或向左移動的。

常見錯誤

學生或會考慮一段短時間後的位移—距離關係線圖，因而認為 G 正向下移動。然而，由於 G 處於最大位移，用這方法就會得到錯誤的答案。



複習 Q20 (p.209)

b 位移—時間關係線圖

縱波傳播時，波上所有粒子都會振動。它們從平衡位置起計的位移會隨時間不斷改變（圖 7.1h）。

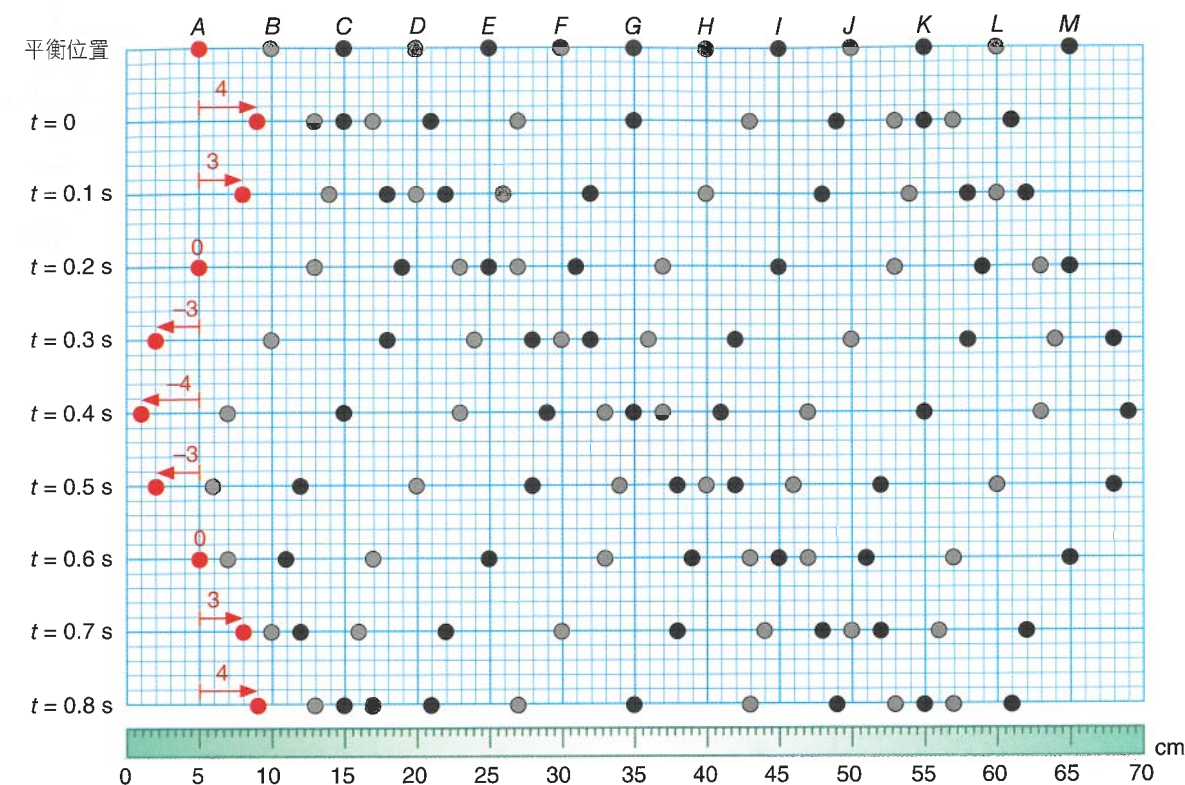


圖 7.1h 粒子的位移隨時間不斷改變（取向右為正）

考慮圖 7.1h 中的粒子 A，它以圖 7.1i 的方式振動。表 7.1c 記錄它在不同時刻 (t) 的位移 (s)。

與橫波的情況相似，粒子沿着同一水平線移動。圖 7.1i 畫成現在這個樣子，是為了清楚顯示振動的過程。

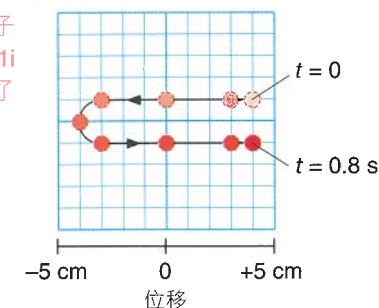


圖 7.1i 粒子 A 的振動

t / s	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
s / cm	4	3	0	-3	-4	-3	0	3	4

表 7.1c 粒子 A 的位移（取向右為正）

位移—時間關係線圖顯示某一粒子於不同時刻的位移。利用 s 與 t 的數據標繪線圖，所得的就是粒子的位移—時間關係線圖 ($s-t$ 線圖) (圖 7.1j)。從這線圖可讀出粒子振動的振幅和週期。

可讓學生繪畫圖 7.1h 中其他粒子的 $s-t$ 線圖。

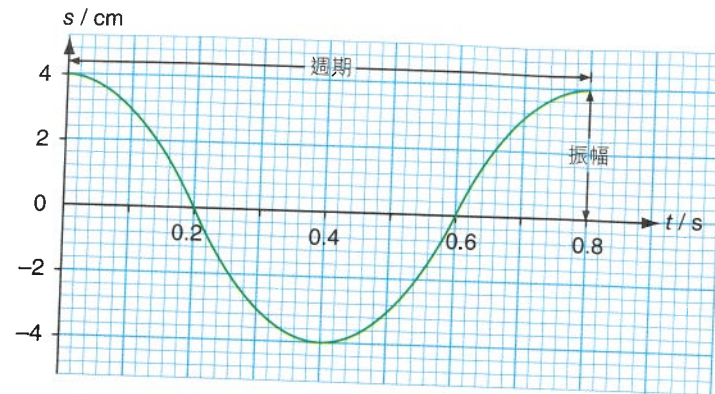


圖 7.1j 粒子 A 的位移—時間關係線圖，顯示粒子振動的振幅為 4 cm，週期為 0.8 s

進度評估 3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.162)。

- 21 圖 a 顯示粒子 A 至 K 的平衡位置。一列縱波由左至右傳播，經過這些粒子。圖 b 顯示各粒子在時間 $t = 0$ 時的位置。

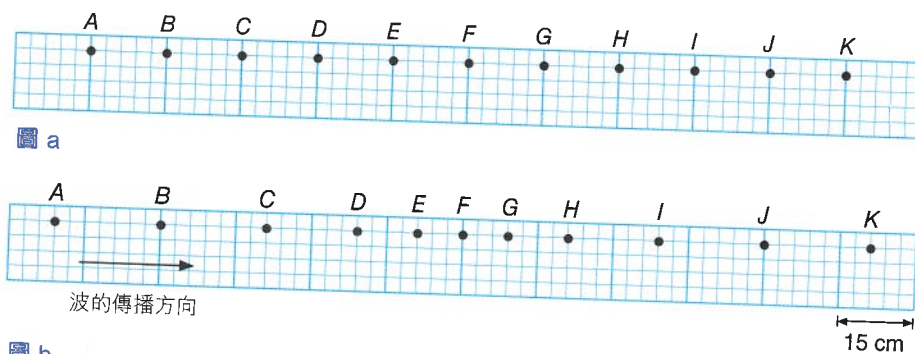


圖 b

在 $t = 0$ 時，粒子 D 和 E 的運動方向是怎樣的？D：瞬時靜止；E：向右

- 22 考慮圖 7.1h (見 p.171) 顯示的縱波。

- (a) 在圖 c 繪畫粒子 G 由 $t = 0$ 至 $t = 0.8$ s 的位移—時間關係線圖。
(b) 根據所繪畫的線圖，判斷波的振幅和週期。 $A = 4$ cm, $T = 0.8$ s
(c) 求波的頻率。 1.25 Hz

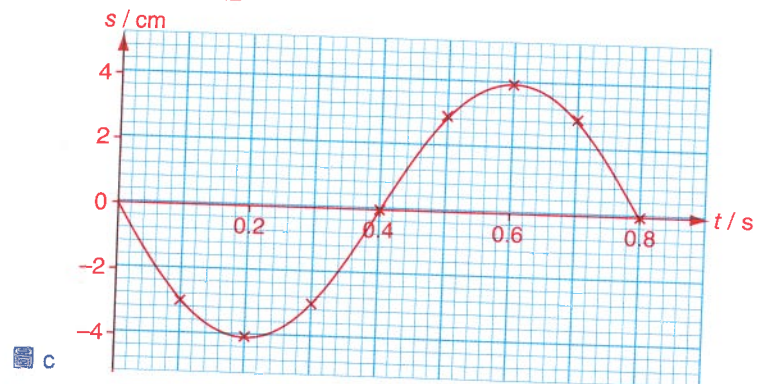


圖 c

習題與思考 7.1

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.162)。

- (第 1 至 5 題) 一列縱波向右傳播。圖 a 顯示縱波上一些粒子的平衡位置，圖 b 則顯示它們在時間 t 時的位置。

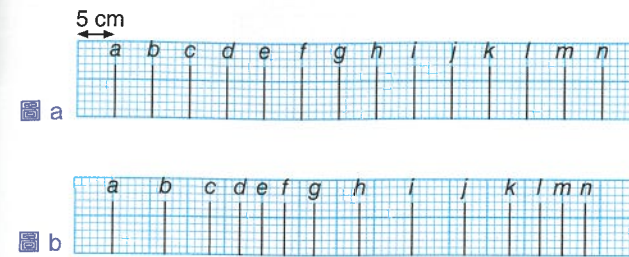


圖 a

圖 b

- 1 縱波的波長是多少？

A 20 cm B 30 cm
C 40 cm D 60 cm

- 2 哪一個粒子與粒子 b 的振動同相？

A 粒子 d B 粒子 f
C 粒子 j D 粒子 l

- 3 哪一個粒子與粒子 c 的振動反相？

A 粒子 e B 粒子 g
C 粒子 h D 粒子 k

- 4 在時間 t 時，粒子 i 的運動方向是怎樣的？

A 向左 B 向右
C 向上 D 瞬時靜止

- 5 假設 T 是波的週期。在隨後的 $\frac{1}{4}T$ 內，粒子 d 移動的距離是多少？

A 0 B 2 cm
C 3 cm D 10 cm

- 6 一列縱波沿軟彈簧傳播 (圖 c)。

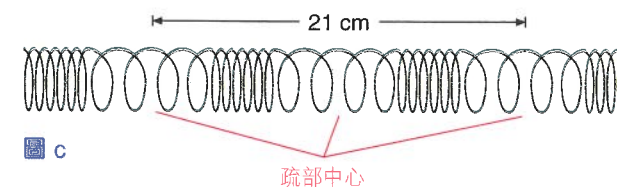


圖 c

- (a) 在圖 c 標示出疏部中心。

- (b) 估算縱波的波長。 10.5 cm

- (c) 縱波上的疏部前進 2 個波長的距離需時 4 秒。求波速率。 5.25 cm s⁻¹

$$\frac{21 \text{ cm}}{2} = 10.5 \text{ cm}$$

$$\frac{10.5 \times 2}{4} \text{ cm s}^{-1} = 5.25 \text{ cm s}^{-1}$$

- 7 一列縱波在長彈簧上向右傳播。圖 d 顯示彈簧上一些等距的粒子在不同時刻的位置。

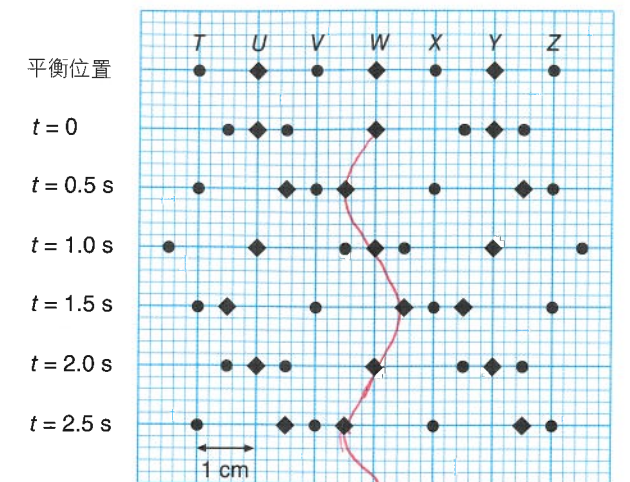


圖 d

- (a) 取向右位移為正。繪畫粒子 W 由 $t = 0$ 至 $t = 2.5$ s 的位移—時間關係線圖。

- (b) 求縱波的振幅、週期和頻率。

$$A = 0.5 \text{ cm}, T = 2 \text{ s}, f = 0.5 \text{ Hz}$$

- 8 一列縱波在介質中由左至右傳播，經過一連串粒子。圖 e 顯示各粒子在時間 t 時的位置。這些粒子的平衡位置等距。

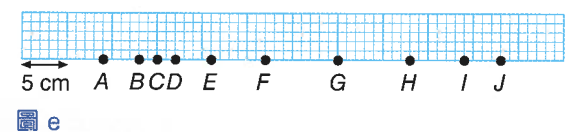


圖 e

- (a) 在時間 t 時，哪些粒子處於平衡位置？ C, G

- (b) 在圖 f 繪畫所有粒子的平衡位置。

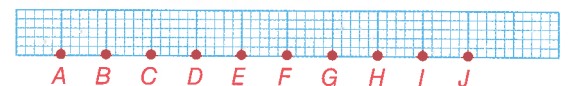


圖 f

- (c) 取向右位移為正。繪畫波在時間 t 時的位移—距離關係線圖。

p.173

- ★ 9 1,2 一列縱波向左傳播，經過一行珠子。圖 g 顯示珠子的平衡位置，圖 h 則顯示珠子在 $t = 0$ 時的位置。

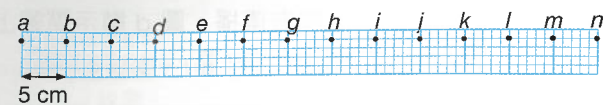


圖 g

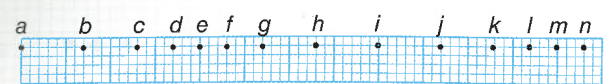


圖 h

- (a) 縱波的振幅和波長是多少？ $A = 3 \text{ cm}$ ， $\lambda = 40 \text{ cm}$
- (b) 取向右位移為正。繪畫波在 $t = 0$ 時的位移—距離關係線圖。
- (c) 在 $t = 0$ 時，哪一（些）粒子正向右移動？ a, b, h, i, j
- (d) 假設波速率是 10 cm s^{-1} ，粒子 j 最快會在甚麼時候處於密部中心？在 $t = 1.5 \text{ s}$ 時

- ★ 10 2 圖 i 顯示粒子 D 至 J 的平衡位置。一列縱波由左至右傳播，經過這些粒子。圖 j 顯示各粒子在時間 $t = 0$ 時的位置。

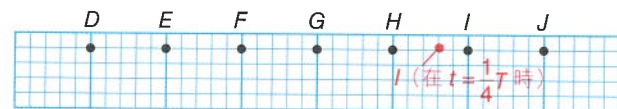


圖 i

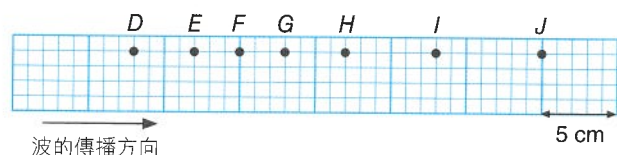


圖 j

- (a) 取向右位移為正。繪畫波在 $t = 0$ 時的位移—距離關係線圖。
- (b) 假設 T 是波的週期。在同一幅圖上，繪畫波在 $t = \frac{1}{4}T$ 時的位移—距離關係線圖。
- (c) 在 $t = \frac{1}{4}T$ 時，粒子 F 和 G 的運動方向是怎樣的？ F : 瞬時靜止； G : 向右
- (d) 在圖 i 中標示出粒子 I 在 $t = \frac{1}{4}T$ 時的位置。

- ★ 11 1,2 圖 k 顯示一列縱波在不同時間的情況。

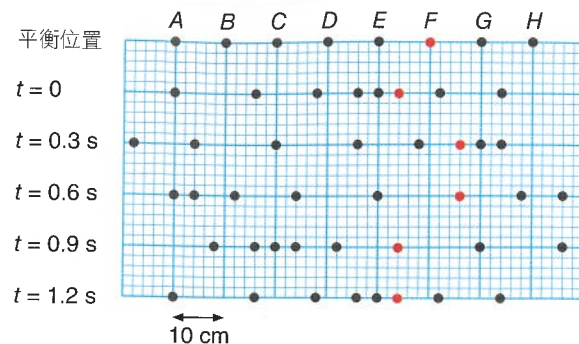


圖 k

取向右位移為正。

- (a) 波的振幅是多少？ 8 cm
- (b) 繪畫波在 $t = 0.6 \text{ s}$ 時的位移—距離關係線圖。
- (c) 繪畫粒子 F 由 $t = 0$ 至 $t = 1.2 \text{ s}$ 的位移—時間關係線圖。

- ★ 12 1 學生在軟彈簧上產生一列縱向行波，波的頻率為 4 Hz 。圖 l 顯示在某一時刻的波形。

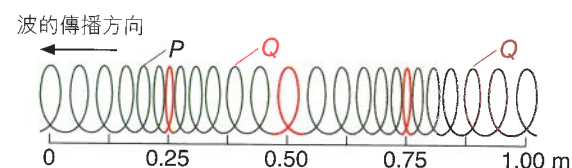


圖 l

- (a) 求縱波的週期。 0.25 s
- (b) 求縱波的波長。 0.5 m
- (c) 求波速率。 2 m s^{-1}
- (d) 線圈 P 和 Q 的振動反相。在圖 l 標示出線圈 Q 的所有可能位置。

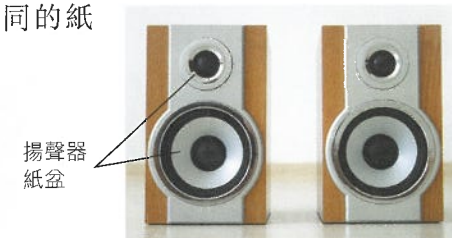
7.2

聲音的波動本質

起點 揚聲器

有些揚聲器裝有兩個或多個大小不同的紙盆。你知道原因嗎？

參閱第 180 頁「生活中的物理」。



在這單元我們會探討聲音的波動本質。

1 聲音由振動產生

在圖 7.2a 中，揚聲器上的發泡膠球上下彈跳，這顯示揚聲器的紙盆發聲時會振動。

錄像片段 7.2

→ 錄像片段 7.2 顯示聲音怎樣由振動產生。

物理 DIY
振動與聲音

聲音由振動產生，你能用鐵尺來印證這點嗎？

牛津物理網

用鐵尺彈奏一首樂曲：
<https://www.youtube.com/watch?v=NSLy8MAUWCo>



圖 7.2a 揚聲器的紙盆振動，使發泡膠球上下彈跳



事實上，任何聲源，如音叉、樂器，以至我們的聲帶，都有振動的部分（圖 7.2b 至 d）。當聲源振動，就會驅使旁邊的空氣粒子振動，繼而把振動傳到鄰近的空氣粒子，產生向外傳播的聲波。

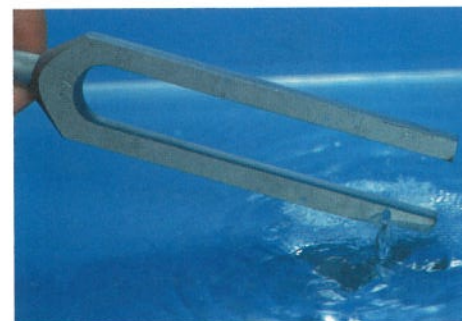


圖 7.2b 音叉臂振動令水濺起來



圖 7.2c 結他的弦線振動



圖 7.2d 說話時可以感受到自己的聲帶振動

2 聲音的性質

a 聲音是縱波

錄像片段 7.3

→ 錄像片段 7.3 顯示揚聲器發聲時，前面蠟燭的火焰會前後擺動。

做這個示範時，應把冷氣機和風扇關掉，以免火焰被風吹動。

如圖 7.2e 所示，燃燒的蠟燭置於揚聲器前面，揚聲器發出的聲音會令燭焰前後擺動，這顯示燭焰周圍的空氣也在振動。空氣的振動方向與聲波的傳播方向互相平行，這說明聲音是一種縱波。



圖 7.2e 聲音是縱波

揚聲器的紙盆快速地前後振動，過程中會拉伸和壓縮紙盆前方的空氣，造成一連串疏部和密部在空氣中傳播（圖 7.2f）。當它們傳到耳朵，便會引發耳朵內的鼓膜振動，我們便聽到聲音。

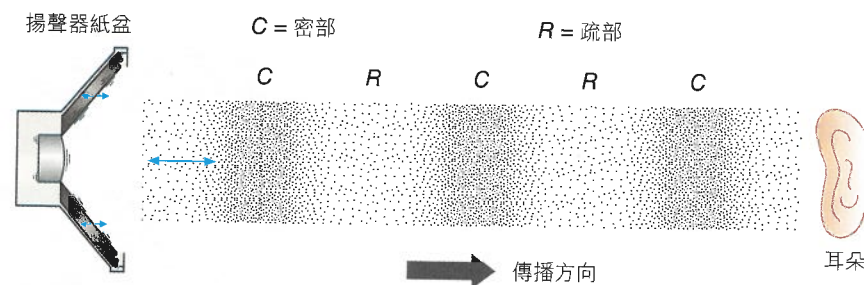


圖 7.2f 密部和疏部從揚聲器向外傳播

b 聲音是機械波

聲波除了可經氣體傳播，還可經固體和液體傳播（圖 7.2g）。聲波通過時，固體或液體內的粒子會隨之振動。



圖 7.2g 聲音可經固體和液體傳播

太空是一個近乎絕對真空的環境。在太空，太空人即使彼此靠得很近，也無法直接交談，他們必須使用無線電通訊系統才能對話（圖 7.2i）。

部分聲音可經由吊着電鈴的繩子傳遞到外面，所以電鈴的聲音不會徹底消失。

在很多電影中，飛船在太空中飛行時會發出巨大的聲音，老師可向學生提問這是否合理。

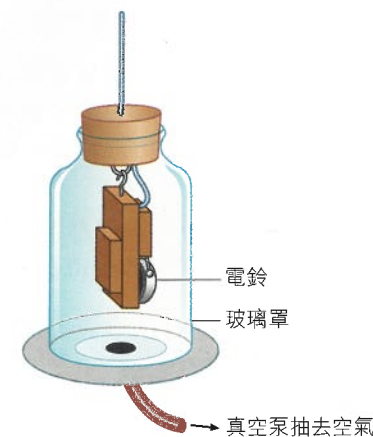


圖 7.2h 抽出空氣時，聽到的鈴聲就會愈來愈微弱



圖 7.2i 太空人要用無線電互相通訊

相反，電磁波則無須經介質傳播。要經介質傳播的波稱為機械波，例子包括聲波、水波及在繩子上產生的波。

3 「觀看」聲音

老師亦可用聲級計來量度聲音的響度。

我們會在第 4 冊第 5 課學習如何把振動轉換為電子訊號。

示波器會顯示一個類似橫波的波形，但這並不表示聲音是橫波。示波器顯示的實為微音器旁空氣粒子的位移—距離關係線圖。

用耳朵來探測聲音固然可以，但是利用儀器來量度則比較客觀和準確。微音器連接至陰極射線示波器（簡稱 CRO）（圖 7.2j），便可用來探測聲音訊號。

聲音到達微音器時，會令裏面一塊細小金屬片振動。微音器把這些振動轉換為電子訊號，示波器便把這些訊號以波形顯示（圖 7.2k）。聲音愈響亮，所顯示波形的振幅愈大。



圖 7.2j 利用微音器和示波器探測聲音

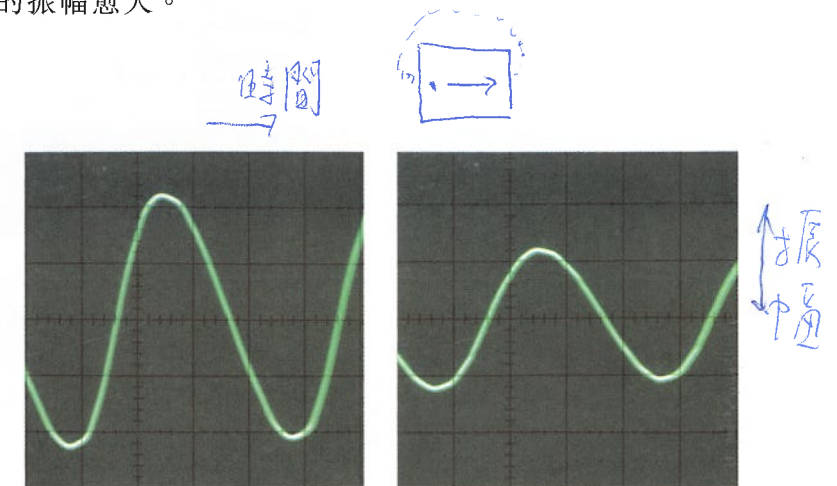


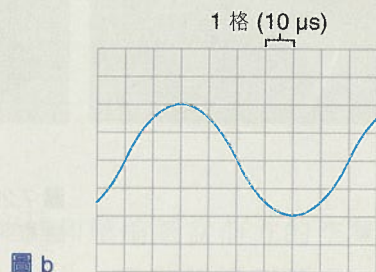
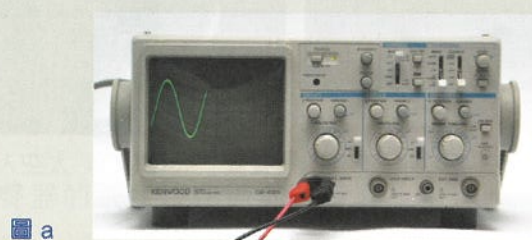
圖 7.2k 示波器上顯示的響亮聲音（左）和微弱聲音（右）

除示波器外，也可以利用連接電腦的聲音感應器，再配以合適的電腦軟件來探測聲音。電腦屏幕上會顯示出波形，方便進行詳細分析。這種方法在操作、儲存實驗數據，以及分析數據上都比使用示波器方便得多。

補充資料 陰極射線示波器

陰極射線示波器是一種把電子訊號轉換為視覺圖像的儀器（圖 a）。示波器中，電子束射向屏幕，屏幕上被擊中的位置會出現亮點。電子束隨時間（時基）水平移動，同時也按電子訊號的強弱和正負沿垂直方向擺動。於是，電子束便在屏幕上描繪出訊號隨時間變化的關係線圖。

以圖 b 顯示的聲波為例，示波器的時基設定為每格 $10\ \mu\text{s}$ ，表示沿水平方向，每格相當於 $10\ \mu\text{s}$ 。因此，聲波的週期等於 $8 \times 10\ \mu\text{s} = 80\ \mu\text{s}$ 。



4 聲音的波動現象

聲波跟其他波一樣，會展示反射、折射、衍射和干涉。以下部分說明聲波怎樣展示出這些現象。

a 聲音的反射

聲波遇到堅硬表面時會反射。向着遠處的懸崖或牆壁喊一聲，便會聽到從那處反射回來的聲音，也就是回聲（圖 7.2l）。有些動物，例如蝙蝠和鯨魚，會利用這個聲音的特性來導航和尋找獵物（圖 7.2m）。



圖 7.2l 在香港公園的奧林匹克廣場講話，聲音會從四周的座位反射回廣場中央



圖 7.2m 蝙蝠利用聲音的反射來導航和尋找獵物

$20\text{kHz} \rightarrow 200\text{kHz}$

$$v = f\lambda$$

$$\begin{matrix} 24^\circ\text{C} & 340\text{ m s}^{-1} \\ 0^\circ\text{C} & 330\text{ m s}^{-1} \end{matrix}$$

b 聲音的折射

當聲波由一種介質進入另一種介質，便會發生折射。聲波的傳播速率在兩個介質有所不同，這個分別造成聲波的傳播方向改變。

可在以下網址觀看這個示範：

www.youtube.com/watch?v=eHZJFa055Xo



圖中藍線代表聲波的密部。

我們可以利用圖 7.2n 的裝置來觀察聲波的折射。圖中的氣球載有二氧化碳。由於聲波在二氧化碳中的速率比在空氣中低，所以揚聲器所發出的聲波會經氣球折射而聚焦於一點。



(i) 微音器探測揚聲器發出的聲音

載有二氧化碳的氣球像一塊透鏡般把聲波會聚。



(ii) 聲波因氣球內的二氧化碳而折射，並聚焦於一點

圖 7.2n 聲音的折射

c 聲音的衍射

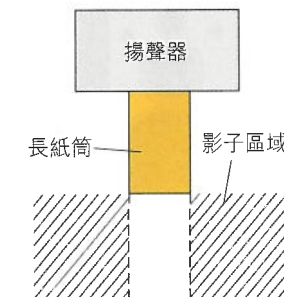
錄像片段 7.4

→ 錄像片段 7.4 示範實驗 7b。

在空曠的地方（例如操場）進行這個實驗，會得到明顯的效果。

由於部分聲音會穿過紙管，聲音不會完全消失。

紙筒的影子區域如下圖所示：



實驗 7b 聲音的衍射

- 1 在空曠的地方把揚聲器連接至訊號產生器。
- 2 把長紙筒連接到揚聲器上（圖 a）。
- 3 把訊號產生器的頻率設定為 1 kHz 。把微音器連接至示波器，然後移動微音器，使它在揚聲器前橫過。留意示波器上波形振幅的變化。
- 4 把訊號產生器的頻率設定為 7 kHz ，然後重複實驗。

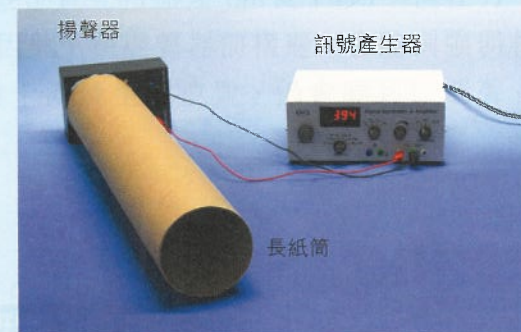


圖 a

討論

- 1 在紙筒的影子區域能夠探測到響亮的聲音嗎？這表示了甚麼？
能夠。這表示聲音發生衍射。
- 2 訊號產生器的頻率改變時，聽到響亮聲音的區域有甚麼改變？
頻率增加時，聽到響亮聲音的區域變小。

聲音的頻率為 1 kHz 和 7 kHz 時，波長約為 0.35 m 和 0.05 m。兩者都與紙筒的直徑 (0.15 m) 相若。因此，聲音在紙筒開口的衍射程度明顯。

在實驗 7b 中，我們能在紙筒的影子區域聽到聲音，這證明聲波與水波、光波一樣，會沿障礙物的邊緣衍射。

聲波的波長愈長，沿邊緣擴散的幅度就愈大 (圖 7.2o)。由於 1 kHz 聲波的波長比 7 kHz 聲波長，所以 1 kHz 聲波通過紙筒後的衍射幅度較大，覆蓋的區域較廣。

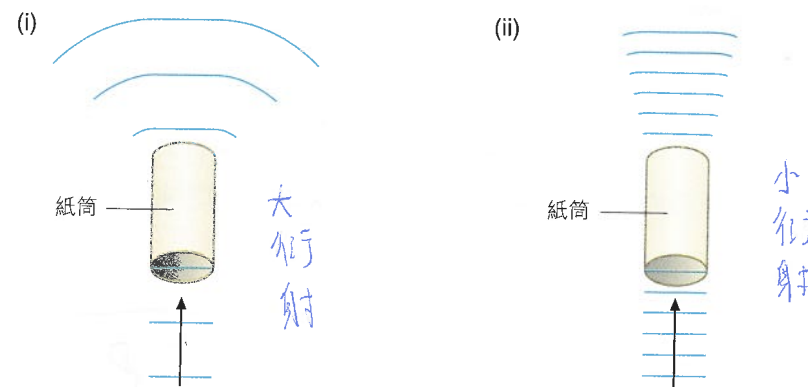


圖 7.2o 聲音的衍射：(i) 波長較長的聲音；(ii) 波長較短的聲音

我們不時會聽到別人在門後說話 (圖 7.2p)，這現象可用衍射來解釋。一般人聲的波長約為 1 m，與門的闊度相若。因此，聲波通過門的時候衍射程度明顯。

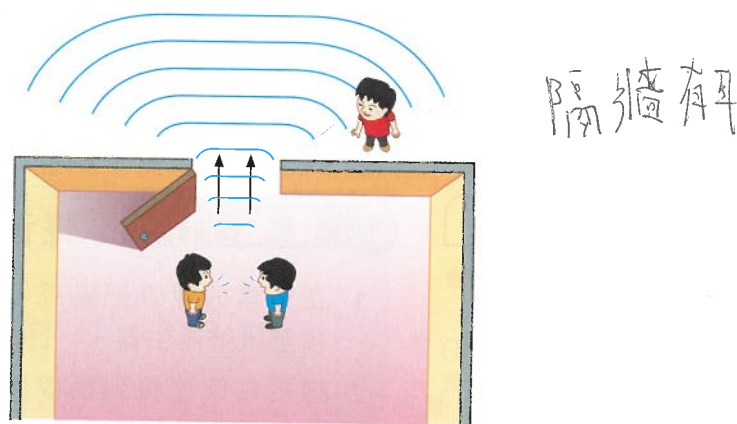


圖 7.2p 我們可以聽到別人在門後說話

生活中的物理

揚聲器

不少揚聲器設有多個紙盆，較大的紙盆會發出低頻聲音，較小的紙盆則會發出高頻聲音。

我們知道頻率較高的聲音擁有較短的波長，所以沿紙盆邊緣的衍射幅度會較小。用較細小的紙盆來發出高頻聲音，聲音的衍射幅度便會增加，使高頻聲音覆蓋的區域與低頻聲音大致相同。這就解答了起點的問題。



錄像片段 7.5

→ 錄像片段 7.5 示範實驗 7c。

d 聲音的干涉



實驗 7c

聲音的干涉

- 1 如圖 a 所示，把兩個揚聲器並聯連接至一個訊號產生器上，然後把訊號產生器的頻率設定為 2 kHz。
- 2 掩住一隻耳朵，然後在揚聲器前橫過，留意音量的變化。



圖 a

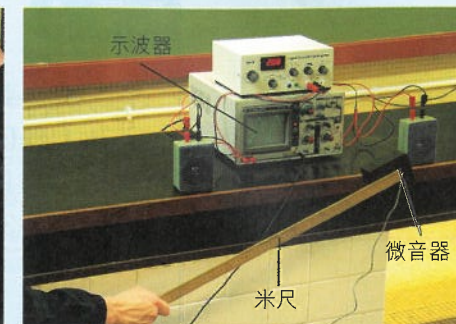


圖 b

- 3 把微音器連接至示波器，然後移動微音器，使它在揚聲器前橫過 (圖 b)。留意示波器上波形的振幅怎樣變化。

討論

兩個揚聲器前的音量均勻嗎？你從這結果可得出甚麼結論？

會聽到強弱相間的聲音，顯示由兩個揚聲器發出的聲波互相干涉。

實驗 7c 中，在揚聲器前橫過，會聽到強弱相間的聲音。

兩個揚聲器都連接同一訊號產生器，所以它們是相干源。

與水波和光波的情況相似，由兩個揚聲器發出的聲音在揚聲器前不同位置的程差各有不同。聲音在某些位置互相加強 (相長干涉)，但在另一些位置則互相抵銷 (相消干涉)。因此，在揚聲器前橫過，會聽到強弱相間的聲音 (圖 7.2q)。留意在相消干涉發生的位置，仍會聽到微弱聲音，這是因為有背景噪音存在。



錄像片段 7.6

→ 錄像片段 7.6 示範聲音干涉的實驗。實驗會顯示節線的位置。

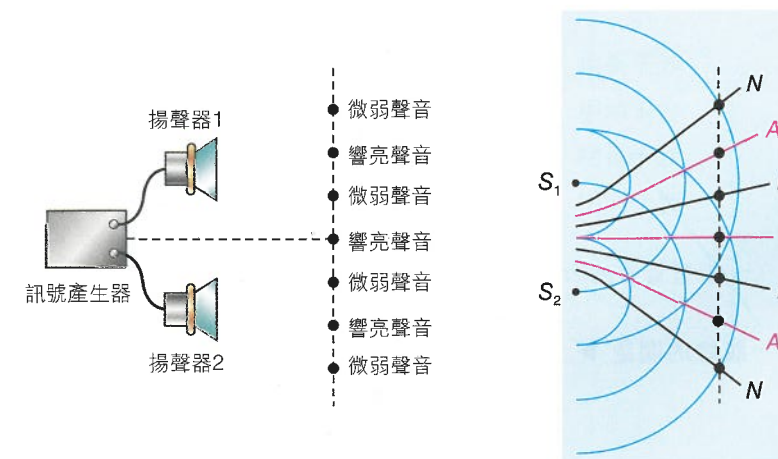


圖 7.2q 聲音的干涉

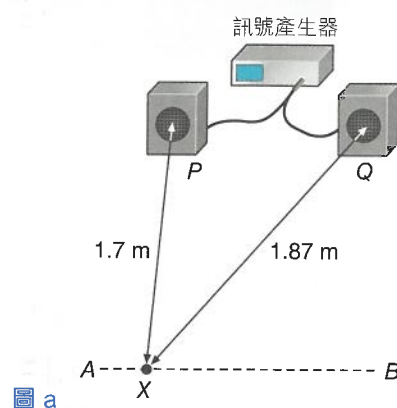
水波的情況可見於第 5 課
第 74 頁。

圖 7.2q (見 p.181) 也顯示響亮聲音和微弱聲音的位置與腹線和節線的關係。參照水波的情況，就可知道這些位置 (響亮聲音和微弱聲音) 的間距怎樣受聲波的波長和兩個揚聲器 (聲源) 之間的距離影響。

第 4 課曾提及聲音是一種波。現在，我們看到聲音展示出波獨有的現象：衍射和干涉，由此可證明上述說法。

例題 4 聲音的干涉

學生將揚聲器 P 和 Q 連接至訊號產生器，並把訊號產生器的頻率設定為 1 kHz 。他沿 AB 行走，聽到響亮聲音和微弱聲音交替出現，然後在 X 點停下，那處與 P 和 Q 分別 1.7 m 和 1.87 m 。聲波在空氣中的速率是 340 m s^{-1} 。



- 求 1 kHz 聲波的波長。
- 試推斷學生在 X 點聽到的是響亮聲音還是微弱聲音。
- 考慮在直線 AB 上聽到響亮聲音的兩個相鄰位置。增加聲波的頻率對這兩個位置的距離有甚麼影響？

$f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$

題解

- 根據 $v = f\lambda$ ，
波長 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1000} = 0.34\text{ m}$
- X 點的程差 $= 1.87\text{ m} - 1.7\text{ m} = 0.17\text{ m} = 0.5\lambda$
因此，在 X 點會發生相消干涉。
學生在 X 點聽到微弱聲音。
- 若頻率增加，波長便減少。
因此，聽到響亮聲音的兩個相鄰位置，距離會減少。

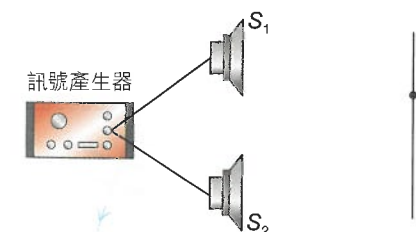
▶ 進度評估 4 Q1 (p.183)

當波長減少，腹線的間距便減少。

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.175)。

- 21 學生將兩個揚聲器 S_1 和 S_2 連接至訊號產生器 (圖 a)。他沿 PQ 行走，聽到響亮聲音和微弱聲音交替出現。



- 他要怎樣做，才可增加在直線 PQ 上聽到響亮聲音的兩個相鄰位置的距離？

- (增加/減少) 聲波的波長
- (增加/減少) 兩個揚聲器之間的距離

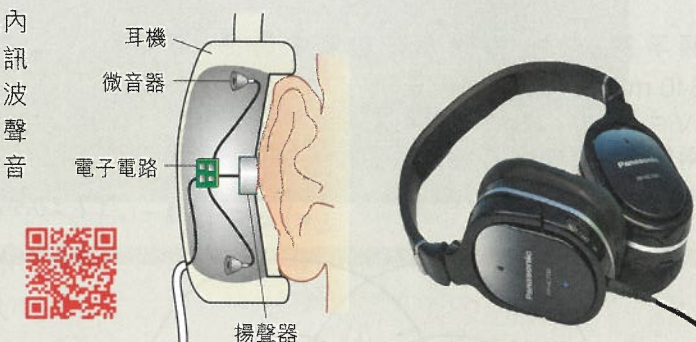
$$\Delta = 1.56 - 1.2 = 0.36\text{ m} = 1.05\lambda$$

- R 點與 S_1 相距 1.2 m ，與 S_2 相距 1.56 m 。聲波的波長是 0.24 m 。試判斷學生在 R 點聽到的是響亮聲音還是微弱聲音。微弱聲音

生活中的物理 抗噪耳機

抗噪耳機利用聲音干涉的原理來減低噪音。耳機內設有微音器，用來探測外來噪音。微音器會發出訊號，使耳機內的揚聲器產生與這些噪音反相的聲波 (同時產生來自播放器的正常音樂)。噪音與反相聲波因發生相消干涉而減弱，耳機因而達到減低噪音的效果。

以下網站有一個關於主動式噪音控制的有趣實驗。
<http://www.val.me.vt.edu/research/activenoisecontrol/>



習題與思考 7.2

- 21 將同一訊號傳送到兩個揚聲器，以產生干涉圖形 (圖 a)。實線代表聲波的波陣面。

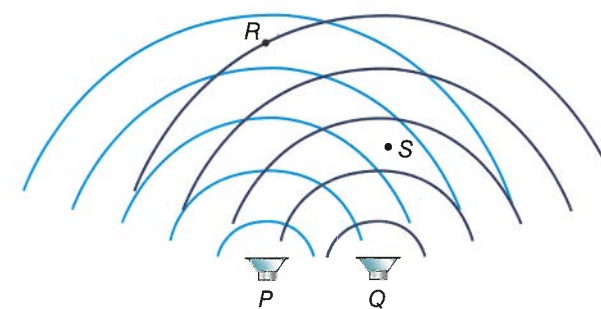


圖 a

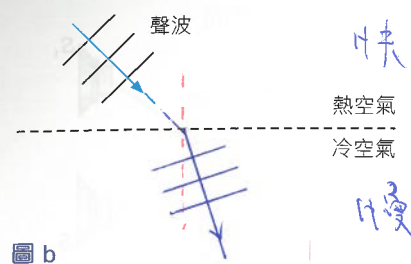
在 R 點和 S 點分別發生哪一種干涉？

	R	S
A	相長干涉	相長干涉
B	相長干涉	相消干涉
C	相消干涉	相長干涉
D	相消干涉	相消干涉

- 22 聲音沿轉角處擴散，是因為聲音發生

- 反射。
- 折射。
- 衍射。
- 干涉。

- ★ 3 聲波在熱空氣中的傳播速率比在冷空氣中快。圖 b 顯示一系列聲波正在熱空氣中傳播。

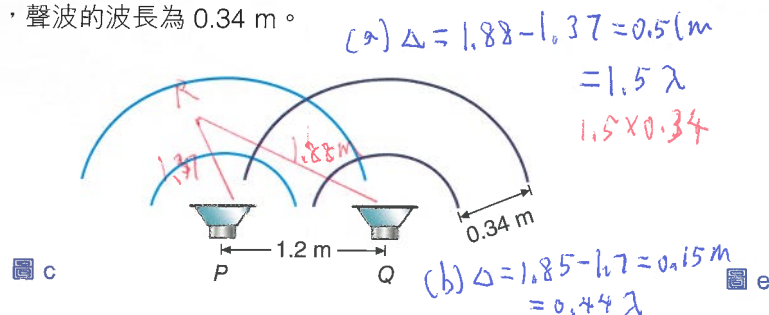


當聲波進入冷空氣，它的傳播方向與波長會有甚麼改變？

傳播方向	波長
A 向法線偏折	增加
B 偏離法線	增加
C 向法線偏折	減少
D 偏離法線	減少

- 1 4 頻率為 262 Hz 的聲波在空氣中傳播，速率為 340 m s^{-1} 。求聲波的波長。 **1.30 m**

- 2 5 兩個揚聲器 P 和 Q 相距 1.2 m。它們發出相干的聲波，聲波的波長為 0.34 m。



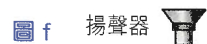
試判斷在下列位置會否發生相長干涉或相消干涉。

- (a) R 點，其中 $PR = 1.37 \text{ m}$ ， $QR = 1.88 \text{ m}$
 (b) S 點，其中 $PS = 1.7 \text{ m}$ ， $QS = 1.85 \text{ m}$
 (c) P 和 Q 的中點 (a) 相消干涉；(b) 兩者皆不會；(c) 相長干涉

- 2 6 男孩站在門後說話，聲音的平均頻率為 500 Hz。門的寬度是 1.5 m，聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。

- (a) 門的寬度是男孩聲音平均波長的多少倍？ **2.21**
 (b) 解釋為甚麼即使男孩的聲音沒有被任何表面反射，站在門另一邊的「影子」內的人仍然能夠聽到男孩的聲音。

$$d \approx \lambda$$

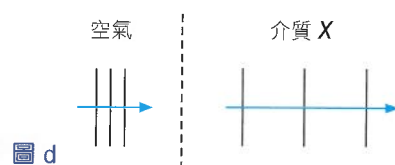


$$\text{middle-c } 256 \text{ Hz}$$

- ★ 7 蚊子每秒拍動翅膀 600 次，產生令人煩厭的聲音。

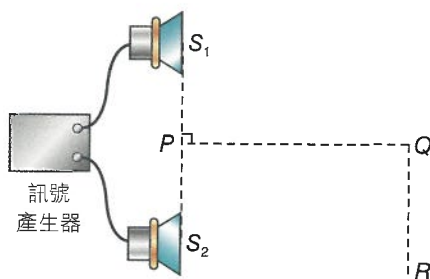
- (a) 蚊子所產生聲音的頻率是多少？ **600 Hz**
 (b) 聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。蚊子每次拍動翅膀之間，牠所發出的聲音傳播了多遠？ **0.567 m**

- ★ 8 已知聲波在空氣中的波長和傳播速率分別是 1.33 m 和 340 m s^{-1} 。聲波進入介質 X 時，波長變為 5.47 m (圖 d)。

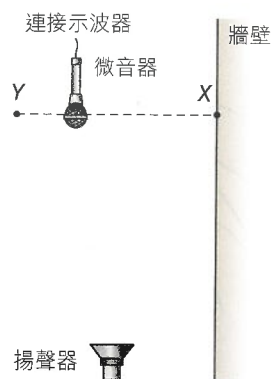


- (a) 求聲波在空氣中的頻率。 **256 Hz**
 (b) 求聲波在介質 X 中的傳播速率。 **1400 m s^{-1}**
 (c) 寫出上述現象的名稱。 **折射**

- ★ 9 學生將兩個揚聲器 S_1 和 S_2 連接至訊號產生器 (圖 e)。P 是 S_1 和 S_2 的中點。試解釋學生沿 (i) QR 和 (ii) PQ 行走時，所聽到聲音的響度變化。



- ★ 10 如圖 f 所示，把揚聲器放在牆壁的旁邊。微音器沿 XY 移動時，探測到響亮聲音和微弱聲音交替出現。試解釋為甚麼會出現這種情況。



7.3

聲音的特性

起點

估計雷暴的距離

我們可以估計到自己距離雷暴發生的地方有多遠嗎？原來有這樣的一個方法：如果看到閃電之後 3 秒才聽到雷聲，雷暴便發生在大約 1 公里遠的地方。你知道這方法的原理嗎？參閱第 186 頁例題 5。



單元 7.2 討論過聲音的波動本質，以下部分會探討聲音的其他特性。

1 聲音的傳播速率

完成以下的簡單實驗，便可找出聲音在空氣中的傳播速率。



實驗 7d

聲音在空氣中的傳播速率

- 放置兩個微音器，兩者相距某特定距離，然後把它們連接至計時器 (圖 a)。
- 在一個微音器旁敲擊金屬片，計時器會記錄聲音從較近的微音器傳播至較遠的微音器所需的時間。
- 計算聲音在空氣中的傳播速率。

討論

聲音在空氣中的傳播速率是多少？

溫度為 20°C 時，聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。

trigger

→ 錄像片段 7.7 示範實驗 7d。



錄像片段 7.7

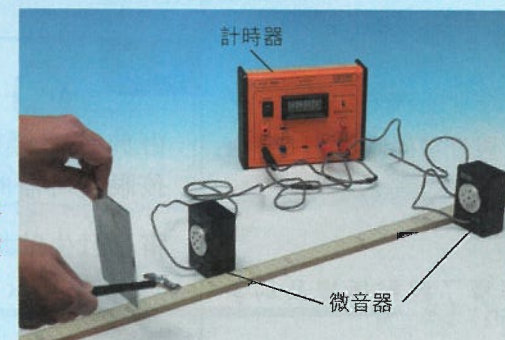


圖 a

聲音的傳播速率與它的頻率無關，但卻受傳播的介質影響。聲音在固體中的傳播速率比在液體中快，在液體中則比在氣體中快。

表 7.3a 列出了聲音在不同介質中的傳播速率。

介質	聲速 / m s^{-1}
0 °C 的二氧化碳	259
0 °C 的空氣	330
20 °C 的空氣	340
0 °C 的水	1402
20 °C 的水	1482
混凝土	5000
鋼	6000

表 7.3a 聲音在不同溫度和不同介質中的傳播速率

聲音在不同介質中的傳播速率：

$$v_{\text{固體}} > v_{\text{液體}} > v_{\text{氣體}}$$

密度高 密度低

聲音的傳播速率也隨溫度改變。在室溫下，聲音在空氣中的傳播速率約為 340 m s^{-1} ，但當空氣的溫度下降，聲音的傳播速率也會下降。

光在空氣中的傳播速率比聲音快得多，因此在發生雷暴時，我們會先看到閃電，然後才聽到雷聲。

例題 5 閃電與雷聲

女孩看到閃電，3 秒後才聽到雷聲。她距離雷暴發生的地方有多遠？聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。

題解

閃電與打雷同時發生。

由於光的傳播速率極高（約為 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ），閃電的光傳播到女孩眼睛所需的時間可略去不計。

雷暴發生的地方與女孩之間的距離
 $= vt = 340 \times 3 = 1020 \text{ m}$

這解釋了起點所提及的方法。

▶ 進度評估 5 Q2 (p.191)

2 可聽聲音與超聲波

a 聽頻範圍

人類只能聽見某個頻率範圍內的聲音。我們可以從以下實驗找出自己能聽見的頻率範圍。



模擬程式 7.2
錄像片段 7.8

→ 模擬程式 7.2 可產生不同頻率的聲波。

→ 錄像片段 7.8 示範實驗 7e。



實驗 7e

聽頻範圍

- 1 把訊號產生器連接至揚聲器和示波器（圖 a）。
- 2 把訊號產生器的頻率設定為 1 Hz，然後逐漸增加至超過 20 kHz。找出你能聽見的頻率範圍。

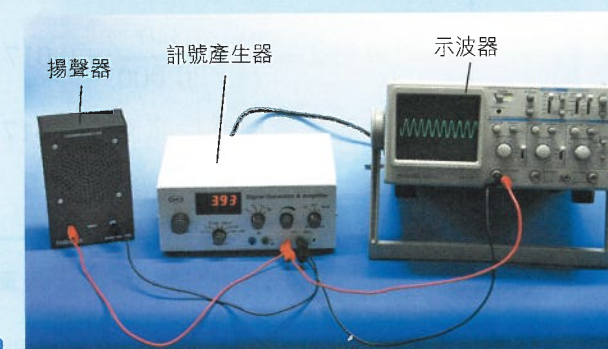


圖 a

討論

我們怎能知道揚聲器發出了一些我們聽不見的聲音？
 揚聲器發出聲音時，即使我們聽不見，示波器仍會顯示出波形。

聽頻範圍內的聲音稱為可聽聲音。

人類只能聽見 20 Hz 至 20 kHz 左右的聲音（圖 7.3a），這個頻率範圍稱為聽頻範圍。每個人的聽頻範圍都有少許不同。隨着年紀增長，聽頻範圍會逐漸縮窄。

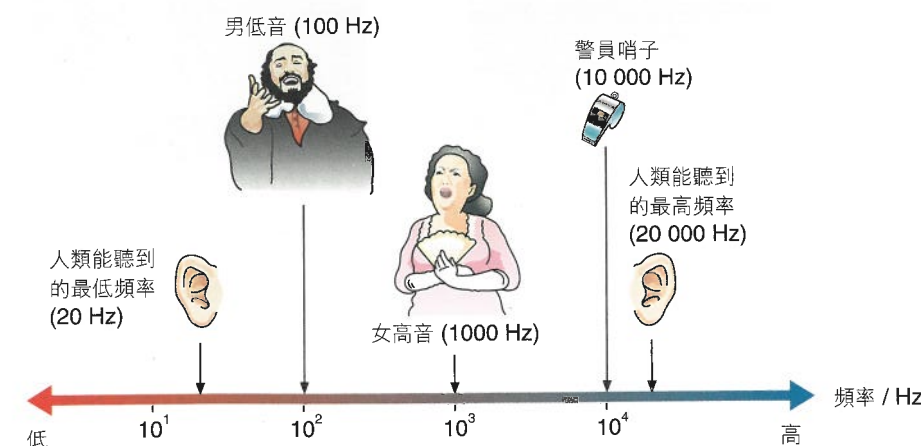


圖 7.3a 聽頻範圍內的聲音

聽頻範圍 audible frequency range

例題 6 可聽聲音的波長

聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。求以下聲音的波長。

- (a) 最低頻率 (20 Hz) 的可聽聲音
(b) 最高頻率 (20 000 Hz) 的可聽聲音

題解

- (a) 根據 $v = f\lambda$,

$$\text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{20} = 17 \text{ m}$$

- (b) 根據 $v = f\lambda$,

$$\text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{20\,000} = 0.017 \text{ m}$$

可聽聲音的波長範圍是 0.017 m 至 17 m。

▶ 進度評估 5 Q3 (p.191)

b 超聲波

頻率高於人類聽頻範圍上限的聲波，即頻率高於 20 kHz 的聲波，稱為**超聲波**。人類無法聽見超聲波，但很多動物卻可以聽見（圖 7.3b）。



(i) 海豚能夠產生和聽見 7 kHz 至 120 kHz 的聲音。牠們可以用超聲波來互相溝通



(ii) 蝙蝠發出 100 kHz 的超聲波，偵察障礙物反射回來的回聲，藉此導航



(iii) 狗隻能夠聽見狗哨子所產生 23 kHz 至 54 kHz 的超聲波

圖 7.3b 可以聽見超聲波的動物

聽頻範圍： $20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$

超聲波的頻率： $f > 20\,000 \text{ Hz}$

20 kHz

頻率低於 20 Hz 的聲音 ▶
稱為次聲波。

超聲波 ultrasound

sonar

例題 7 聲納

聲納系統可用來量度海洋的深度，或探測魚羣的位置，方法是向海中發出超聲波，然後探測海床或魚羣反射回來的回聲。

如圖 a 所示，一艘拖網漁船向海中發出一個超聲波脈衝，不久便接收到魚羣反射回來的脈衝。漁船所發出超聲波的頻率是 30 kHz，超聲波在海中的傳播速率是 1500 m s^{-1} 。

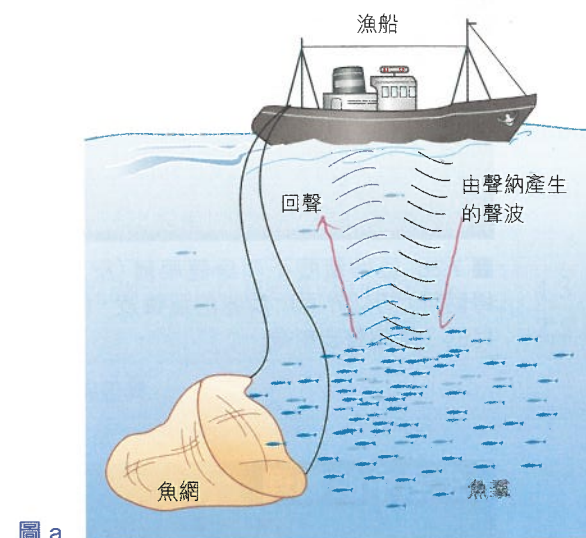


圖 a

- (a) 求超聲波在海中的波長。

- (b) 示波器的屏幕顯示漁船所發出的脈衝與接收到的回聲（圖 b）。示波器的時基設定為每格 5 ms。求漁船與魚羣之間的距離。
($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$)

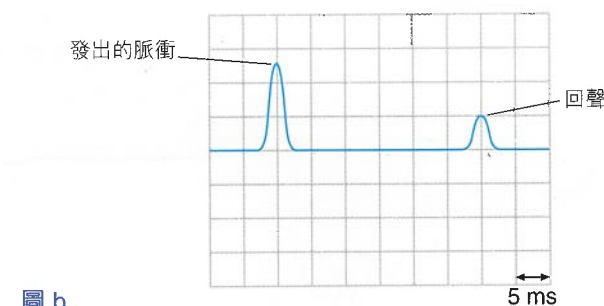


圖 b

題解

- (a) 根據 $v = f\lambda$,

$$\text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{30\,000} = 0.05 \text{ m}$$

- (b) 發出脈衝與接收脈衝之間的時距 = $5 \text{ ms} \times 6 = 30 \text{ ms}$

漁船與魚羣之間的距離

$$= \frac{1}{2} \times vt = \frac{1}{2} \times 1500 \times (30 \times 10^{-3}) = 22.5 \text{ m}$$

$$v \times \left(\frac{t}{2}\right) = d$$

漁船與魚羣之間的距離
= 脈衝所傳播距離的一半

▶ 習題與思考 7.3 Q7 (p.192)

聲納 sonar

我們會在 E4 冊詳細討論 ▶ 例題 7 展示了聲納如何利用超聲波來探測物件的位置。超聲波掃描（圖 7.3c）和超聲波裂紋探測器（圖 7.3d）也是利用相同原理運作。



圖 7.3c 透過量度不同身體組織（皮膚、肌肉、骨骼等）的交界面所反射的超聲波，便可產生胎兒的二維超聲波影像



圖 7.3d 超聲波在固體中遇到裂紋時會反射，因此可用作檢查鐵路軌道

生活中的物理

超聲波止吠器

超聲波止吠器能防止狗隻吠叫。它所發出超聲波的頻率在狗隻的聽頻範圍以內，會令狗隻覺得十分煩擾而停止吠叫，卻不會對附近的人有影響。



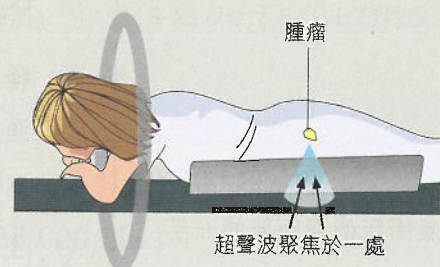
超聲波清潔器

超聲波清潔器可用來清洗細小而精密易損的物品，例如珠寶、手錶零件和眼鏡。清潔時，把物品浸在液體中，然後讓超聲波在液體中傳播，超聲波造成的振動會使污跡脫落。



手術用超聲波

將超聲波聚焦於一小撮區域，就可將大量能量傳遞到那區域。這種技術被應用到手術上，用作破壞人體內的腫瘤或病變組織。



3 比較聲波與光波

表 7.3b 總結了聲波與光波的差異。

	聲 波	光 波
性質	機械波	電磁波
波的種類	縱波	橫波
傳播介質	固體、液體和氣體，但不包括真空	透明或半透明的固體、液體和氣體，以及真空
在空氣中的傳播速率	340 m s^{-1}	$3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
人類能在空氣中探測到的波長範圍	0.017 m 至 17 m	400 nm 至 700 nm
人類能在空氣中探測到的頻率範圍	20 Hz 至 20 000 Hz	$4.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 至 $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

表 7.3b 聲波與光波的差異

進度評估 5

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.185）。

- 11 在室溫下，聲音在空氣中的傳播速率約為 $(3 \text{ m s}^{-1} / 300 \text{ m s}^{-1} / 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})$ 。
- 12 浩揚正在觀賞維港上空的煙花匯演（圖 a）。他看到一個煙花彈在空中炸開後，隔了 2 秒才聽到所發出的聲響。煙花彈炸開的位置與浩揚相距多遠？聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。680 m



圖 a

- 24 寫出可聽聲音與超聲波的頻率範圍。
可聽聲音： $20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$ ；超聲波： $f > 20\,000 \text{ Hz}$
- 35 在棒球比賽中，球員用球棒擊球，發出清脆響亮的擊球聲（圖 b）。坐在觀眾席的觀眾會先看到球員擊中棒球，還是先聽到擊中棒球的響聲？為甚麼？先看到球員擊中棒球



圖 b

- 23 一列聲波在空氣中以 340 m s^{-1} 傳播，聲波的波長為 0.01 m。找出聲波的頻率，並判斷我們能否聽見這聲音。34 000 Hz，不能

$$v = f \lambda$$

$$340 = f \times 0.01$$

$$f = 34000 \text{ Hz}$$

$$= 34 \text{ kHz}$$

$$> 20 \text{ kHz}$$

- 16 女孩向着高山呼喊，嘗試憑回聲來判斷自己與高山的距離。她在呼喊後，隔了 1.8 s 才聽到回聲。求她與高山的距離。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。306 m

$$d = v \times \frac{t}{2} = 340 \times \frac{1.8}{2}$$

習題與思考 7.3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.185)。

3 1 下列哪些有關聲音和光的敘述是正確的？

- (1) 聲音和光都不能在真空中傳播。
- (2) 光在空氣中的傳播速率比聲音快得多。
- (3) 聲音是縱波，光則是橫波。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2 2 下列哪些有關可聽聲音和超聲波的敘述是正確的？

- (1) 在空氣中，可聽聲音的頻率比超聲波高。
- (2) 在空氣中，可聽聲音的波長比超聲波長。
- (3) 在空氣中，可聽聲音的傳播速率比超聲波快。

- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

★ 3 1 男孩站在兩個懸崖 P、Q 之間 (圖 a)。他在時間 $t = 0$ 時向 P 高聲叫喊，然後分別在 $t = 0.8 \text{ s}$ 和 $t = 1.68 \text{ s}$ 時聽到第一次及第二次回聲。求 P 與 Q 的距離。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。



圖 a

- A 136 m
B 150 m
C 286 m
D 340 m

2 4 蝙蝠會發出超聲波，然後透過探測反射回來的聲波來判斷物件的位置。如果蝙蝠發出和接收超聲波脈衝的時距為 0.2 s ，物件與蝙蝠相距多遠？假設蝙蝠發出超聲波的頻率是 30 kHz ，超聲波在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。 **34 m**

1, 2 5 頻率為 6000 Hz 的聲音以 5000 m s^{-1} 的速率沿鐵棒傳播。

- (a) 求聲音的波長。 **0.833 m**
- (b) 部分聲音進入空氣中，且傳播速率因而下降。假設進入空氣的聲音足夠響亮，試解釋我們能否聽見這聲音。 **能夠**

1 6 有一塊大石跌落混凝土道路上，產生巨響。

- (a) 響聲在 2.5 s 內會經空氣傳播到多遠？聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。 **850 m**
- (b) 響聲也會經混凝土傳播。在 2.5 s 內，聲音經混凝土傳播的距離比經空氣傳播的距離遠嗎？試簡單解釋。 **是**

★ 7 2 某艘船的聲納系統能發出頻率為 150 kHz 的聲波。聲音在海中的傳播速率是 1500 m s^{-1} 。

- (a) 解釋船隻所發出的是否超聲波。 **是**
- (b) 船隻往海裏發出聲音脈衝，然後接收到來自魚羣的回聲。示波器的屏幕顯示船隻所發出的脈衝與接收到的回聲 (圖 b)。示波器的時基設定為每格 20 ms 。求魚羣在船隻下方的深度 ($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$)。 **75 m**

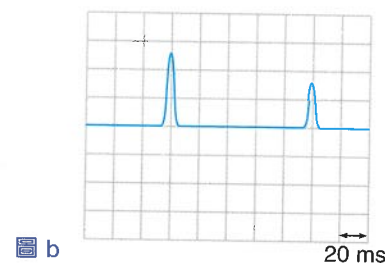


圖 b

★ 8 1 圖 c 展示用來量度聲速的實驗。

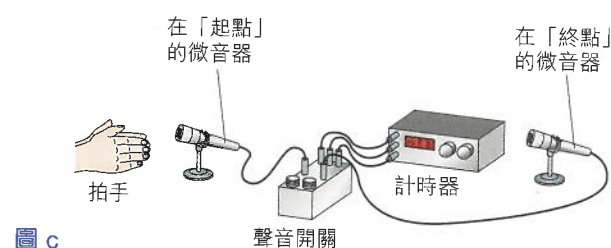


圖 c

兩個收音器相距 5.0 m 。學生在左面拍手後，計時器顯示的讀數為 0.015 s 。試估算聲音在空氣中的傳播速率。 **333 m s^{-1}**

7.4

樂音與噪音

起點 唱出樂音

樂音的音調不同，表示它們的頻率不同。
樂音的響度不同，表示它們的振幅不同。

合唱團的歌聲優美悠揚，音調高低起伏，時而響亮，時而輕柔。從聲波的角度來看，這些千變萬化的樂音有甚麼分別呢？

即使合唱團成員所唱出樂音的音調和音量都相同，我們仍能分辨出不同成員的聲音。為甚麼？不同成員唱出的樂音有不同的音品。



1 描述樂音

音叉和樂器等聲源的振動富有規律，它們發出的聲音稱為樂音。如果聲源的振動雜亂無章，毫無規律，發出的聲音會令人煩躁不安，這些聲音就稱為噪音 (圖 7.4a)。

接下來，我們會在實驗 7f 來探討樂音的特性。

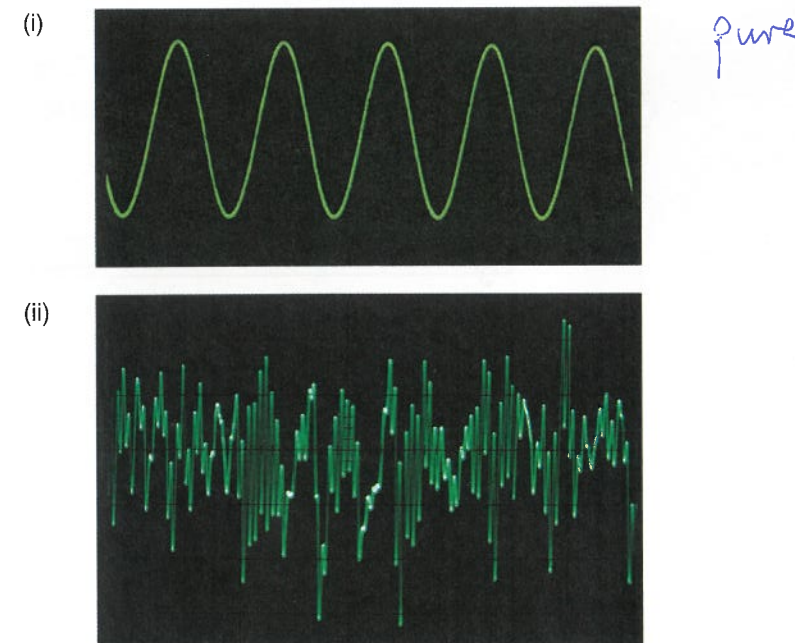
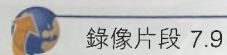


圖 7.4a (i) 樂音與 (ii) 噪音的波形



錄像片段 7.9

也可以用聲音感應器和數據記錄器來取代示波器做實驗。

吩咐學生模仿音叉發出的聲音。教授音品時可提及這個活動。

把感應器的取樣率調至 10 000 Hz 或以上。

實驗 7f 樂音

- 1 把訊號產生器連接至揚聲器和示波器 (圖 a)。改變訊號產生器的頻率和音量，留意揚聲器發出的聲音與示波器上的波形怎樣改變。



圖 a

- 2 把微音器連接至示波器。將振動的音叉移近微音器，觀察示波器顯示的波形。然後對着微音器唱出「do」、「re」、「mi」等樂音，以及對着微音器演奏樂器，觀察在不同情況下示波器顯示的波形。

討論

改變頻率、音量，以及用不同樂器演奏，對所產生的樂音有甚麼影響？

當頻率增加，樂音的音調便升高。

當音量增加，樂音便較響亮。

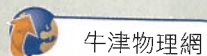
不同樂器奏出來的樂音聽起來有很大分別。

物理 DIY

自製吹管樂器



你懂得利用兩個鐵罐 (一大一小)，以及一支飲管，來製造吹管樂器嗎？



牛津物理網

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

要比較樂音，就是比較它們的音調、響度和音品。

a 音調

音調是樂音高低程度的主觀感覺。

音調是指樂音聲調的高低 (圖 7.4b)。一般來說，女孩能夠唱出音調較高的樂音，男孩則能夠唱出音調較低的樂音。



圖 7.4b 五線譜上不同音調的樂音

在實驗 7f，當訊號產生器的頻率增加，便會產生頻率較高的聲波。這時，樂音的音調聽起來較高，示波器上所顯示波形有較短的循環 (圖 7.4c，見 p.195)。

前文提及，示波器上的波形其實是位移—時間關係線圖 (見 p.177)，所以波形的循環代表了聲波的週期。這解釋了為甚麼較高頻率 (較短週期) 的聲波產生時，示波器上波形會有較短的循環。

音調 pitch 響度 loudness 音品 quality

b 響度

響度是樂音強弱的主觀感覺。

在實驗 7f，當訊號產生器的音量增加，所產生的聲波便載有較多能量，也有較大的振幅。這時，聲音聽起來較響亮，示波器上所顯示的波形，振幅也較大 (圖 7.4c)。

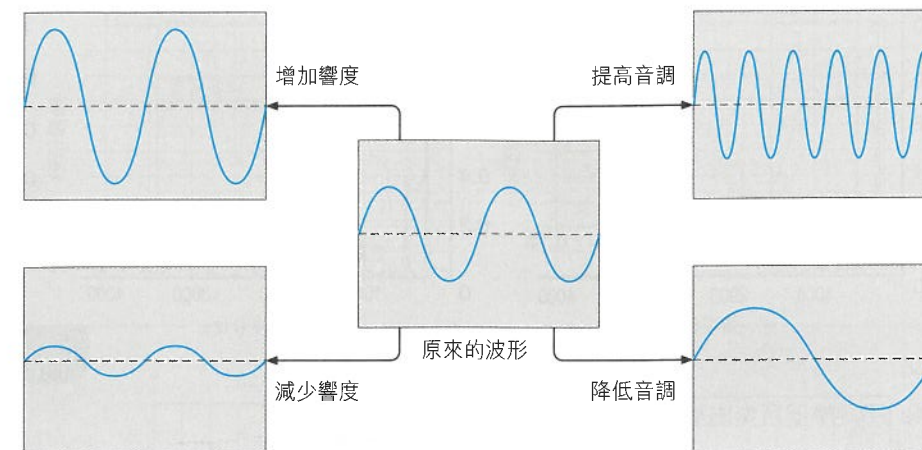


圖 7.4c 改變樂音的響度和音調對示波器上波形的影響

亦即是說，對於不同的人，樂音的音調和響度可能會有所不同。相反，樂音的頻率和振幅是客觀和可以量度的物理量，與觀察者無關。

為了令學生更明白音調和頻率、響度和振幅之間的關係，可吩咐學生先聆聽和形容一下某個樂音，然後才讓他們觀看示波器上的波形。

c 音品

不同樂器奏出來的樂音聽起來會有很大分別。用音叉、鋼琴和長笛所奏出的中音 C，波形各有不同 (圖 7.4d)。這些樂音的音調 (頻率) 雖然相同，但音品卻有所分別。

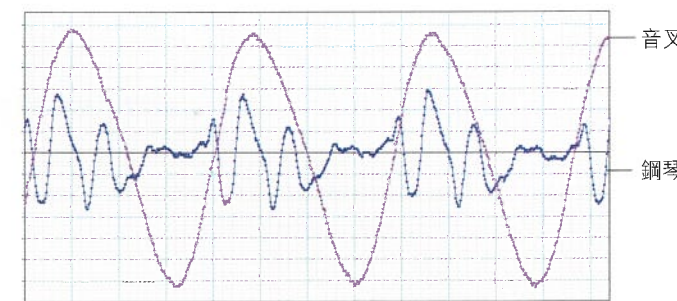
音叉所產生的波形是最簡單的。



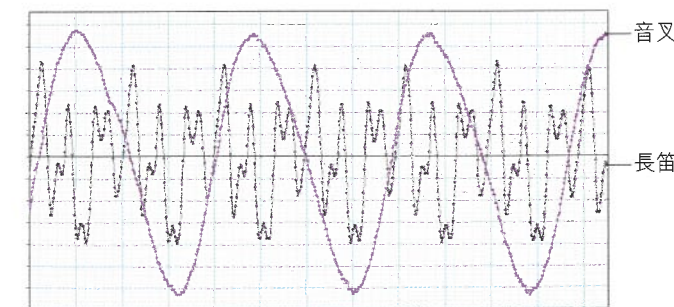
模擬程式 7.3
錄影片段 7.10

→ 模擬程式 7.3 模仿不同樂器發出的不同樂音，並顯示這些樂音的波形。

→ 錄像片段 7.10 顯示一支鳥笛，它所發出的聲音和鳥的叫聲十分相似。



(i) 鋼琴和音叉所奏出中音 C 的波形



(ii) 長笛和音叉所奏出中音 C 的波形

圖 7.4d 比較不同樂器 (用電子琴模擬) 所奏出中音 C 的波形

perfect pitch

波形

以下應用程式可以分析數據記錄程式顯示，一個樂音其實由不同頻率的聲音組成（音叉產生的聲音的頻率組合）。



iOS



Android

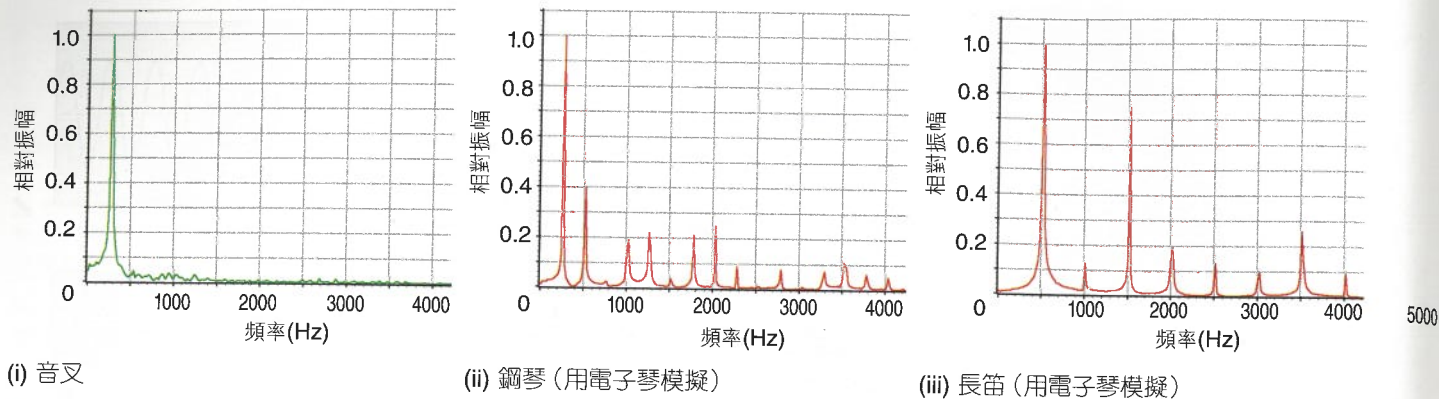


圖 7.4e 不同樂器所奏出樂音的頻率組合

這裏解答了起點的第一個問題。

對於第二個問題，不同合唱團成員唱出樂音的音品各不相同，因此能夠分辨出各人的聲音。

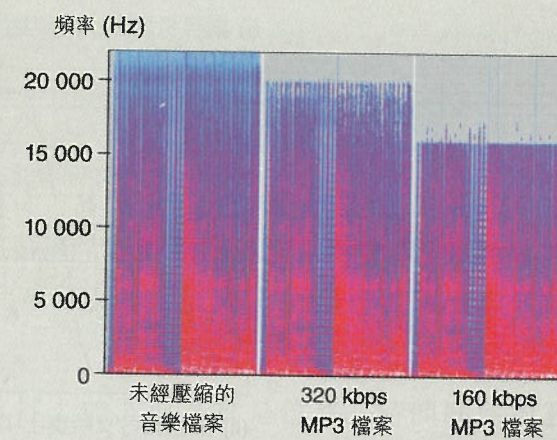
聲波的頻率愈高，樂音的音調就愈高。

聲波的振幅愈大，樂音的響度就愈大。

樂音的音品不同，波形的形狀就各不相同。

生活中的物理 甚麼是 MP3 格式？

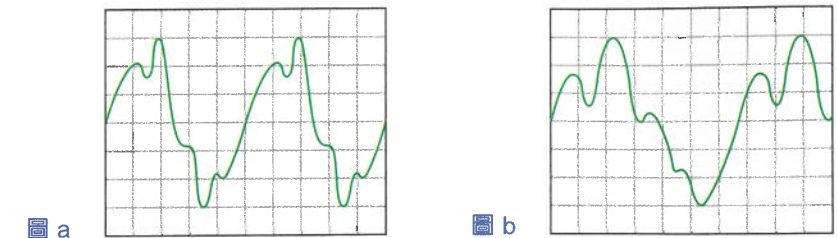
電腦和數碼音頻播放器中的音樂檔案通常儲存為 MP3 格式，這種檔案格式以特定的方法來壓縮原來的音樂檔案，壓縮後的檔案大小能大幅縮減。壓縮的方法包括從組成樂音的不同頻率中，集中保留人耳接收最靈敏的頻率範圍；以及把相對振幅偏小的組成部分刪去。



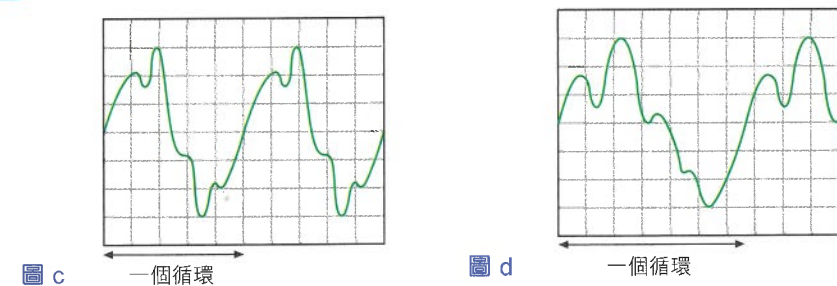
MP3 檔案刪去了高頻率的聲音

例題 8 比較不同樂音

圖 a 顯示由某樂器產生樂音 P 的波形。圖 b 顯示另一樂音 Q 的波形。兩組波形所用時間軸及振幅軸的標度相同。試比較這兩個樂音的音調、響度和音品。



題解



樂音 Q 的波形有較長的循環（圖 c 和 d），表示它的週期較長。根據 $f = \frac{1}{T}$ ，樂音 Q 的頻率較低，所以音調也較低。

兩組波形的振幅相同，顯示樂音 P 和 Q 的響度相同。

兩組波形的形狀不同，顯示樂音 P 和 Q 的音品不同，很可能由不同樂器產生。

進度評估 6 Q1 (p.197)

進度評估 6 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.193）。

11 學生敲擊音叉來產生樂音。圖 a 顯示該樂音在示波器上顯示的波形。試在圖中草繪出示波器在以下情況所顯示的波形：

(a) 更用力敲擊同一音叉，令它發出更響亮的樂音；

(b) 敲擊另一支音調較高的音叉。

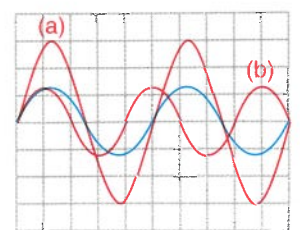


圖 a

歷史點滴

貝爾 (1847–1922)



貝爾因發明電話而聞名於世。他用了大半生的光陰來教授失聰人士說話，以及研究產生聲音的原理。聲強級的單位「分貝」和「貝」都是以他的名字來命名。

牛津物理網

2 聲強級

在日常生活中，我們並非用振幅來表示聲音的響度或能量，而是用**聲強級**來表示。聲強級的單位是**分貝 (dB)**。零分貝並不表示沒有聲音，它只是人耳能聽到的最低聲強級，這聲強級稱為聽覺閾。圖 7.4f 列出幾種聲音的聲強級。

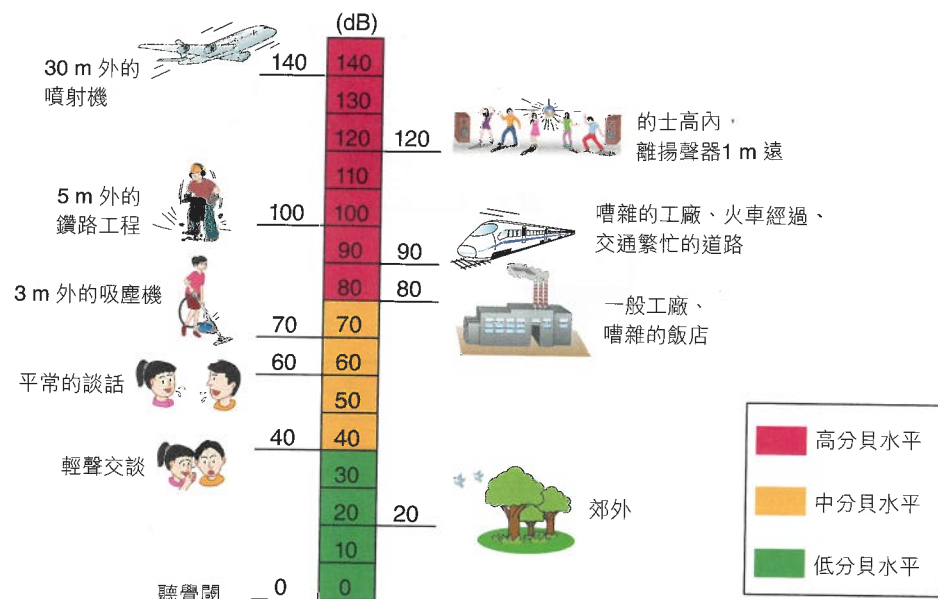


圖 7.4f 各種聲音的聲強級

聲級計可用來量度不同地點的聲強級 (圖 7.4g)，它的量度單位是分貝。



圖 7.4g 量度學校內的聲強級

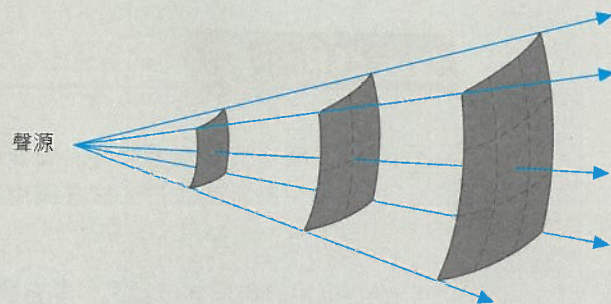
老師可用聲級計量度學生保持安靜時課室的聲強級，以及學生製造的最高聲強級。

補充資料 波的強度

強度是研究波動時會用到的一個重要物理量，它指出波傳播到某處時的能量傳遞率。強度的定義是波對每單位面積傳遞的功率，即

$$\text{強度} = \frac{\text{功率}}{\text{面積}} = \frac{\text{能量}}{\text{面積} \times \text{時間}} \quad \left(I = \frac{P}{A} = \frac{E}{At} \right)$$

以聲音為例，假設一個點源發出聲波。當聲波向外傳播，它的功率會維持不變，但聲波所穿過的面積卻會不斷增加。由此可見當距離聲源愈遠，聲波的強度便愈低。因此，移近聲源時，所聽到的聲音會變得響亮。



聲強級 L 的定義是建基於聲音的強度 I 與參考強度 I_0 的比較，如下公式所示：

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

聲強級 sound intensity level 分貝 decibel (dB) 貝爾 Alexander Bell

3 噪音污染

在建築地盤附近或繁忙的道路旁，有沒有聽過非常刺耳、令人難以忍受的噪音？噪音影響我們的生活和健康，如果置之不理，可能會引發嚴重的問題。

噪音

a 噪音的影響

強大噪音所傳遞的能量足以損害聽覺。140 dB 以上的噪音會對聽覺造成永久損害，130 dB 的噪音則會使人耳朵疼痛。即使噪音在 130 dB 以下，長時間接觸也可能會損害聽覺。另外，在高噪音環境下生活和工作，會令人感到非常煩躁和緊張。

b 保護聽覺

有些耳機的音量能高於 120 dB！我們必須避免接觸過量的噪音。例如用耳機聽音樂時，不要把音量調得太高 (圖 7.4h)；在嘈雜的工作環境下必須戴上護耳罩 (圖 7.4i)。



圖 7.4h 聽音樂時，不要把音量調得太高



圖 7.4i 護耳罩能保護聽覺免受損害

政府其他控制噪音污染的措施：

- a 用低噪音物料重新鋪設道路。
- b 新登記車輛必須達到特定噪音標準。

香港的噪音主要來自交通運輸及建築地盤。為了控制香港的噪音污染，政府推行了一些措施，例如興建隔音屏障和管制建築工程 (圖 7.4j)。



(i) 在公路旁興建隔音屏障來將噪音反射和吸收



(ii) 定立建築工程的工作時限和噪音標準

圖 7.4j 針對交通運輸及建築地盤的噪音所推行的措施

預試訓練 2 兩個揚聲器所產生的相干聲波 ☆ 香港中學會考 2007 年卷一 Q10

如圖 a 所示，卓敏把兩個揚聲器 X 和 Y 連接至訊號產生器，然後把訊號產生器的頻率設定為 850 Hz。O 點是 XY 的中點。起初，只有揚聲器 X 開着。

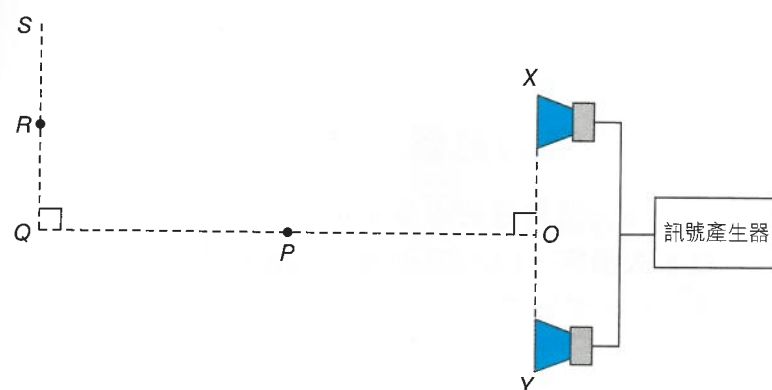


圖 a

(a) 已知聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} ，求揚聲器 X 所發出聲波的波長。(2 分)

(b) 卓敏把聲級計放在 Q 點，量度聲音的響度。試草繪聲級計的讀數隨時間變化的關係線圖。(1 分)

隨後，卓敏將兩個揚聲器都開着。

(c) 卓敏把聲級計從 Q 點移動至 S 點，她認為在理想的情況下，聲級計的讀數隨位置的變化會如圖 b 所示。

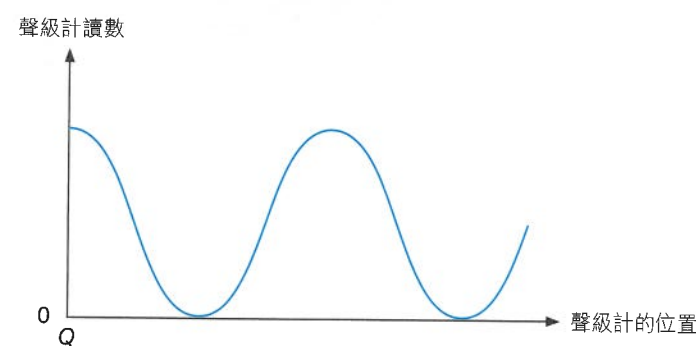


圖 b

(i) 解釋為甚麼聲音的響度會如圖 b 所示般變化。(2 分)

(ii) 若考慮背景噪音的存在，線圖會有甚麼改變？試舉出一個可能會出現的改變。(1 分)

(iii) 卓敏發現聲級計的讀數只在 Q 點、R 點和 S 點出現極大值。已知 S 點與揚聲器 X 的距離是 90 cm，求 S 點與揚聲器 Y 的距離。(2 分)

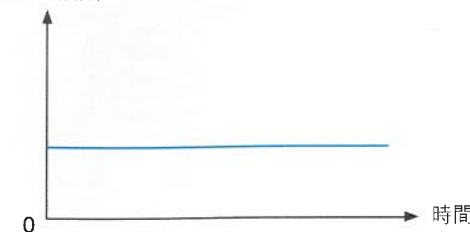
(d) 然後，卓敏又把聲級計從 P 點移動至 Q 點。試草繪出聲級計的讀數隨位置的變化。(2 分)

題解

(a) 根據 $v = f\lambda$ ，1M

$$\text{波長 } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{850} = 0.4 \text{ m} \quad 1A$$

(b) 聲級計讀數



(讀數恆定不變)

1A

學生或會把聲級計讀數的變化與示波器上顯示的波形混淆。聲級計的讀數取決於聲波的振幅，在這情況下是恆定不變的。

(c) (i) 揚聲器 X 和 Y 發出的聲波相遇時，發生干涉。1A

在直線 QS 上，相長干涉和相消干涉交替地發生，因此聲級計的讀數會交替地出現極大值和極小值。

1A

(ii) 聲級計所錄得讀數的極小值會大於零。1A

(iii) S 點的程差 = 2λ

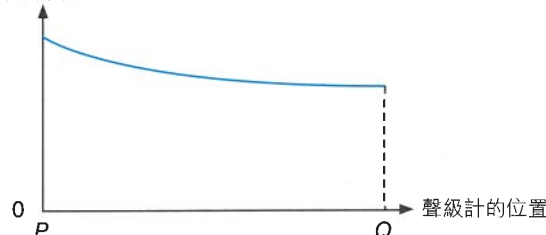
$$SY - 90 = 2 \times 40$$

$$SY = 170 \text{ cm}$$

S 點與揚聲器 Y 的距離是 170 cm。

1A

(d) 聲級計讀數



(不是週期性的曲線)

1A

(讀數沿 PQ 減少)

1A

在直線 PQ 上的所有點都發生相長干涉。因為聲波的能量(振幅)在遠離揚聲器時會減少，所以聲級計的讀數會沿 PQ 減少。

▶ 複習 Q32 (p.212)

進度評估 7

✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.193)。

31 試舉出日常生活中三個噪音來源。

22 (a) 寫出聲強級的單位，以及代表這單位的符號。分貝，dB

(b) 寫出人耳能聽到的最低聲強級。0 dB

STSE 香港的噪音污染

香港的噪音主要源自住宅區附近的繁忙道路。據估計，本港有數百條道路產生 70 分貝以上的噪音，受影響的居民達一百萬。

另一類常見的噪音來自建築工地，打樁、樓宇清拆、道路維修等工程往往發出很大噪音。其他如飛機、大型空調系統，甚至鄰舍，都是噪音來源。

環境保護署推行了各種措施來控制香港的噪音污染，詳情可參閱該署的網址：

www.epd.gov.hk/epd/noise_education/young/chi_young_html/index/index.html



繁忙的道路是噪音的主要來源

生活中的物理 隔音板

在房間內裝置隔音板，能有效阻隔外來噪音傳入室內，同時也能阻隔房間內的噪音傳到外面去。隔音板的表面佈滿小孔，內層由吸音物料製成。當聲波進入小孔，它們就會在內部發生多次反射。經過多次反射後，聲波的能量便幾乎耗盡。



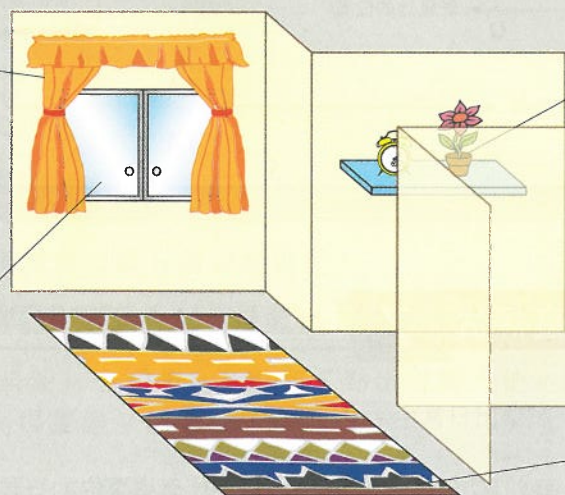
在樂隊練習的房間裝上的隔音板

生活中的物理 減少噪音的家居佈置

以下是減少家居噪音的一些方法。

厚窗簾能有效吸音，不但可以減少從室外傳入的噪音，也可以減少聲音在室內反射。

關閉窗戶可減少從室外傳入的噪音。如果噪音問題嚴重，可使用雙層玻璃或加厚玻璃製成的窗戶。



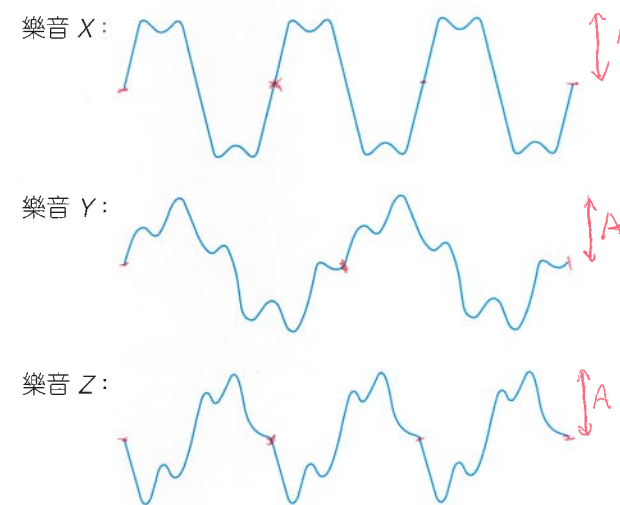
如果牆壁光滑，室內的聲音就很容易經單向反射傳開。要減少室內的聲音傳播，可在牆壁旁擺放裝飾品。

地毯可吸音，有助減少聲音在室內反射，同時也大大減低傳到下層的脚步聲。

習題與思考 7.4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.193）。

（第 1 至 2 題）下圖顯示樂音 X、Y 和 Z 的波形。三組波形所用時間軸及強度軸的標度相同。



1 哪些樂音的音調相同？

- A 樂音 X 和 Y
- ☒ B 樂音 X 和 Z
- C 樂音 Y 和 Z
- D 樂音 X、Y 和 Z

2 哪些樂音的響度相同？

- A 樂音 X 和 Y
- B 樂音 X 和 Z
- C 樂音 Y 和 Z
- ☒ D 樂音 X、Y 和 Z

★ 3 下列哪些敘述是正確的？

- 2 (1) 聲強級的單位是分貝。dB
- (2) 聽覺閾處於零分貝的水平。
- (3) 如果把聲級計放在某固定地方時，所得的讀數會有週期性的變化。

- A 只有 (1)
- ☒ B 只有 (1) 和 (2)
- C 只有 (2) 和 (3)
- D (1)、(2) 和 (3)

1 4 女孩按下電子琴上中音 C (262 Hz) 的琴鍵。

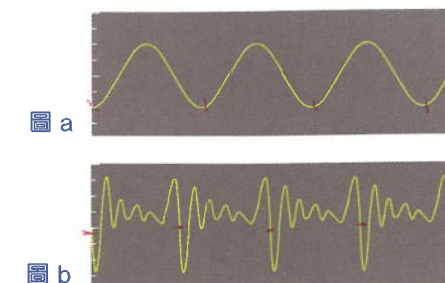
- (a) 求所產生聲音的波長。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。1.30 m $240 = 262 \lambda$
- (b) 隨後，女孩按下另一較高音調的琴鍵，所產生聲音的波長與 (a) 部的有甚麼不同？波長較短

$$v = f\lambda$$

$$\text{當 } v \text{ const,}$$

$$f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow$$

1 5 圖 a 和 b 顯示兩個樂音的波形。



(a) 解釋兩個樂音是否擁有相同的音調和響度。相同音調，不同響度

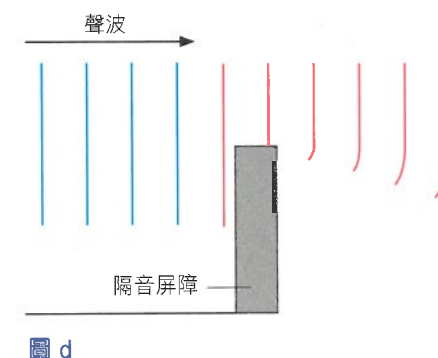
(b) 解釋兩個樂音是否擁有相同的音品。不是

★ 6 在高速公路旁的隔音屏障能夠阻隔車輛的噪音，減低對附近居民造成的滋擾（圖 c）。



(a) 解釋隔音屏障如何減少從公路到達附近民居的噪音。反射、吸收

(b) (i) 在圖 d 繪畫波陣面，以展示聲波經過屏障時的情形。



(ii) 據此，解釋為甚麼屏障阻隔高頻噪音的效果比低頻噪音好。

$f \uparrow \Rightarrow \lambda \downarrow \Rightarrow$ 繞射效果小

總結 7

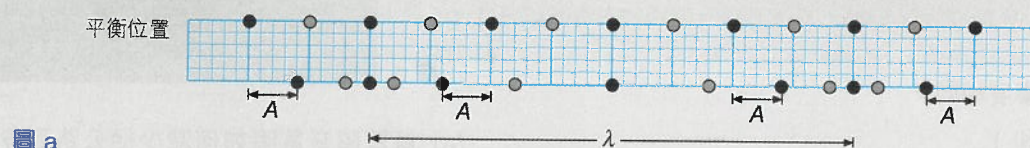
詞彙

1 機械波 mechanical wave	p.177	6 噪音 noise	p.193
2 陰極射線示波器 cathode-ray oscilloscope	p.177	7 音調 pitch	p.194
3 聽頻範圍 audible frequency range	p.187	8 響度 loudness	p.194
4 超聲波 ultrasound	p.188	9 音品 quality	p.194
5 樂音 note	p.193	10 聲強級 sound intensity level	p.198
		11 分貝 decibel (dB)	p.198

課文摘要

7.1 縱波

- 在密部中心或疏部中心的粒子處於各自的平衡位置。兩個相鄰密部中心(或疏部中心)之間的距離為一個波長 λ (圖 a)。
- 距離平衡位置最遠的粒子，它們位移的量值就是振幅 A (圖 a)。



- 我們可以用位移—距離關係線圖和位移—時間關係線圖來描述縱波。

7.2 聲音的波動本質

- 聲音由振動產生。
- 聲音是縱波。
- 聲音是機械波，可經固體、液體和氣體傳播，但卻不能在真空中傳播。
- 聲音展示反射、折射、衍射和干涉。

7.3 聲音的特性

- 聲音的傳播速率與它的頻率無關，但會因傳播的介質而有所不同。聲音在固體中的傳播速率比在液體中快，在液體中則比在氣體中快($v_{\text{固體}} > v_{\text{液體}} > v_{\text{氣體}}$)。
- 人類的聽頻範圍在 20 Hz 至 20 kHz 之間。
- 超聲波是頻率高於人類聽頻範圍上限(即 20 kHz)的聲波。
- 超聲波可用來探測物件的位置。聲納、超聲波掃描和超聲波裂紋探測器都應用了這技術。

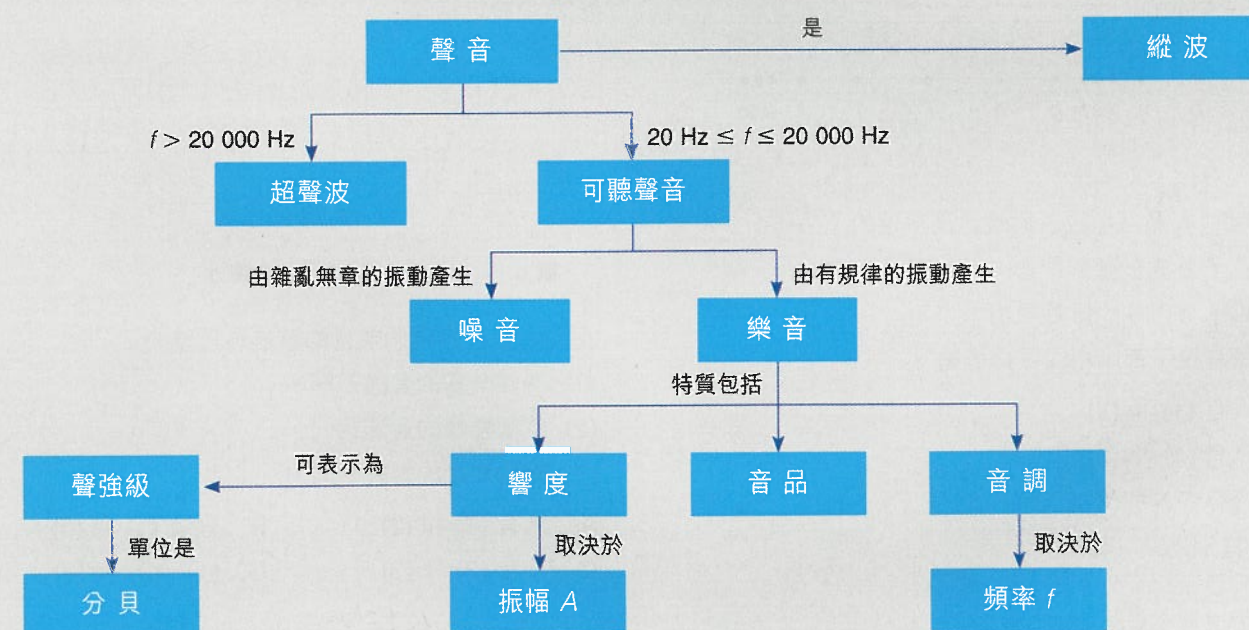
12 聲波與光波的差異：

	聲波	光波
性質	機械波	電磁波
波的種類	縱波	橫波
傳播介質	固體、液體和氣體，但不包括真空	透明或半透明的固體、液體和氣體，以及真空
在空氣中的傳播速率	340 m s^{-1}	$3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
在空氣中人類能探測到的波長範圍	0.017 m 至 17 m	400 nm 至 700 nm
在空氣中人類能探測到的頻率範圍	20 Hz 至 20 000 Hz	$4.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 至 $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

7.4 樂音與噪音

- 樂音由有規律的振動產生，噪音則由雜亂無章的振動產生。
- 樂音有以下三種特質：
 - 聲波的頻率愈高，樂音的音調就愈高。
 - 聲波的振幅愈大，樂音的響度就愈大。
 - 樂音的音品不同，波形的形狀就各不相同。
- 在日常生活中，聲音或噪音的響度是用聲強級來表示。聲強級的單位是分貝，可用聲級計來量度。
- 噪音會影響我們的生活和健康，更可能損害聽覺。因此，我們必須避免接觸過量的噪音。

概念圖



複習 7

概念重溫

(第1至4題)判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2011 年卷二 Q36

7.1 1 在一列縱波上，處於平衡位置的粒子是瞬時靜止的。F

☆ 香港中學會考 2005 年卷一 Q6

7.2 2 訊號產生器可用來探測聲音訊號。F

☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q23

7.3 3 超聲波在空氣中的傳播速率比可聽聲音快。F

7.3 4 聲音在水中的傳播速率比在空氣中快。T

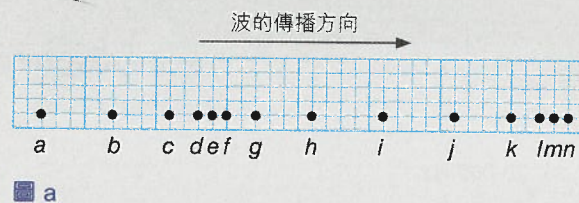
多項選擇題

7.4 5 下列哪些有關聲強級的敘述是正確的？

- (1) 當聲音的聲強級高於某水平，便可將它歸類為超聲波。
- (2) 聲強級的高低取決於聲波的振幅。
- (3) 聲強級的單位是分貝。

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

7.1 6 一列縱波沿空氣向右傳播。圖 a 顯示一串空氣粒子在某一時刻的位置。



下列哪些有關以上粒子的敘述是正確的？

- (1) 粒子 e 處於疏部中心。
- (2) 粒子 d 和 l 的振動同相。
- (3) 所有粒子都以相同振幅振動。

- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

7.2 7 彈撥結他的弦線時 (圖 b)，在弦線上形成的波與在空氣中形成的波分別屬於哪一種類？



圖 b

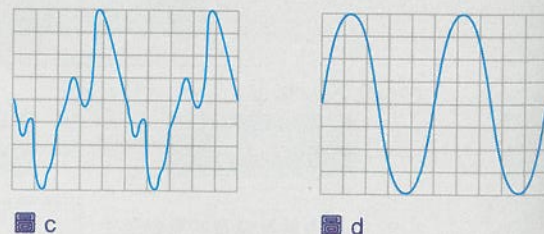
弦線上的波 空氣中的波

- | | | |
|----------|----|----|
| A | 橫波 | 橫波 |
| B | 橫波 | 縱波 |
| C | 縱波 | 橫波 |
| D | 縱波 | 縱波 |

7.2 8 在研究聲音干涉現象的實驗中，兩個揚聲器 S_1 和 S_2 發出同相的聲波。聲波在 P 點發生相長干涉，P 點與 S_1 和 S_2 的距離分別是 2.4 m 和 4.4 m。已知聲波在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} ，下列哪一個不可能是揚聲器所產生聲波的頻率？

- | | |
|----------------|----------|
| A 85 Hz | B 170 Hz |
| C 340 Hz | D 680 Hz |

7.4 9 示波器上顯示兩個樂音的波形 (圖 c 和 d)。假設示波器的設定相同。



下列哪些有關兩個樂音的敘述是正確的？

- (1) 兩個樂音的音品不同。
- (2) 兩個樂音的音調相同。
- (3) 兩個樂音的響度相同。

- A 只有 (1) 和 (2) B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3) **D (1)、(2) 和 (3)**

7.2 10 學生把兩個揚聲器 S_1 和 S_2 連接至訊號產生器 (圖 e)。P 點是 S_1S_2 的中點。聲音的波長是 λ 。

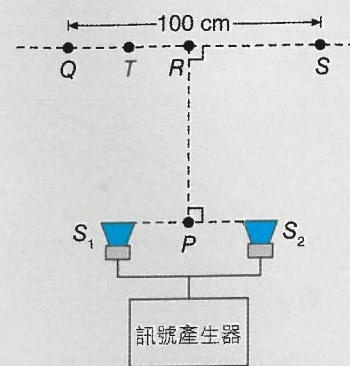


圖 e

他把連接至示波器的微音器從 Q 點移動至 S 點。圖 f 為示波器上圖跡的振幅隨位置 (與 Q 點的距離) 變化的關係線圖。

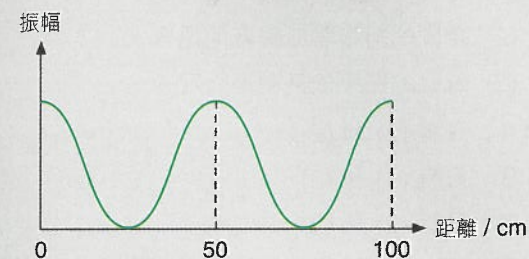


圖 f

下列哪項必然正確？

- (1) $\lambda = 50 \text{ cm}$
- (2) R 點的程差等於 λ 。
- (3) T 點 (QR 的中點) 的程差大約等於 0.5λ 。

- A 只有 (1) **B 只有 (3)**
C 只有 (1) 和 (2) D 只有 (2) 和 (3)

7.1 11 圖 g 顯示一串空氣粒子的平衡位置。一列縱波由左至右傳播，使這些粒子振動。圖 h 顯示各粒子在時間 $t = 0$ 時的位置。

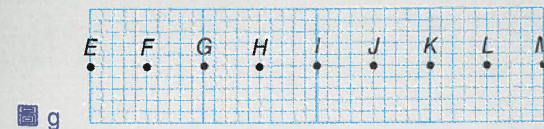


圖 g

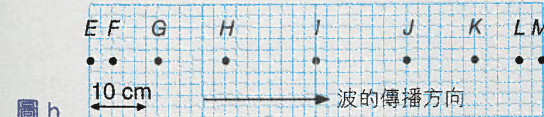
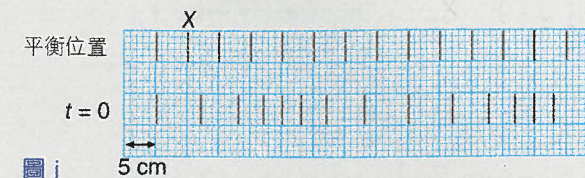


圖 h

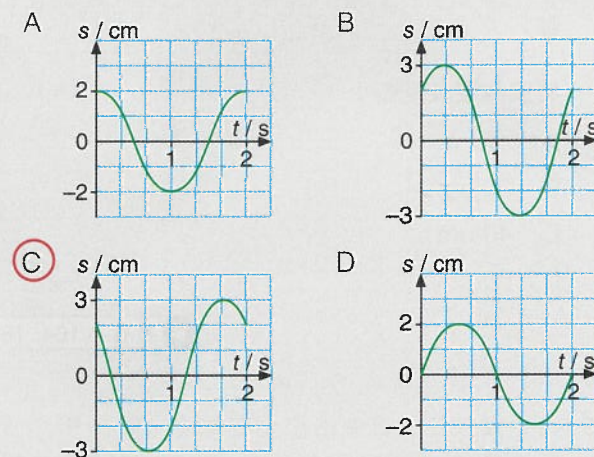
在 $t = 0$ 時，下列哪一粒子正向右移動？

- A** F B H
C I D J

7.1 12 一列縱波在介質中由左至右傳播。圖 i 顯示介質中粒子的平衡位置，以及它們在時間 $t = 0$ 時的位置。縱波的週期是 2 s。



下列哪一幅位移—時間關係線圖正確描述粒子 X 的運動？取向右位移為正。



參看 p.170, 172

7.1 13 在彈簧上有一串等距的粒子。一列縱波沿彈簧由左至右傳播。圖 j 和 k 分別顯示各粒子在時間 $t = 0$ 及 $t = 0.5 \text{ s}$ 時的位置。

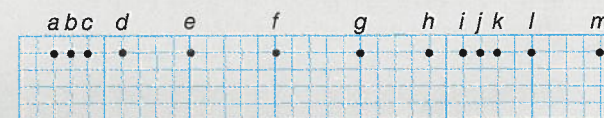


圖 j

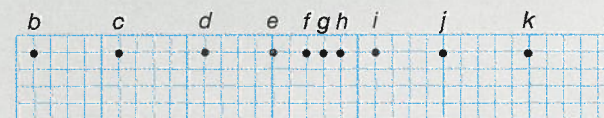


圖 k

下列哪些有關縱波的敘述是正確的？

- (1) 縱波的波長是 48 cm。
- (2) 波速率是 96 cm s^{-1} 。
- (3) 粒子 g 在 $t = 0.5 \text{ s}$ 時是瞬時靜止的。

- A** 只有 (1) B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3) D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.164, 165

- ★★ 14 一列縱波在介質中由左至右傳播。圖 l 顯示介質中粒子 P 至 V 在不同時刻的位置。

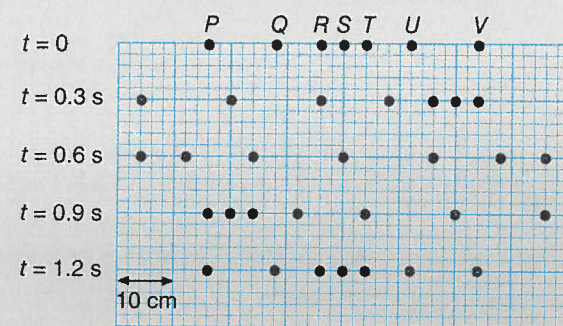


圖 l

縱波的波長是多少？

- A 12 cm
B 20 cm
C 40 cm
D 80 cm

▶ 參看 p.164, 165

- ★★ 15 一列縱波在介質中由左至右傳播。圖 m 顯示介質中粒子 P 至 W 的平衡位置，圖 n 則顯示各粒子在時間 $t = 0$ 時的位置。

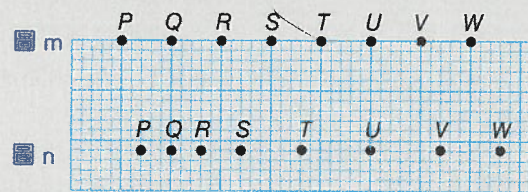


圖 o 是上述某粒子的位移—時間關係線圖。

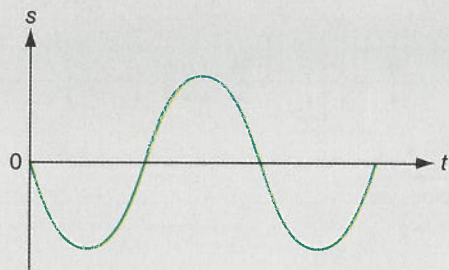


圖 o

線圖所描述的是哪一粒子？

- A Q
B S
C U
D W

▶ 參看 p.170, 172

7.3 16 香港中學會考 2006 年卷二 Q17

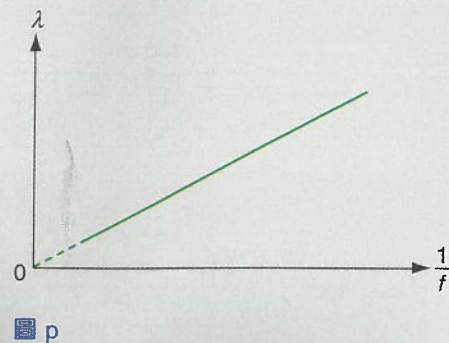


圖 p

一個揚聲器連接至一個訊號產生器以發出聲波。當頻率改變時，量度其對應的波長。圖 p 顯示聲波的波長對其頻率倒數的關係線圖。以下哪些是從線圖正確地演繹而得的？

- (1) 聲波的波長與其頻率成反比。
(2) 線圖的斜率等於聲音的速率。
(3) 聲音的速率依其頻率而定。

- A 只有 (1) 和 (2) (47%)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

7.4 17 香港中學會考 2007 年卷二 Q39

沿高速公路兩旁所築起的隔音屏障是為了阻隔由道路交通所產生的噪音 (圖 q)。以下敘述中，哪些能正確說明隔音屏障如何阻隔噪音？

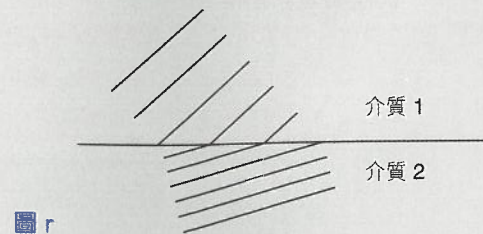


圖 q

- (1) 車輛的噪音會被反射。
(2) 隔音屏障可以吸收噪音。
(3) 隔音屏障頂部邊緣會將噪音繞射。

- A 只有 (1) 和 (2) (32%)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

綜合題 18 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q15



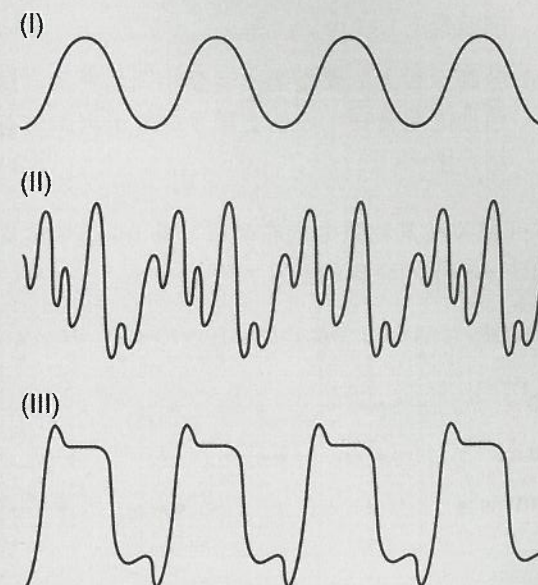
圖示波動的波陣面穿過兩個不同介質的邊界 (圖 r)。以下哪些有關波動類型和該兩個介質的組合是可能的？

波動類型	介質 1	介質 2
(1) 光波	空氣	玻璃
(2) 聲波	水	空氣
(3) 水波	淺水	深水

- A 只有 (1) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) (57%) D 只有 (2) 和 (3)

7.4 19 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q22

下圖顯示小提琴、鋼琴及音叉所產生樂音的波形。三組波形所用時間軸及強度軸的標度相同。



下列哪些有關各樂音的描述正確？

- (1) 三者有相同的音調。
(2) (II) 與 (III) 的音品不同。
(3) (I) 是由音叉所產生的。

- A 只有 (1) 和 (2) (14%)
B 只有 (1) 和 (3) (7%)
C 只有 (2) 和 (3) (25%)
D (1)、(2) 和 (3) (54%)

7.1 20 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q17

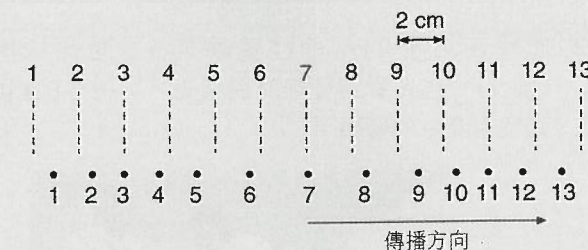


圖 s

一列縱波向右傳播，經過某個有一串粒子的介質。圖 s 顯示於某一刻各粒子的位置。虛線顯示粒子的平衡位置。以下哪項 / 哪些關於該波在所顯示一刻的敘述是正確的？

- (1) 縱波的波長為 16 cm。
(2) 粒子 8 和 10 正朝同一方向移動。
(3) 粒子 3 瞬間靜止。

- A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

綜合題 21 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q17

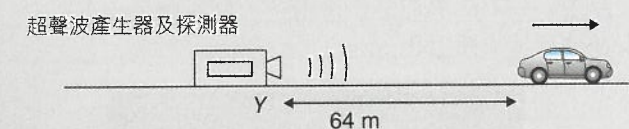


圖 t

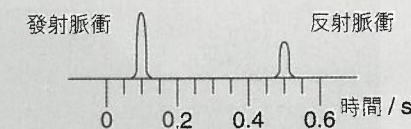


圖 u

圖 t 顯示一汽車在直路上以勻速率行駛，並離開一個靜止放於 Y 的超聲波產生器及探測器。當汽車與 Y 距離 64 m 時，產生器向汽車發射一超聲波脈衝。脈衝然後被反射回在 Y 處的探測器並顯示於一示波器上，如圖 u 所示。估算汽車的速率。已知：超聲波在空氣中的速率為 340 m s^{-1}

- A 16 m s^{-1}
B 20 m s^{-1} (53%)
C 24 m s^{-1}
D 32 m s^{-1}

問答題

- 綜合題 22 志成在距離 2 km 的位置觀察鳴放禮炮的情況 (圖 v)。他先看到發炮時的閃光，再在 5.8 s 後聽到發炮產生的響聲。



圖 v

- (a) 解釋為甚麼看到閃光與聽到響聲之間有時間延滯。 (1 分)
- (b) 從以上資料估算聲音的傳播速率。 (2 分)
- 345 m s⁻¹
- (c) 為甚麼圖 v 中有些士兵戴上了護耳罩？ (1 分)

- 綜合題 23 蜂鳥是一種體形細小的雀鳥。牠們每秒可拍動翅膀 12 至 80 次，這使牠們能夠停留在半空中 (圖 w)。蜂鳥的名字來自牠們拍翼時產生的聲音。在眾多雀鳥中，只有蜂鳥能夠倒後飛行。假設聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s⁻¹。



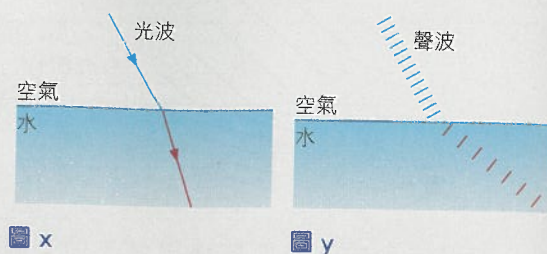
圖 w

- (a) 蜂鳥拍翼時所產生聲音的頻率範圍是多少？ (1 分)
- 12 Hz 至 80 Hz
- (b) 人類能夠聽見 (a) 部頻率範圍內的所有聲音嗎？試簡單解釋。 (2 分)
- 不能夠
- (c) 找出蜂鳥拍翼時所產生聲音的最短與最長波長。 (3 分)
- 最短：4.25 m；最長：28.3 m

- ★ 24 (a) 寫出聲波和光波一個相同和一個不同之處。 (2 分)

- (b) (i) 圖 x 顯示光線從空氣進入水中。試在圖中繪畫折射光線。 (1 分)

- (ii) 圖 y 顯示一列聲波從空氣進入水中。試在圖中繪畫折射波。 (2 分)



- ★ 25 美琳向着微音器唱出一個樂音，聲音訊號經微音器送到示波器。圖 z 是示波器上所顯示的波形。

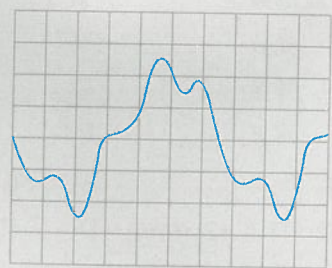


圖 z

- (a) 示波器的時基設定為每格 5×10^{-4} s。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s⁻¹。試估算樂音的波長。 (4 分)
- 1.11 m
- (b) 啟聰以較大的聲量唱出音調相同的樂音。試描述他的聲音在示波器上顯示的波形與美琳有甚麼分別。 (2 分)

- ★ 26 一列聲波在某物質中向右傳播。圖 aa 顯示物質中的粒子在不同時刻的位置。

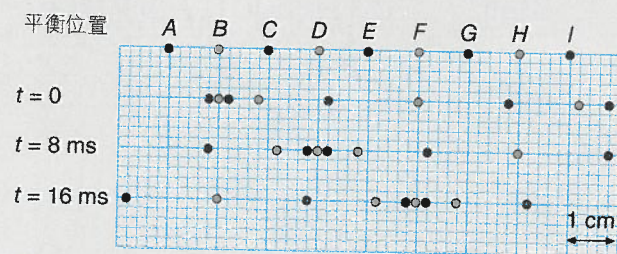


圖 aa

- (a) 判斷聲波是否在聽頻範圍以內。 (3 分)
- 是
- (b) 繪畫聲波在 $t = 8$ ms 時的位移—距離關係線圖。取向右位移為正。 (2 分)
- (c) 在 $t = 8$ ms 時，粒子 A 的運動方向是怎樣的？ (1 分)
- 向左
- (d) 求聲波的傳播速率。 (2 分)
- 2.5 m s⁻¹

- ★ 27 學生把兩個揚聲器 S_1 和 S_2 連接至訊號產生器 (圖 ab)，然後把訊號產生器的頻率設定為 1.4 kHz。O 點與 S_1 和 S_2 等距。當學生從 O 點移動至 Q 點，他先在 O 點聽到響亮聲音，然後在 P 點聽到微弱聲音，再在 Q 點聽到響亮聲音。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s⁻¹。

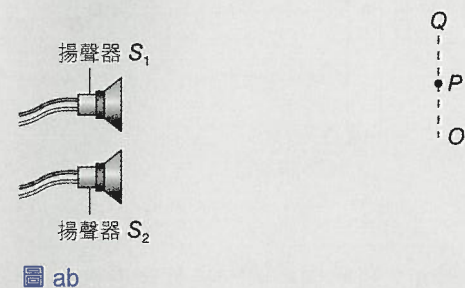


圖 ab

- (a) 哪一個波動現象導致直線 OQ 上的聲音響度出現上述變化？ (1 分)
- 干涉
- (b) 求 P 點和 Q 點的程差。 (3 分)
- P: 0.121 m; Q: 0.243 m
- (c) 隨後，學生移走其中一個揚聲器，並在另一揚聲器前放一道狹縫 (圖 ac)。當聲波通過狹縫，便出現大幅度的衍射。

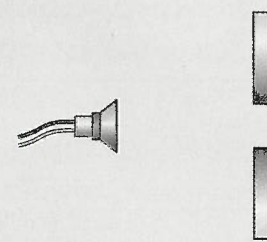


圖 ac

- (i) 你可以判斷狹縫的大小嗎？ (1 分)
- (ii) 若揚聲器產生音調較高的聲音，聲音的衍射幅度會有甚麼改變？試簡單解釋。 (2 分)
- 減少

- ★ 28 古代的士兵會把耳朵緊貼地面探聽，來判斷是否有敵人逼近 (圖 ad)。



圖 ad

- (a) 假設有一隊騎兵從 10 km 外的地方逼近。相比起站着探聽經空氣傳播的聲音，利用上述方法可快多少探聽到敵人？假設聲音經空氣和地面傳播的速率分別是 340 m s⁻¹ 和 4000 m s⁻¹。 (3 分)
- 26.9 s

- (b) 比較聲波在空氣中與在地面傳播時的頻率和波長。 (2 分)

- ★★ 29 有些鯨魚會發出超聲波脈衝來探測獵物的位置 (圖 ae)。聲音在水中的傳播速率是 1400 m s⁻¹。



圖 ae

- (a) 寫出超聲波的定義。 (1 分)
- (b) 鯨魚怎樣利用超聲波來判斷附近是否有獵物？ (2 分)
- (c) 若鯨魚所發出超聲波的頻率是 120 000 Hz，它的波長是多少？ (2 分)
- 0.0117 m
- (d) 超聲波由海水射向空氣時，有可能發生全內反射嗎？試簡單解釋。 (3 分)
- 沒有可能

▶ 參看 p.186, 189

- ★★ 30 雪珍正在彈奏古箏 (圖 af)。她彈撥其中一條弦線來產生聲音。



圖 af

- (a) 描述聲音是怎樣產生的。 (3 分)
- (b) 弦線所產生聲音的頻率是 442 Hz，聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s⁻¹，聲音在空氣中的波長是多少？ (2 分)
- 0.769 m

- (c) 雪珍彈撥弦線時，弦線上也產生一系列波。弦線上的波與 (b) 部的波是否擁有相同波長？試簡單解釋。不是 (2分)

▶ 參看 p.175

- ★★ 31 聲音在空氣中傳播時，空氣的溫度愈高，聲音的傳播速率愈快。在某地方，空氣溫度隨高度變化。當發言人站在高地，聲音便會如圖 ag 所示傳播到地面的聽眾。

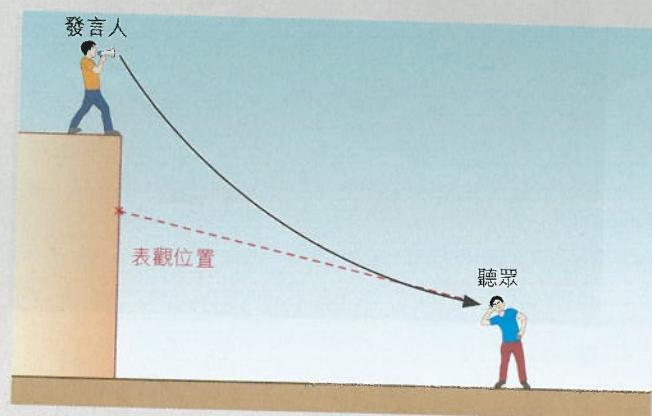


圖 ag

- (a) 描述這地方的溫度怎樣隨高度變化。據此，解釋為甚麼聲音會沿以上路徑傳播。 (3分)
- (b) 聽眾會認為聲音從哪一個位置發出？試在圖 ag 標示出這個表觀位置。 (1分)
- (c) 隨後，發言人站在地面向站在高地的聽眾說話（圖 ah），聲音會怎樣傳播到聽眾那裏？試在圖 ah 繪畫聲音傳播的路徑。 (1分)

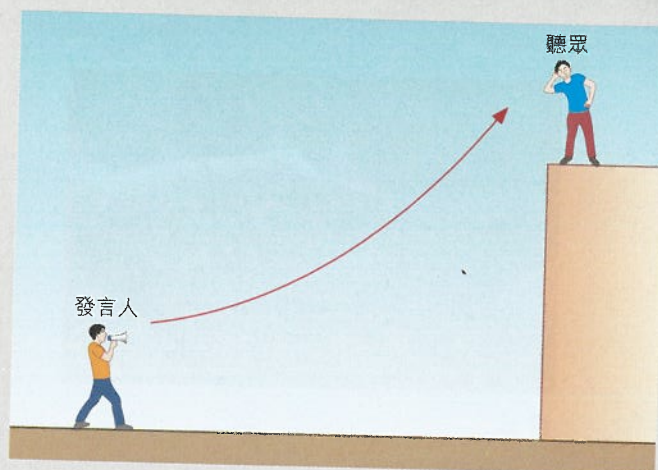


圖 ah

▶ 參看 p.179

□ 考試報告見第215頁。

7.2 32 香港中學會考 2007 年卷一 Q10

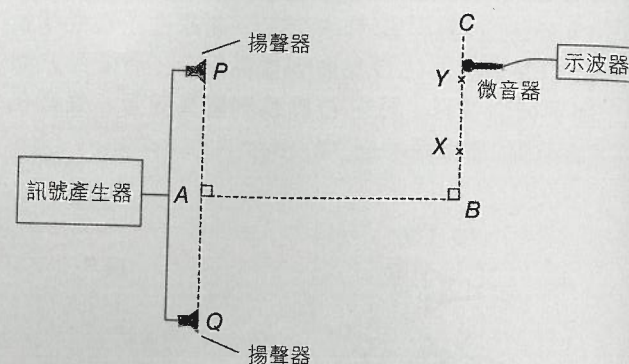


圖 ai

在圖 ai，將兩個相同的揚聲器 P 和 Q 連接到一部訊號產生器。位置 A 是 PQ 的中點。一個連接到示波器的微音器沿 BC 移動以量度聲音的響度。示波器圖跡的振幅隨所探測聲音的響度增加而增大。圖 aj 顯示其結果。

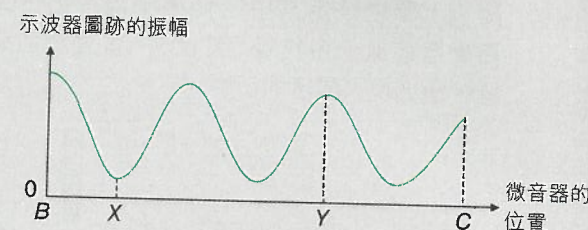


圖 aj

- (a) (i) 解釋為甚麼聲音的響度沿 BC 的不同位置會有變化。 (2分)
- (ii) 指出一項理由解釋為甚麼示波器圖跡的振幅在位置 X 不是零。 (1分)
- (b) 如果 $PY = 5.10 \text{ m}$ 和 $QY = 5.78 \text{ m}$ ，求
- (i) 位置 Y 跟 P 和 Q 的程差；0.68 m (1分)
- (ii) 聲音的波長。0.34 m (2分)

33 香港中學會考 2009 年卷一 Q11

綜合題

海嘯是一種通常由地震而產生的巨型水波。圖 ak 顯示一簡化海嘯探測系統。放在海床上的感應器 X 能探測地震和海嘯。當探測到海嘯時，感應器 X 向放在海面上的裝置 Y 傳送超聲波訊號。裝置 Y 即向衛星傳送微波訊號，衛星將微波訊號傳送至陸地的海嘯預警中心。

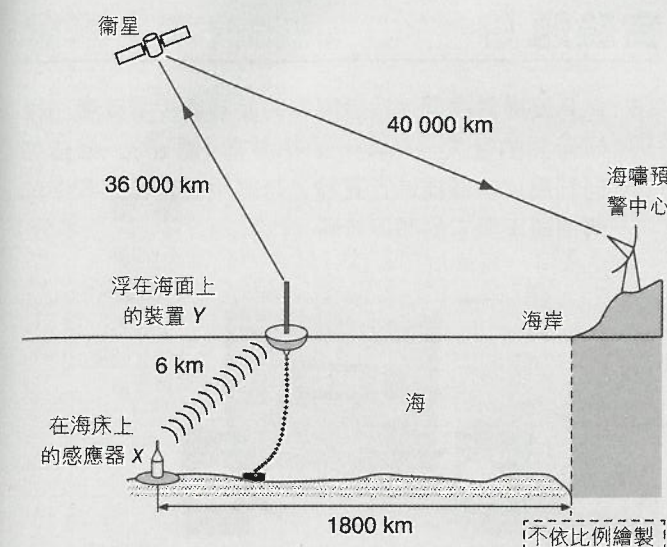


圖 ak

- (a) 甚麼是超聲波？ (1分) 綜合題
- (b) 已知：
- 感應器 X 至海岸的距離 = 1800 km
- 感應器 X 至裝置 Y 的距離 = 6 km
- 裝置 Y 至衛星的距離 = 36 000 km
- 衛星至海嘯預警中心的距離 = 40 000 km
- 超聲波在水中的速率 = 1500 m s^{-1}
- 微波的速率 = $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- 海嘯在海面的平均速率 = 250 m s^{-1}
- 海嘯預警中心能否於海嘯到達海岸之前 1 小時接收到訊號？列出計算步驟。（假設海嘯到達感應器 X 正上方的海面時，X 向裝置 Y 發出訊號。）能 (3分)
- (c) 解釋為何不利用超聲波從衛星傳輸訊號至海嘯預警中心。 (1分)
- (d) 海嘯預警中心在接收到衛星的訊號後，會發出預警訊號至鄰近城市的警報站。小明建議利用超聲波來傳輸預警訊號，而小強則建議利用無線電波來傳輸預警訊號。解釋哪一個建議較合適。小強的建議 (2分)

□ 考試報告見第215頁。

34 香港中學會考 2010 年卷一 Q6

綜合題

圖 al 顯示一條拉緊的金屬弦線被置於兩楔形座之間。穎文彈撥弦線並聽到聲音。

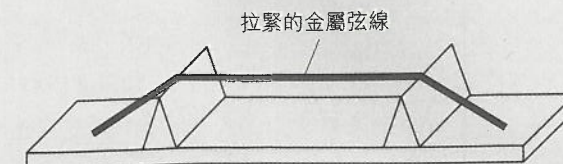


圖 al

- (a) 描述該弦線如何產生聲音。 (3分)
- (b) 指出該弦線上的波和所產生的聲波性質上一個不同和一個相同之處。 (2分)

35 香港中學會考 2011 年卷一 Q8

綜合題

兩個相同的揚聲器 J 和 K 以並聯方式連接到一訊號產生器，如圖 am 所示。它們發出頻率為 850 Hz 的聲波。P 點跟 J 和 K 的距離分別是 1 m 和 1.4 m。

已知：聲音的速率 = 340 m s^{-1}

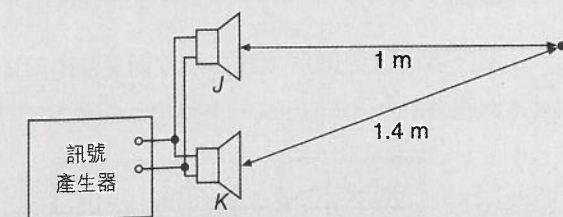


圖 am

- (a) 求所發出聲波的波長。0.4 m (2分)
- (b) 判斷在 P 發生的干涉種類。相長干涉 (3分)
- (c) 另一點 Q 跟 J 和 K 的距離分別是 1.4 m 和 1 m，如圖 an 所示。穎雯沿直線 PQ 行走。

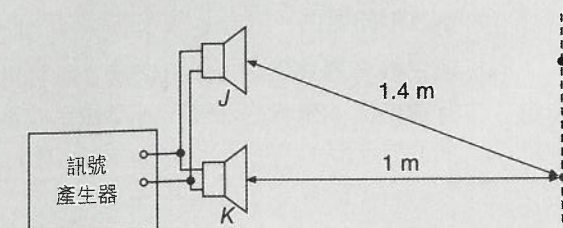
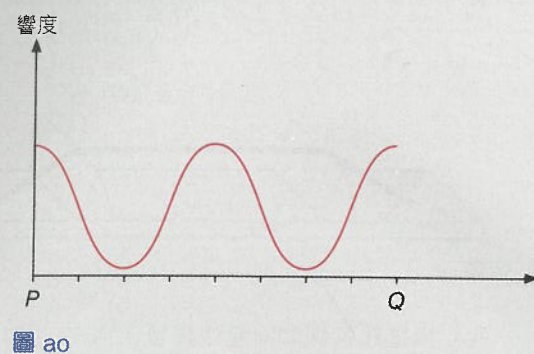
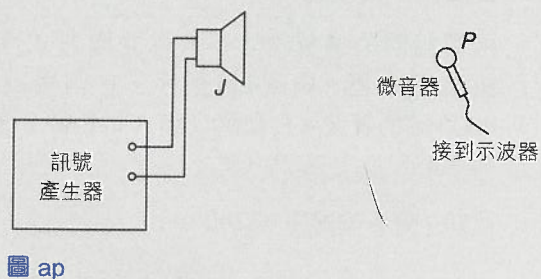


圖 an

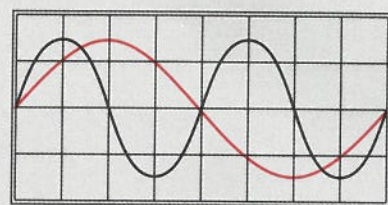
在圖 ao 草繪線圖，顯示穎雯在 PQ 之間所聽到聲音響度的變化。(2 分)



- (d) 現將揚聲器 K 移除，把一微音器放在 P 的位置，如圖 ap 所示。該微音器連接至一示波器。揚聲器 J 發出頻率為 850 Hz 的聲波。



示波器的畫面顯示微音器所收到聲音的波形，如圖 aq 所示。



示波器的設定保持不變。

- (i) 若把微音器移近揚聲器 J，描述示波器所顯示波形的變化。(1 分)
- (ii) 現把微音器放回 P，把揚聲器 J 所發出聲音調校至 425 Hz。在圖 aq 草繪示波器所顯示的波形。(1 分)

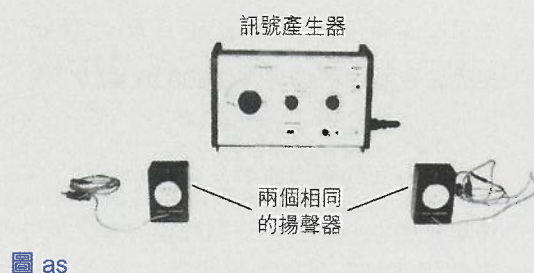
實驗題

- 36 你將獲提供兩個連接計時器的微音器、兩支產生不同音調的音叉，以及一個橡膠塞(圖 ar)。描述如何利用這些儀器進行實驗，來證明聲音在空氣中的傳播速率與它的頻率無關。(4 分)



2.2 37 香港中學會考 2005 年卷一 Q6

你將獲提供如圖 as 所示的一些儀器。



描述如何利用上述儀器進行實驗來演示聲波的干涉現象。如有需要，你可附加其他儀器。(5 分)

- Q37 考試報告：本題是關於在實驗室進行演示聲波干涉現象的實驗，考生的成績差異甚大，而整體答題表現亦欠佳。能力較高的考生能夠清晰地描述實驗的主要步驟，但大部分考生描述實驗的表現只屬差強人意，反映出他們對相關實驗的認識有限。此外，很多考生在答題中沒有清晰描述如何觀測或顯示干涉現象。一些能力較弱的考生不知道訊號產生器的功用，誤以為它是用來探測聲波的工具。

物理文章分析

- 38 閱讀以下有關聲帶的文章，並回答以下問題。

聲帶

我們的喉頭內有兩片富彈性的薄膜，稱為聲帶。呼吸時，聲帶會形成一個「V」形開口(圖 at)，讓空氣進出肺部。說話時，聲帶會閉合起來(圖 au)，從肺部呼出的空氣就會令聲帶振動，從而產生聲音。



圖 at



圖 au

控制聲帶的張力和呼出空氣的多寡，就能產生音調和響度不同的聲音。聲帶的張力愈大，聲音的音調愈高；呼出的空氣愈多，聲音的響度愈大。此外，發音亦會受到舌頭、嘴唇和牙齒的位置影響。

男孩和女孩聲音的頻率範圍是 150 Hz 至 400 Hz。不過，男孩的聲帶在青春期會變厚，所以成年男性聲音的頻率範圍會變為 80 Hz 至 200 Hz。

(資料來源：Modelling the speech signal 及 Vocal cord paralysis)

- (a) 簡單解釋聲帶怎樣產生聲音。(3 分)
- (b) 簡單描述怎樣改變聲帶振動的振幅和頻率。(2 分)
- (c) 求成年男性所產生聲音的最長波長。已知：聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。(2 分)

- Q32 考試報告：本題考核考生對聲波干涉實驗的理解，考生一般表現頗佳。
- Q34 考試報告：本題設問一條金屬弦線因震動而產生聲音。考生表現欠佳。

- (a) (i) 大部分考生正確指出沿 BC 交替地產生相長和相消干涉，但有部分能力較弱的考生只能指出產生干涉而沒有解釋為甚麼聲音的響度在不同位置有所變化。
- (ii) 只有能力較高的考生能夠解釋為甚麼示波器圖跡的振幅在位置 X 不是零。
- (b) 有些考生未能正確數算波長的數目和不理解在 Y 點的程差是 2λ 。亦有能力較弱的考生對以程差 $= n\lambda$ (n 為整數) 來表示相長干涉的條件甚為不解。
- (a) 大部分考生明白彈撥弦線使其震動會產生聲音。只有少數考生清楚描述當震動中的弦線帶動附近的空氣粒子震動時，(繼而帶動更外層的空氣粒子震動，) 聲波於空氣中向外傳播(並使人聽到)。
- (b) 本部分要求考生寫出弦線上的波和聲波性質上一項不同和一項相同之處。能力較高的考生能正確指出弦線上的波為橫波，聲波是縱波；兩種波皆是機械波(需透過介質傳播)。唯很多能力較弱的考生混淆了「波的性質」和「波的特性」的意思，因而寫出有關頻率、波長和速度的不切題答案。

答題須知

- 全部題目均須作答。
- 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
- 答案須寫在預留的空位內。
- 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

- 7.3 1 在一百米短跑賽事中，計時員聽見起跑的訊號便開始計時（圖 a）；看見選手衝過終點，就停止計時。

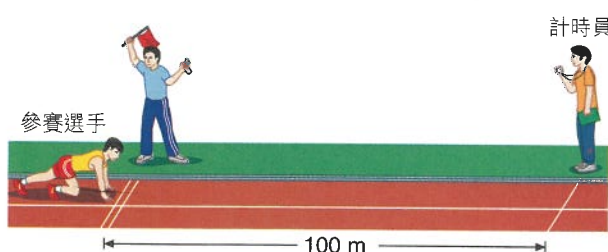


圖 a

設 t_1 是計時員量度到的時間， t_2 是選手完成一百米賽事實際所用的時間。假設計時員和選手的反應時間可以略去不計。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。

下列哪一項敘述是正確的？

- t_1 比 t_2 少 0.3 s 。
- t_1 比 t_2 多 0.3 s 。
- t_1 比 t_2 少 0.6 s 。
- t_1 比 t_2 多 0.6 s 。

A

- 7.3 2 下列哪些有關超聲波的敘述是正確的？

- 超聲波在空氣中傳播時，空氣粒子沿它的傳播方向振動。
- 超聲波是一種電磁波。
- 我們聽不見超聲波，原因是超聲波的振幅太小。

- 只有 (1)
- 只有 (3)
- 只有 (1) 和 (2)
- 只有 (1) 和 (3)

A

乙部

- 7.1 3 一列縱波在介質中由左至右傳播。圖 b 顯示介質中粒子的平衡位置，以及它們在時間 $t = 0$ 的位置。

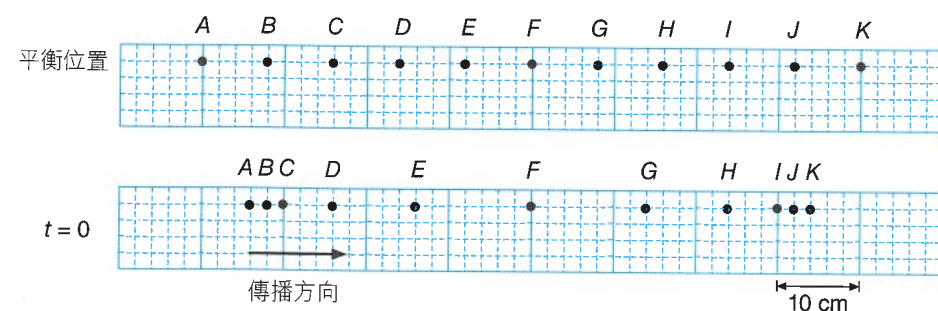


圖 b

- (a) 判斷縱波的振幅和波長。

(2 分)

$$A = 8 \text{ cm}, \lambda = 64 \text{ cm}$$

- (b) 在 $t = 0$ ，粒子 F 和 H 的運動方向是怎樣的？

(2 分)

F: 向左; H: 瞬時靜止

- (c) 設 T 是縱波的週期。在 $t = 0.25T$ ，哪些粒子處於密部中心？

(1 分)

D

- 7.2 4 會堂內的音響包括兩個揚聲器 S_1 和 S_2 （圖 c），兩者相距 1.0 m 。P 點是 S_1S_2 的中點。音響正在播放 2 kHz 的樂音。慧如沿直線 PQ 行走，聽到響亮聲音和微弱聲音交替出現。聲音在空氣中的傳播速率是 340 m s^{-1} 。

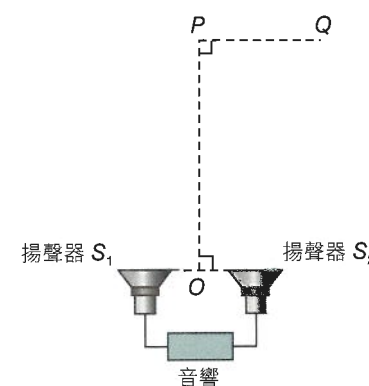


圖 c

- (a) 解釋聲音的響度沿直線 PQ 的變化。

(3 分)

- (b) 慧如從 P 點走到 Q 點時，在 R 點第一次聽到聲音響度的極小值出現。若 R 點與 S_1 的距離是 4 m ，R 點與 S_2 的距離是多少？

(3 分)

$$3.915 \text{ m}$$

- (c) 隨後，音響播放一首歌曲，慧如再次沿 PQ 行走。她會聽到響亮聲音和微弱聲音交替出現嗎？試簡單解釋。

(3 分)

不會

答案

4 波的本質

進度評估 1 (p.7)

- 1 (a) 平行，垂直

習題與思考 4.1 (p.7)

- 1 B 2 A
3 (a) 橫波 (b) 縱波

進度評估 2 (p.10)

- 1 (a) 3 cm (b) 0.4 s
2 (a) 4 s (b) 30
3 (a) 25 s (b) 240
4 0.5 s

進度評估 3 (p.15)

- 2 (a) 1.5 m s^{-1} (b) 2 Hz
(c) 0.75 m
3 $A = 0.05 \text{ m}$, $\lambda = 0.5 \text{ m}$, $f = 2 \text{ Hz}$, $T = 0.5 \text{ s}$,
 $v = 1 \text{ m s}^{-1}$

進度評估 4 (p.20)

- 1 (a) (i) $d \cdot h \cdot l$ (ii) $e \cdot f \cdot g \cdot m \cdot n$
(iii) $a \cdot b \cdot c \cdot i \cdot j \cdot k$
(b) 所有粒子
(c) m
(d) $b \cdot j$
2 向左

進度評估 5 (p.22)

- 1 不斷改變
2 減少，增加

習題與思考 4.2 (p.22)

- 1 C 2 A 3 C 4 B
5 A 6 C 7 C 8 D
9 (a) 0.16 m (b) 0.4 m s^{-1}
(c) 2.5 Hz
10 (a) 1.67 m s^{-1} (b) 0.833 m
11 (a) R (b) P
(c) Q (d) P
12 (a) W、Y：瞬時靜止；X：向上；Z：向下

- 13 (a) 0.2 s (b) 1 m s^{-1}
(c) T 不變， v 減少
14 (a) 4 m (b) 6 m s^{-1}
(c) 1.5 Hz (d) 向上
15 λ 不變， v 改變
16 (a) 向上 (c) 0.5 s

進度評估 6 (p.25)

- 2 (a) $A = 10 \text{ cm}$, $\lambda = 8 \text{ cm}$

進度評估 7 (p.29)

- 2 (a) $A = 3 \text{ m}$, $T = 1 \text{ s}$ (b) 1 Hz

習題與思考 4.3 (p.29)

- 1 C 2 C 3 A 4 C
5 (a) 20 cm (b) 2 m s^{-1}
7 (a) $A = 0.5 \text{ cm}$, $T = 0.05 \text{ s}$
8 (a) B、D、J、K
9 (a) $A = 1 \text{ cm}$, $T = 2 \text{ s}$ (b) 向下
10 (a) (i) 15 cm (ii) 2 m
(iii) 5 m s^{-1} (iv) 2.5 Hz
(b) X

複習 4

概念重溫(p.34)

- 1 F 2 F

多項選擇題(p.34)

- 3 C 4 B 5 D 6 B
7 C 8 A 9 B 10 A
11 C 12 B 13 C 14 C
15 B 16 B 17 A

問答題(p.37)

- 18 (a) A：向上；B：瞬時靜止；C：向下
(b) 1 cm
19 (a) 2.5 m s^{-1} (b) 0.625 m
20 (a) 0.2 m (b) 1.25 Hz
(c) P、R：瞬時靜止
21 (a) $\lambda = 8 \text{ cm}$, $f = 0.25 \text{ Hz}$
(b) 2 cm s^{-1}
(c) A、E
22 (a) 4 cm s^{-1} (b) 相反

- 23 (a) $A = 2 \text{ cm}$, $\lambda = 5 \text{ m}$ (b) 12.5 m s^{-1}
24 (a) 橫波 (b) 5 Hz
25 (a) (i) 橫波
(b) (ii) 0.4 m (iv) 波長
(vi) (1) 0.5 m s^{-1}
(2) 0.5 Hz
(3) 2.0 s
(vii) (1) 0.8 m s^{-1}
(2) 0
26 (a) (i) 0.04 m (ii) 5.0 Hz
(c) (ii) 1.2 m
27 (a) (i) 4 cm (ii) 1.25 Hz
(iii) 15 cm
(b) (i) Q (ii) S
28 (a) 0.20 m
(b) (i) 10 m s^{-1} (ii) 0.02 s

5 波的現象和駐波

進度評估 1 (p.47)

- 1 6 cm
2 $\lambda_P > \lambda_Q$, $v_P = v_Q$, $f_P < f_Q$

習題與思考 5.1 (p.47)

- 1 B 2 D
3 (a) 10 cm s^{-1} (c) 2.5 cm
4 (a) 1 cm
(b) (i) 2 cm s^{-1} (ii) 2 Hz
(c) 不同意

進度評估 3 (p.55)

- 1 (a) v 減少， f 不變， λ 減少
2 2 3 B

習題與思考 5.2 (p.56)

1 D 2 C 3 B 4 D		
6 (a)	P 區	Q 區
頻率	12 Hz	12 Hz
波長	2 cm	1.5 cm
波速率	24 cm s^{-1}	18 cm s^{-1}

- (b) P
7 (b) 5 cm s^{-1}
9 (a) 2 cm (b) 30°
(c) 2 cm
10 (b) 3 cm (c) 2

- 11 (a) Q (b) 0.667
(c) 1 cm

進度評估 4 (p.63)

1 (b) 愈短，愈闊			
2	v	λ	f
反射	不變	不變	不變
折射	改變	改變	不變
衍射	不變	不變	不變

習題與思考 5.3 (p.64)

- 1 C
4 (a) 擴散幅度減少 (b) 擴散幅度減少
5 (b) Q

進度評估 5 (p.70)

- 2 A、C：相長干涉；B：相消干涉
3 (a) 1.5λ (b) 反相
(c) 相消干涉

進度評估 6 (p.76)

- 2 愈長，愈小

習題與思考 5.4 (p.76)

- 1 D 2 A 3 C 4 A
6 (b) 相長干涉
7 (a) 2 cm (b) 相長干涉
(c) 變成相消干涉
8 (a) P：相長干涉；Q：相消干涉

進度評估 7 (p.83)

- 1 (a) T、W
(b) P、Q、R、S、X、Y、Z
(c) U、V
(d) 相同
(e) P 的振幅比 Q 的振幅小

進度評估 8 (p.87)

- 1 C 2 60 Hz

習題與思考 5.5 (p.88)

- 1 C 2 D 3 A 4 A
6 (a) 0.4 m (b) 20 m s^{-1}
(c) Q：靜止；R：向上；S：向下
7 (a) 0.4 m (b) 80 m s^{-1}

複習5

概念重溫(p.92)

- 1 T 2 F 3 F 4 F

多項選擇題(p.92)

- 5 B 6 C 7 D 8 B
9 D 10 B 11 C 12 D
13 B 14 B 15 C 16 C
17 A 18 D 19 A 20 D
21 D

問答題(p.96)

- 22 (b) (i) 1.2 m (ii) 528 m s^{-1}
23 (c) 相同
25 (b) v 減少, λ 減少, f 不變
(c) (i) 208 m s^{-1}
26 (a) $\lambda = 0.05 \text{ m}$, $v = 0.25 \text{ m s}^{-1}$
(b) (i) 0.0625 m (ii) B
27 (a) 不正確 (b) 減少
(d) (i) 折射
28 (c) (ii) 12 cm s^{-1}
30 (a) (i) 160 cm (ii) 640 cm s^{-1}
(b) (i) B (ii) 0.0625 s
31 (a) 橫波 (b) 不能
32 (b) (iii) 3 (iv) 72 m s^{-1}
(c) 會
33 (a) (i) 衍射 (ii) 20 cm s^{-1}
(b) 減少
34 (c) 相消干涉

實驗題(p.101)

- 35 (b) 不可以

物理文章分析(p.102)

- 36 (a) 1 m (b) 140 Hz
(c) 波節
37 (b) 200 m s^{-1}
(c) (ii) 正確

6 光的波動本質與電磁波

習題與思考6.1 (p.114)

- 1 C

進度評估2 (p.118)

- 1 (a) 增加 (b) 增加
(c) 減少

進度評估3 (p.122)

- 1 $9.38 \times 10^{-4} \text{ m}$

進度評估4 (p.126)

- 1 暗淡, 近 2 $2 \times 10^{-6} \text{ m}$
3 (a) 增加 (b) 減少
(c) 增加

進度評估5 (p.131)

- 1 (a) 21 (b) 75.0°

習題與思考6.2 (p.133)

- 1 C 2 A 3 C 4 A
5 D 6 C 7 D
8 (b) 紅光最長, 紫光最短
9 不可以
11 $4.33 \times 10^{-6} \text{ m}$
12 (a) $3.34 \times 10^{-6} \text{ m}$ (b) 11.3°
13 (a) 0.0088 m (b) $2.2 \times 10^{-6} \text{ m}$
14 (a) 5
15 (a) 34.5° (b) $5.90 \times 10^{-7} \text{ m}$
17 (a) (i) 減少 (ii) 增加
(iii) 減少
18 (a) 3

進度評估6 (p.140)

1	C	2 500 s	
3	電磁波 (在真空中)	頻率 (Hz)	波長 (m)
	無線電波	9.3×10^7	3.2
	微波	2.5×10^9	0.12
	紅外輻射	4.2×10^{13}	7.2×10^{-6}
	紅光	4.4×10^{14}	6.8×10^{-7}
	藍光	6.4×10^{14}	4.7×10^{-7}
	紫外輻射	3.4×10^{15}	8.8×10^{-8}
	X 射線	8.3×10^{16}	3.6×10^{-9}
	伽瑪射線	2.2×10^{21}	1.4×10^{-13}

進度評估7 (p.146)

- 1 (a) 微波 (b) 紫外輻射
(c) X 射線或伽瑪射線 (d) 紅外輻射

習題與思考6.3 (p.147)

- 1 C 2 C 3 B 4 C
5 無線電波最長, 伽瑪射線最短

- 7 $12\,750 \text{ m}$ 8 $5.77 \times 10^{23} \text{ m}$
9 0.508 m 至 0.515 m
10 (b) 0.004 s

複習6

概念重溫(p.153)

- 1 F 2 T 3 F 4 F
5 F

多項選擇題(p.153)

- 6 D 7 D 8 B 9 D
10 A 11 B 12 B 13 D
14 A 15 B 16 C 17 B
18 A 19 A

問答題(p.155)

- 20 (a) 3.32 m
(b) (i) 紅外輻射
(ii) 無線電波
21 (a) $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}$ (b) 29.2°
(c) 4
22 (b) 2 cm
23 (a) $3.5 \times 10^{-7} \text{ m}$
(b) (i) 0.875 mm (ii) 變暗
24 (a) $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
25 (c) S 、 R 、 Q 、 P
(d) P : 紅外輻射; S : 紫外輻射
(e) Q
26 (e) 17
27 (a) $6.25 \times 10^{14} \text{ Hz}$ (b) 5
(c) (i) 42.2° (ii) 640 nm
28 (a) (ii) $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$
(b) (i) $2 \times 10^{-6} \text{ m}$ (ii) $6.3 \times 10^{-7} \text{ m}$
29 (a) $2.5 \times 10^{-6} \text{ m}$
31 (a) $1.5 \times 10^{10} \text{ Hz}$
(b) (ii) 1.27 m

實驗題(p.158)

33 (a)				
極大值的級別 n	1	2	3	4
影像的角位置 $\theta / ^\circ$	6.28	12.73	19.44	26.20
$\sin \theta$	0.109	0.220	0.333	0.442

$$\lambda = 6.88 \times 10^{-7} \text{ m}$$

- 34 (a) (i) 20.8° (ii) $5.92 \times 10^{-7} \text{ m}$

物理文章分析(p.159)

- 35 (a) 反射
(b) (i) 45 m , 45.036 m
(ii) 130 km h^{-1} , 有

7 聲音

進度評估1 (p.166)

- 1 (a) 5 cm (b) 2.5 cm s^{-1}
(c) 40 cm (d) 0.0625 Hz
(e) 同相: j ; 反相: $f \cdot n$

進度評估2 (p.169)

1 (a)	粒子	A	B	C	D	E
	d / cm	0	15	30	45	60
	s / cm	-6	0	6	9	6

F	G	H	I	J	K
75	90	105	120	135	150
0	-6	-9	-6	0	6

- (b) $A = 9 \text{ cm}$, $\lambda = 120 \text{ cm}$
(c) I

進度評估3 (p.172)

- 1 D : 瞬時靜止; E : 向右
2 (b) $A = 4 \text{ cm}$, $T = 0.8 \text{ s}$
(c) 1.25 Hz

習題與思考7.1 (p.173)

- 1 C 2 C 3 B 4 A
5 B
6 (b) 10.5 cm (c) 5.25 cm s^{-1}
7 (b) $A = 0.5 \text{ cm}$, $T = 2 \text{ s}$, $f = 0.5 \text{ Hz}$
8 (a) C 、 G
9 (a) $A = 3 \text{ cm}$, $\lambda = 40 \text{ cm}$
(c) a 、 b 、 h 、 i 、 j (d) 在 $t = 1.5 \text{ s}$ 時
10 (c) F : 瞬時靜止; G : 向右
11 (a) 8 cm
12 (a) 0.25 s (b) 0.5 m
(c) 2 m s^{-1}

進度評估4 (p.183)

- 1 (a) 增加, 減少 (b) 微弱聲音

習題與思考 7.2 (p.183)

- 1 C 2 C 3 C
4 1.30 m
5 (a) 相消干涉 (b) 兩者皆不會
 (c) 相長干涉
6 (a) 2.21
7 (a) 600 Hz (b) 0.567 m
8 (a) 256 Hz (b) 1400 m s⁻¹
 (c) 折射

進度評估 5 (p.191)

- 1 300 m s⁻¹ 2 680 m
3 34 000 Hz, 不能
4 可聽聲音: 20 Hz ≤ f ≤ 20 000 Hz;
 超聲波: f > 20 000 Hz
5 先看到球員擊中棒球 6 306 m

習題與思考 7.3 (p.192)

- 1 C 2 B 3 C
4 34 m
5 (a) 0.833 m (b) 能夠
6 (a) 850 m (b) 是
7 (a) 是 (b) 75 m
8 333 m s⁻¹

進度評估 7 (p.201)

- 2 (a) 分貝, dB (b) 0 dB

習題與思考 7.4 (p.203)

- 1 B 2 D 3 B
4 (a) 1.30 m (b) 波長較短
5 (a) 相同音調, 不同響度
 (b) 不是

複習 7

概念重溫(p.206)

- 1 F 2 F 3 F 4 T

多項選擇題(p.206)

- 5 C 6 C 7 B 8 A
9 D 10 B 11 A 12 C
13 A 14 D 15 C 16 A
17 A 18 C 19 D 20 A
21 B

問答題(p.210)

- 22 (b) 345 m s⁻¹
23 (a) 12 Hz 至 80 Hz (b) 不能夠
 (c) 最短: 4.25 m; 最長: 28.3 m
25 (a) 1.11 m
26 (a) 是 (c) 向左
 (d) 2.5 m s⁻¹
27 (a) 干涉 (b) 0.121 m, 0.243 m
 (c) (ii) 減少
28 (a) 26.9 s
29 (c) 0.0117 m (d) 沒有可能
30 (b) 0.769 m (c) 不是
32 (b) (i) 0.68 m (ii) 0.34 m
33 (b) 能 (d) 小強的建議
35 (a) 0.4 m (b) 相長干涉

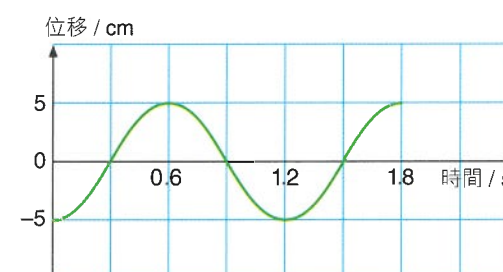
物理文章分析(p.215)

- 38 (c) 4.25 m

自我評核題解

自我評核 4 (p.40)

- 1 B
2 A
3 (a) 向下 1A
 (b)



- (振幅正確) 1A
(週期正確) 1A
(線圖正確) 1A

(c) 頻率 $f = \frac{1}{T}$

$$= \frac{1}{1.2}$$

$$= 0.833 \text{ Hz}$$
 1A

(d) 波長 $\lambda = 24 \text{ cm}$ 1M
 波的傳播速率 $v = f\lambda$ 1M

$$= 0.833 \times 24$$

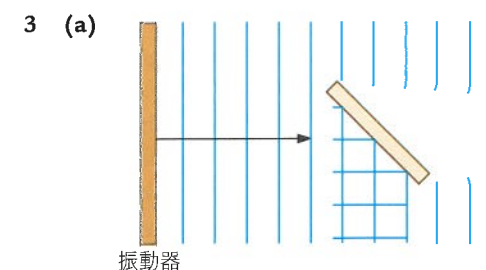
$$= 20.0 \text{ cm s}^{-1}$$
 1A

自我評核 5 (p.104)

- 1 B
2 (a) 入射波和反射波的頻率和振幅相同, 並以相同速率向相反方向傳播。 1A
 兩者發生干涉便產生駐波。 1A
(b) (i) 0.5 m 1A
 (ii) 波的速率 $v = f\lambda$ 1M

$$= 40 \times 0.5$$

$$= 20 \text{ m s}^{-1}$$
 1A



- (反射波) 1A
(衍射波) 1A

- (b) (i) 1A
 (波長增加) 1A
 (擴散幅度較大) 1A
 (ii) 根據 $v = f\lambda$, 當 f 減少而 v 不變, 波長 λ 會增加, 1A
 水波經過障礙物邊緣後的擴散幅度也就增加。 1A

- (c) 1A
 (波長的變化正確) 1A

自我評核 6 (p.160)

- 1 C 2 C 3 C
4 (a) 柵線間距 $d = \frac{1 \times 10^{-2}}{5000} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$ 1A
 (b) 根據 $d \sin \theta = n\lambda$, 1M

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{d} = \frac{2 \times 700 \times 10^{-9}}{2 \times 10^{-6}} = 0.7$$

$$\Rightarrow \theta = 44.4^\circ$$
 1A
 (c) 因為 $\sin \theta \leq 1$, 1A

$$n = \frac{d \sin \theta}{\lambda} \leq \frac{d}{\lambda}$$
 1A
 (d) $n \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{2 \times 10^{-6}}{700 \times 10^{-9}} = 2.86$ 1A
 光點的最高級別是 2。

自我評核 7 (p.216)

- 1 A 2 A
- 3 (a) 振幅 = 8 cm 1A
波長 = 64 cm 1A
- (b) F 正向左移動。 1A
 H 是瞬時靜止的。 1A
- (c) D 1A
- 4 (a) 兩個揚聲器發出的聲波沿直線 PQ 不同位置的程差各有不同。 1A
聲波在某些位置發生相長干涉，產生響亮聲音； 1A
又在另一些位置發生相消干涉，產生微弱聲音。 1A
- (b) 根據 $v = f\lambda$ ， 1M
聲波的波長 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{2000} = 0.17 \text{ m}$
 R 點的程差 = 0.5λ 1M
 $= 0.5 \times 0.17 = 0.085 \text{ m}$
 R 點與 S_2 的距離
 $= 4 - 0.085 = 3.915 \text{ m}$ 1A
- (c) 不會。 1A
一首歌曲由不同頻率的樂音組成， 1A
因此不同樂音會在不同的位置發生相長和相消干涉，不會產生穩定的干涉圖形。 1A

索引

- X 射線 X-ray 137
- 三劃
- 干涉 interference 65
水波的干涉 of water wave 65
光的干涉 of light 112
相長干涉 constructive 68
相消干涉 destructive 68
聲音的干涉 of sound 181
- 四劃
- 分貝 decibel (dB) 198
水波槽 ripple tank 42
反射 reflection 48
水波的反射 of water wave 48
聲音的反射 of sound 178
- 五劃
- 平面透射光柵 plane transmission grating 122
可見光譜 visible spectrum 136
- 七劃
- 位移—時間關係線圖 displacement-time graph 23
位移—距離關係線圖 displacement-distance graph 25
折射 refraction 51
水波的折射 of water wave 51
聲音的折射 of sound 179
貝爾 Bell, Alexander 198
阿拉戈 Arago, François 114
伽瑪射線 gamma ray 137
沃森 Watson, James 148
克里克 Crick, Francis 148
- 八劃
- 波 wave 2
平面波 plane 44
行波 progressive / travelling 3
直線波 straight 44
圓形波 circular 44
駐波 standing / stationary 79
橫波 transverse 4
縱波 longitudinal 5
波形 waveform 4
波谷 trough 4
波長 wavelength 11
波陣面 wavefront 46
波速率 wave speed 13
波節 node 79
波腹 antinode 79
波峯 crest 4
帕松 Poisson, Siméon 114
- 九劃
- 衍射 diffraction 59
水波的衍射 of water wave 59
光的衍射 of light 109
聲音的衍射 of sound 180
衍射光柵 diffraction grating 122
相干 coherent 71
相位 phase 18
反相 in antiphase 19
同相 in phase 18
異相 out of phase 19
音品 quality 194
音調 pitch 194
紅外輻射 infra-red radiation 136
威爾金斯 Wilkins, Maurice 148
- 十劃
- 振動 oscillation / vibration 2
振幅 amplitude 9
脈衝 pulse 4
橫向脈衝 transverse 4
縱向脈衝 longitudinal 5
- 十一劃
- 密部 compression 5
條紋 fringe 112
麥克斯韋 Maxwell, James Clerk 136
- 十二劃
- 疏部 rarefaction 5
軟彈簧 slinky spring 4
陰極射線示波器 cathode-ray oscilloscope (CRO) 177
單色光 monochromatic light 116
程差 path difference 69
超聲波 ultrasound / ultrasonic waves 188
週期 period 9
惠更斯 Huygens, Christiaan 108
菲涅 Fresnel, Augustin-Jean 114
紫外輻射 ultra-violet radiation 136
無線電波 radio wave 136
富蘭克林 Franklin, Rosalind 148
- 十三劃
- 愛因斯坦 Einstein, Albert 132
楊氏雙縫實驗 Young's double slit experiment 115
節線 nodal line 71
腹線 antinodal line 71
楊格 Young, Thomas 112
電磁波 electromagnetic wave (EM wave) 136
電磁波譜 electromagnetic spectrum 137
微波 microwave 137