

新高中
生活與物理
第二版

黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

3A

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 978-0-19-944193-8



9 780199 441938

新高中
生活與物理
第二版



教師用書

3A 黃小玲 彭永聰 李浩然 林兆斌

OXFORD

3A

新高中
生活與物理
第二版

波動 I

教師用書

OXFORD
牛津

目錄

作者簡介
序 言

iii
vi

第 1 課 光的反射

1.1 光 線
1.2 反射定律
1.3 平面鏡成像
總結 1
複習 1
自我評核 1

2
7
12
27
29
34

第 2 課 光的折射

2.1 折射定律
2.2 光的全內反射
總結 2
複習 2
自我評核 2

38
53
67
69
76

第 3 課 透 鏡

3.1 凸透鏡與凹透鏡
3.2 凸透鏡成像
3.3 凹透鏡成像
總結 3
複習 3
自我評核 3

80
85
102
114
116
126

答 案
自我評核題解
索 引
鳴 謝
圖片鳴謝
附 錄

129
132
133
134
135
136



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。



1 光的反射

我們在这一課會學到

- 光線模型
- 反射定律
- 平面鏡成像

1.1

光線

✓ 本節重點

- 1 光束和光線
- 2 怎樣看見物體
- 3 光線圖

起點 燈塔

燈塔在黑暗中發出光，引領船隻避過危險。我們可以在香港水域內找到燈塔。

從右方的照片，你知道光怎樣傳播嗎？

光沿直線傳播（參看 p.3）。



1 認識光的特性

- a 光是能量的一種形式。計算機、人造衛星和汽車都可以靠光能來推動（圖 1.1a），植物也需要光能來製造食物。
- b 光可以在真空中傳播。太陽與地球之間並無任何物質存在，但陽光仍可從太陽傳播到地球（圖 1.1b）。



圖 1.1a 太陽能汽車



圖 1.1b 陽光透過真空傳播到地球

- c 光以極高速傳播。從前的人以為光以無限快的速率傳播。到了十七世紀，科學家開始推想光速是有限的（圖 1.1c）。現代測量結果顯示光在空氣中的速率約為 $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。

羅默是一位丹麥天文學家。他觀察木衛一（木星的衛星）時，發現木衛一發生月蝕的時間長短不一。地球移近木星時，量度到的月蝕時間較短；地球移離木星時，量度到的時間則較長。羅默認為光需要時間行走地球所移動的距離，因此光速並非無限的。



圖 1.1c 羅默（1644–1710）提出光速是有限的

羅默 Ole Rømer

如果跑得跟光一樣快，便可以在一秒內環繞地球 8 個圈！

2 光束和光線

這解答了起點的問題。

- 從日常生活的例子，可以見到光沿直線傳播（圖 1.1d）。因此，我們可以利用光線模型來研究光。在光線模型中，光由無數光線組成，每條光線都沿直線傳播。光線以實色直線表示，實線上有箭號顯示光線的傳播方向（圖 1.1e）。



圖 1.1d 光筆直的射向天空

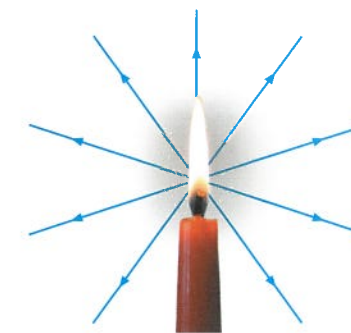
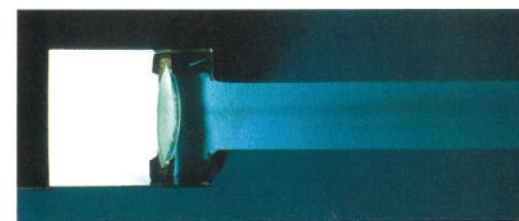


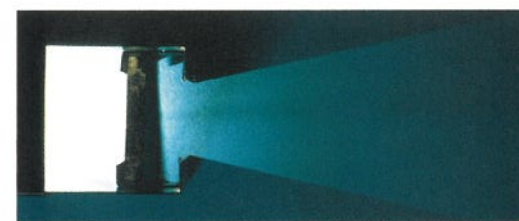
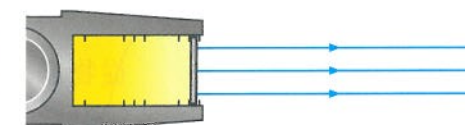
圖 1.1e 在光線模型中，燭火發出的光線沿直線傳播

光傳播時，發散光束散開，會聚光束則收窄。所謂「會聚」是指光線相交，並非指光線聚在某點停下來。

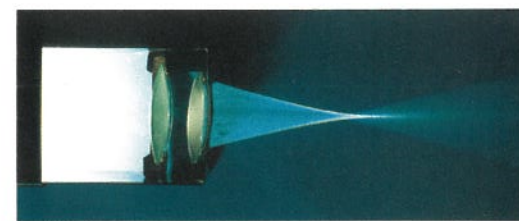
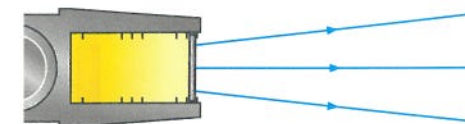
- 圖 1.1f 顯示三種不同的光束：平行光束、發散光束和會聚光束，以及用光線表示這三種光束的方法。



(i) 平行光束



(ii) 發散光束



(iii) 會聚光束

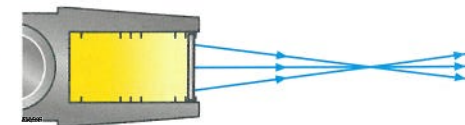


圖 1.1f 以光線表示不同種類的光束

光線 ray 光束 light beam 平行光束 parallel beam 發散光束 divergent beam
會聚光束 convergent beam

3 發光體和不發光體

有些物體會自行發光，稱為**發光體**，例子包括太陽和燈泡。然而，大多數物體都不會自行發光，稱為**不發光體**，它們要在光照射下才能看得見（圖 1.1g）。不發光體的例子包括月球、書本和人體。



(i) 發光體（亮着的燈泡）自行發光



(ii) 在光照射下能看得見不發光體（籃球）



(iii) 在黑暗的環境中，很難看見不發光體

圖 1.1g 發光體（亮着的燈泡）和不發光體（籃球）

4 觀看物體

當來自物體的光進入眼睛，我們便能看見該物體。即使光線從物體射向四方八面，但是只有進入眼睛的光線才會產生視覺。

要表示眼睛看見物體上的某一點，可從該點繪畫一個**光錐**射進眼睛（圖 1.1h）。光錐包含一束圓錐的光。若要表示眼睛看見整個物體，則可從物體的「頂端」和「末端」各畫一個光錐射進眼睛（圖 1.1i）。

強調光錐來自物體上的一點，並且可以來自物體上任何部分。

繪畫光錐時，兩個箭號必須從物體上的同一點開始，且總是從物體指向眼睛。

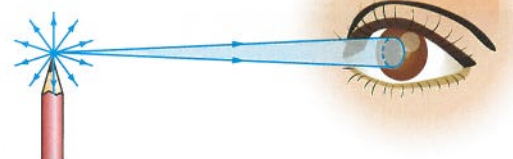
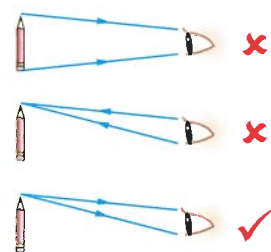


圖 1.1h 光錐從某一點射進眼睛

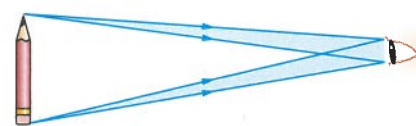


圖 1.1i 表示眼睛看見整個物體

歷史點滴

阿爾哈曾 (965–1039)

古人認為我們能夠看見物體，是因為光從人眼發出，並在物體表面反射。直至阿拉伯科學家**阿爾哈曾**發現眼睛的運作原理，並證明光沿直線傳播，大家才知道是外來的光進入眼睛，讓我們看見物體。



可着學生找出下圖中的光源在哪裏，讓他們深入理解「物體的位置」、「像的位置」有甚麼含義。



強調這些平行光線來自遙遠物體上同一點。有些學生或會以為光線來自整個物體：



來自太陽上某點的光

圖 1.1j 光線從不同距離的物體到達眼睛

考慮來自物體上某點的光線。如果物體接近眼睛，那些光線到達眼睛時是發散的；若物體逐漸遠離眼睛，光線到達眼睛時會發散得較少。如果物體的距離非常遙遠（例如太陽），光線到達眼睛時可看成是平行（圖 1.1j）。

物體上的點



我們看得見發光體，因為它所發出的光到達眼睛（圖 1.1k）。然而，我們是怎樣看得見不發光體的呢？原來，光照射不發光體上某點時，會從該點向不同方向反射（圖 1.1l），我們因而能從不同方向看見該點。照射在其他位置的光線，也依照同樣原理到達眼睛。

在單元 1.2 會討論光的反射。

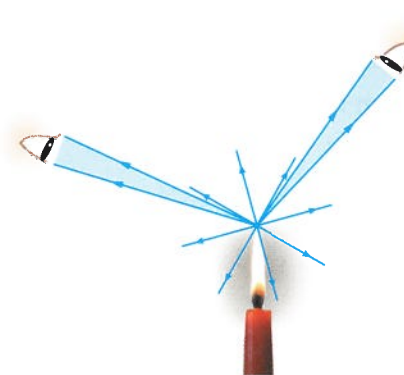


圖 1.1k 如何從不同方向看見燭焰（發光體）

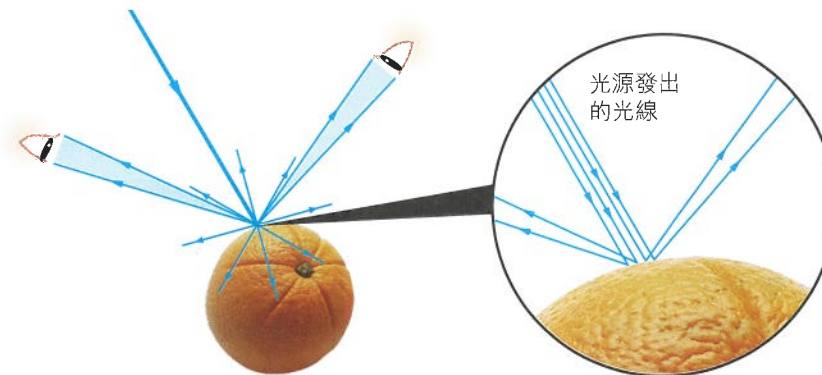


圖 1.1l 如何從不同方向看見橙（不發光體）

可做一個簡單的示範，展示為甚麼有時能看見光的路徑：把激光由課室一端射向另一端，學生看不到空氣中的光束。然後拍打粉刷令空氣充滿塵粒，這時再發射激光，塵粒會把激光反射進學生的眼睛，學生便看得見光束。

生活中的物理

月相

月球是不發光體，但它的表面反射來自太陽的光，所以月球看來很光亮。我們能夠看到月球受太陽照射的部分，但看不到不受太陽照射的部分。受照射部分的大小每月週而復始的變化，便形成由新月（受照射部分極小）到滿月（整個月球受照射）的不同月相。

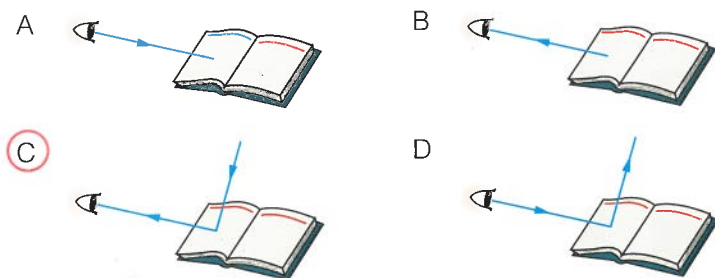


不同的月相（由新月到滿月）

進度評估 1

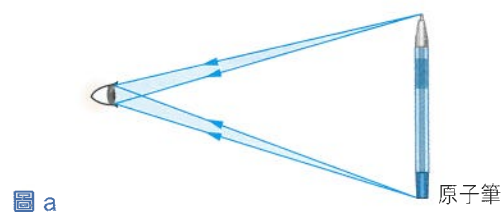
✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.2)。

21 以下哪條光線的路徑最能顯示我們看見書本的情況？



32 下列哪一項最能準確描述圖 a 所示的情況？

- A 來自原子筆的光線中，只有 4 條能夠到達眼睛。
 B 眼睛能夠看到整支原子筆。
 C 只有原子筆兩端會發光。
 D 原子筆發出會聚光束。



習題與思考 1.1

21 我們可以看見蘋果，因為

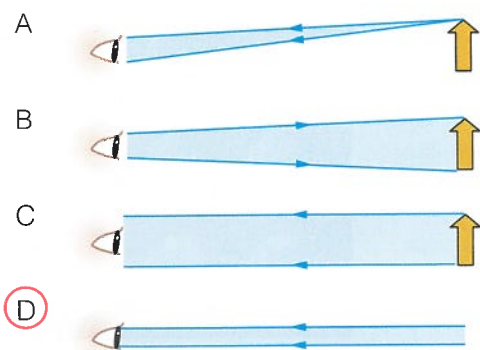
- A 眼睛發出的光到達蘋果。
 B 蘋果發出的光進入眼睛。
 C 蘋果把光反射到眼睛。
 D 蘋果吸收照射在它表面的光。

22 下列哪些物件是不發光體？

- (1) 燃燒中的火柴
 (2) 鏡子
 (3) 透明玻璃片

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

33 以下哪一幅光線圖正確顯示來自遠方物體上某點的光線？

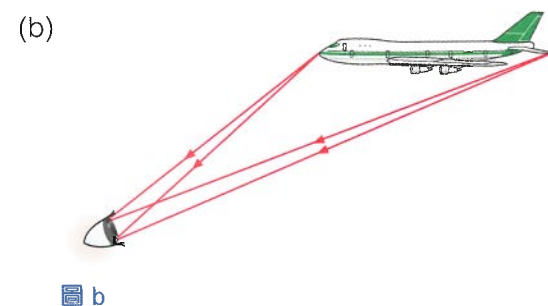
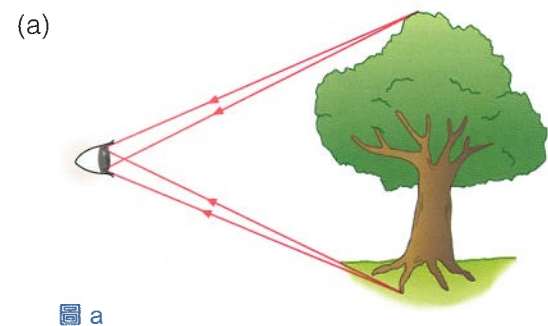


24 試舉出三個發光體和三個不發光體。

15 試指出從以下物體上某點傳播到眼睛的光線是會聚、發散、還是平行的。

- (a) 距離眼睛 20 cm 的課本 **發散**
 (b) 距離眼睛 2 m 的樹 **發散**
 (c) 恆星 **平行**

36 試在圖 a 和 b 加上光錐，以顯示眼睛怎樣看到整個物體。



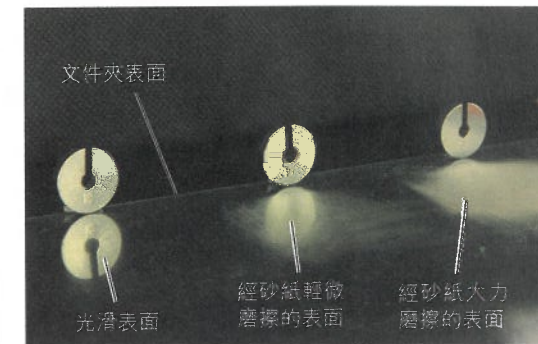
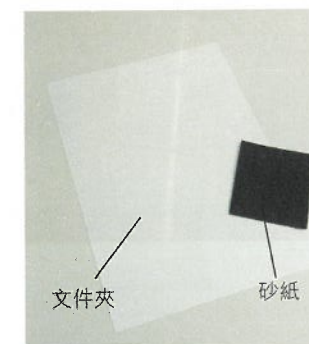
1.2

反射定律

起點

文件夾上的影像

文件夾的光滑表面可形成清晰的像。然而，表面一旦給砂紙磨花，就不能再形成清晰的像。為甚麼？**參閱第 10 頁的旁註。**



✓ 本節重點

- 1 反射定律
 2 單向反射和漫反射

1 平面鏡上光的反射

光線射到平面鏡上會折返，這個現象稱為反射 (圖 1.2a)。表 1.2a 列出一些用來描述光線反射的用語。

繪圖時，一般會用以下符號來表示平面鏡。



有些學生誤以為入射線與鏡面之間的角度為入射角。他們對反射角也可能有類似的誤解。

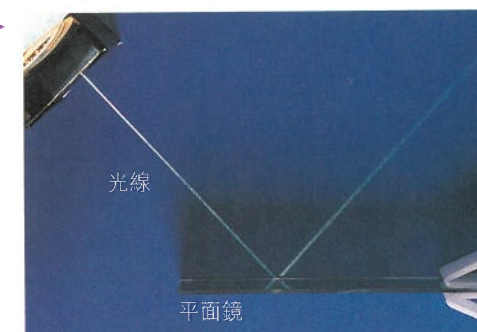
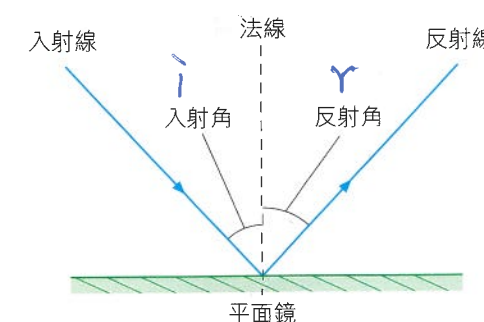


圖 1.2a 光的反射



入射線	射向平面鏡的光線
反射線	經反射後離開平面鏡的光線
法線	與平面鏡垂直的假想線，通過入射線和平面鏡的接觸點
入射角	入射線與法線之間的角
反射角	反射線與法線之間的角

表 1.2a 描述光的反射

平面鏡 plane mirror 反射 reflection 入射線 incident ray 反射線 reflected ray
 法線 normal 入射角 angle of incidence 反射角 angle of reflection

模擬程式 1.1
錄像片段 1.1

→ 模擬程式 1.1 是研究光的反射的「虛擬實驗」。

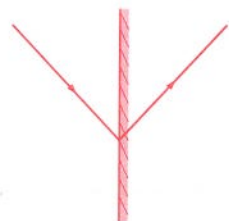
→ 錄像片段 1.1 示範實驗 1a。

小心！不要用手觸碰高溫的燈箱。

要量度正確的入射角和反射角，入射線和平面鏡的接觸點應與量角器的中心點重疊。

「實驗手冊 3A」提供全圖量角器的圖樣。

實驗後，部分學生可能會畫出這樣的光線圖：

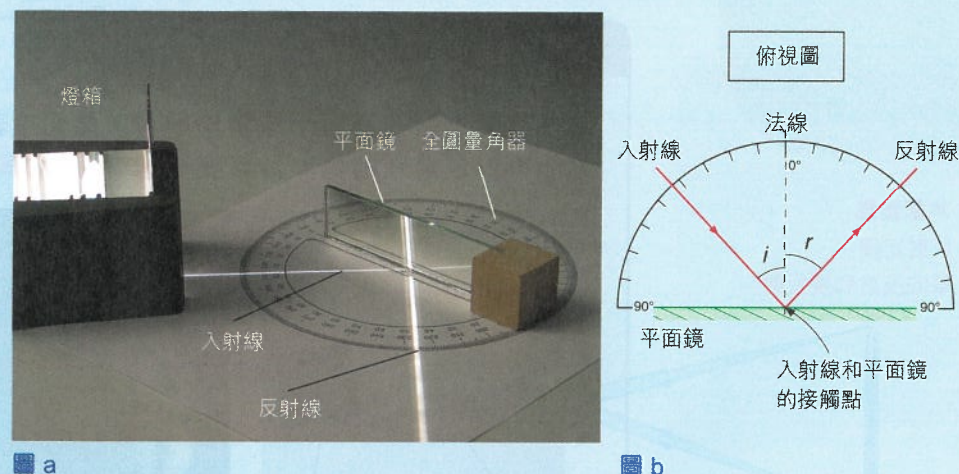


出現這個誤解，原因是他們以為望向平面鏡時，所見到的是「反射線」。老師或須詳細解釋反射光線的意思，或改用高度較小的平面鏡。

這表示三條線都能同時繪畫在一張平直的紙上（圖 1.2b）。

實驗 1a 光的反射

把光線以不同入射角 i 射向平面鏡，然後量度對應的反射角 r 。



討論

入射角和反射角有甚麼關係？入射角與反射角大小相等。

2 反射定律

從以上實驗，我們發現光的反射遵從**反射定律**（圖 1.2b）：

- 入射線、反射線與法線都在同一平面上。
- 反射角 r 總是等於入射角 i 。

$$i = r$$

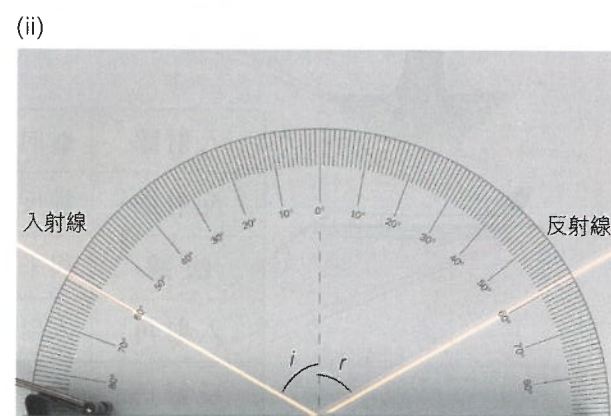
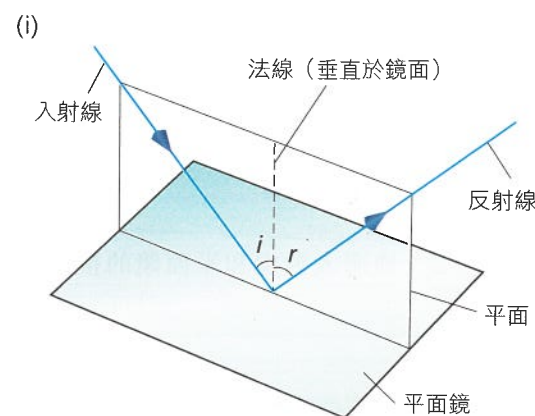
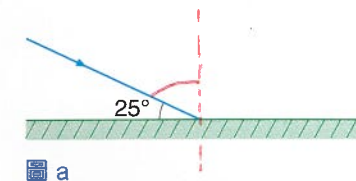


圖 1.2b (i) 反射定律，(ii) 反射角 r 等於入射角 i

例題 1 運用反射定律

光線如圖 a 所示射向平面鏡，入射線與鏡面之間的角是 25° 。

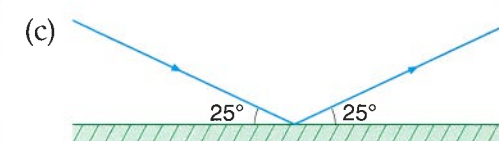
- 求入射角。
- 求反射角。
- 完成光線圖。



題解

(a) 入射角 $= 90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$

(b) 反射角 $=$ 入射角 $= 65^\circ$



進度評估 2 Q2 (p.10)

模擬程式 1.2

→ 模擬程式 1.2 闡釋單向反射和漫反射的分別。學生可更改入射角的大小。

3 單向反射和漫反射

光射到物體表面時，便出現反射。如果該表面**平坦光滑**（例如平面鏡），在該表面不同位置的法線便互相平行。平行光線射到這些表面時，所有入射角相同，也就是說，所有反射角也相同。因此，平行光線會向相同的方向反射（圖 1.2c(i)），這種反射稱為**單向反射**。

相反，如果表面**粗糙不平**，在該表面不同位置的法線方向便不相同。平行光線射到這些表面時，會向不同的方向反射（圖 1.2c(ii)），這種反射稱為**漫反射**。必須注意的是，無論是單向反射還是漫反射，光線在每個入射點反射時，都遵從反射定律。

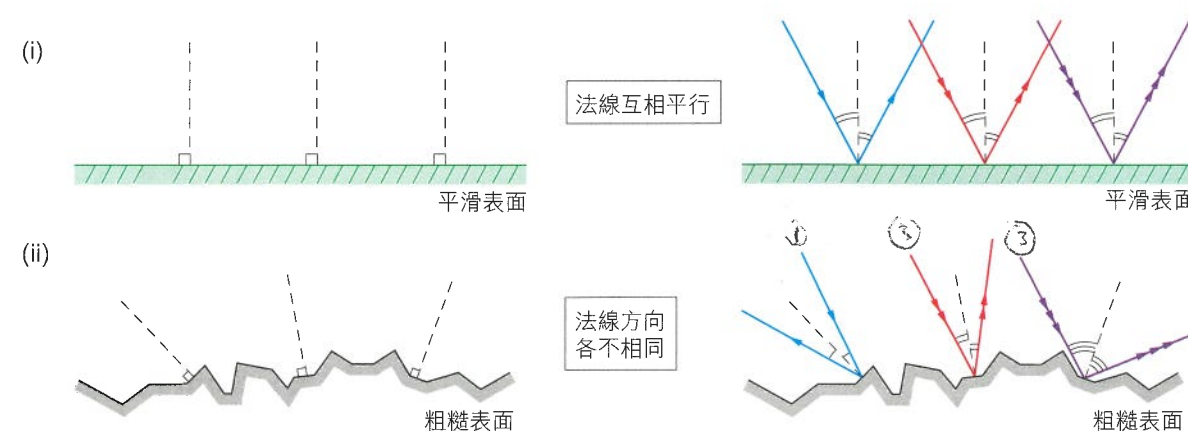


圖 1.2c 平行光線在物體表面的反射情況：(i) 單向反射、(ii) 漫反射

單向反射能夠產生清晰的像，漫反射則不能（圖 1.2d）。



(i) 光射到平靜的水窪表面發生單向反射，產生清晰的像（倒影）

(ii) 水面起伏不定，像變得模糊不清

(iii) 光射到粗糙地面上發生漫反射，不會產生任何像

圖 1.2d 單向反射與漫反射

在起點中，光照射在文件夾的光滑表面時發生單向反射，產生清晰的像。文件夾給砂紙磨過後變得粗糙。光再次照射在它的表面時便發生漫反射，所以不會產生清晰的像。

日常生活中，大多數物體表面都是粗糙的，它們不能產生清晰的像。即使如白紙般看似平滑的表面，其實也是相當粗糙的（圖 1.2e）。

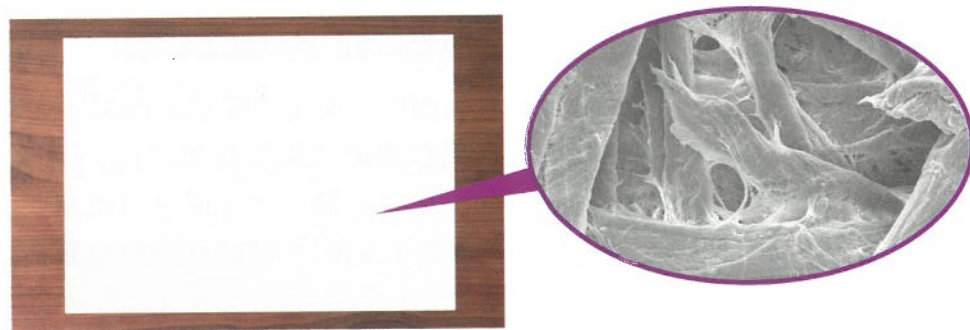


圖 1.2e 把紙張表面放大 840 倍觀察，會看見紙的木質纖維。紙張並非看起來那麼平滑

進度評估 2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.7）。

- 11 (a) 指出虛線 X 的名稱。**法線**
 (b) 指出角 Y 和 Z 的名稱。**Y: 入射角, Z: 反射角**
 (c) 角 Y 和 Z 有甚麼關係？**相等**

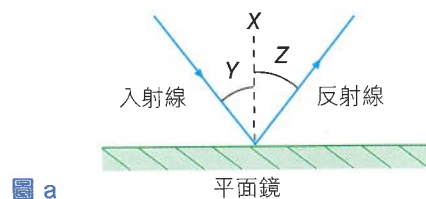


圖 a

- 12 在圖 b 中繪畫反射線，並標示入射角和反射角。

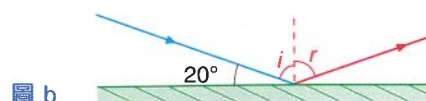


圖 b

習題與思考 1.2

✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.7）。

- 1 1 光線射向平面鏡，入射線與反射線之間的角度是 80° （圖 a）。反射角是多少？

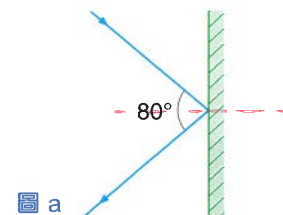


圖 a

- A 80°
 B 60°
 C 40°
 D 20°

- 2 2 下列哪一項最能解釋白紙表面為甚麼不能產生清晰的像？

- A 平行光線射到紙面後以不同角度反射。**漫反射**
 B 射到紙面的光束並不是互相平行。
 C 光在紙面反射時不遵從反射定律。
 D 紙面不會把光反射。

★ 3
1

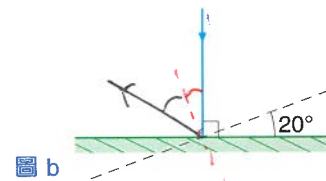


圖 b

光線正向射到平面鏡上（圖 b）。如果把鏡面旋轉 20° ，入射線與反射線之間的角度會變成多少？

- A 0°
 B 20°
 C 40°
 D 80°

- 1 4 入射線與鏡面之間的角度是 40° （圖 c）。

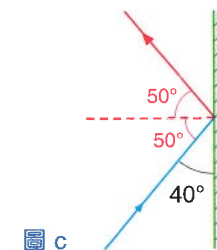


圖 c

- (a) 求入射角和反射角。 **$i = 50^\circ$; $r = 50^\circ$**
 (b) 在圖 c 繪畫法線和反射線，並標示 (a) 部的角度。

- ★ 5 圖 d 顯示兩面互相垂直的平面鏡。光線如圖所示入射。

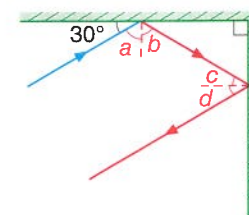


圖 d

- (a) 求圖中光線的入射角。 **60°**
 (b) 在圖 d 繪畫所有反射線。
 (c) 求光線最終的反射角。 **30°**

- ★ 6 在檯燈照射下閱讀用光滑紙張印刷的書本，會感到很不舒服（圖 e）。為甚麼？



圖 e

- ★ 7 圖 f 顯示，平滑的糖果包裝紙產生一個清晰的像。包裝紙弄皺後，所產生的像就變得模糊不清（圖 g）。



圖 f



圖 g

- (a) 為甚麼圖 g 的包裝紙產生的像模糊不清？
 (b) 振宇說：「光在起皺的包裝紙表面反射時，反射定律並不適用。」試評論振宇的說法。**不正確**

✓ 本節重點

- 1 平面鏡成像的特性
- 2 繪畫成像和光線圖
- 3 觀看成像

起點

水中的火焰

蠟燭竟能在水中燃燒！這是怎樣做到的？ 參閱第13頁「物理DIY」。



1 平面鏡成像的特性

面向平面鏡觀看時，可以看見自己的像。究竟這個像有甚麼特性呢？

a 虛像



錄像片段 1.2

→ 錄像片段 1.2 示範實驗 1b。



實驗 1b

平面鏡成像

- 1 在一張紙上，讓一組發散光線射向平面鏡（圖 a）。

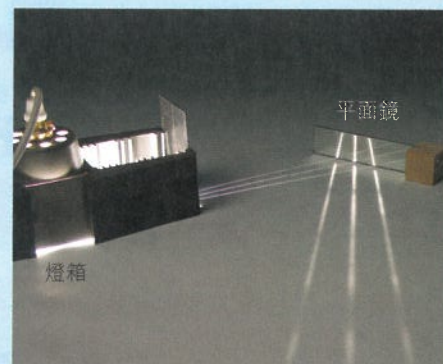
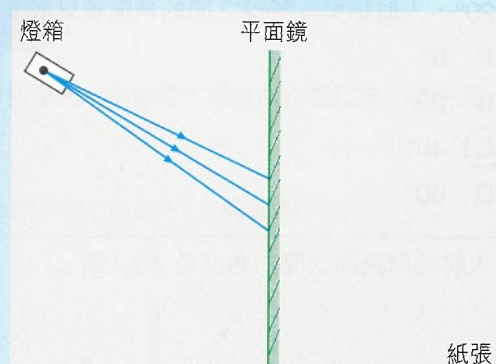


圖 a



- 2 在紙上繪畫反射線。

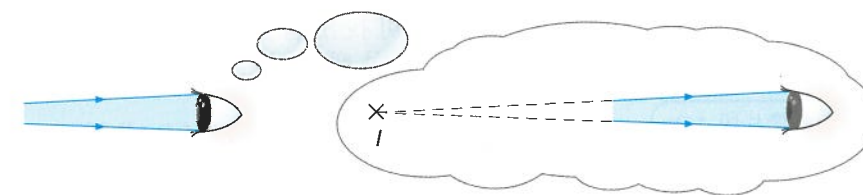
- 3 向後延伸反射線。

討論

反射線向後延伸時會否相交於一點？

光線進入眼睛前，不管路徑如何，都不會影響眼睛所接收到的影像。光線可以經不同路徑進入眼睛，但我們卻會覺得它們源自同一點。

光線進入眼睛，我們會覺得光線一直都沿直線傳播。例如在圖 1.3a 中，如果發散光線向後延伸，會相交於 I 點，因此我們覺得這組光線來自 I 點。

圖 1.3a 對觀察者而言，光線似乎從 I 點發出

在實驗 1b，光線經平面鏡反射後，看似來自鏡子後方某點（圖 1.3b）。因此，透過鏡子觀看物體 O 時，會覺得來自物體的光線從鏡子後方的 I 點而來（圖 1.3c），並會看見物體的像在 I 點形成。由於光線實際並非來自像，這個像不能投射到屏幕上。我們稱這種像為**虛像**。

此外，鏡子後方的光線並非真正存在，所以這些光線稱為**虛擬光線**，繪圖時以虛線（不帶箭號）表示。

圖 1.3b 下半部的相片對展示虛像相當有幫助，不過，老師應清楚說明由拍攝相片的角度，並不能看到相片所示的像。

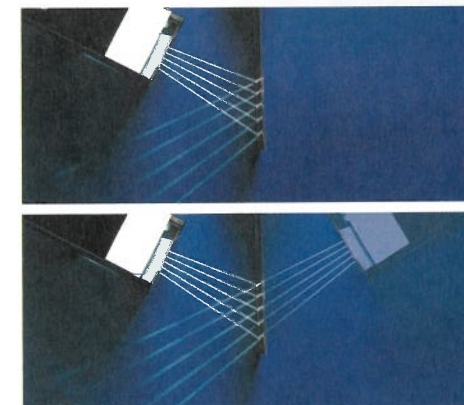
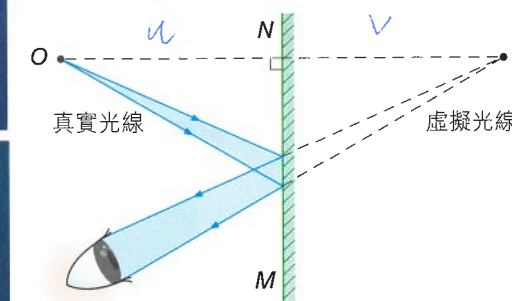


圖 1.3b 反射線看似來自鏡子後方的一點

圖 1.3c 對觀察者而言，發散光線看似從 I 點而來

物理 DIY 水中的燭光

下文解釋在起點看到的景象。如圖 a 所示，在盛了水的燒杯和蠟燭中間放一塊透明玻璃片，玻璃會反射部分來自蠟燭的光，在燒杯的位置成像（圖 b）。蠟燭看起來就像在水中燃燒起來！



圖 a

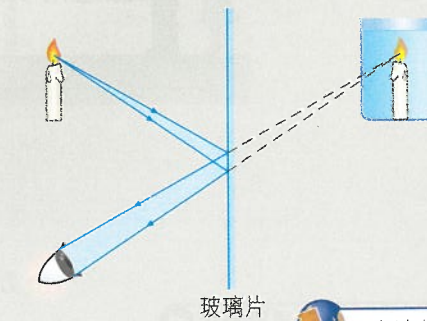


圖 b

b 鏡和像之間的距離

我們知道平面鏡的像在鏡後方形成，但像的準確位置到底在哪裏呢？完成以下實驗便可找出答案。

錄像片段 1.3

→ 錄像片段 1.3 示範實驗 1c。

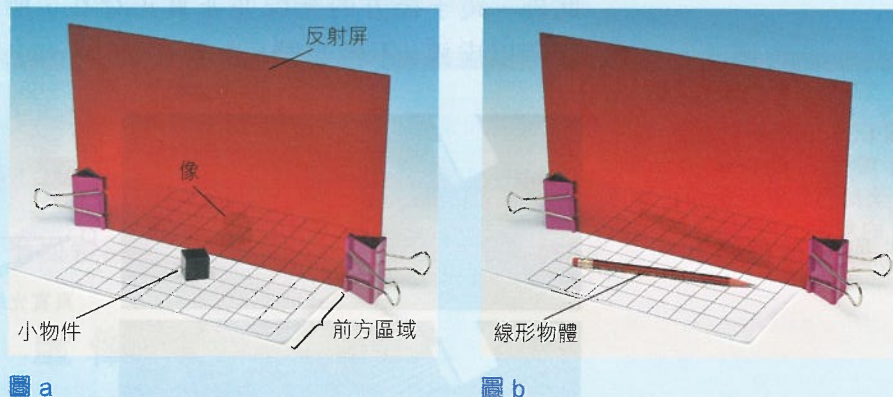
實驗中的半透明反射屏其實是亞加力膠板，可以在一些廣告製作公司找到。

標示物可以是與原物大小和形狀接近的物件。

學生學會找出成像位置的方法後，老師可着學生改變反射屏的擺放位置，例如對齊方格的對角線。有些學生或未能用正確的方法找出成像位置。

實驗 1c 平面鏡成像的位置

- 1 把半透明反射屏豎直擺放在方格紙上，使方格紙平分為前後兩個區域。
- 2 在前方區域擺放小物件，然後觀察物件的像（圖 a）。
- 3 在後方區域移動標示物，直至它與物件的像重疊。這就是像的位置。
- 4 把物件放在不同位置來重複實驗。
- 5 用鉛筆（線形物體）代替小物件來重複實驗（圖 b）。



討論

像的位置可用甚麼規則來預測？參閱下文。

從以上實驗，可歸納出以下兩項結果（圖 1.3d）：

- 1 像在平面鏡後方產生，它與鏡的距離，相等於物體與鏡的距離 ($IN = ON$)，也就是說，像距 = 物距，
- 2 連接像與物的線與平面鏡垂直 ($OI \perp MN$)。

根據這兩項結果，就可以找出像的準確位置。

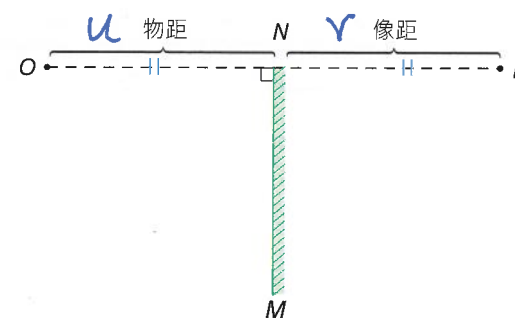


圖 1.3d 像的位置

模擬程式 1.3

→ 模擬程式 1.3 逐步顯示平面鏡怎樣把來自物體的光線反射入眼睛。

光的反射遵從反射定律，所以平面鏡成像的位置也可以用幾何方法找出。

在圖 1.3e 中，數條光線從 O 點射向平面鏡 MN 。根據反射定律繪畫反射線，然後將反射線向後延伸，直至它們相交於 I 點，這點就是像的位置。用幾何方法找到的成像位置與實驗結果 ($IN = ON$ 及 $OI \perp MN$) 一致。

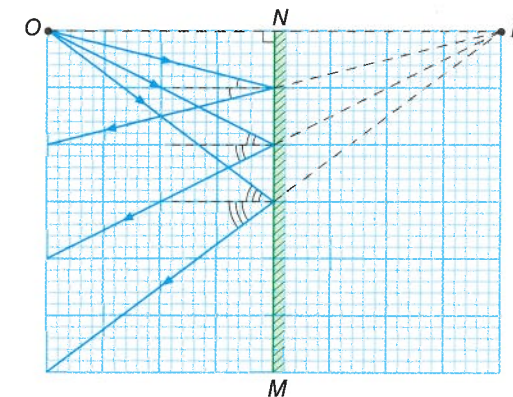
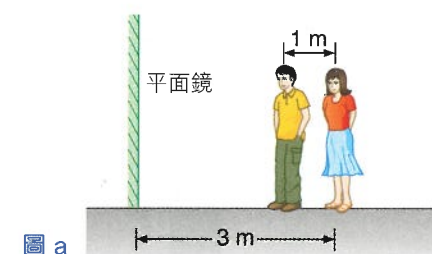


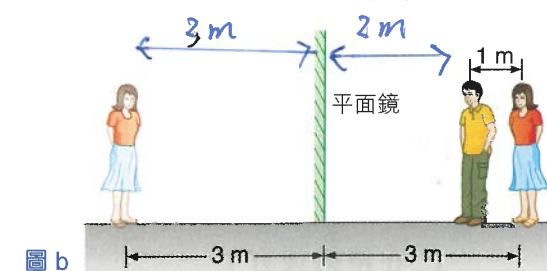
圖 1.3e 用幾何方法找出像的位置

例題 2 觀察者與像的距離

家欣和子健站在平面鏡前。家欣與平面鏡相距 3 m，子健則在家欣前方 1 m 的位置（圖 a）。家欣的像與子健相距多遠？



題解



家欣的像與鏡的距離 = 3 m

子健與鏡的距離 = $3 - 1 = 2$ m

家欣的像與子健的距離 = $2 + 3 = 5$ m

▶ 習題與思考 1.3 Q4 (p.25)

c 像的大小

用這個方法找出平面鏡的成像位置，就無須運用反射定律。

▶ 設物體兩端為 O_1 、 O_2 ，兩點的像為 I_1 、 I_2 。根據實驗 1c 的結果，可得 $O_1O_2 = I_1I_2$ (圖 1.3f)。由此可推斷，平面鏡形成的像與物體的大小相等。緊記繪畫時，用虛線來表示虛像。

或須強調，像看起來比物體小，原因只是它比物體較遠離觀察者。

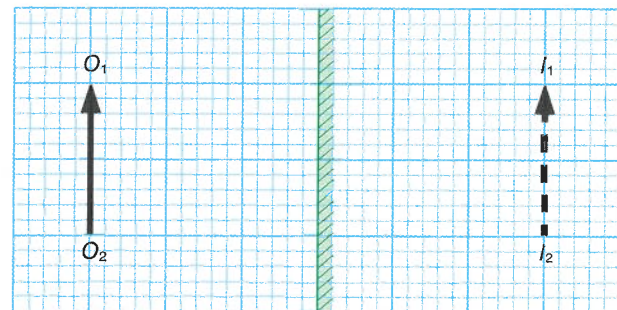


圖 1.3f $O_1O_2 = I_1I_2$



模擬程式 1.4

→ 模擬程式 1.4 顯示不同物件在鏡中形成的像。學生可隨意繪畫圖形，然後觀看圖形的像。

d 像的方向

在平面鏡前舉起右手，像卻變成舉起左手 (圖 1.3g)。平面鏡形成的像是**橫向倒置**和**正立**的。



圖 1.3g 平面鏡形成的像是橫向倒置的

總結以上各點，平面鏡形成的像有以下特點：

- 1 在鏡的後方；
- 2 是虛像；
- 3 與鏡的距離相等於物與鏡的距離，也就是說，像距 = 物距；
- 4 與物的大小相等；
- 5 是正立但橫向倒置的。

這裏的「距離」是指垂直距離。

生活中的物理

「車蟲蛛」?

救護車最前端的字樣「救護車」是橫向倒置的，因此從汽車的後視鏡中觀看，就會看到正常的字樣。



錄像片段 1.4

→ 錄像片段 1.4 顯示以反射原理來設計的錢箱。

例題 3 像的大小和方向

身高 1.4 m 的女孩穿了一件運動衣，站在平面鏡前 3 m 的位置 (圖 a)。

- (a) 女孩的像有多高？
- (b) 如果女孩向平面鏡走近 1 m，像的大小有甚麼改變？試簡單解釋。
- (c) 草繪女孩在鏡中所見到運動衣的像。



圖 a

題解

- (a) 像的高度 = 女孩的高度 = 1.4 m
- (b) 像的大小不變，因為像的大小只取決於女孩的大小，而不受女孩與平面鏡的距離影響。
- (c) 見圖 b。



圖 b

▶ 進度評估 3 Q2, 3 (p.17)

進度評估 3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.12)。

- 11 下列哪一項有關平面鏡成像的敘述**不正確**？
 - A 像發出的光線射到眼睛。
 - B 像與物的大小相同。
 - C 像與鏡的距離相等於物與鏡的距離。
 - D 像是虛像。
- 12 身高 1.5 m 的男孩站在平面鏡前 1.8 m 的位置。
 - (a) 男孩的像有多高？1.5 m
 - (b) 男孩與像的距離是多少？3.6 m
- 23 一張印有英文字母 P 和 Q 的紙板置於平面鏡前 (圖 a)。草繪這兩個英文字母在鏡中形成的像。

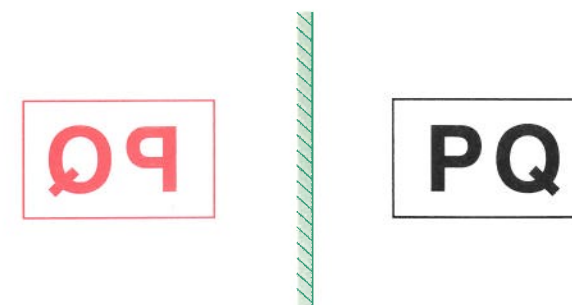


圖 a

平面鏡

2 觀看平面鏡成像

線形物體置於平面鏡前，我們可以利用光線圖來顯示怎樣看到它的像，繪圖步驟如下：

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

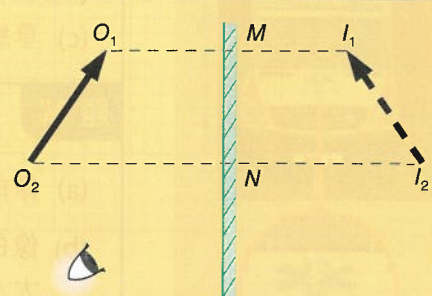
技巧分析

繪畫光線圖來顯示觀察者如何看到像

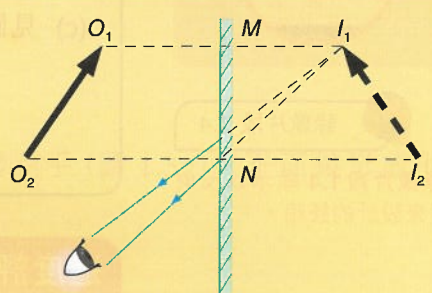
① 根據像的特性，在正確位置畫出物體 O_1O_2 的成像 I_1I_2 ：

$$O_1M = I_1M \text{ 和 } O_1I_1 \perp MN$$

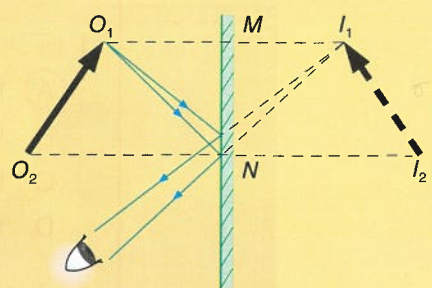
$$O_2N = I_2N \text{ 和 } O_2I_2 \perp MN$$



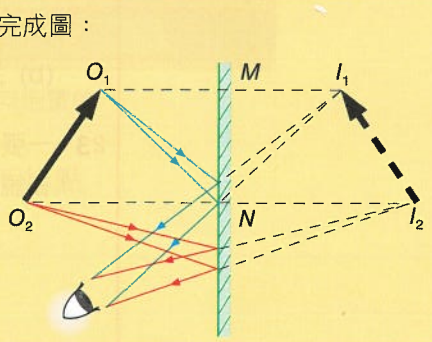
② 繪畫從 I_1 射向眼睛的光錐。用帶箭號的實線表示真實光線，用不帶箭號的虛線表示虛擬光線。



③ 由 O_1 畫出兩條光線，射向 I_1 所出光線與鏡面的交點。



④ 重複步驟②和③，由 I_2 和 O_2 畫出光線。完成圖：



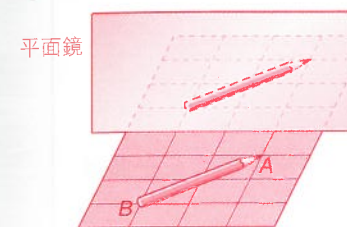
繪圖時注意下列規則：

- 1 實線用於繪畫物體和真實光線。
- 2 虛線用於繪畫像和虛擬光線。
- 3 真實光線帶有箭號，虛擬光線則不帶箭號。

應強調這個方法利用了平面鏡成像的特性，來畫出平面鏡怎樣反射光線。用這方法繪畫光線和像，與第15頁圖1.3e中找出成像位置的方法，次序剛剛相反。

光線其實來自物體，經平面鏡反射後進入眼睛。

學生或會犯以下錯誤。



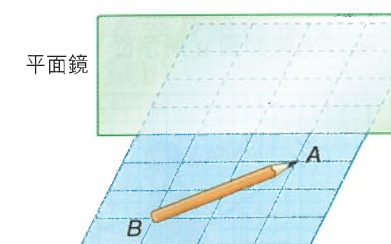
例題 4 繪畫成像

地上有一支鉛筆，置於平面鏡前方（圖a）。

(a) 標示出 A 的像所在的位置。

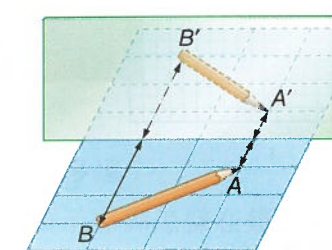
(b) 標示出 B 的像所在的位置。

(c) 據此，在圖中繪畫鉛筆的像。



題解

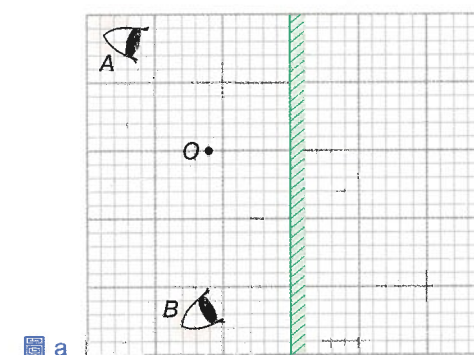
(a)–(c)



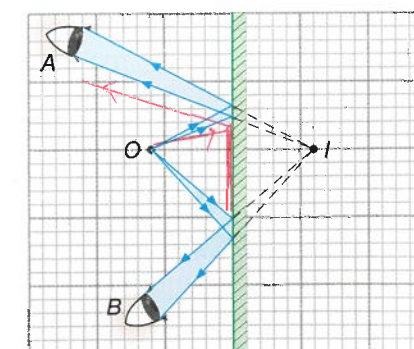
進度評估4 Q3 (p.20)

例題 5 從不同角度觀看物體的像

在圖中繪畫光線圖，以顯示學生 A 和 B 怎樣看到物體 O 的像。



題解



進度評估4 Q4 (p.20)

從這條例題，我們知道平面鏡成像的位置受物體的位置影響，但與觀察者的位置無關。

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.12)。

2.1 兩條光線如圖 a 所示從 O 點射出。

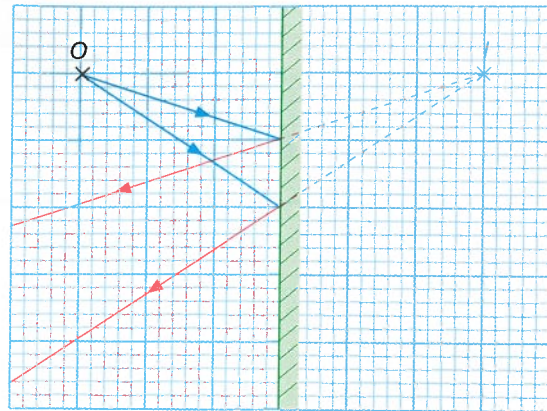


圖 a

(a) 標示 O 點的像 I 的位置。

(b) 在圖中顯示光線怎樣在平面鏡反射。

2.3 在圖 c 標示出物體 XY 的像。

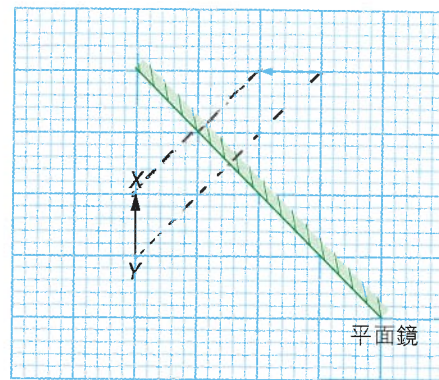


圖 c

3.4 在圖 d 繪畫光線圖，以顯示觀察者怎樣在平面鏡中看到鉛筆的像。

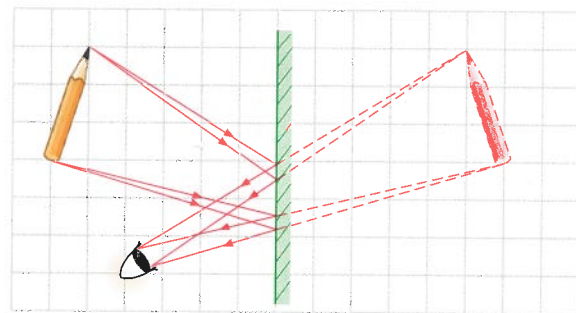


圖 d

3.2 志偉和學聰一起望着志偉面前的平面鏡 (圖 b)。

他們能夠在鏡中看到自己及對方嗎？志偉能看見自己，但學聰則看不見。他們都能看見對方。

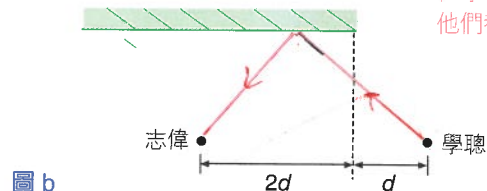
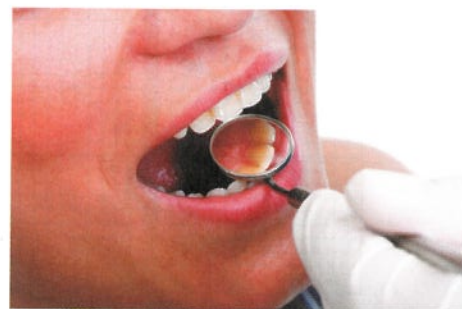


圖 b

3 平面鏡反射的應用

平面鏡或光滑表面的反射現象可應用於日常生活的不同層面，以下是一些例子 (圖 1.3h)。



(i) 牙科鏡

圖 1.3h 鏡子的日常用途



(ii) 在室內裝設鏡子能令空間看起來較廣闊

例題 6 連身鏡的高度

志輝高 170 cm，眼睛在頭頂以下 10 cm。他站在連身鏡前 90 cm 的位置，剛好在鏡子的底部看到自己的雙腳 (圖 a 和 b)。



圖 a

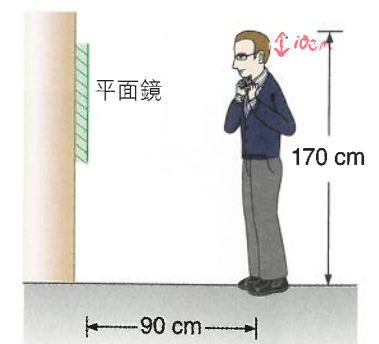


圖 b

(a) 志輝的像與他相距多遠？

(b) 繪畫光線圖，以顯示志輝怎樣在鏡中看見自己的雙腳。

(c) 平面鏡的底部距離地面有多高？

(d) 如果志輝剛好能從鏡中看到自己的頭頂，平面鏡的頂部距離地面有多高？

題解

(a) 像與鏡的距離等於物與鏡的距離。

∴ 志輝的像與他的距離 = $90 \times 2 = 180$ cm

(b)

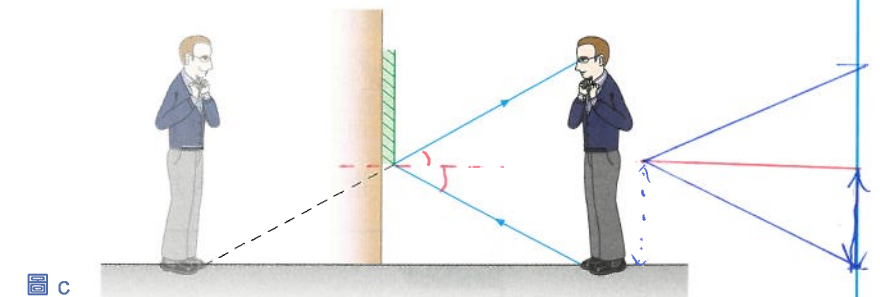


圖 c

(c) 根據反射定律， $\theta_1 = \theta_2$ (圖 d)

$$\Rightarrow h = \frac{1}{2} \times 160 = 80 \text{ cm}$$

平面鏡的底部距離地面 80 cm。

(d) 根據反射定律， $\theta_3 = \theta_4$

$$\Rightarrow y = x = \frac{1}{2} \times 10 = 5 \text{ cm}$$

平面鏡的頂部與地面的距離 = $y + 160 = 165$ cm

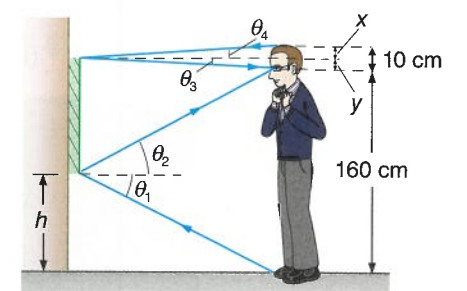


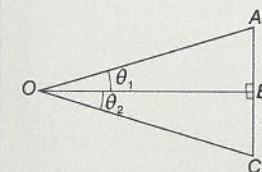
圖 d

▶ 進度評估 5 Q1 (p.25)

如果光錐太窄，可用一條光線代替光錐。

補充資料

全等三角形



$$\theta_1 = \theta_2$$

$OB = OB$ (公共邊)

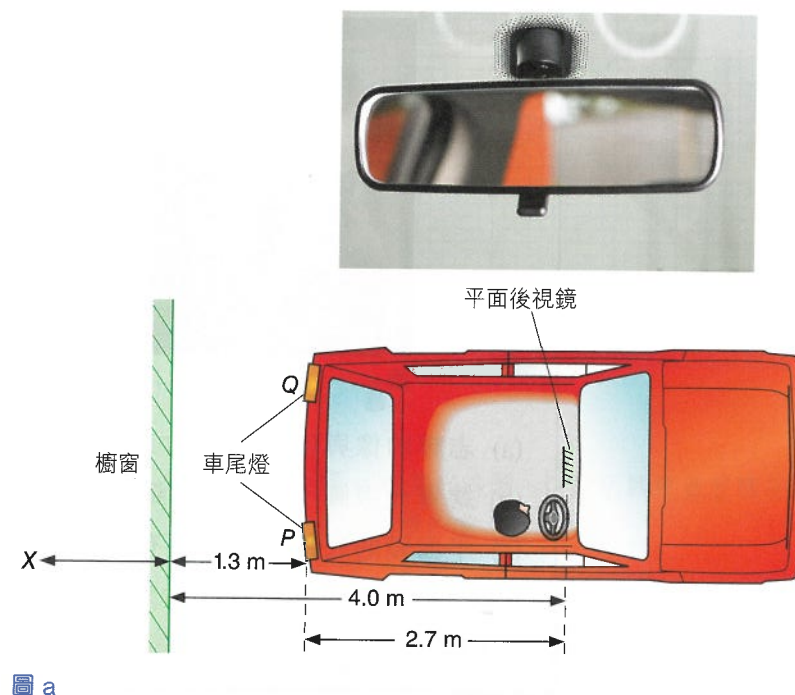
$$\angle ABO = \angle CBO = 90^\circ$$

$$\therefore \triangle OAB \cong \triangle OCB \text{ (ASA)}$$

$$\therefore AB = CB = \frac{1}{2} AC$$

例題 7 利用後視鏡檢查車尾燈

汽車如圖 a 所示停在櫥窗前。司機在後視鏡中看見車尾燈經櫥窗反射而形成的像。



- (a) X 是 P 經櫥窗成像的位置。求 X 與以下物件之間的距離。
- 櫥窗
 - 後視鏡
- (b) 司機在後視鏡中看到 X 的像，這個像在哪裏？
- (c) 光經後視鏡和櫥窗反射後，司機能夠看到車尾的車牌。
- 司機看到車牌上的字是不是橫向倒置的？
 - 指出這個像的其他兩個特性。

題解

- (a) (i) X 與櫥窗相距 1.3 m。
- (ii) X 與後視鏡的距離
- $$= 4.0 + 1.3$$
- $$= 5.3 \text{ m}$$
- (b) X 的像在後視鏡後方 5.3 m 的位置。
- (c) (i) 因為車牌的像經過兩次橫向倒置，所以在後視鏡中看到的像並非橫向倒置。
- (ii) 虛像、與物大小相等、正立。(任何兩項)

▶ 複習 Q20 (p.32)

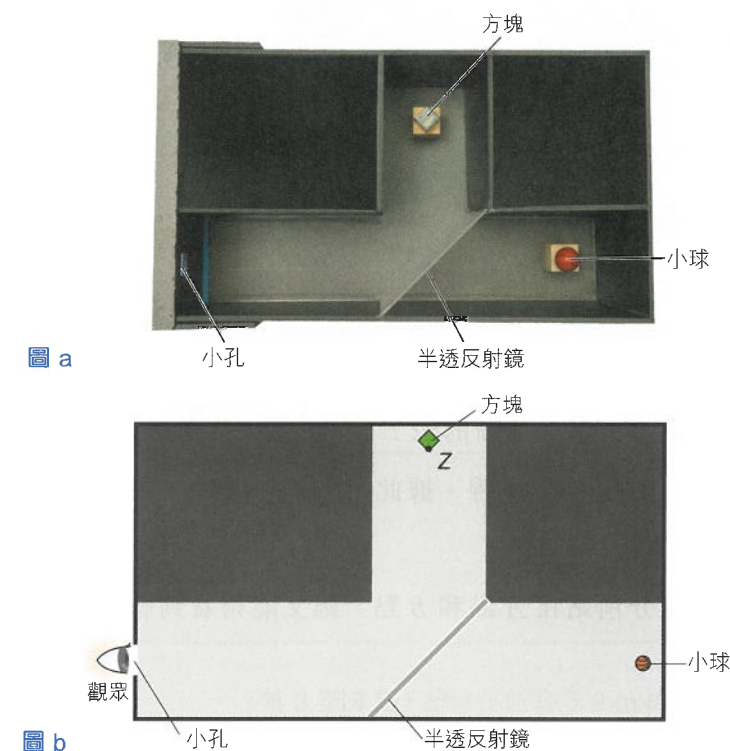


錄像片段 1.5

→ 錄像片段 1.5 展示這個戲法。

例題 8 瞬間轉換物體？

魔術師向觀眾展示瞬間轉換的戲法，把封閉盒子內的小球轉換成方塊。圖 a 是盒子移走頂蓋後的俯視圖。半透反射鏡能將部分入射光反射，並讓餘下的光通過。

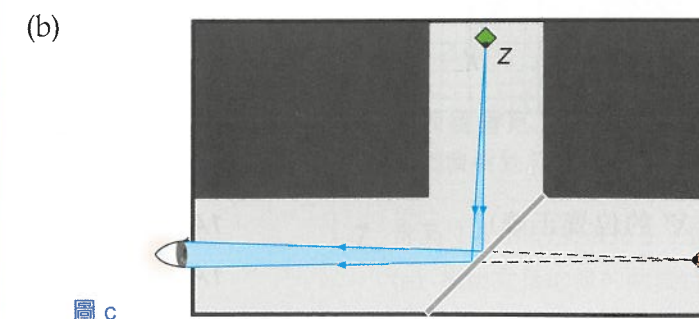


魔術師用盒子內的燈照射小球，讓觀眾透過小孔看見小球。

- (a) 這時，魔術師把燈關掉，觀眾能否看到小球？試簡單解釋。
- (b) 然後，魔術師立即用燈照射方塊，觀眾便看到方塊出現在小球原先的位置。試從方塊上的 Z 點繪畫光錐，以顯示觀眾怎樣看到方塊的像。

題解

- (a) 小球是不發光體，不會自行發光。當燈關上，便沒有光從小球反射到觀眾的眼睛。因此，觀眾看不到小球。



預試訓練 1 在櫥窗觀看成像 ☆ 香港中學會考 2007 年卷一 Q5

如圖 a 所示，櫥窗形成了清晰的像。物體 XY 放在櫥窗前，位置如圖 b 所示。



圖 a

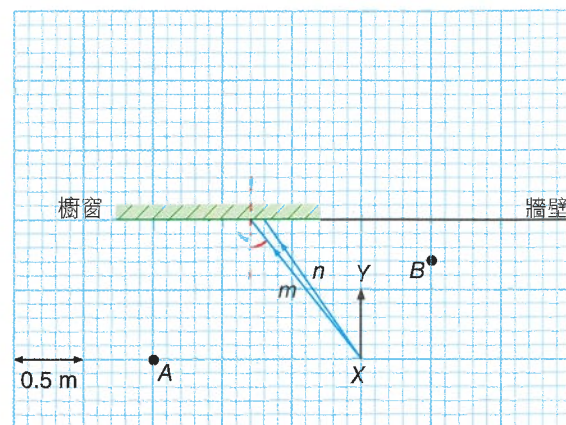


圖 b

- 為甚麼櫥窗能夠形成清晰的像？ (2 分)
- 繪畫光線 m 和 n 的反射線。據此，用 X' 標示出 X 點的像。 (3 分)
- 繪畫 XY 的像。 (1 分)
- 錦文與智傑分別站在 A 點和 B 點。錦文能夠看到智傑的像嗎？ (1 分)

題解

- 櫥窗的表面平滑，
照射在櫥窗表面的光發生單向反射。

1A

1A

(b) & (c)

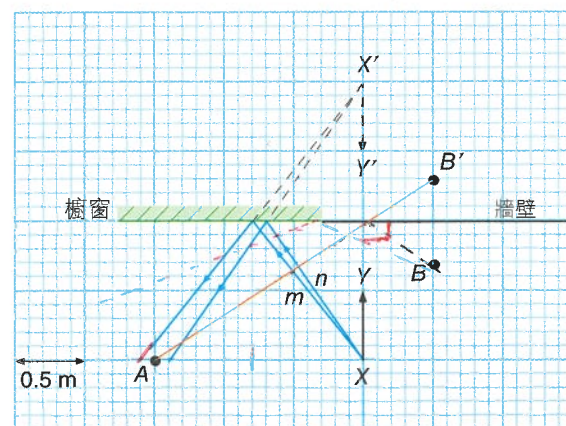


圖 c

- (兩條光線正確)
- (延伸光線正確， X' 的位置正確)
- (像的位置正確)
- 不能

2 × 1A

1A

1A

1A

常見錯誤

學生或不懂得用延伸反射光線的方法找出 X' 的位置。緊記 XY 的像與鏡子的距離相等於 XY 與鏡子的距離。

雖然題目要求先繪畫光線，但其實先找出 X' 的位置才繪畫光線，是較容易的做法。參看第 18 頁的技巧分析。

連接 A 和 B' 的線 (圖 c 中的橙線) 不穿過櫥窗，所以錦文不會看到智傑的像。

▶ 複習 Q23 (p.33)

進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.12)。

- 31 男孩站在平面鏡前 3 m 的位置 (圖 a)，眼睛與地面相距 1.5 m。

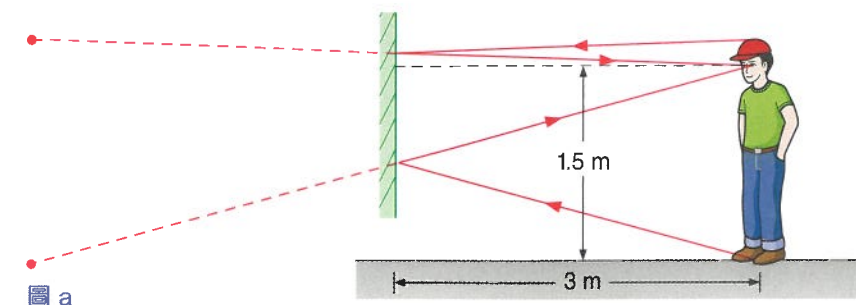


圖 a

- 在圖 a 繪畫光線，以顯示男孩怎樣看到自己的頭和腳。
- 假設男孩剛好看到自己的腳。
 - 平面鏡的底部距離地面有多高？ **0.75 m**
 - 如果他站到距離鏡子 6 m 的位置，他還能在鏡中看到自己的腳嗎？**能夠**

習題與思考 1.3

1 1



圖 a

圖 a 顯示鐘面在平面鏡形成的像。當時的時間是甚麼？

- 1:30
- 2:30
- 4:00
- 10:30

- 1 2 下列哪些有關平面鏡成像的敘述是正確的？

- 像與物的大小相同。
- 像與鏡的距離相等於物與鏡的距離。
- 像是橫向倒置的。

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

(第 3 至 4 題) 波特在他前方 2 m 的平面鏡中看見一隻怪物。怪物在鏡中的像高 1 m。波特冷靜地向後望，估計出他與怪物的距離是 10 m。

- 1 3 怪物的高度是多少？

- 1 m
- 2 m
- 7 m
- 12 m

- 1 4 怪物的像與波特的距離是多少？

- 2 m
- 10 m
- 12 m
- 14 m

- ★ 5 若女孩向平面鏡走近 1 m，她的像與她本人的距離會減少

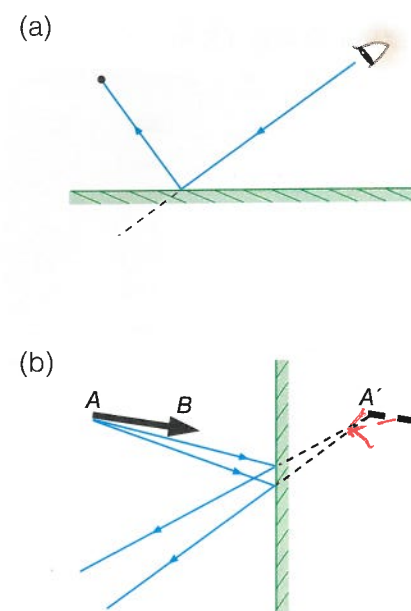
- 0.5 m。
- 1 m。
- 2 m。
- 4 m。

- 2 6 平面鏡垂直放在英文字母「REFLECT」的右面時，我們會看到怎樣的像？試把像繪畫出來。

- 1 7 身高 1.4 m 的女孩站在平面鏡前 1.2 m 的位置。

- 指出女孩的像的兩個特性。
- 若女孩向遠離平面鏡的方向走 1 m，像的高度會有甚麼改變？**不變**

- 2, 3 8 指出以下光線圖中的錯處，然後重新繪畫正確的光線圖。



- ★ 9 物體 AB 置於平面鏡前 (圖 b)。試繪畫光線圖，以顯示觀察者怎樣看見完整的像。

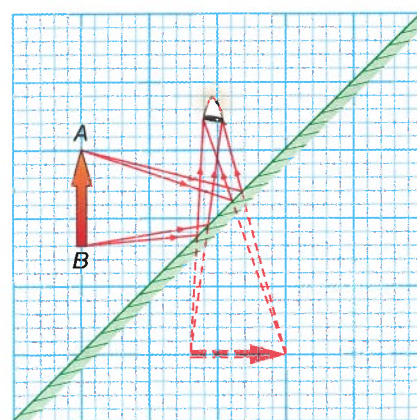


圖 b

- ★ 10 美雲站在鏡平面鏡前 (圖 c)，裕基則站在她附近。

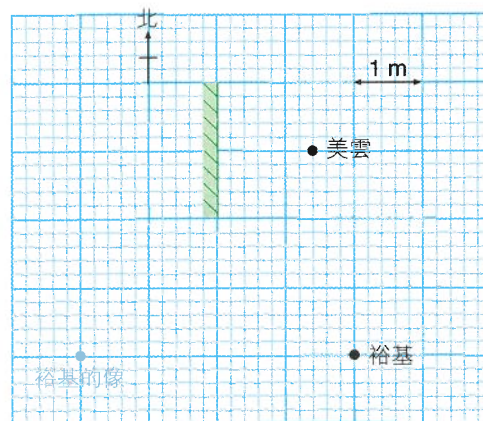


圖 c

- (a) 求美雲的像與她本人的距離。2.8 m
(b) 在圖 c 標示裕基的像。
(c) 美雲能夠在鏡中看到裕基的像嗎？如果不能夠，她應向東或西哪個方向移動才可以看到裕基的像？不能，西

- ★ 11 圖 d 顯示玻璃幕牆怎樣把陽光反射到大廈內。

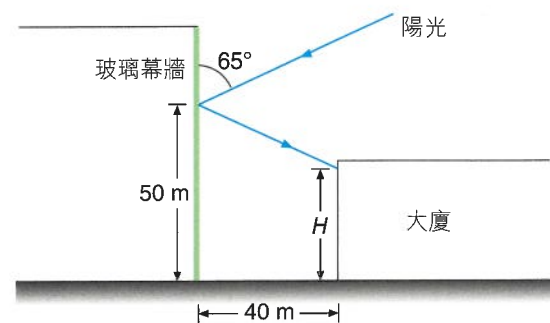


圖 d

- (a) 求 H 的值。31.3 m
(b) 在大廈內的住客在玻璃幕牆中看到一隻小鳥 (圖 e)。試完成光線圖，以及繪畫小鳥的像。

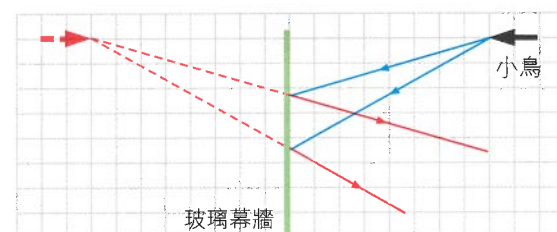


圖 e

- (c) 指出小鳥的像的兩個特性。

- ★ 12 倩儀身高 164 cm，她的眼睛距離地面 152 cm (圖 f)。倩儀前方有一面鏡子，鏡子的底部距離地面 50 cm。當倩儀站在鏡子前 2 m 的位置時，她能夠看到自己的頭頂。求鏡子的最短長度。108 cm

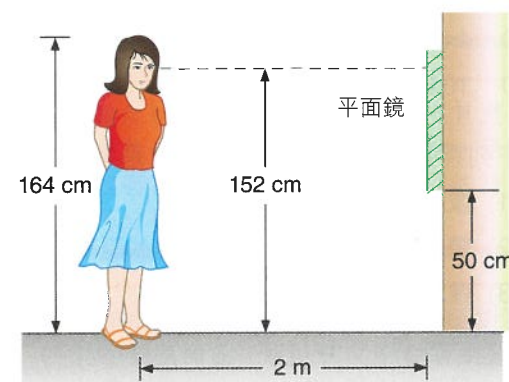


圖 f

總結 1

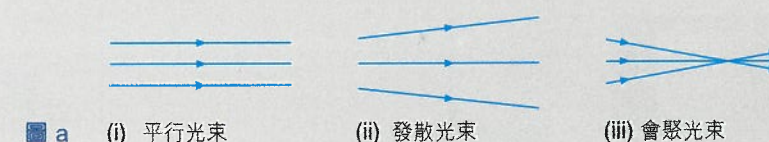
詞彙

1 光線 ray	p.3	12 法線 normal	p.7
2 平行光束 parallel beam	p.3	13 入射角 angle of incidence	p.7
3 發散光束 divergent beam	p.3	14 反射角 angle of reflection	p.7
4 會聚光束 convergent beam	p.3	15 反射定律 laws of reflection	p.8
5 發光體 luminous object	p.4	16 單向反射 regular reflection	p.9
6 不發光體 non-luminous object	p.4	17 漫反射 diffuse reflection	p.9
7 光錐 cone of rays	p.4	18 像 image	p.12
8 平面鏡 plane mirror	p.7	19 虛像 virtual image	p.13
9 反射 reflection	p.7	20 橫向倒置 laterally inverted	p.16
10 入射線 incident ray	p.7	21 正立 erect	p.16
11 反射線 reflected ray	p.7		

課文摘要

1.1 光線

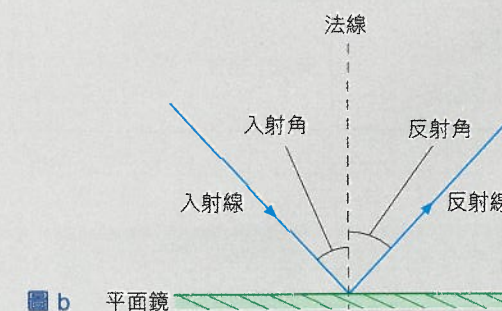
- 1 在光線模型中，光線顯示光傳播的方向，作圖時以帶箭號的實色直線表示。
2 光束在光線圖中以數條光線表示 (圖 a)。



- 3 光錐是一束發散光線，從物體上某一點射進眼睛。

1.2 反射定律

- 4 反射定律 (圖 b)：
- 入射線、反射線與法線都在同一平面上。
 - 反射角 r 總是等於入射角 i 。



- 5 平行光線射到平滑表面時，所有光線都會向相同的方向反射，這種反射稱為單向反射。
- 6 平行光線射到粗糙表面時，光線會向不同的方向反射，這種反射稱為漫反射。

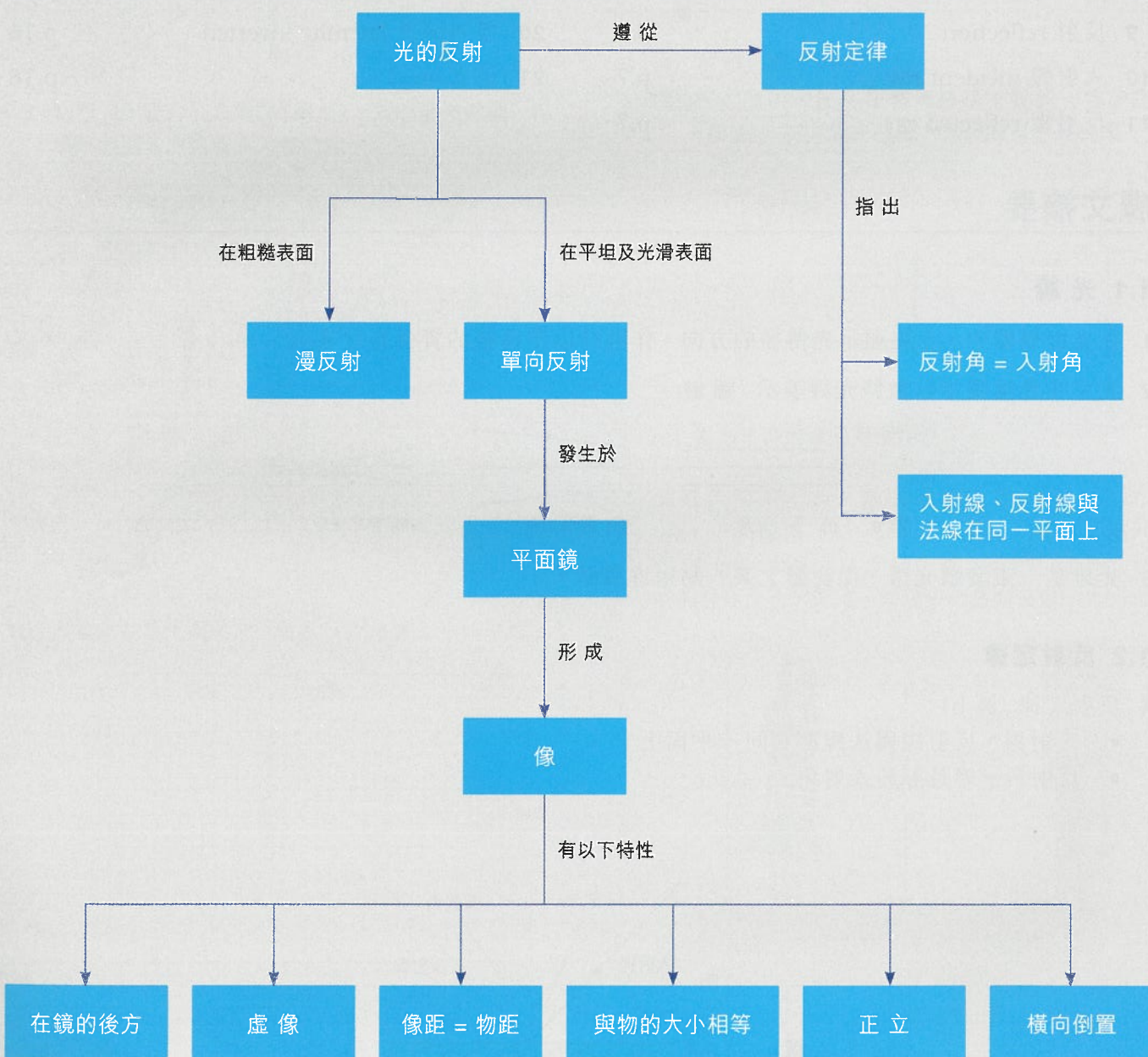
1.3 平面鏡成像

7 平面鏡形成的像

- 在鏡的後方；
- 是虛像；
- 與鏡的距離相等於物與鏡的距離，也就是說，像距 = 物距；
- 與物的大小相等；
- 是正立但橫向倒置的。

- 8 利用像的特性，我們能夠繪畫平面鏡形成的像。

概念圖



複習 1

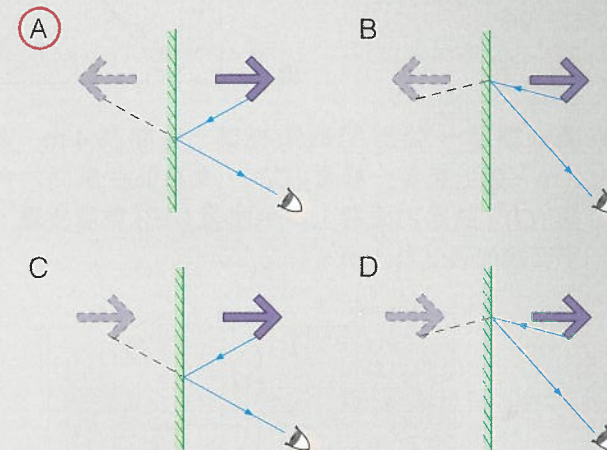
- Q1 單向反射和漫反射都遵從反射定律（見 p.9）。
 Q2 光是經平面鏡反射的，沒有光真正到達平面鏡產生的像（見 p.13）。
 Q3 平面鏡所產生的像總是與物的大小相等（見 p.16）。

概念重溫

（第1至3題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 1.2 1 粗糙表面不能產生清晰的影像，這是由於光在粗糙表面反射時，反射定律並不適用。F
- 1.3 2 我們能夠看到平面鏡產生的像，這是由於像把光反射到我們的眼睛。F
- ☆ 香港中學會考 2011 年卷二 Q14
- 1.3 3 當物體遠離平面鏡，鏡所產生的像會變小。F

1.3 6 下列哪幅光線圖是正確的？



多項選擇題

1.3 4

圖 a



圖 a 顯示電子鐘在平面鏡中的像。當時的時間是甚麼？

- A 06:51
- B 09:21
- C 12:09
- D 15:09

- ★ 7 光照射在經打磨的金屬表面時，發生單向反射。下列哪些有關上述反射的敘述是正確的？

- (1) 平行光線經反射後仍保持平行。
- (2) 會聚光線經反射後變成平行光線。
- (3) 發散光線經反射後變成會聚光線。

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

★ 8 1.2



圖 b 顯示杯子在粗糙的桌面形成模糊的像。下列哪項能夠解釋這個現象？

- (1) 光在桌面發生漫反射。
- (2) 光只在平滑而閃亮的表面反射，所以桌面不能產生清晰的像。
- (3) 光在桌面反射時，入射角與反射角不相等。

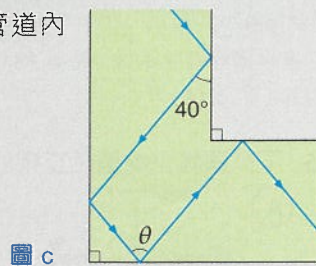
- A 只有 (1)
- B 只有 (2)
- C 只有 (3)
- D 只有 (1) 和 (3)

- 1.3 5 當男孩向遠離平面鏡的方向走 10 m，他的像會怎樣？

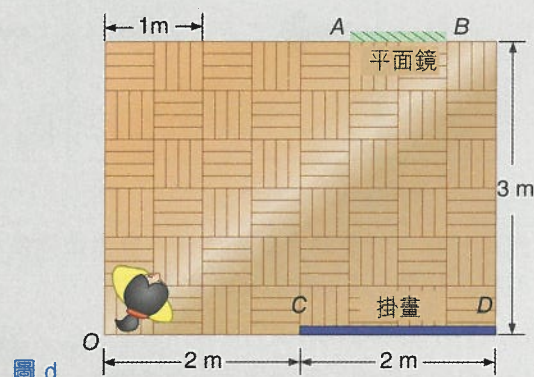
- A 像與平面鏡的距離增加 10 m，大小不變。
- B 像與平面鏡的距離增加 10 m，體積縮小。
- C 像與平面鏡的距離減少 10 m，大小不變。
- D 像與平面鏡的距離減少 10 m，體積縮小。

- ★ 9 如圖 c 所示，光線在管道內傳播。角 θ 是多少？

A 50°
 (B) 80°
 C 90°
 D 100°



- ★ 10 圖 d 顯示一間房間的頂視圖。房間長 4 m、寬 3 m，牆上掛着一幅畫 (CD)。女孩站在房間的角落 (O)，透過對面牆上的平面鏡 (AB) 觀看掛畫。平面鏡的闊度為 1 m。



如果女孩想看到掛畫完整的像，鏡子最少要從 A 這一邊延長多少？

A 向左延長 0.5 m
 B 向左延長 1 m
 (C) 向左延長 1.5 m
 D 向左延長 2 m

1.3 11 香港中學會考 2007 年卷二 Q11

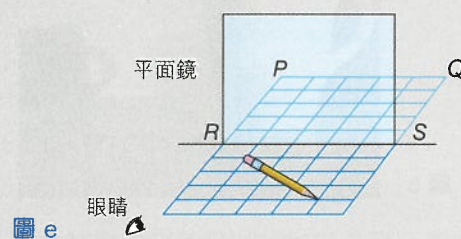
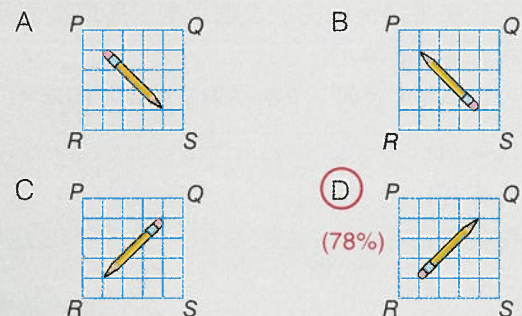


圖 e 顯示一枝鉛筆放置在豎直平面鏡前的情況。以下哪一個圖正確顯示成像的位置？



1.3 12 香港中學會考 2008 年卷二 Q13

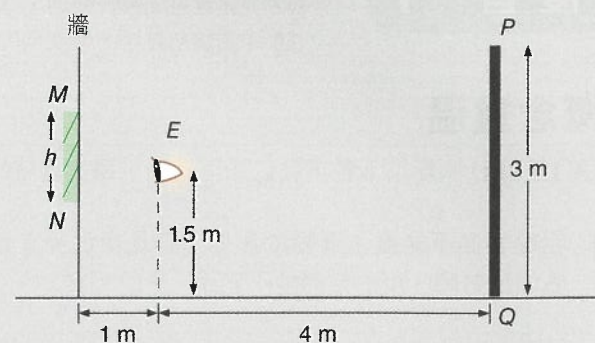


圖 f

上圖中，一塊高度為 h 的平面鏡 MN 安放在豎直的牆上，而它的豎直位置是可以調節的。E 是觀察者的眼睛，離牆 1 m 遠，離地 1.5 m 高。PQ 是一根 3 m 高的豎直標竿，在觀察者後 4 m 處。觀察者望向平面鏡時，可看到標竿的整個像。 h 的最小值是多少？

(A) 0.5 m (20%)
 B 0.6 m
 C 1.5 m
 D 2 m

綜合題 13 香港中學會考 2011 年卷二 Q14

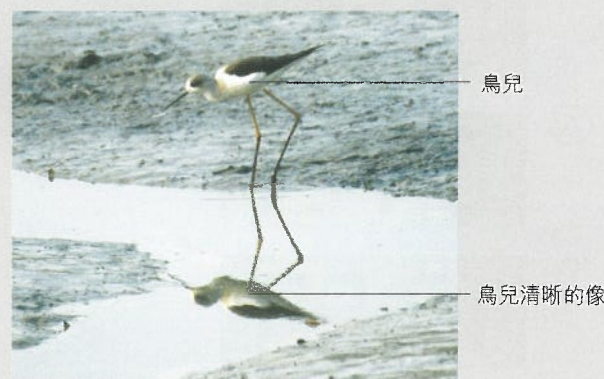


圖 g

如上圖所示，在平靜水面上形成了一隻鳥兒清晰的像。以下哪項 / 哪些有關該像的敘述是正確的？

- (1) 像是實像。
 (2) 清晰的像是因單向反射而形成的。
 (3) 若鳥兒靠近水面，像的大小增加。

A 只有 (1)
 (B) 只有 (2) (46%)
 C 只有 (1) 和 (3)
 D 只有 (2) 和 (3)

問答題

- 1.3 14 一把間尺置於平面鏡前。學生如圖 h 所示望向鏡面。

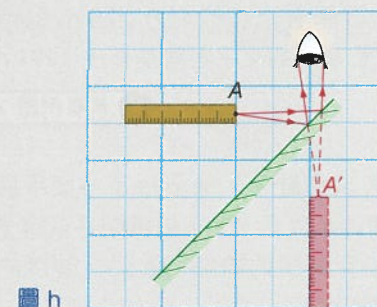


圖 h

- (a) 在圖中繪畫間尺的像。(1 分)
 (b) 繪畫光線，以顯示學生怎樣透過鏡面看到間尺上的 A 點。把 A 的像 A' 標示出來。(3 分)

- 1.2 15 圖 i 顯示平行光線射到粗糙的表面上，然後向不同方向反射。

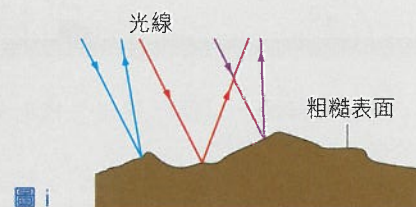


圖 i

- (a) 圖中發生的是哪一種反射？漫反射 (1 分)
 (b) 寫出反射定律。(2 分)
 (c) (i) 反射定律適用於粗糙的表面嗎？適用 (1 分)
 (ii) 解釋為甚麼平行光線會向不同方向反射。(2 分)

- ★ 16 綺雯在前方的平面鏡中看到樹威。綺雯和樹威與平面鏡之間的垂直距離分別是 2 m 和 3 m (圖 j)。

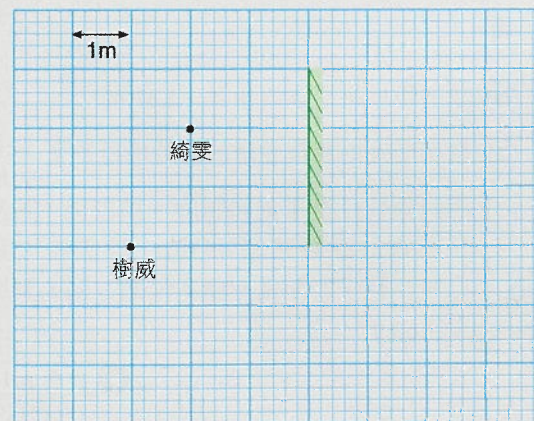


圖 j

- (a) 求樹威的像與平面鏡之間的垂直距離。(1 分)
 3 m
 (b) 假如綺雯向遠離平面鏡的方向走，
 (i) 樹威的像的位置會怎樣改變？不變 (1 分)
 (ii) 樹威的像的大小會怎樣改變？不變 (1 分)
 (c) 樹威向下方移動。他最少要走多遠，綺雯才無法在平面鏡中看到他的像？試繪圖解釋答案。
 3 m (2 分)

- ★ 17 老師把物體 O 放在高於平面鏡的位置。她的學生永明、振邦和禮文在圖 k 所示的位置觀看該物體。

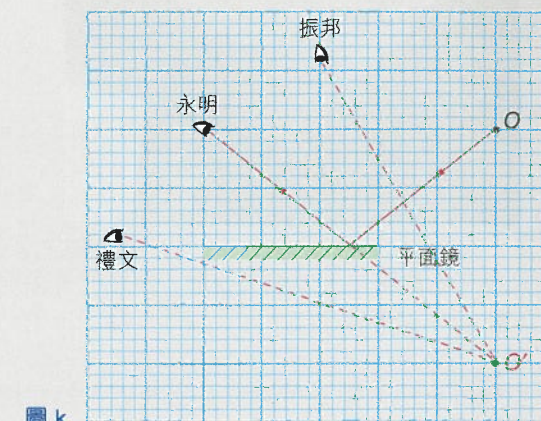
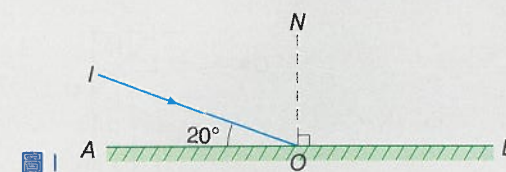


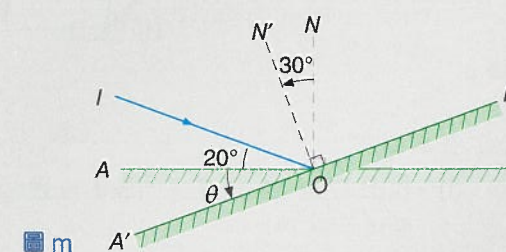
圖 k

- (a) 在圖 k 標示 O 的像。(1 分)
 (b) 據此，繪畫光線圖，以顯示哪個學生能看到 O 的像。永明 (3 分)

- ★ 18 光線如圖 l 所示射到平面鏡上。



- (a) 反射角是多少？ 70° (1 分)
 (b) 鏡子以 O 為中心旋轉，旋轉的角度是 θ ，法線因而旋轉了 30° (圖 m)。



- (i) θ 是多少？ 30° (1 分)
 (ii) 計算反射角。 40° (1 分)
 (iii) 反射線旋轉的角度是多少？ 60° (1 分)

- ★ 19 投影機把光射到屏幕上來產生影像。但在一般情況下，我們看不見這些光的路徑（圖 n）。



圖 n



圖 o

但只要在光的路徑上製造一些煙，路徑便會顯現出來（圖 o）。試解釋原因。（2分）

- ★★ 20 潛望鏡可以用來觀看所處位置比我們高的物體。圖 p 所示的潛望鏡由一條管道及兩面平面鏡組成。平面鏡 M_1 和 M_2 互相平行，兩者與管道內壁的角度都是 45° 。

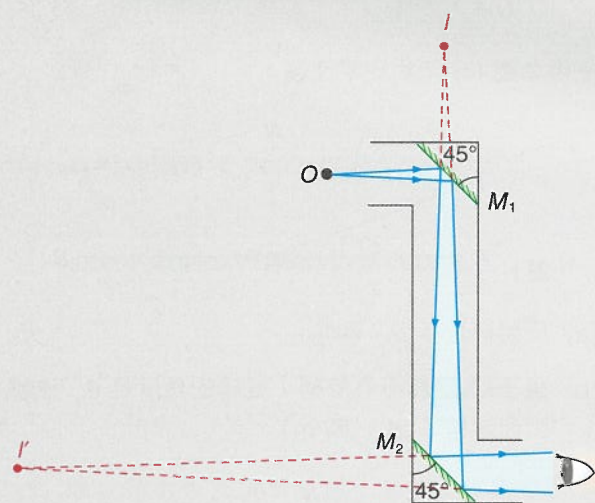


圖 p

- (a) 在圖 p 中，
 (i) 找出 O 經 M_1 所產生的像的位置，把這個像標示為 I 。（1分）
 (ii) 找出 O 經 M_2 所產生的最終像的位置，把這個像標示為 I' 。（提示：你可以把 I 當作物，而 I' 則是 I 經 M_2 所產生的像。）（1分）

- (b) 觀察者看到的像是正立還是上下倒置的？正立（1分）

- (c) 潛艇內安裝了一座潛望鏡來監視敵人，潛望鏡內兩面鏡子的距離是 4 m。軍官透過潛望鏡看見一艘戰艦看似在他前方 275 m 的地方。戰艦與軍官實際的水平距離是多少？271 m（1分）

▶ 參看例題 7 (p.22)

- ★★ 21 碧琪在鞋店試穿鞋子。地上放了一面平面鏡，鏡與地面之間的角度是 70° 。碧琪剛好在鏡子的底部看到自己所穿鞋子的前端（圖 q）。碧琪的眼睛與地面相距 1.4 m。

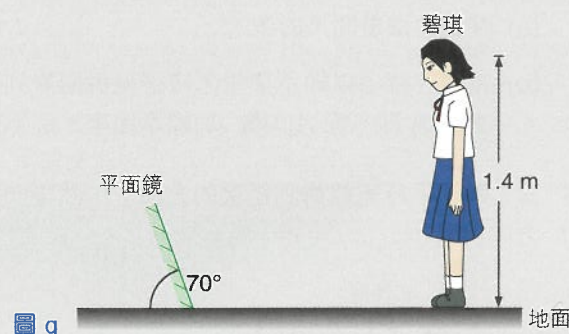


圖 q

- (a) 在圖 r 繪畫光線圖，以顯示碧琪怎樣看見鞋子前端的像。（2分）

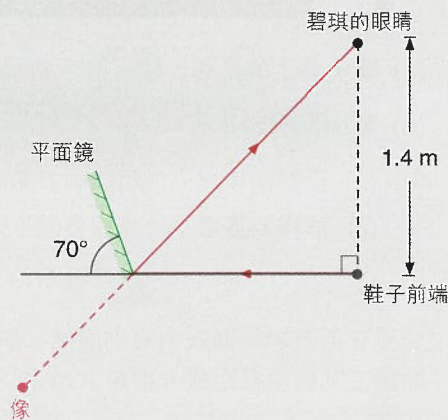


圖 r

- (b) 求碧琪與平面鏡的距離。1.67 m（2分）
 (c) 鞋子前端的像與碧琪的眼睛相距多遠？3.85 m（2分）
 (d) 店員調校了鏡子的傾斜度。調校後，若碧琪與平面鏡的距離超過 45 cm，她便無法看到自己所穿鞋子的前端。鏡與地面之間的角度是多少？ 53.9° （2分）

▶ 參看 p.18, 19

- ★★ 22 物件置於兩面互相垂直的平面鏡之間（圖 s），形成三個像 I_1 、 I_2 和 I_3 。

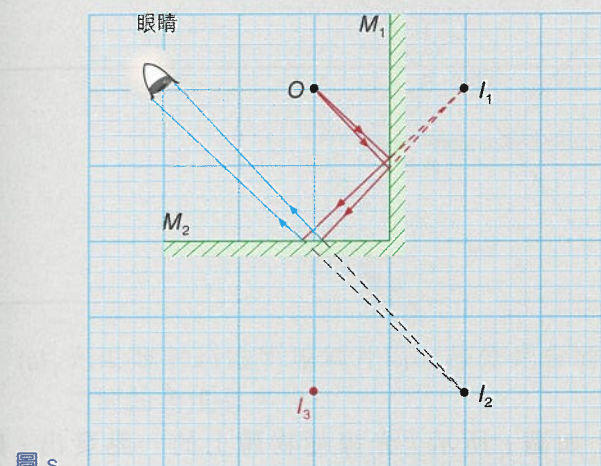


圖 s

- (a) 在圖 s 繪畫像 I_3 。（1分）
 (b) 圖中的眼睛望向 I_2 ，兩條光線看似從 I_2 射進眼睛。試完成光線圖，以顯示這兩條光線從物體 O 發出，先後經過兩面鏡子反射才到達眼睛。（2分）

[提示：你可以把 I_2 當作是 I_1 的像。]

▶ 參看 p.18, 19

綜合題 23 香港中學會考 2007 年卷一 Q5

圖 t 顯示雨後操場一景。在濕地的平靜水面上能看到成像。

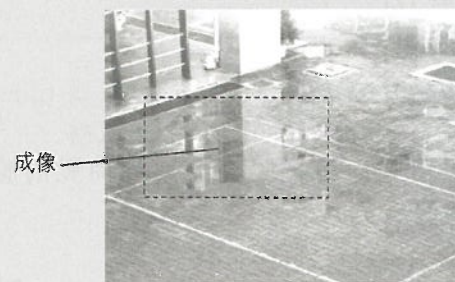


圖 t

- (a) 解釋為甚麼在平靜水面上能看到成像。（2分）

Q23 考試報告：本題透過繪畫光線圖要求考生應用光反射的知識和理解在濕地平靜水面上成像這情境中。考生整體表現欠佳。

- (a) 考生知道平靜水面用作一反射面（一些能力較弱的考生卻錯誤地斷言產生「全內反射」）。然而，僅能力較高的考生提及產生單向反射才能看到成像。
 (b) 這部分答題表現欠佳，甚至包括在本試卷其他題目表現良好的考生。兩條反射線的方向繪得不準確。僅能力較高的考生能從繪出的兩條反射光線來確定 A 的正確成像位置（此像與水面下的距離和 A 與水面上的距離是相同的）。

- (b) 圖 u 顯示在水面 PQ 上的物體 AB 。

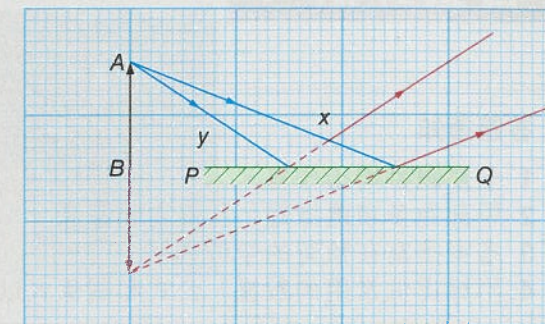


圖 u

在圖 u 中，

- (i) 繪出入射光線 x 和 y 的反射光線；
 (ii) 由此，繪出 AB 的成像。（4分）

實驗題

- ★ 24 學生計劃利用以下裝置（圖 v）來驗證反射定律。

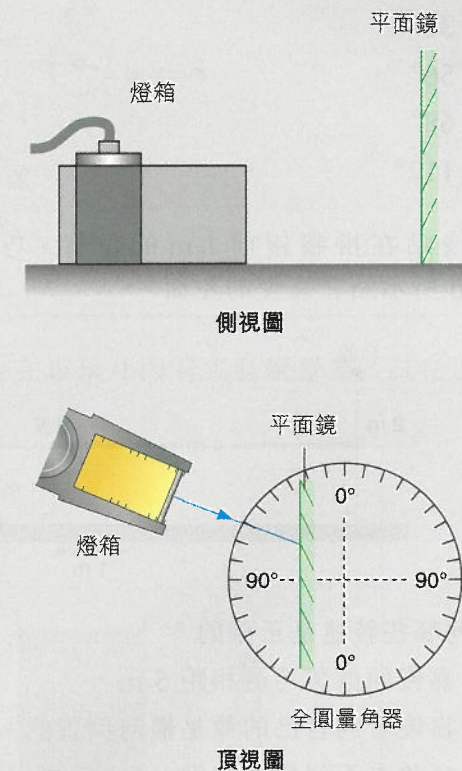


圖 v

他把一道光束以不同入射角射在平面鏡上。指出以上裝置的所有錯處。（2分）

自我評核 1

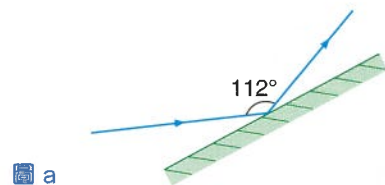
時間：15 分鐘 總分：10 分

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

1.2 1

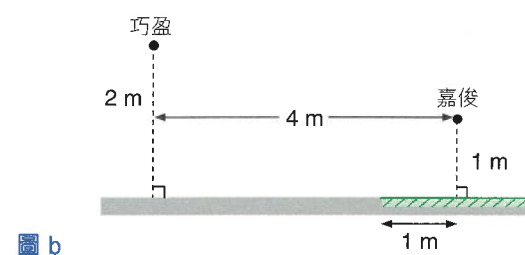


光線如圖 a 所示在鏡子上反射 (圖 a)。求光線的入射角。

- A 34°
B 56°
C 68°
D 112°

B

1.3 2 嘉俊站在掛牆鏡前 1 m 的位置，巧盈則如圖 b 所示站在嘉俊的左面。



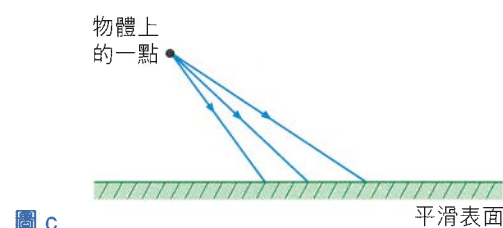
下列哪些敘述是正確的？

- 嘉俊的像與巧盈相距 5 m。
- 嘉俊看到自己的像是橫向倒置的。
- 巧盈看不到嘉俊的像。

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

D

綜合題 3 如圖 c 所示，光線從物體上的一點發出，射在平滑表面上。下列哪項敘述是正確的？

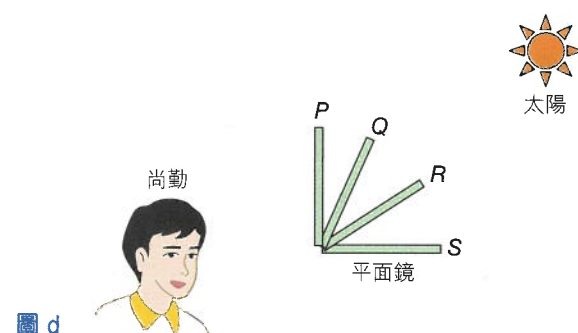


- 物體的像模糊不清。
- 這些光線的反射線並不是互相平行。
- 這是漫反射的例子。

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

B

1.2 4 子勇想用平面鏡把陽光反射到尚勤的臉上，跟他開個玩笑。



子勇應該把平面鏡以圖中哪個方式放置？

- A P B Q
C R D S

C

乙部

綜合題 5

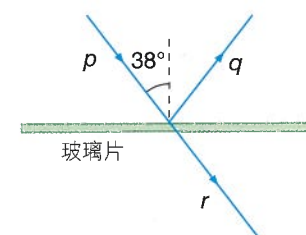


圖 e



圖 f

(a) 光束照射到透明玻璃片時，部分光會通過，餘下的光則被反射 (圖 e)。在圖 e 中，光線 q 和 r 之間的角度是多少？ (1 分)

104°

(b) 圖 f 顯示一個有趣的幻象，就是蠟燭在水中燃燒。我們可以如圖 g 所示放置蠟燭和燒杯，以產生這個幻象。

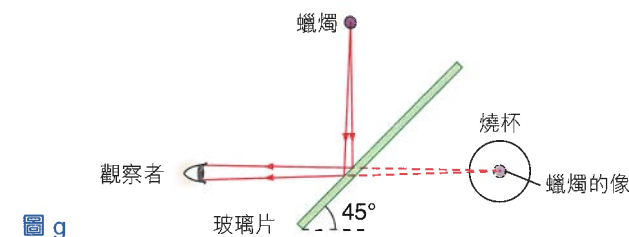


圖 g

- 在圖 g 繪畫光線圖，以顯示觀察者怎樣看到蠟燭的像。 (3 分)
- 蠟燭和燒杯與玻璃片的距離必須相等。試解釋原因。 (1 分)

(iii) 如果玻璃片的放置方向如圖 h 所示改變，觀察者會在玻璃片內看到甚麼景象？試在以下方格草繪他看到的景象。 (1 分)

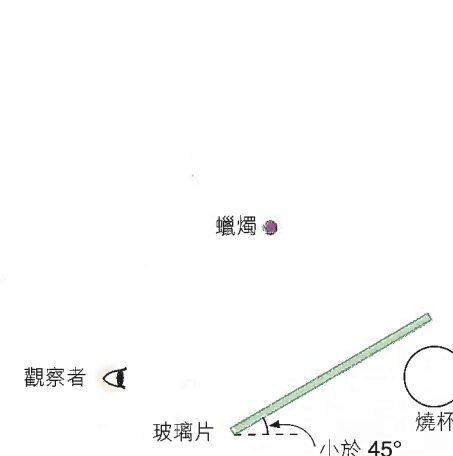
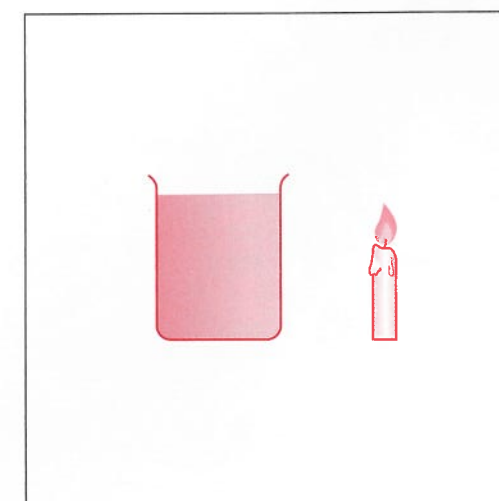


圖 h



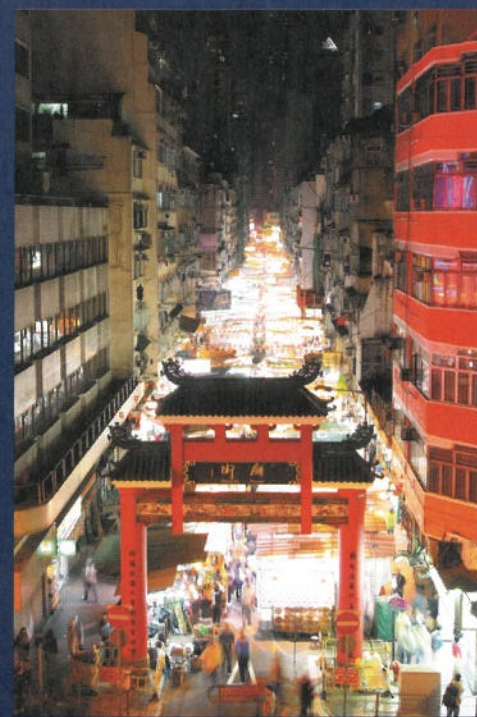
東方之珠與光污染

香港維多利亞港兩岸燈光璀璨，故有東方之珠的美譽。從以下相片，可見維港夜色之美。



維港兩岸每晚的燈光匯演——幻彩詠香江

農曆新年於維港上空的煙花匯演

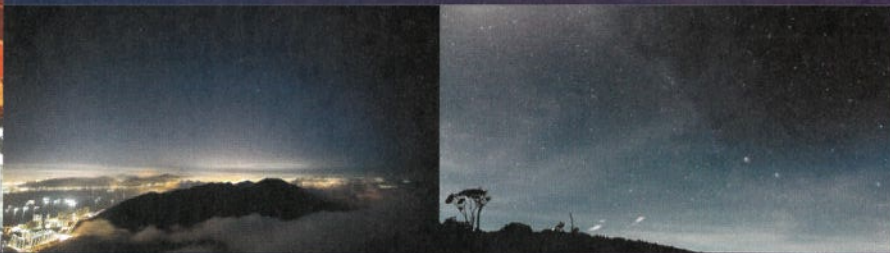


光污染影響鄰近的住宅

但是，過量燈光造成了嚴重的光污染，媒體更稱香港是全球光污染最嚴重的城市。以下是光污染的一些不良影響：

- 浪費能源
- 影響健康
- 擾亂生態系統
- 干擾天文觀測

在繁榮與環保之間，應怎樣取得平衡呢？



在香港的夜空只能看見寥寥數顆星星

在光害相對較少的斯里蘭卡，晚上繁星滿佈



2

光的折射

我們在這課會學到

- 光在兩種介質之間交界面的折射
- 折射現象的例子
- 全內反射
- 全內反射現象的例子

→ 錄像片段 2.1 展示倒水時透明小珠重現的過程。

起點 隱形小珠

錄像片段 2.1

這裏有一杯水，水裏看來清澈無物。但是，把水倒掉，便可以看到原來裏面有一些透明小珠！你知道這個魔術的原理嗎？
 參閱第 45 頁「生活中的物理」。



✓ 本節重點

- 1 折射定律
- 2 折射率
- 3 光的速率和折射率
- 4 白光的色散

1 折射現象

圖 2.1a 顯示光線以傾斜角度射到玻璃上，部分光線在玻璃表面反射，餘下的則進入玻璃內，並改變了方向。光線這種偏折的現象稱為**折射**，空氣和玻璃就稱為**介質**。

因為部分光會在交界面反射，所以折射線顯得比入射線暗淡。

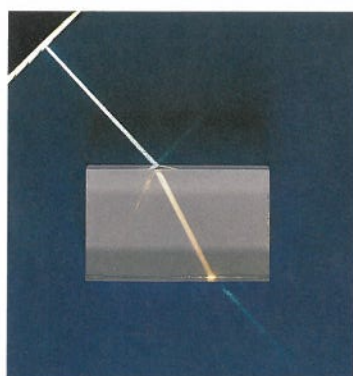
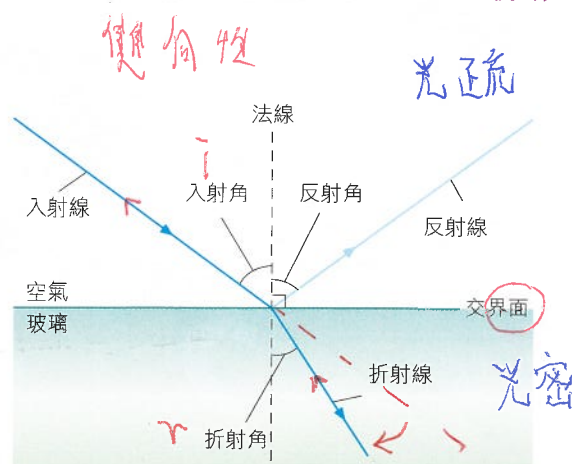


圖 2.1a 光線進入玻璃塊時發生折射



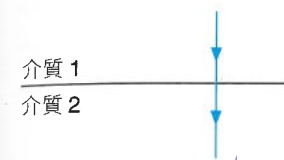
圖中多個用語已在本書第 1 課介紹過，表 2.1a 介紹了餘下的兩個用語。

折射線	經折射後越過交界面的光線
折射角	折射線與法線之間的角

表 2.1a 描述光的折射

$\angle$ of incidence

當 $i = 0$ ，光線不會偏折。



模擬程式 2.1
錄像片段 2.2

→ 模擬程式 2.1 是研究斯涅耳定律的「虛擬實驗」。

→ 錄像片段 2.2 示範實驗 2a。

2 折射定律

在以下實驗，我們會驗證斯涅耳的發現。

實驗 2a 斯涅耳定律

- 1 把光線射向半圓玻璃塊（或有機玻璃塊）平直的一面，光線必須射到半圓玻璃塊的中心點（與量角器的中心點重疊）（圖 a）。量度入射角 i 和折射角 r 。

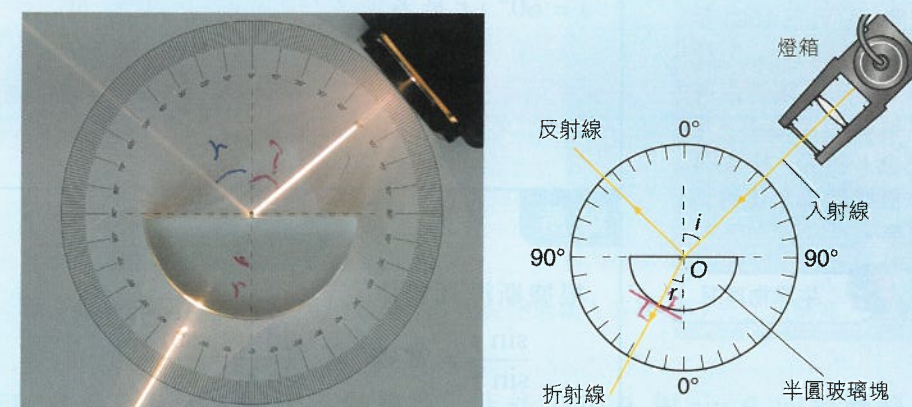


圖 a

- 2 以不同大小的入射角重複步驟 1，並把結果以表列形式記錄下來。
- 3 標繪 $\sin i$ 對 $\sin r$ 的關係線圖。

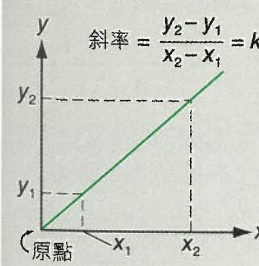
討論

根據線圖， $\sin i$ 和 $\sin r$ 有甚麼關係？ $\sin i$ 與 $\sin r$ 之比是常數。

補充資料

穿過原點的直線

如果 y 對 x 的關係線圖是一條穿過原點的直線， y 與 x 之比就是常數 $\left(\frac{y}{x} = k\right)$ 。常數的值相等於線圖的斜率。



在實驗 2a， $\sin i$ 對 $\sin r$ 的關係線圖是一條穿過原點的直線（圖 2.1b）。由此可知， $\sin i$ 與 $\sin r$ 之比是常數：

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{常數} = \text{折射率}$$

這就是**斯涅耳定律**。方程中常數的值視乎光線所經過的兩種介質而定。

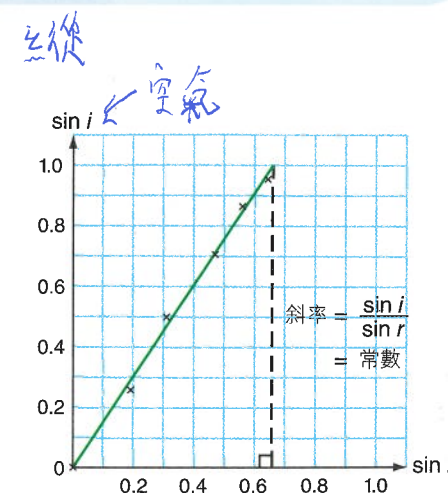


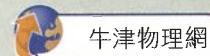
圖 2.1b $\sin i$ 對 $\sin r$ 的關係線圖

歷史點滴

斯涅耳
(1580–1626)



斯涅耳是荷蘭天文學家和數學家。他分析了大量數據，經過多次嘗試和失敗，終於在 1621 年發現 $\sin i$ 與 $\sin r$ 之比是常數，所以這條定律就以他的名字命名，作為紀念。然而，斯涅耳並非根據理論來推導這個結果。



牛津物理網

斯涅耳定律是**折射定律**的一部分。折射定律指出：

光線從一種介質進入另一種介質時，

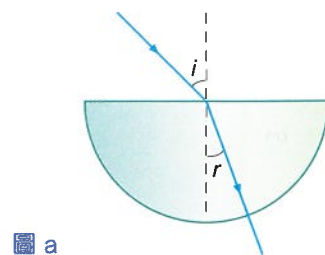
- 入射角與折射角的正弦之比是常數，即

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{常數}$$

- 入射線、折射線與法線都在同一平面上。

例題 1 應用斯涅耳定律

光線從空氣進入半圓玻璃塊（圖 a）。當入射角 $i = 40^\circ$ ，則折射角 $r = 24.5^\circ$ 。如果 $i = 60^\circ$ ， r 是多少？



題解

根據斯涅耳定律，

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{常數} \quad \text{或} \quad \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

$$\frac{\sin 40^\circ}{\sin 24.5^\circ} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin r}$$

$$\sin r = \sin 60^\circ \times \frac{\sin 24.5^\circ}{\sin 40^\circ} = 0.559$$

$$r = 34.0^\circ$$

▶ 進度評估 1 Q1 (p.40)

進度評估 1 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.38）。

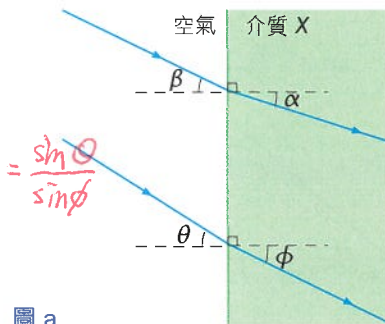
- 11 光線從空氣射進水裏，入射角 i 是 41.7° 時，折射角 r 是 30° 。如果 i 是 50° ， r 是多少？
35.2° $n = \frac{\sin 41.7^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\sin 50^\circ}{\sin r}$

- 12 圖 a 顯示兩條光線從空氣進入介質 X。

如果 $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 0.8$ ，則 $\frac{\sin \theta}{\sin \phi} =$

- A 0.4
B 0.8
C 1.0
D 1.25

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 0.8 \Rightarrow \frac{\sin \theta}{\sin \phi} = \frac{1}{0.8} = \frac{\sin \theta}{\sin \phi}$$



模擬程式 2.2

→ 模擬程式 2.2 顯示光線射入不同物料所造成的折射。

嚴格來說，玻璃的折射率應以光線從真空進入玻璃的情況來計算，但從空氣進入的話，所得結果的差別也極之輕微。

▶ 可深入說明，量度折射率時，會把光的波長設定為 589 nm ，並且確保空氣處於標準狀況 (STP)。

3 折射率

斯涅耳定律指出，對於兩種指定介質， $\sin i$ 與 $\sin r$ 之比是一個常數。如果光是從空氣進入另一介質，這個常數便稱為該介質的**折射率** n 。以玻璃為例，玻璃的折射率 n_g 可用下式求得：

$$n_g = \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_g}$$

air
glass

其中 θ_a 代表空氣中光線與法線的夾角， θ_g 代表玻璃中光線與法線的夾角。由於光線傳播是可逆的，無論哪一個是入射角，哪一個是折射角，以上算式都同樣適用（圖 2.1c）。

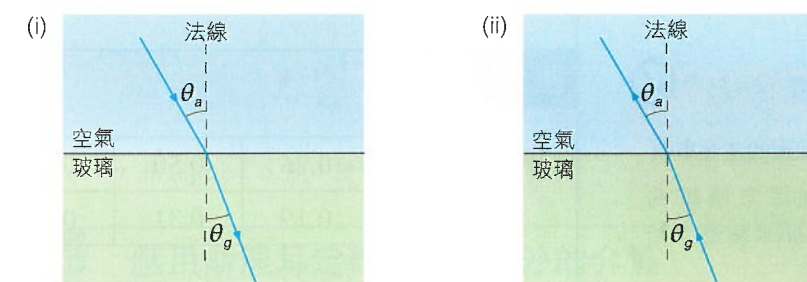


圖 2.1c 可運用 $n_g = \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_g}$ 的情況：(i) 光從空氣進入玻璃，(ii) 光從玻璃進入空氣

折射率是個比率，因此不帶單位。此外， $\sin \theta_a$ 對 $\sin \theta_g$ 的線圖斜率就是折射率 n_g 。

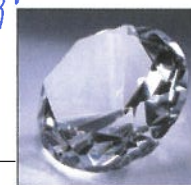
每種介質的折射率各有不同（表 2.1b）。介質的折射率愈大，光線從空氣進入該介質時的偏折程度便愈大。除非另有說明，本書計算時取空氣的折射率為 1。

介質	折射率 n
真空	1 (精確)
空氣	$1.0003 \approx 1$
水	1.33
植物油	1.47
有機玻璃	1.50
玻璃	1.50 – 1.70
鑽石	2.42

表 2.1b 幾種介質的折射率

$$\sin c = \frac{1}{n}$$

$$c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)$$



非常小且角度

比較兩種介質時，折射率較大的稱為**光密介質**，折射率較小的稱為**光疏介質**。例如，與水相比，鑽石就是光密介質。

補充資料

密度和光學密度

光學密度與密度不同。密度又稱質量密度，是物質每單位體積的質量：

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$$

折射率 refractive index 光密介質 optically denser medium
光疏介質 optically less dense medium

可強調繪畫線圖的原因：

- (i) 檢查數據
- (ii) 使各點的誤差變得平均
- (iii) 預測數值

實驗技巧應用

例題 2 用線圖找出折射率

實驗中，展恆把光線以不同角度射向矩形玻璃塊（圖 a）。表 a 列出他得到的實驗結果， θ_a 和 θ_g 分別代表入射角和折射角。

θ_a	15°	30°	45°	60°	75°
θ_g	11°	18°	28°	34°	40°

表 a

(a) 標繪 $\sin \theta_a$ 對 $\sin \theta_g$ 的關係線圖。

(b) 求矩形玻璃塊的折射率。

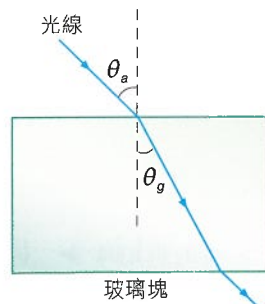


圖 a

題解

$\sin \theta_a$	0.26	0.50	0.71	0.87	0.97
$\sin \theta_g$	0.19	0.31	0.47	0.56	0.64

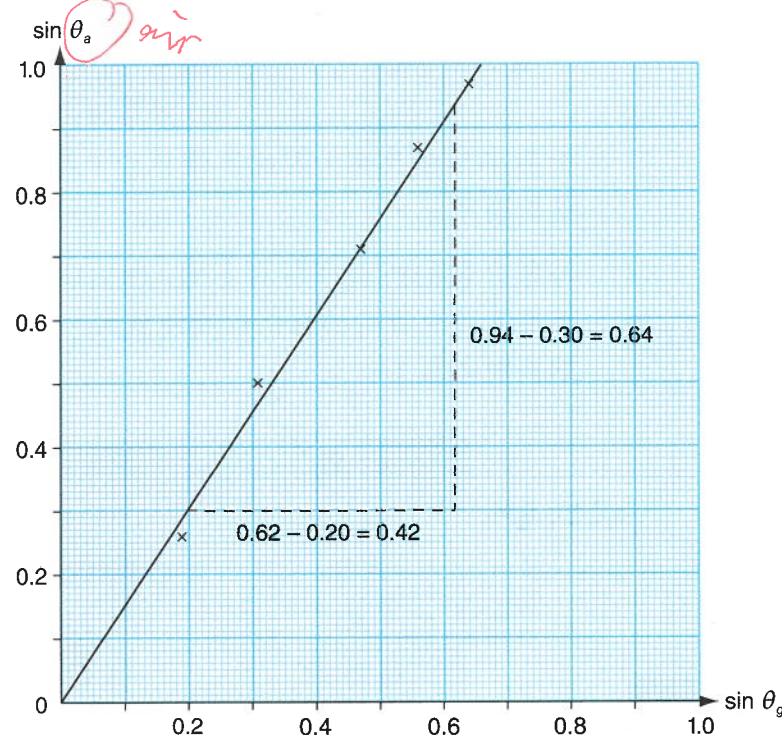


圖 b

(b) 矩形玻璃塊的折射率

$$= \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_g} = \text{線圖的斜率} = \frac{0.94 - 0.30}{0.64 - 0.20} = 1.52$$

▶ 複習 Q35 (p.75)

4 斯涅耳定律的一般形式 *general form*

推而廣之，斯涅耳定律可以寫成

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

如果介質 1 是空氣，介質 2 是玻璃，斯涅耳定律便可以寫成

$$1 \times \sin \theta_a = n_g \times \sin \theta_g$$

$$n_g = \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_g}$$

即是第 41 頁的方程。

如果 $n_2 > n_1$ ，則 $\theta_2 < \theta_1$ 。

其中數字 1、2 表示光經過的兩種介質。

如果 $n_2 > n_1$ ，光線折射後會向法線偏折。相反，如果 $n_2 < n_1$ ，光線折射後會偏離法線（圖 2.1d）。

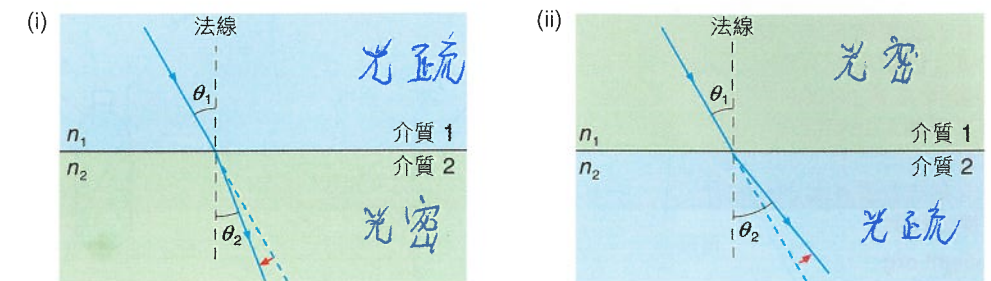


圖 2.1d (i) $n_2 > n_1$ 和 (ii) $n_2 < n_1$ 時，折射線向不同方向偏折

例題 3 應用斯涅耳定律（空氣以外的介質）

光線從玻璃進入水中，入射角是 30° 。玻璃和水的折射率分別是 1.54 和 1.33。求水中的折射角及光線的偏折方向。

題解

$$1.54 \sin 30^\circ = 1.33 \sin \theta_2$$

根據 $n_g \sin \theta_g = n_w \sin \theta_w$ ，

$$\sin \theta_w = \frac{n_g \sin \theta_g}{n_w} = \frac{1.54 \sin 30^\circ}{1.33} = 0.579 \Rightarrow \theta_w = 35.4^\circ$$

水中的折射角是 35.4° ，光線折射後會偏離法線。

▶ 進度評估 2 Q3 (p.43)

進度評估 2 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.38）。

21 光線從空氣進入酒精（圖 a）。酒精的折射率是 1.36。求折射角。 37.0°

$$\frac{\sin 55^\circ}{\sin r} = 1.36$$

$$\sin r = 0.6023$$

22 光線從水進入空氣，在空氣中的折射角是 48° 。水的折射率是 1.33。光線在水中的入射角是多少？ 34.0°

$$\frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_w} = 1.33$$

$$\frac{\sin 48^\circ}{\sin \theta_w} = 1.33$$

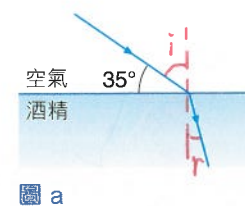


圖 a

23 光線從水進入介質 X。入射角是 43° 時，折射角是 25° 。水的折射率是 1.33。求介質 X 的折射率。 2.15

$$n_x \sin 25^\circ = 1.33 \sin 43^\circ$$

24 光線從介質 A 進入介質 B，兩者質的折射率分別是 1.6 和 1.4。如果入射角是 60° ，折射角是多少？ 81.8°

$$n_A \sin \theta_A = n_B \sin \theta_B$$

$$1.6 \sin 60^\circ = 1.4 \sin \theta_B$$

$$\sin \theta_B = 0.989$$

$$\theta_B = 81.8^\circ$$

2 光的折射

你可在以下網址觀看汽水
水瓶燈泡怎樣運作：

http://www.youtube.com/watch?v=Q0_4qFrwx_4



「Liter of Light」是一個推廣汽水水瓶燈泡的全球性計劃，由志願團體推動，始於菲律賓。計劃成功為馬尼拉大都會區超過 28 000 個家庭帶來廉價的照明設備，後更推廣至全球一些不同的城市。有關該計劃的資料可在以下網站找到：

literoflight.org



一個普通的汽水水瓶燈泡能發出相等於一個 55 W 鎢絲燈泡的亮度。

STSE 用汽水瓶燈泡照亮貧民區

貧民區的房子窗戶不多，即使在日間，室內也很陰暗。有些居民會在屋頂裝上注滿水的汽水瓶（圖 a）。按照折射原理，這樣做可以讓更多陽光照進房子裏（圖 b），而陽光也可均勻擴散（圖 c）。這種「汽水瓶燈泡」可以用作日間室內照明，既經濟又環保。



圖 a 汽水瓶燈泡



圖 b 原本受阻隔的陽光經汽水瓶進入室內

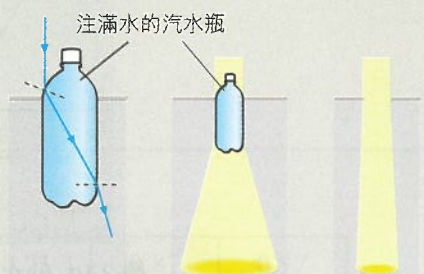
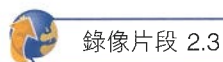


圖 c 陽光經汽水瓶進入室內後，擴散角度較大

5 光速與折射

光在不同介質中的傳播速率各有不同，正因為它通過兩個介質的交界面時傳播速率改變，折射現象才會出現。



錄像片段 2.3

→ 錄像片段 2.3 示範車子由跑道走進沙地時，速率和前進方向怎樣改變。

圖 2.1e 所示的情況模擬了光的折射。玩具跑車斜斜地從地板駛進地毯。跑車的一個前輪比另一個先進入地毯，由於跑車在地毯的車速較低，因此跑車先駛進地毯的一側會先慢下來，跑車的前進方向因而改變，最後跑車沿新的方向以較慢的車速在地毯上行駛。

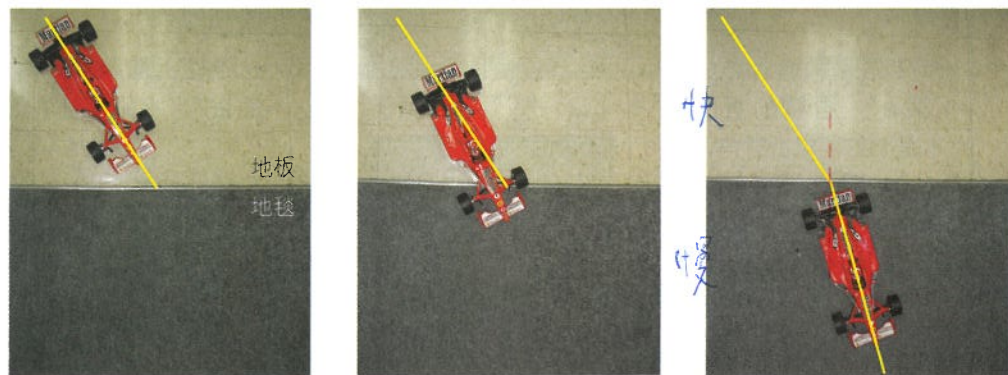


圖 2.1e 玩具跑車進入地毯時車速減慢，前進方向因而改變

同樣道理，玩具跑車從地毯駛向地板時，它的路徑會向另一方偏折（圖 2.1f）。

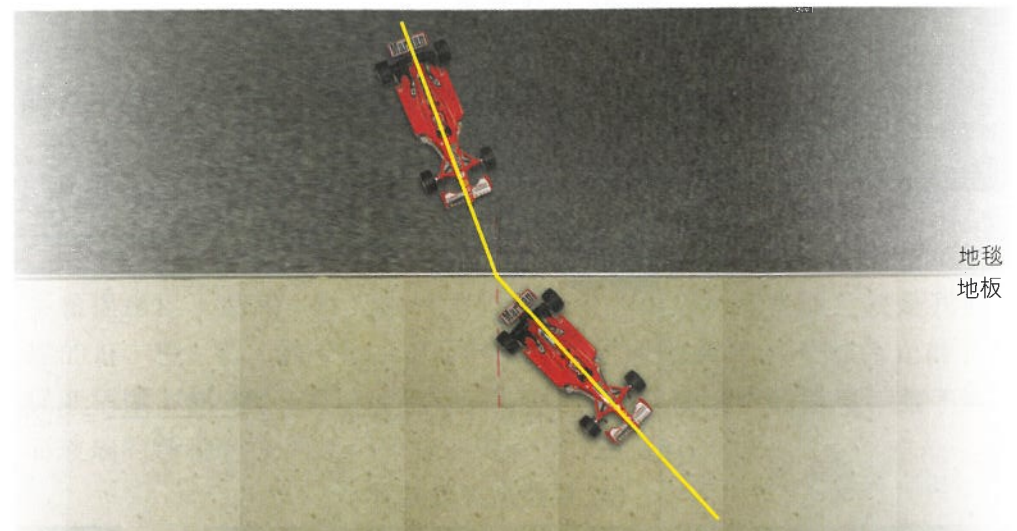


圖 2.1f 玩具跑車進入地板時車速加快，路徑因而向另一方偏折

生活中的物理

隱形小珠

在起點中的透明小珠以特別的化學物質製造，吸水後會大大膨脹。當小珠吸滿水後，折射率便跟水非常接近，光通過小珠時幾乎沒有偏折，因此，小珠能夠在水中隱形。



光的折射與上述情況類似。光線從空氣進入玻璃或水時，會因速率減慢而偏折；光線從玻璃或水射出空氣時，也會因速率增加而向另一方偏折。

光線從空氣進入另一種介質時，速率減慢得愈多，光線的偏折程度就愈大，該介質的折射率也就愈大。由此可見，一種介質的折射率與光在該介質中的速率相關。事實上，介質的折射率等於光在空氣中的速率與在介質中的速率之比，即

$$n = \frac{c}{v}$$

其中 c 和 v 分別是光在空氣和在介質中的傳播速率。

介質的折射率愈大（光學密度愈高），光在該介質中的傳播速率便愈低（圖 2.1g）。

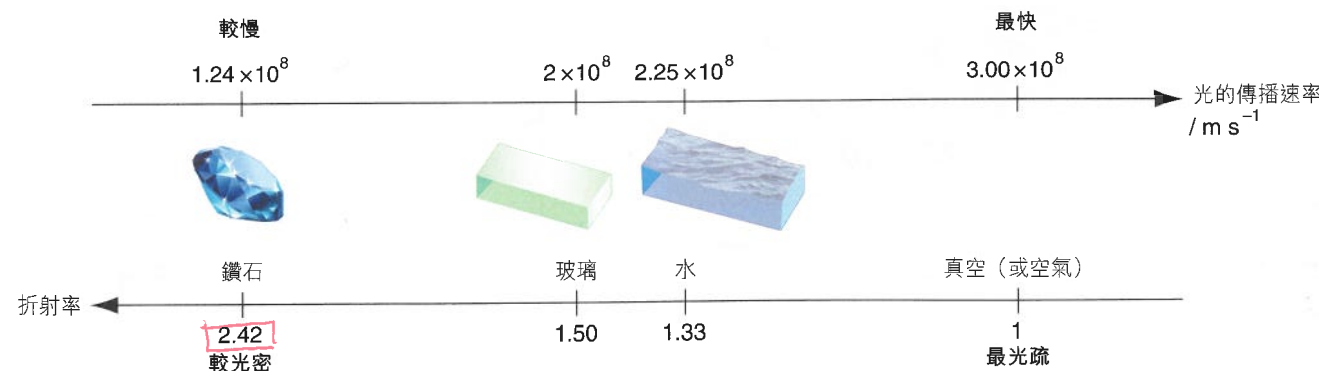


圖 2.1g 不同介質的折射率與光在介質中的傳播速率

例題 4 光在介質中的速率

- (a) 光在空氣中的速率是 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，水的折射率是 1.33。求光在水中的速率。
- (b) 假設光線從介質 X 進入介質 Y 時，速率由 v_X 變成 v_Y ，而入射角和折射角分別是 θ_X 和 θ_Y 。證明 $\frac{v_Y}{v_X} = \frac{\sin \theta_Y}{\sin \theta_X}$ 。

題解

- (a) 根據 $n = \frac{c}{v}$ ，

$$\text{光在水中的速率 } v = \frac{c}{n} = \frac{3.00 \times 10^8}{1.33} = 2.26 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- (b) 根據斯涅耳定律，

$$n_X \sin \theta_X = n_Y \sin \theta_Y$$

$$\frac{c}{v_X} \times \sin \theta_X = \frac{c}{v_Y} \times \sin \theta_Y$$

$$\frac{v_Y}{v_X} = \frac{\sin \theta_Y}{\sin \theta_X}$$

習題與思考 2.1 Q12 (p.52)

→ 模擬程式 2.3 示範光的色散。學生可以控制光的波長和射向稜鏡的角度。

模擬程式 2.3

6 色散

實驗 2b 白光的色散

- 如圖 a 所示裝置實驗器材，在屏幕上產生一組彩色條紋。
- 觀察條紋上的不同顏色。

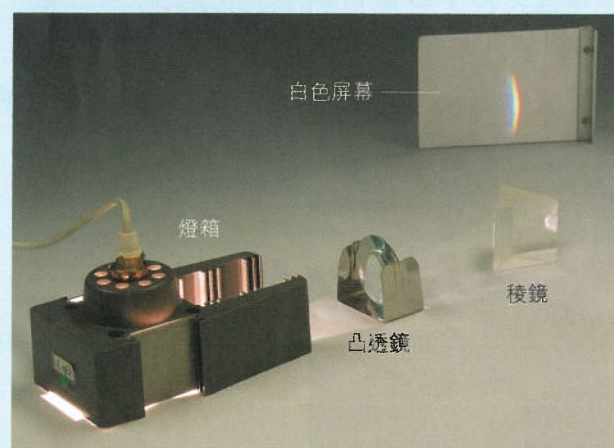
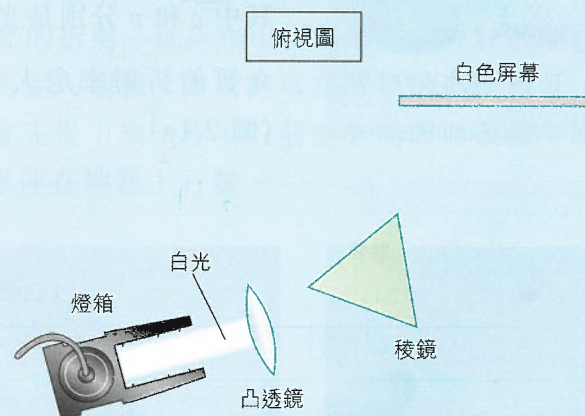


圖 a

討論

為甚麼白光通過稜鏡後會產生一組彩色條紋？各種色光在玻璃中的速率不同，所以通過稜鏡時的折射程度不同，最終形成一組彩色條紋。



→ 錄像片段 2.4 示範實驗 2b。

錄像片段 2.4

牛頓在 1666 年做了類似的實驗。他讓陽光從一個小孔照進室內，陽光通過玻璃稜鏡，產生了一組彩色條紋。色譜也稱作可見光譜。參看 3B 冊第 6 課。這組彩色條紋稱為色譜（圖 2.1h），這個現象稱為色散。



圖 2.1h 牛頓用稜鏡產生色譜

牛頓提出以下結論：白光由一系列色光混合而成，這些顏色就是我們常說的紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫。白光通過稜鏡時，不同色光的折射程度稍微不同（圖 2.1i），也就是說各種色光在玻璃中的速率稍微不同，而玻璃對各種色光的折射率也略有差別（圖 2.1j）。

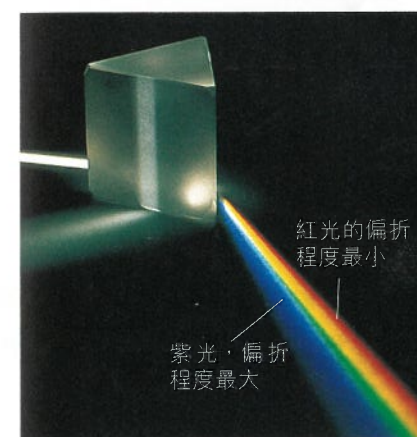


圖 2.1i 白光通過稜鏡時會發生兩次折射，散開成不同色光

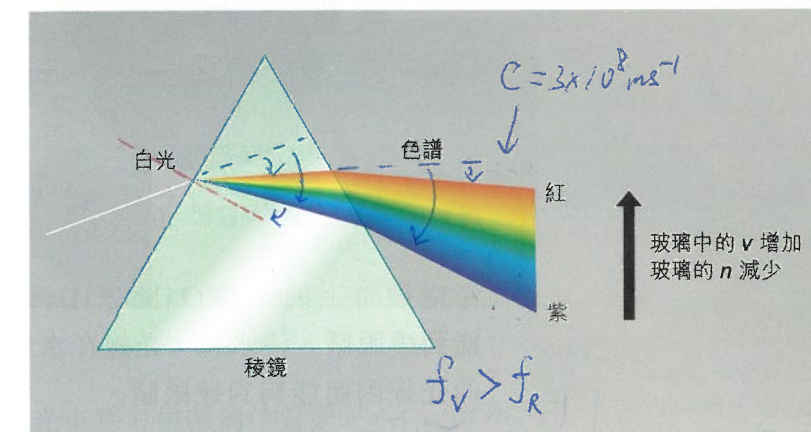


圖 2.1j 各種色光在玻璃中的速率 v 各不相同，玻璃對各種色光的折射率 n 也有所差別

進度評估 3 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.38）。

- 31 是非題：如果光在兩種介質中的速率相同，這兩種介質的折射率便相同。沒有折光發生（對）（錯）
- 42 是非題：空氣中的白光沿法線方向進入玻璃時，不會出現色散。（對）（錯）
- 43 是非題：白光從光密介質進入光疏介質時，不會出現色散。慢 → 快（對）（錯）
- 34 紅寶石的折射率是 1.76，光在空氣中的速率是 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，求光在紅寶石中的速率。

[提示：根據 $n = \frac{c}{v}$ ， $v = ?$] $1.70 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
 $1.76 = \frac{3 \times 10^8}{v}$

- 45 圖 a 顯示白光通過稜鏡時的色散現象。X 和 Y 標示所產生光譜的兩端。位於 X 和 Y 的光是甚麼顏色？兩者之中，哪一個在稜鏡中傳播得較快？Y

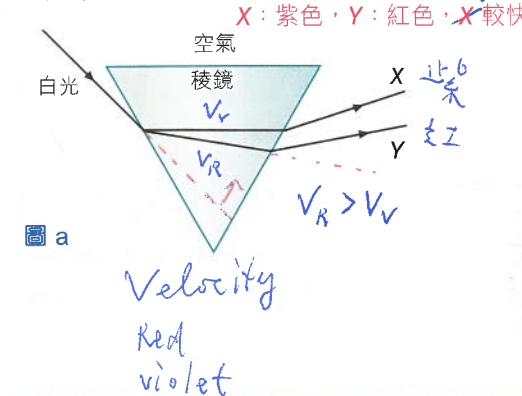


圖 a

7 光折射的日常例子

在日常生活中，我們經常可以觀察到光的折射現象。以下是一些例子。

a 物體在水中看起來較近

如圖 2.1k 所示，水桶中放有硬幣，硬幣剛好給桶邊遮蔽；但水桶注入水後，硬幣就顯現出來。這情況可以用光的折射來解釋。

錄像片段 2.5

→ 錄像片段 2.5 顯示水桶在盛滿水後看起來會較淺。

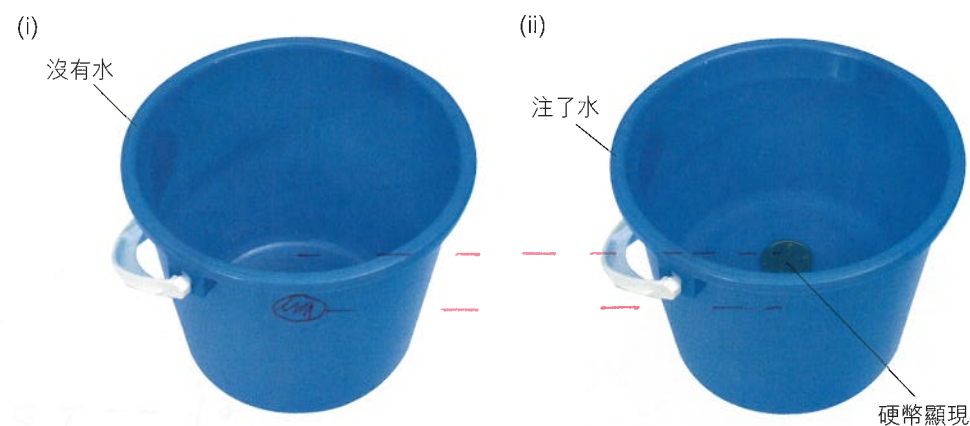


圖 2.1k 硬幣放在水桶底部：(i) 注水前，(ii) 注水後

考慮硬幣上的一點 O (圖 2.1l)。水桶未注入水，從 O 點發出的光線不能到達眼睛。注水後，光線在水與空氣的交界面偏折，部分從 O 點發出的光線因而能夠到達眼睛。

折射線向後延長，會相交於一點 I ，我們便以為像在這點形成（這個像是虛像）。 I 點的位置較 O 點高，所以看到的像會較物體接近水面。

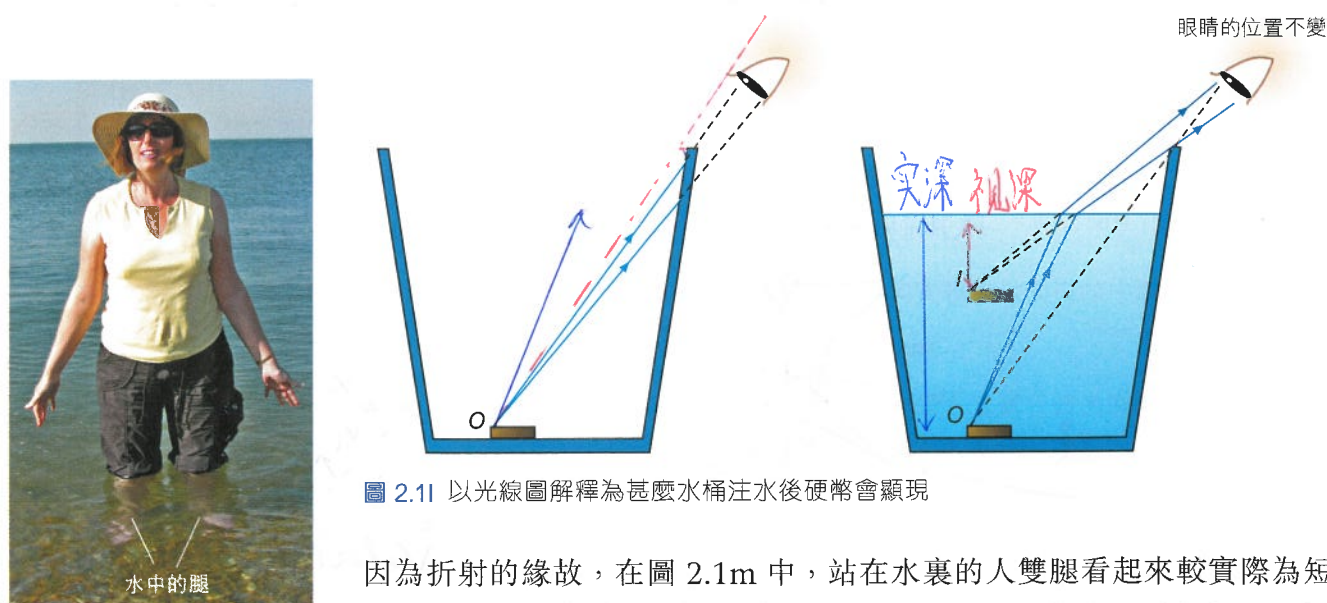


圖 2.1m 在水中雙腿看起來較短

因為折射的緣故，在圖 2.1m 中，站在水裏的人雙腿看起來較實際為短，水看起來也較實際為淺。觀察者看到的深度稱為**視深**，較實際深度為淺（圖 2.1n，見 p.49）。

視深 apparent depth

模擬程式 2.4

→ 模擬程式 2.4 說明 (a) 從空氣觀看水中的魚，以及 (b) 從水中觀看天上的飛鳥時，物體的位置看起來與實際並不相同。

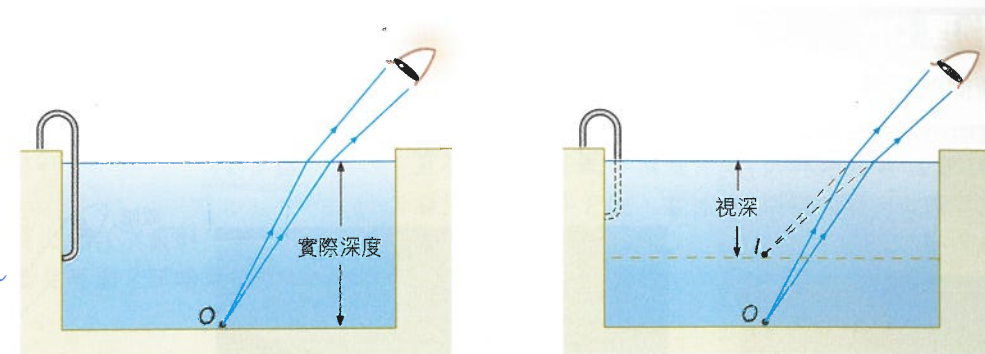


圖 2.1n 以光線圖解釋為甚麼泳池看起來較實際淺

例題 5 水中物體的視深

翠鳥 (圖 a) 正在捕魚，牠看見湖中有一條魚 (圖 b)。



圖 a



圖 b

- 繪畫光線圖，以顯示魚的實際位置。
- 如果要把一道光束射在這條魚上，光束應射向哪個位置？
- 海水的折射率比湖水大。如果魚在海水中而不是在湖水中，就翠鳥所見，魚的位置會有甚麼不同？試以光線圖解釋答案。

題解

- 如圖 c 所示，魚的實際位置在翠鳥看到的位置下方。
- 光束從空氣進入水中也會發生折射，因此應把光束射向觀察者看到魚的位置。
- 在海水中，光的偏折幅度更大，所以魚的位置看起來比在湖水中更高 (圖 d)。

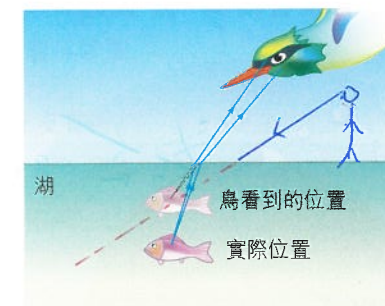


圖 c



圖 d

從魚的角度來說，翠鳥的位置看起來較實際高。可着學生繪畫光線圖來說明這現象。

習題與思考 2.1 Q13 (p.52)

物理 DIY

斷開的玩具

圖中的玩偶一半浸在水中，它的身體便好像分成了兩半。你知道原因嗎？



牛津物理網

b 物體看似折斷

把直尺斜斜地插入水中，直尺看起來好像折斷了（圖 2.1o）。這也是由光的折射現象產生。

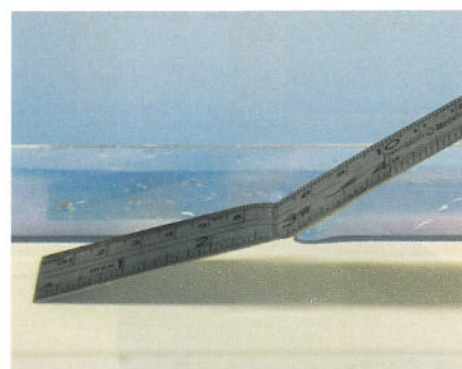
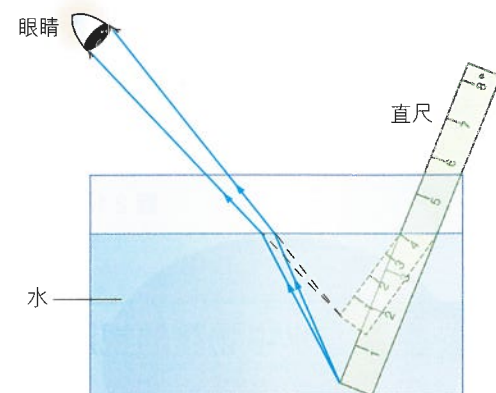


圖 2.1o 由於光發生折射，直尺看起來好像折斷了



c 空氣中的折射

熱空氣的折射率略小於冷空氣。當我們透過不穩定的熱空氣觀看物體，來自物體的光線到達我們眼睛前會出現折射，折射幅度處處不同，而且時刻在變，因此物體顯得模糊不清，而且搖曳不定（圖 2.1p）。

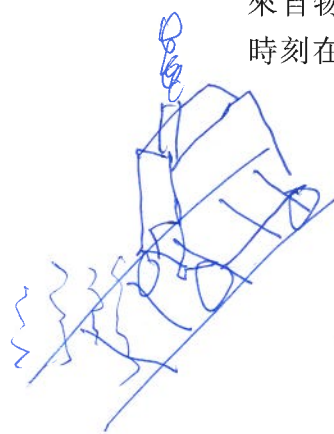


圖 2.1p 透過熱氣體觀看，樹木顯得模糊

另外，空氣愈接近大氣層頂部，折射率愈小。陽光斜斜地進入大氣層後會一直發生折射，光線的路徑因而變得彎曲。因此，觀看日出或日落時，看到太陽的位置會較它實際的位置為高（圖 2.1q）。

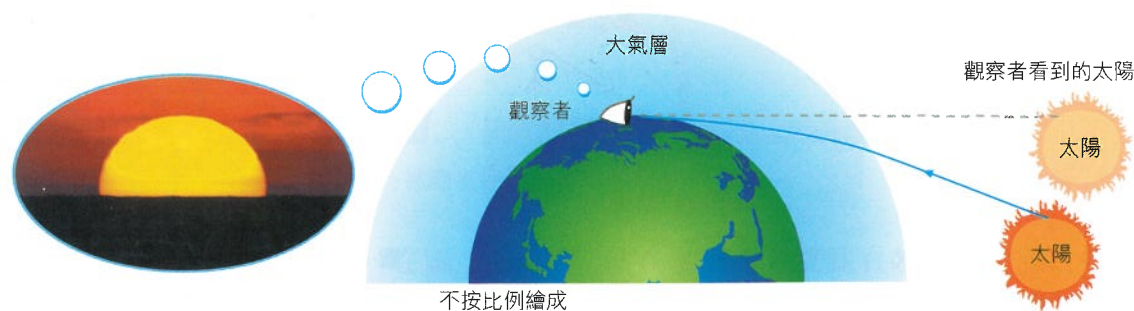


圖 2.1q 太陽看似位於地平線，但實際卻在地平線以下

進度評估 4 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.38）。

1 是非題：從水底觀看天上的飛鳥，牠的位置看起來好像在實際位置的上方。 (對) / 錯

2 筷子放入水中，同時一道光束從水裏射出。如果從圖 a 的角度觀察，會看見甚麼？試繪畫筷子和光束在水面上的部分。

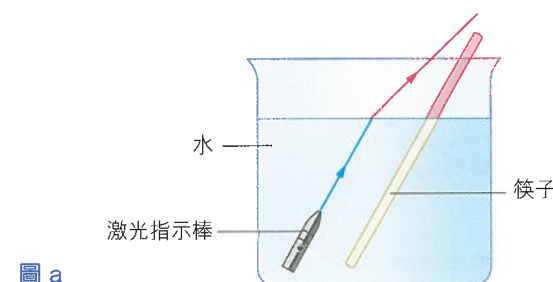


圖 a

3 一塊石置於桶子內。桶子注了水，觀察者才看得見石子。試在圖 b 繪畫光線，以顯示觀察者怎樣看到石子上的 P 點，並標示觀察者看到石子的位置。

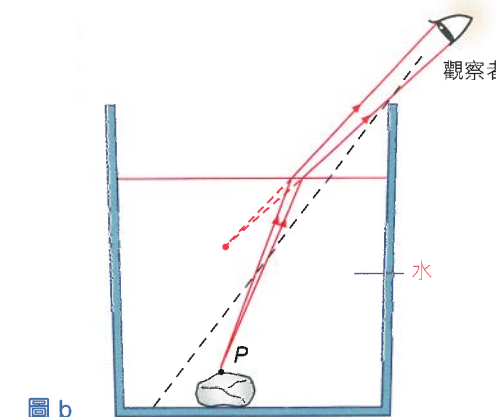


圖 b

習題與思考 2.1

2.1

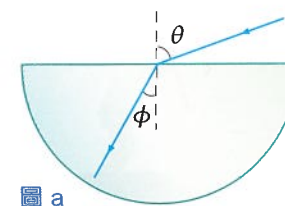


圖 a

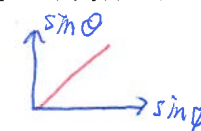
學生把光線以不同的入射角 θ 從空氣射進半圓玻璃塊（圖 a），然後記錄折射角 ϕ 的大小。下列哪一幅線圖的斜率代表玻璃的折射率？

A θ 對 ϕ 的關係線圖

B ϕ 對 θ 的關係線圖

C $\sin \theta$ 對 $\sin \phi$ 的關係線圖 $\sin \theta$ vs $\sin \phi$

D $\sin \phi$ 對 $\sin \theta$ 的關係線圖 against



3 學生把光線輪流從空氣射進介質 P、Q 和 R，然後量度入射角 i 及折射角 r ，再用所得的數據繪畫 $\sin i$ 對 $\sin r$ 的關係線圖（圖 b）。

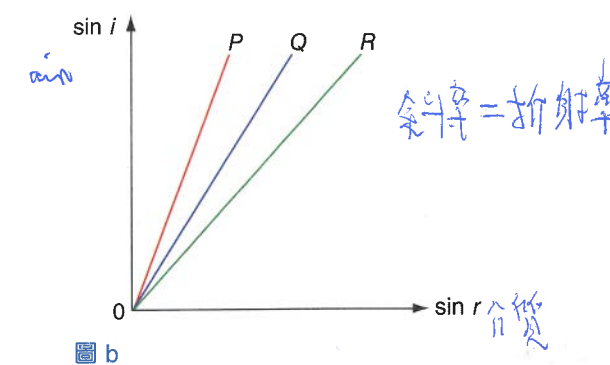


圖 b

下列哪些敘述是正確的？

- (1) 介質 P 的折射率比介質 Q 大。
- (2) 介質 R 的光學密度比介質 Q 高。
- (3) 光在介質 R 中比在介質 P 中傳播得慢。

A 只有 (1)

B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)

D (1)、(2) 和 (3)

2.3 2 光線從水進入玻璃時沒有偏折。下列哪些敘述是正確的？

(1) 光線的入射角是 0° 。

(2) 光通過交界面時，速率沒有改變。

(3) 水和玻璃的折射率相同。

A 只有 (1)

B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (2)

D (1)、(2) 和 (3)

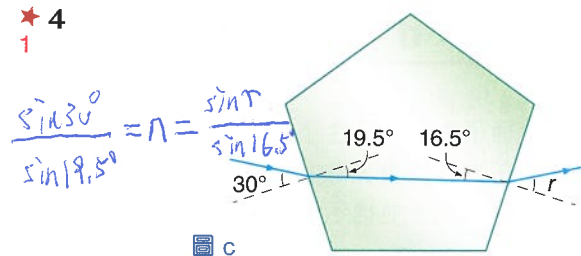
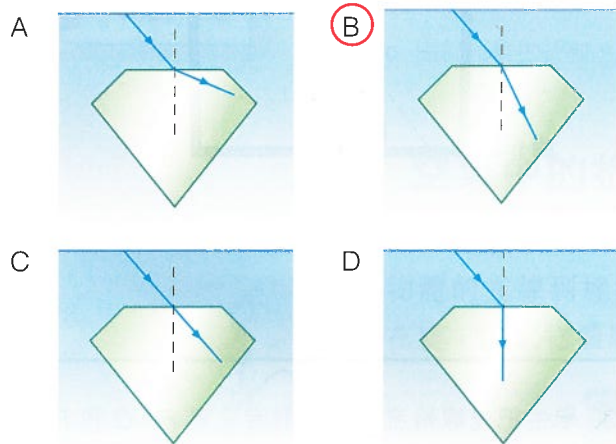
★ 4
1

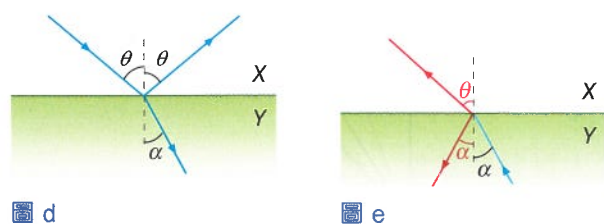
圖 c 顯示光線通過五稜鏡的路徑。折射角 r 是多少？

- A 10.9° B 25.2°
C 30.0° D 36.0°

★ 5 下列哪一幅圖正確顯示光線從水進入鑽石的路徑？水和鑽石的折射率分別是 1.33 和 2.42。



2 6 光線從 X 射向 Y 時，在交界面發生反射和折射（圖 d）。圖 e 顯示另一光線從 Y 射向 X，試在圖中繪畫反射線和折射線的路徑。



3, 4 7 (a) 光線從一種介質進入另一種介質時，是甚麼因素導致折射現象發生？

(b) 為甚麼白光從一種介質進入另一種介質時，會稍微分散成不同顏色？

3 8 玻璃的折射率是 1.65，光在空氣中的速率是 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。求光在玻璃中的速率。

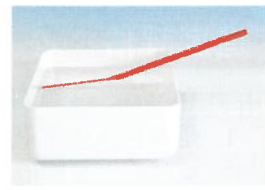
$$1.82 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

3 9 光在玻璃中的速率是 $1.9 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ，在真空中的速率則是 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。求玻璃的折射率。1.58

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{1.9 \times 10^8}$$

1, 2 10 草繪光線圖，以解釋為甚麼筷子有一部分浸在水中時，看起來好像折曲了（圖 f）。

圖 f



★ 11 兩條平行光線 A 和 B 由空氣射向玻璃圓柱（圖 g）。試完成光線通過玻璃圓柱的路徑，並找出光線在空氣和玻璃的交界面與法線構成的所有夾角。玻璃的折射率是 1.50。

A: 28.1°, 28.1°, 45°;
B: 0°, 0°, 0°, 0°

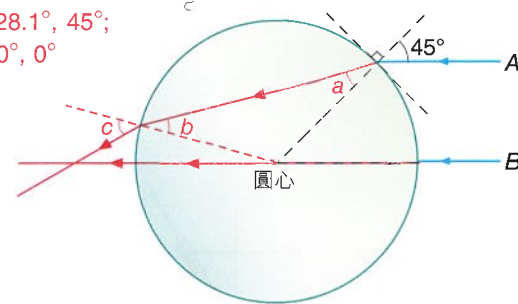


圖 g

★ 12 光線從水進入玻璃。光在水中和玻璃中的速率分別是 $0.752c$ 和 $0.645c$ ，其中 c 是光在空氣中的速率。如果光線的折射角是 27° ，入射角是多少？32.0°

★ 13 圖 h 顯示一個人正在用魚鏢捕魚。



- (a) 繪畫光線圖，以顯示那人怎樣看到魚的尾巴。
(b) 他的魚鏢應對準哪個位置？試解釋你的答案。

★ 14 大氣層與地面的距離愈遠，折射率愈小（圖 i）。

(a) 在圖 i 草繪星光的路徑，以顯示星光怎樣在大氣層中偏折，並到達觀察者的眼睛。

(b) 星星看起來會稍微高些，還是低些？高些

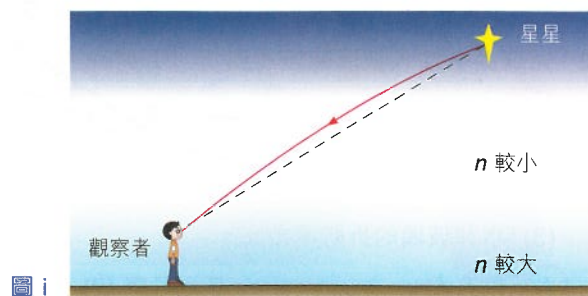


圖 i

→ 距離地面較遠的空氣較為稀薄，折射率亦較小。

2.2

光的全內反射

起點

熒光手寫版

你有沒有見過熒光手寫板？板上那些熒光顏料所寫的字十分亮麗耀眼。你知道熒光手寫板的操作原理嗎？

→ 參閱第 62 頁「生活中的物理」。



✓ 本節重點

- 1 全內反射
2 臨界角與折射率

光線從玻璃進入空氣，折射角 r 便會大於入射角 i （圖 2.2a）。如果 i 逐漸增大， r 最終會增加至 90° ，但 i 卻仍然小於 90° 。若 i 繼續增大，情況會怎樣？以下實驗能助我們找出答案。

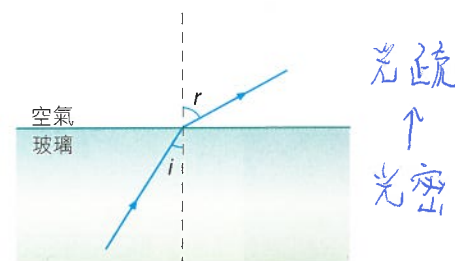


圖 2.2a 光從玻璃進入空氣



實驗 2c

全內反射

1 把光線經半圓玻璃塊（或有機玻璃塊）的曲面射向它的中心點 O （圖 a）。確保半圓玻璃塊的中心點與量角器的中心點重疊。

2 逐漸增加入射角 θ_i ，觀察折射線的變化。

討論

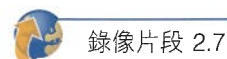
沒有，因為入射角是 0° 。

1 光線進入半圓玻璃塊時有沒有偏折？

2 折射角 θ_r 是 90° 時，入射角 θ_i 是多少？如果再增大 θ_i ，折射線會怎樣？如果再增大 θ_i ，折射線便不會出現。
 $36.0^\circ - 41.0^\circ$



圖 a



錄像片段 2.7

→ 錄像片段 2.7 展示一個研究水中全內反射的實驗，實驗以激光為光源。

1 發生全內反射的條件

圖 2.2b 總結實驗 2c 的結果。

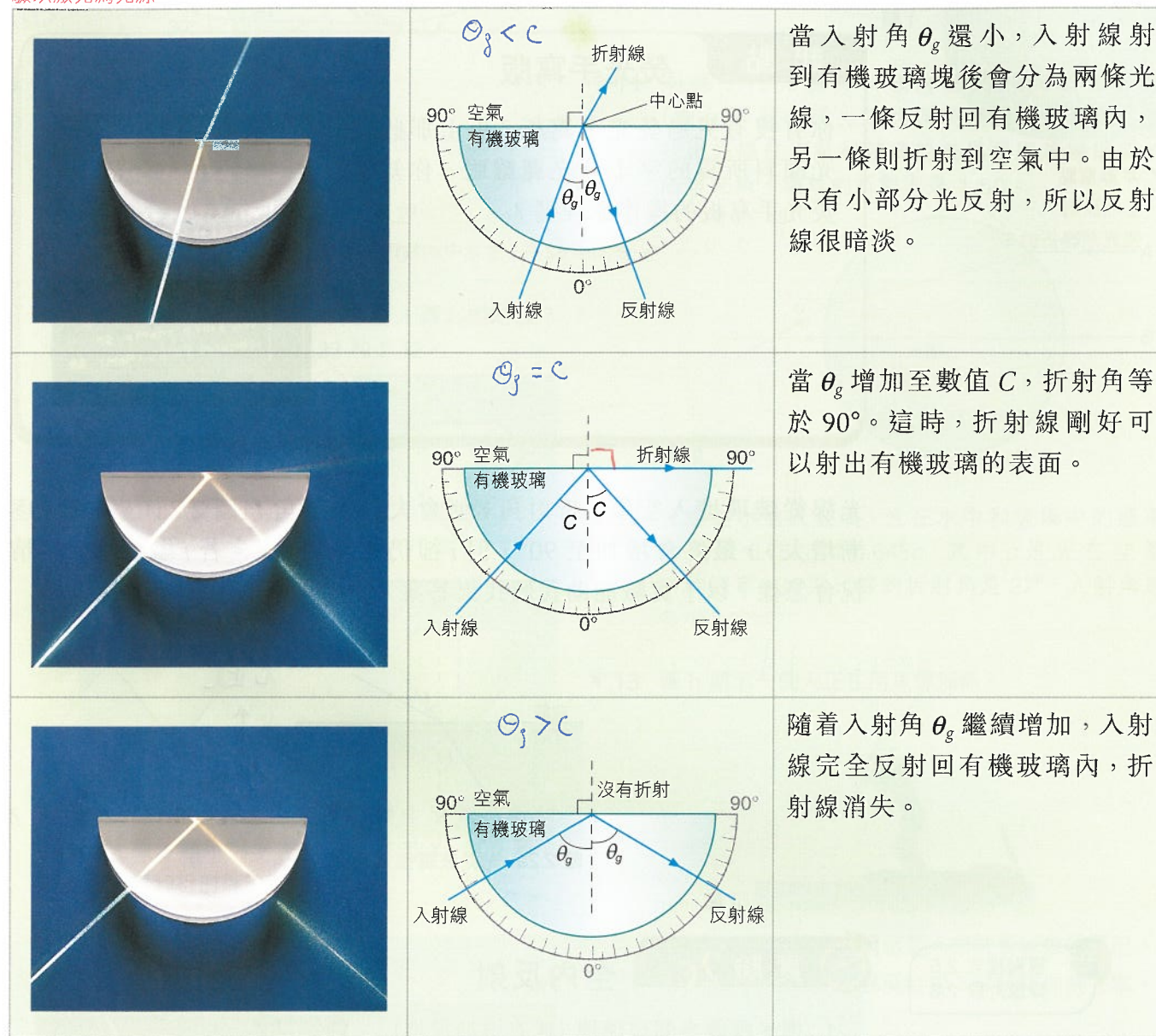


圖 2.2b 研究全內反射

圖 2.2b 中，角 C 稱為**臨界角**。折射角是 90° 時，對應的入射角便是臨界角。如果光線的入射角大於臨界角，光線就會完全反射回有機玻璃塊內。這個現象稱為**全內反射**。

光線要發生全內反射，就必須同時符合以下兩項條件：

- 1 光線從光密介質進入光疏介質；
- 2 入射角 i 大於臨界角 C 。

由此可見，光線從空氣射向玻璃時必然不會發生全內反射。

在這情況下，有機玻璃塊的表面就像一面平面鏡。

2 臨界角與折射率

從圖 2.2b 第 2 步可見，折射角等於 90° 時，入射角與**臨界角 C** 相等，即 $n \sin C = 1 \times \sin 90^\circ$ 。

考慮折射率為 n_1 和 n_2 的兩個介質，其中 $n_1 > n_2$ ：

$$n_1 \sin C = n_2 \sin 90^\circ$$

$$C = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

其中 n 為介質的折射率。圖 2.2c 總結了反射線和折射線怎樣改變。

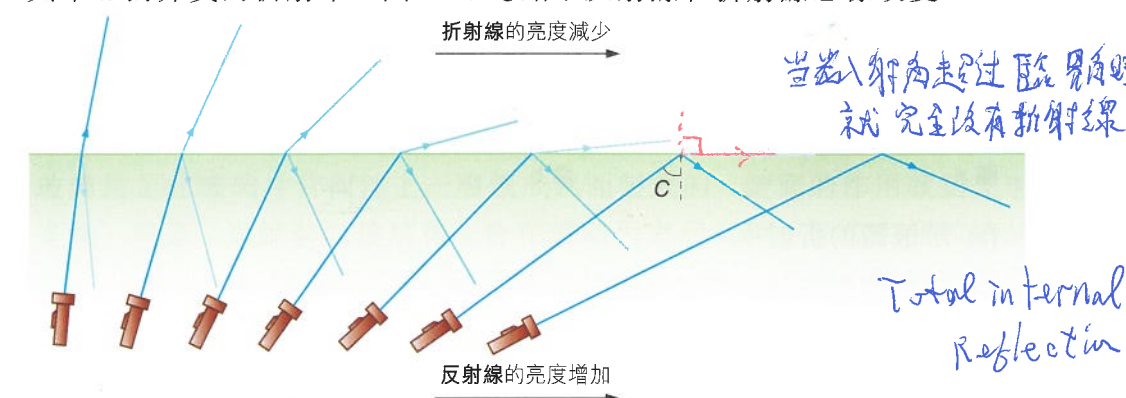


圖 2.2c 光在水面的折射。入射角增加時，折射線會變暗，而反射線則會變亮

例題 6 找出光線的路徑

光線如圖 a 所示射入矩形玻璃塊。玻璃塊的折射率是 1.62。

- 求玻璃與空氣交界面的臨界角 C 。
- 光線會從哪個表面離開玻璃塊？離開玻璃塊時的折射角是多少？



題解

$$(a) C = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.62} \right) = 38.1^\circ$$

(b) 如圖 b 所示，光線從表面 AD 離開，折射角是 60° 。

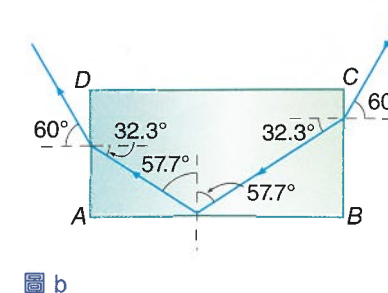
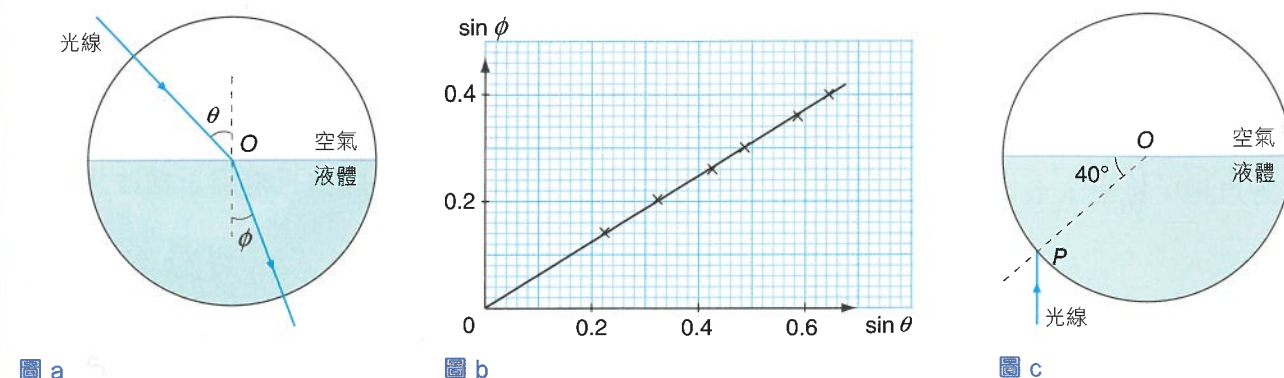


圖 b

► 習題與思考 2.2 Q13 (p.66)

預試訓練 1 在液體中發生全內反射 ☆ 香港中學會考 2008 年卷一 Q10

垂直的牆上掛了一個圓柱體容器， O 是容器的中心點。志明把光線如圖 a 所示射向容器內的液體，然後改變角 θ 的大小，並記錄角 ϕ 的變化。圖 b 顯示 $\sin \phi$ 怎樣隨 $\sin \theta$ 改變。



- (a) 求液體的折射率。 (2 分)
- (b) 求液體與空氣交界面的臨界角。 (2 分)
- (c) 另一條光線如圖 c 所示垂直向上射向液體。假設容器和液體的折射率相近。
- (i) 光線會否在 P 點發生全內反射？試簡單解釋原因。 (2 分)
- (ii) 草繪光線射到 P 點後的路徑。 (1 分)

題解

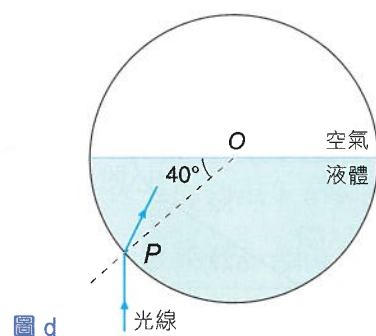
$$(a) \text{ 線圖斜率} = \frac{0.2 - 0}{0.32 - 0} = 0.625$$

$$\text{折射率} = \frac{1}{\text{斜率}} = \frac{1}{0.625} = 1.6$$

$$(b) \text{ 臨界角 } C = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) \\ = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.6} \right) = 38.7^\circ$$

- (c) (i) 光線不會發生全內反射，
因為它從光疏介質射向光密介質。

(ii)



(向法線偏折)

1M

1A

不要混淆空氣中的角度 (θ) 和液體中的角度 (ϕ)。
線圖斜率 = $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$ ，而 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \phi}$ 。

1M

1A

1A

1A

常見錯誤

學生可能忽略了發生全內反射，介質的光學密度須符合哪項條件。有些學生甚至嘗試計算入射角，並比較計算結果與臨界角的大小。他們並沒有注意到臨界角應該是在光密介質中的入射角。

1A

▶ 複習 Q37 (p.75)

進度評估 5 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.53)。

- 1 是非題：光從玻璃射向水時，一定不會發生全內反射。 (對/錯)
- 2 是非題：介質的折射率愈大，該介質與空氣交界面的臨界角就愈大。 (對/錯)

介質	n	c
水	1.33	48.8°
鑽石	2.42	24.4°
玻璃	1.50–1.70	36.0°–41.8°

3 全內反射的例子

a 利用稜鏡作反射鏡

玻璃鏡是在玻璃片背面鍍上一層銀或鋁而製成的，鍍面的作用就是反射光線。但是，光線射向玻璃後，會在玻璃內來回反射，形成多個較暗的像 ($I_1, I_3, \dots$)，使主像 I_2 變得不夠清晰 (圖 2.2d)。不過，利用稜鏡作為反射鏡就能夠解決以上問題。

把激光斜斜地射向平面鏡，並把反射光線投射到牆壁上，便會得出多個光點，這顯示平面鏡會形成多個像。

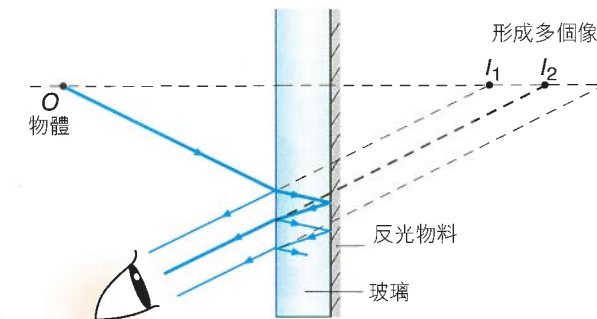
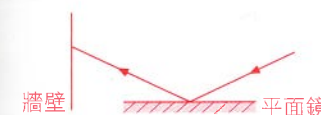


圖 2.2d 平面鏡會形成多重影像



錄像片段 2.8

→ 錄像片段 2.8 示範實驗 2d。



實驗 2d 稜鏡內的反射

把光線如下圖所示射向稜鏡 (圖 a 和 b)，觀察光線通過稜鏡的路徑。



圖 a

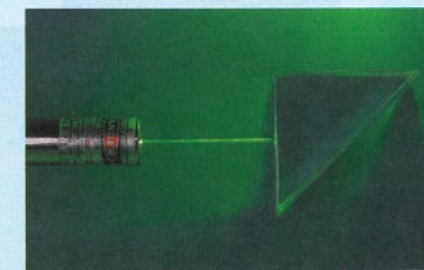
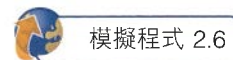


圖 b

討論

光線在稜鏡中的路徑是怎樣的？▶ 參閱第 58 頁圖 2.2e。



模擬程式 2.6

→ 模擬程式 2.6 模擬怎樣利用稜鏡和全內反射，使光線通過迷宮。

稜鏡反射出來的光較平面鏡強。

從實驗 2d 可見，光線射到稜鏡的內表面時，如果入射角大於臨界角，稜鏡就會成為一面全反射鏡（圖 2.2e）。稜鏡成像時不會出現多重影像。

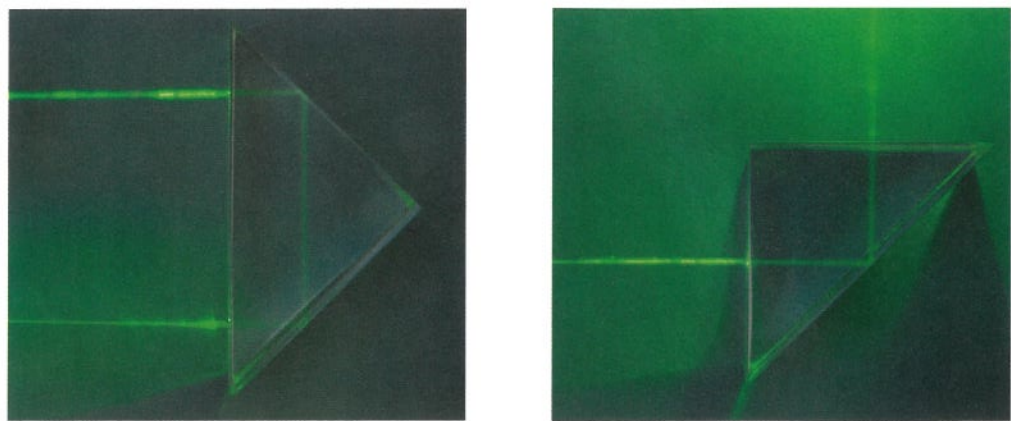


圖 2.2e 在 45°-90°-45° 稜鏡內出現全內反射

很多光學儀器，例如雙筒望遠鏡和潛望鏡（圖 2.2f），都會用稜鏡代替平面鏡，以形成質素較高的像。

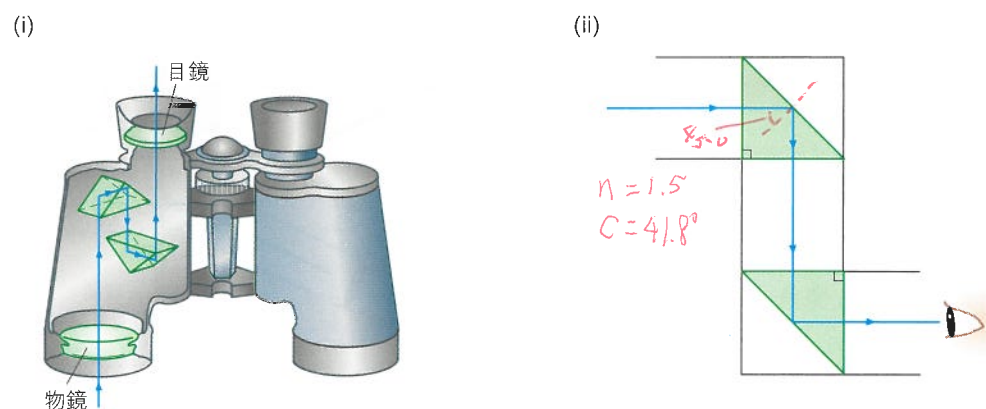


圖 2.2f 用於 (i) 雙筒望遠鏡和 (ii) 潛望鏡的稜鏡組合

此外，汽車的頭燈反光鏡（圖 2.2g）和公路上的貓眼石（圖 2.2h）也利用稜鏡把光反射。



圖 2.2g 汽車頭燈反光鏡

圖 2.2h 高速公路上的貓眼石把汽車頭燈發出的光向駕駛者反射，幫助駕駛者在晚上看清楚行車線

b 鑽石

鑽石閃閃生輝（圖 2.2i），全因它的折射率很大，可以把大部分入射光線經全內反射從鑽石的頂部射出。鑽石表面須切割成特定角度；如果切面過深或過淺，光線就會從底部或側面射出，鑽石便失去光澤（圖 2.2j）。



圖 2.2i 閃閃生輝的鑽石

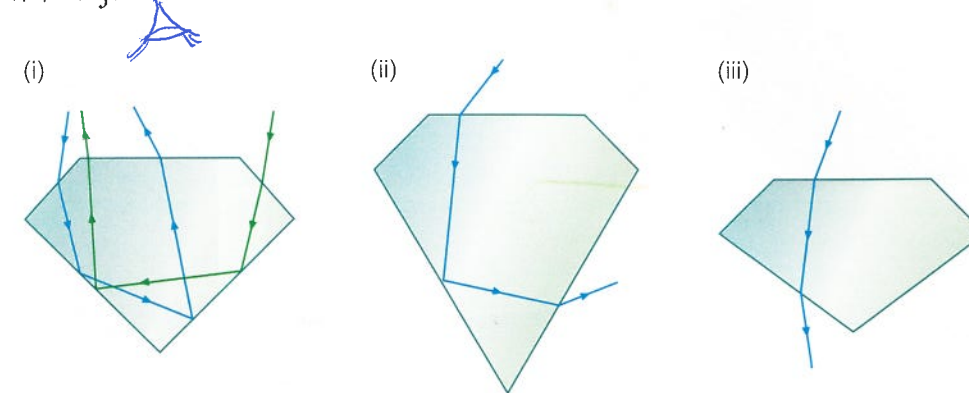


圖 2.2j 切割鑽石的角度 (i) 恰當、(ii) 太深、(iii) 太淺

例題 7 鑽石與玻璃

鑽石與玻璃的折射率分別是 2.42 和 1.50。

- 找出鑽石與空氣界面，以及玻璃與空氣界面的臨界角。
- 玻璃製的仿寶石經切割後，所見有的光澤可否媲美鑽石？試簡單解釋。

題解

- 鑽石與空氣界面的臨界角

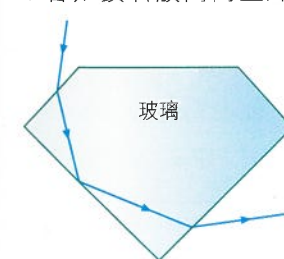
$$= \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{2.42} \right) = 24.4^\circ$$

玻璃與空氣界面的臨界角

$$= \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.50} \right) = 41.8^\circ$$

- 在空氣中，玻璃的臨界角比鑽石大得多，因此相對鑽石而言，只有極少量進入玻璃仿寶石的光線能夠發生全內反射，所以玻璃仿寶石的光澤不能媲美鑽石。

即使把玻璃切割成與圖 2.2j(i) 相同的形狀，也不會如鑽石般閃閃生輝。



▶ 複習 Q31 (p.74)

錄像片段 2.9

→ 錄像片段 2.9 展示光束怎樣藉着全內反射，通過 (a) 一條簡單的光纖、(b) 一支彎曲的有機玻璃棒和 (c) 一束光纖。

c 光導纖維

光導纖維 (簡稱光纖) 基本上是一條純玻璃內心，像人的頭髮一樣纖細柔軟 (圖 2.2k)。光束進入光纖的一端後，會在光纖內壁發生一連串全內反射，藉此傳播至另一端。因此，光纖可將訊號以光的形式傳至遠方 (圖 2.2l)。

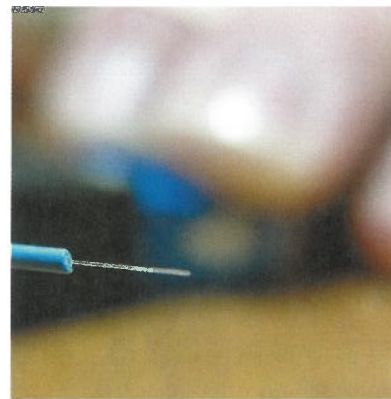


圖 2.2k 光導纖維

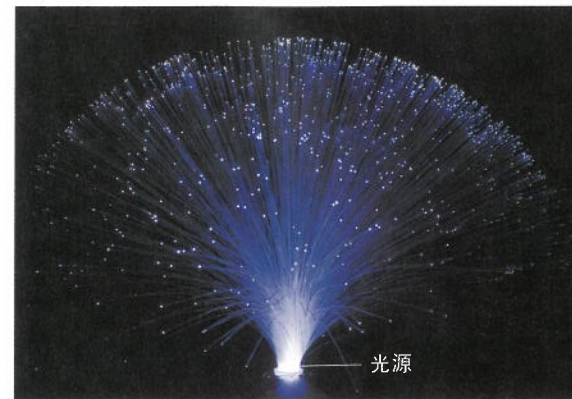


圖 2.2l 來自光源的光從每條光纖的末端射出

如果沒有包覆層，黏附在內心上的污垢就有可能把光折射到外面 (空氣)。因此，包覆層能有效減低「光洩漏」的可能。

玻璃內心由包覆層包裹着。包覆層的折射率比內心小 (圖 2.2m)，所以光束只要以適當的角度射到玻璃內心的內壁，就會發生全內反射。包覆層也可保護內心免受沾污和破壞。

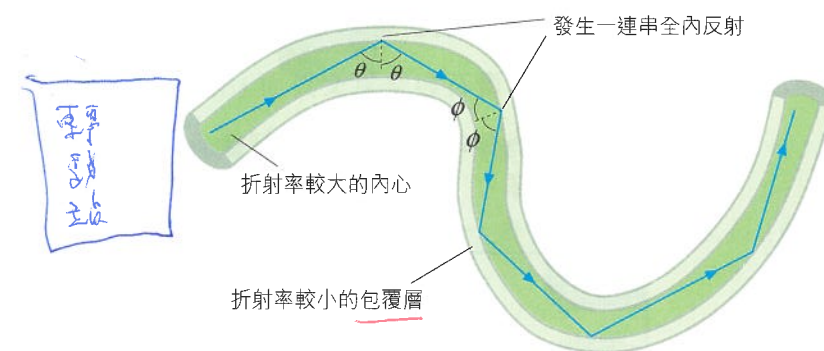


圖 2.2m 光藉着一連串全內反射沿光纖傳播

在光纖內，光的速率等於 $\frac{c}{n_g}$ (n_g 是玻璃的折射率)。

玻璃纖維的強度可以媲美鋼。

光纖廣泛應用在通訊上，原理是把閃動的激光訊號射進光纖，這些光訊號就可以高速傳送到光纖的另一端。光纖已取代銅線作遠程數據傳輸，因為光纖與銅線相比有以下優點：

- 數據傳輸的速率較高
- 較輕、較幼細、較便宜，也較強韌
- 作遠程傳輸時，訊號流失較少
- 較少機會出現訊號干擾

E4 冊第 1 課會詳細介紹 ▶ 光纖可應用於內窺鏡，讓醫生觀察人體內的器官 (圖 2.2n)。

錄像片段 2.10

→ 錄像片段 2.10 展示醫生使用內窺鏡替病人檢查和施手術。



圖 2.2n 醫生利用內窺鏡替病人檢查十二指腸，內窺鏡以光纖傳送訊號

例題 8 包覆層的作用

圖 a 所示為一款簡單的光纖設計，當中只有一條塑膠內心，並無包覆層。塑膠的折射率是 1.62。一條光線沿法線從光纖的一端進入，然後如圖 a 所示射到 A 點。

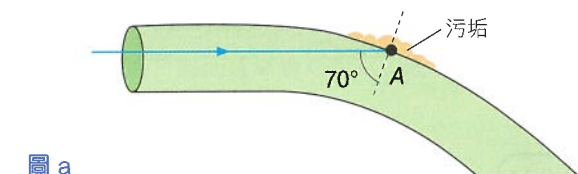


圖 a

- (a) 折射率為 1.7 的污垢意外地黏附在 A 點的外層上。圖 a 的光線射到 A 點時，會否發生全內反射？試簡單解釋。
- (b) 如果在內心的外圍加上一層折射率為 1.52 的包覆層，光線射到 A 點時會發生全內反射嗎？

題解

- (a) 光線不會發生全內反射。污垢的折射率比內心大，所以光會經折射進入污垢中。

- (b) 根據斯涅耳定律，

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_1 &= n_2 \sin \theta_2 \\ 1.62 \times \sin C &= 1.52 \times \sin 90^\circ \\ C &= \sin^{-1} \left(\frac{1.52}{1.62} \right) \\ &= 69.8^\circ \end{aligned}$$

由於臨界角小於 70° ，所以光線射到 A 點時會發生全內反射。

▶ 習題與思考 2.2 Q11 (p.66)

高錕生於上海，後移居香港。他在香港完成中學教育後，到海外留學及工作。在 1987 至 1996 年期間，高錕曾擔任香港中文大學校長。

生活中的物理

光纖之父

現在，光纖常用於傳送聲音及視像訊號、電腦資料等。早在 1965 年，高錕便首先提出利用玻璃纖維來傳遞訊息。他獲頒 2009 年的諾貝爾物理學獎。



「光纖之父」高錕

牛津物理網

物理 DIY

用水柱作光纖

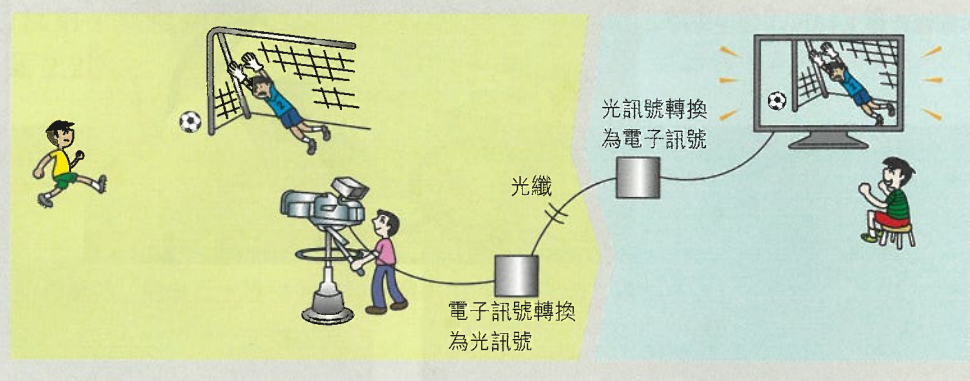
在塑膠瓶接近底部的地方鑽一個小孔，然後注水入瓶中。水從小孔流出時，把激光從塑膠瓶的另一邊射向小孔。激光的路徑是怎樣的？



牛津物理網

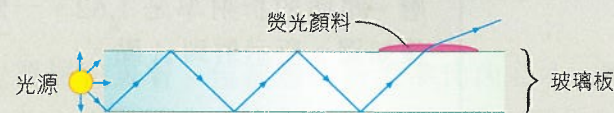
生活中的物理 把光纖用於通訊服務

在光纖通訊中，訊息（聲音、圖像、視像）會先轉換為光訊號，這些訊號其實由光源的開和關兩種狀態組成，分別代表數據信息的「1」和「0」。光訊號沿光纖傳送，到達另一端，最後還原為原本的訊息。



生活中的物理 螢光手寫板

起點提及的螢光手寫板，四邊都安裝了光源，所發出的光線經全內反射在玻璃板的內表面來回反彈。當光線碰到螢光顏料，便會經顏料進入空氣，令字發亮。



錄像片段 2.11

→ 錄像片段 2.11 展示在機場出現的海市蜃樓。飛機着陸時，跑道上出現飛機的倒影。

d 海市蜃樓

在天氣炎熱的日子，有時會看到遠處的路面十分濕滑（圖 2.2o）。其實，地面上根本沒有水，看到的只是天空的倒影。這種幻象稱為海市蜃樓，是沙漠中常見的現象（圖 2.2p）。

見第 50 頁。▶ 接近地面的空氣溫度較高，折射率較小。光線從天空射向地面時，所經過空氣層的折射率愈來愈小，光線便因折射而逐漸變得水平（圖 2.2q，見 p.63）。當光線的入射角大於臨界角，便會發生全內反射。我們看到遠處的路面好像十分濕滑，其實所見到的是天空的像。



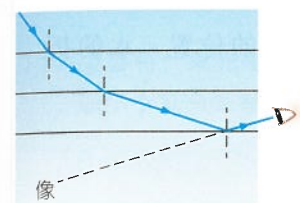
圖 2.2o 在炎熱的日子，路面卻看似十分濕滑



圖 2.2p 沙漠中的海市蜃樓

海市蜃樓 mirage

以下經簡化的光線圖闡明了光線的路徑：



錄像片段 2.12

→ 在錄像片段 2.12 中，水族箱內注入了高濃度的糖水，因此水的密度會隨著水深而改變。光束射入水後會不斷折射，最後出現全內反射。

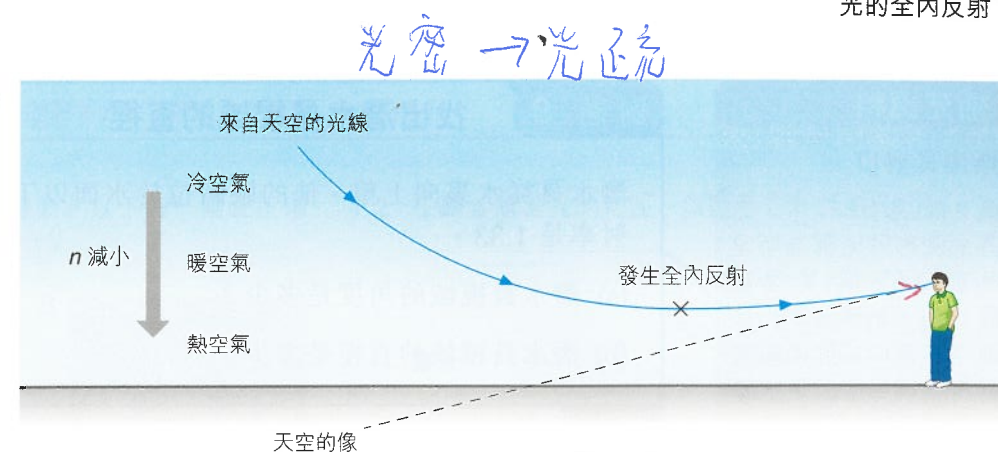


圖 2.2q 在炎熱的日子，全內反射使人以為路面濕滑

圖 2.2r 的裝置模擬了上述情況。糖溶液的折射率隨高度不同而逐漸改變，光線的路徑就如圖中所示折曲。

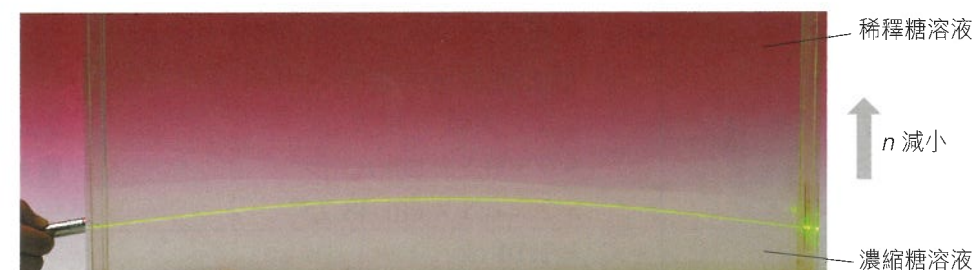


圖 2.2r 激光射入糖溶液後，因折射而逐漸變得水平，最後發生全內反射

→ 錄像片段 2.13 展示水族箱內的全內反射，從水底往上看，水面就像鏡子一樣。

錄像片段 2.13

e 魚的視域 fish-eye view

由於折射和全內反射的關係，在水裏的潛水員（或魚）可以看見水面上的一切，不過視域會壓縮成一個 98° 的圓錐（圖 2.2s）。圓錐以外的水面會把來自水中物體的光線反射進潛水員的眼睛（圖 2.2t）。

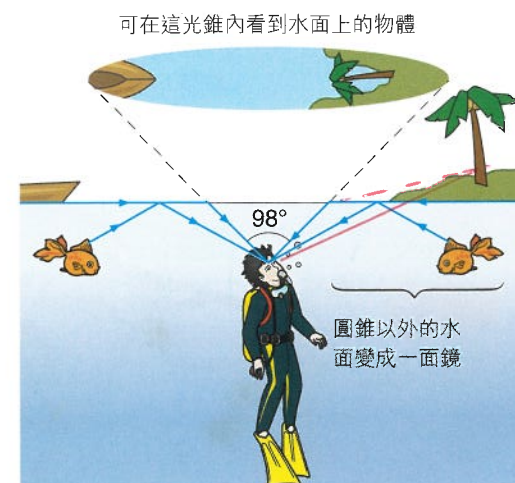


圖 2.2s 潛水員的視域

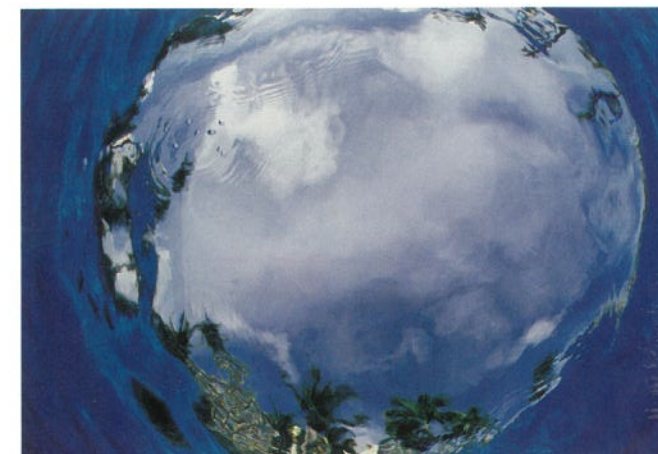


圖 2.2t 在水底拍攝的照片

補充資料

斯涅耳窗口

圖 2.2t (見 p.63) 中，光亮的圓形區域稱為斯涅耳窗口 (又稱「斯涅耳圓」或「光的進出口」)。斯涅耳窗口以外的範圍顯得很暗，原因是水底的環境通常都漆黑一片。

例題 9 找出潛水員視域的直徑

潛水員從水裏向上望，他的眼睛位於水面以下 0.5 m 的位置。水的折射率是 1.33。

(a) 潛水員視域的角度是多少？

(b) 潛水員視域的直徑是多少？

題解

(a) 臨界角 C

$$= \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.33}\right) = 48.75^\circ$$

潛水員視域的角度

$$= 2\theta = 2C = 2 \times 48.75^\circ = 97.5^\circ \approx 98^\circ$$

(b) 潛水員視域的直徑

$$= 2 \times \text{圓錐半徑 } R$$

$$= 2 \times 0.5 \times \tan \theta$$

$$= 2 \times 0.5 \times \tan 48.75^\circ$$

$$= 1.14 \text{ m}$$

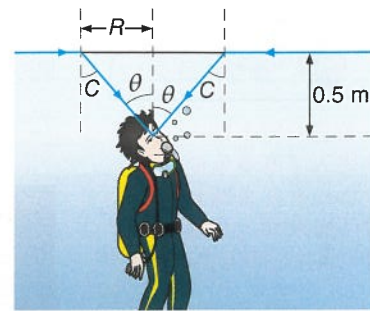
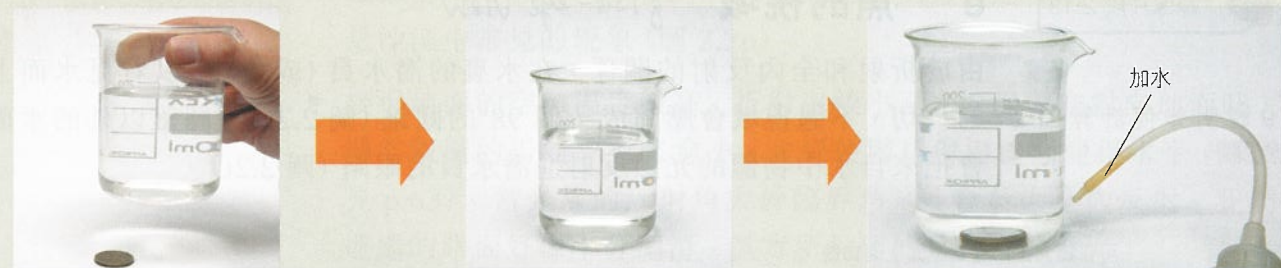


圖 a

進度評估 6 Q3 (p.65)

物理 DIY 全內反射小把戲

把一燒杯水放在硬幣上，硬幣便消失！在燒杯底加水，硬幣卻又再次出現。



把一燒杯水放在硬幣上

硬幣不見了

硬幣再次出現

把試管放進燒杯，然後把鉛筆放進試管。在燒杯內注水，鉛筆便消失，但在試管內注水，鉛筆卻又再次出現。



在燒杯內注水

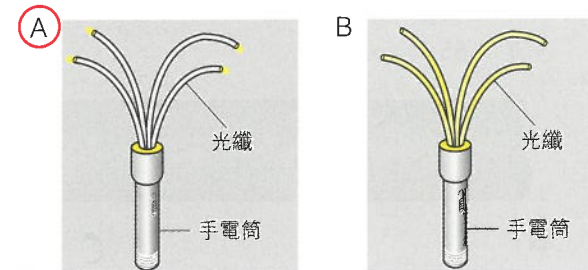
燒杯載有水

鉛筆再次出現

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.53)。

11 小雲將一束光纖連接手電筒。以下哪一幅圖正確顯示手電筒亮着時的情況？



12 在圖 a 繪畫光的路徑，以顯示光怎樣通過光纖。

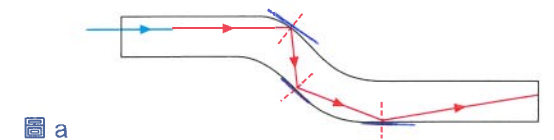
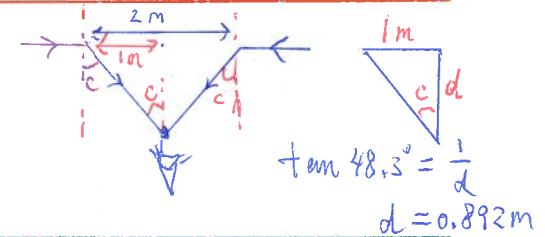


圖 a

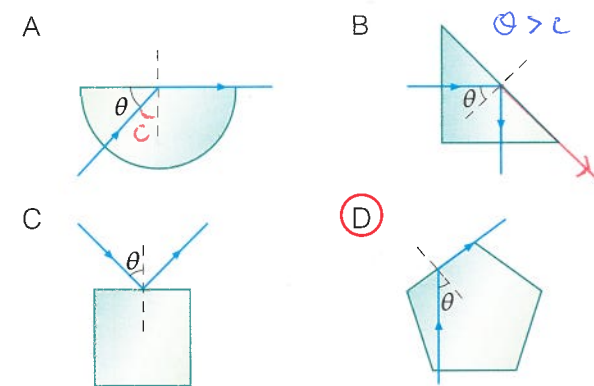
23 潛水員從海底向上望。如果潛水員視域的直徑是 2 m，他的眼睛位於水面以下多深？假設海水的折射率是 1.34。0.892 m

$$\left[\text{提示：臨界角 } C = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right) \right] = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.34}\right) = 48.3^\circ$$



習題與思考 2.2

1 下列哪一幅圖中，角 θ 表示玻璃與空氣交界面的臨界角？

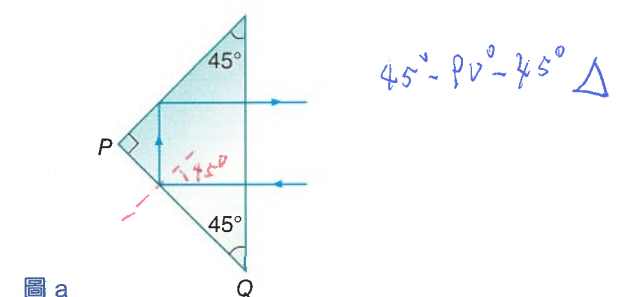
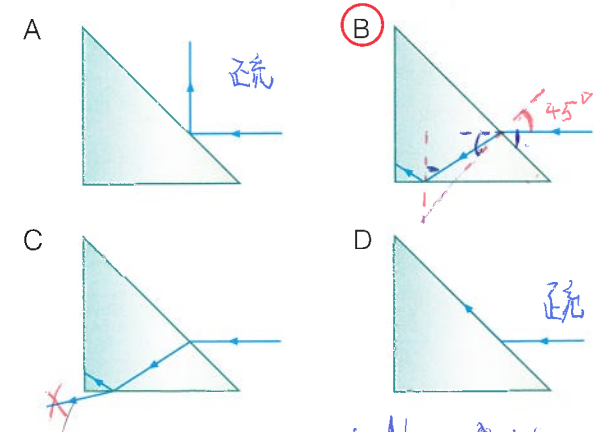


13 下列哪些現象由光的全內反射造成？色散

- (1) 白光通過稜鏡後形成色譜。
- (2) 炎熱天氣下出現海市蜃樓。✓
- (3) 光線沿彎曲的光纖前進。

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

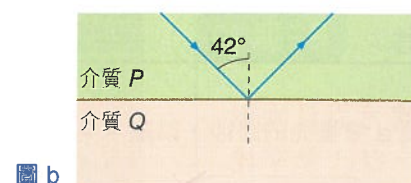
12 光線沿水平方向射向稜鏡。稜鏡的臨界角是 42° 。下列哪一幅光線圖是正確的？



如圖 a 所示，光線沿法線方向進入和離開 $45^\circ-90^\circ-45^\circ$ 稜鏡。下列哪些敘述必然正確？

- (1) 稜鏡的折射率是 1.41。→ $C = 45.17^\circ$
- (2) 稜鏡的臨界角是 45° 。
- (3) 如果用另一個折射率較大的稜鏡代替，光線仍會在 PQ 面發生全內反射。

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

★ 5
1, 2

光從介質 P 射向介質 Q。當入射線與法線之間的角度為 42° ，全內反射就會在交界面發生。下列哪些敘述必然正確？

- (1) P 的折射率比 Q 大。光密 → 光疏
(2) 臨界角是 42° 。 $c < 42^\circ$
(3) 隨着入射角繼續增加，反射線會愈來愈光亮。

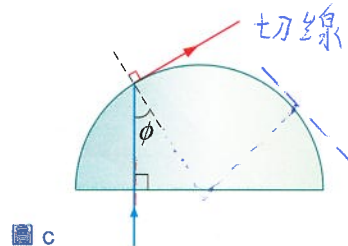
- (A) 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

- 2 6 (a) 冰的折射率是 1.31。求冰與空氣交界面的臨界角。 49.8° $\sin c = \frac{1}{n}$, $\sin c = \frac{1}{1.31}$

- (b) 油與空氣交界面的臨界角是 43.2° 。求油的折射率。 1.46 $n = \frac{1}{\sin c} = \frac{1}{\sin 43.2^\circ}$

- 2 7 光線從空氣進入某液體時，入射角是 45° ，折射角是 30° 。該液體與空氣交界面的臨界角是多少？ 45°
 $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = 1.41$, $\sin c = \frac{1}{1.41}$

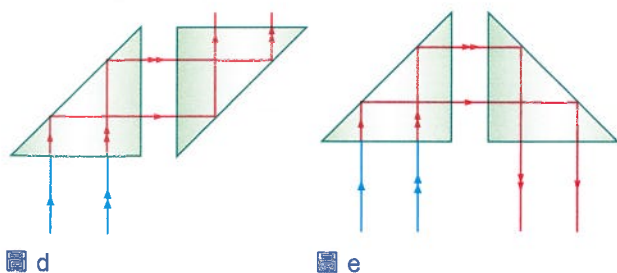
- 2 8 光線沿法線方向射向半圓玻璃塊的直邊，離開玻璃塊時折射角為 90° (圖 c)。玻璃的折射率是 1.52。



- (a) 在圖 c 繪畫折射線。

- (b) 求 ϕ 的值。 41.1° $\sin \phi = \frac{1}{1.52}$

- 1 9 圖 d 和 e 顯示兩種擺放稜鏡的方式。試完成光線進出稜鏡的路徑。



$$n_A \sin \theta_A = n_B \sin \theta_B$$

$$1.7 \sin 44.9^\circ = n_B \sin 90^\circ$$

- ★ 10 介質 A 與介質 B 交界面的臨界角是 44.9° 。介質 A 的折射率是 1.7。求介質 B 的折射率。假設介質 A 的折射率比介質 B 大。 1.20

- ★ 11 圖 f 的光纖只有玻璃內心，沒有包覆層。光線以角 θ 射到光纖內壁時發生全內反射。玻璃內心的折射率是 1.65。

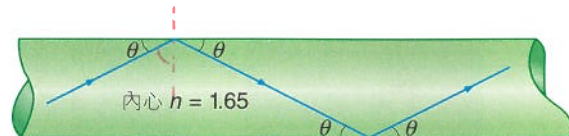


圖 f

$$\sin c = \frac{1}{1.65}$$

- (a) 求玻璃與空氣交界面的臨界角。 37.3°
(b) 如果要令光線留在光纖內， θ 的最大值是多少？ 52.7°

- ★ 12 在圖 g 的兩個方格內分別繪畫一個 $45^\circ-90^\circ-45^\circ$ 稜鏡，使光線按圖示的方向反射。 52.7°

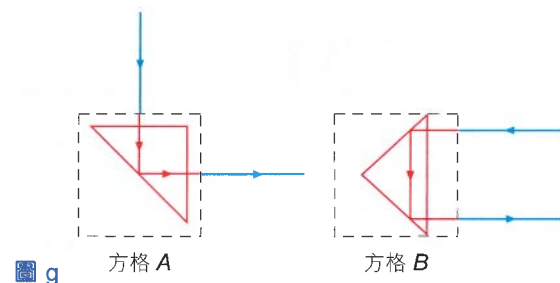


圖 g

- ★ 13 如圖 h 所示，光線從矩形玻璃塊的 AB 面射入。當 $i = 60^\circ$ ，光線在 BC 面發生全內反射，然後從 CD 面射出。

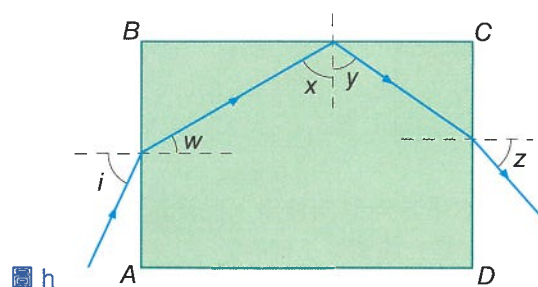


圖 h

玻璃塊的折射率是 1.5。

- (a) 計算角 w 、 x 、 y 和 z 的值。 $35.3^\circ, 54.7^\circ, 54.7^\circ, 60.0^\circ$
(b) 比較光線的入射角 i 與出射角 z 。相等
(c) 如果逐漸減少 i ，光線會否從 BC 面射出？試簡單解釋。不會

總結 2

詞彙

1 折射 refraction	p.38	8 色散 dispersion	p.47
2 介質 medium	p.38	9 視深 apparent depth	p.48
3 折射線 refracted ray	p.38	10 臨界角 critical angle	p.54
4 折射角 angle of refraction	p.38	11 全內反射 total internal reflection	p.54
5 斯涅耳定律 Snell's law	p.39	12 光導纖維 optical fibre	p.60
6 折射定律 laws of refraction	p.40	13 海市蜃樓 mirage	p.62
7 折射率 refractive index	p.41		

課文摘要

2.1 折射定律

- 1 光從一種介質進入另一種介質時出現的偏折現象稱為折射。

- 2 折射定律 (圖 a) :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{常數 (斯涅耳定律)}$$

其中 i 和 r 分別是入射角和折射角。

- 入射線、折射線與法線都在同一平面上。

- 3 物質 (如玻璃) 的折射率，可以用下列方程式表示

$$n_g = \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_g}$$

- 4 斯涅耳定律可以寫成

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

其中數字 1、2 表示光經過的兩種介質。

- 5 光線發生折射是由於它在兩種介質中的速率不同。

- 6 介質的折射率也等於光在空氣中的速率 c 與在介質中的速率 v 之比，即

$$n = \frac{c}{v}$$

- 7 白光通過稜鏡會分散成不同顏色，這個現象稱為色散。這顯示不同色光在稜鏡中的速率稍微不同。

- 8 折射的例子

- 從泳池的水面向下望，泳池似乎較實際為淺。
- 斜斜地插入水中的直尺好像折斷了。
- 透過不穩定的熱空氣看到的物體顯得模糊不清，而且搖曳不定。

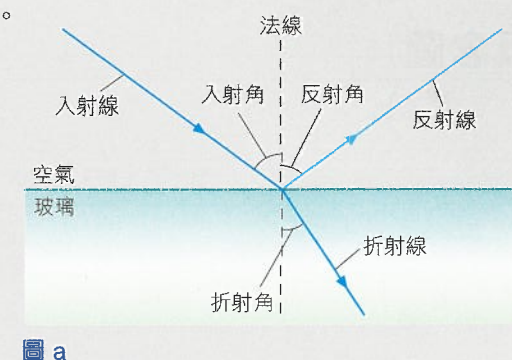


圖 a

2.2 光的全內反射

9 發生全內反射的條件 (圖 b) :

- 光線從光密介質進入光疏介質；以及
- 入射角 θ 大於臨界角 C 。

10 $n = \frac{1}{\sin C}$ 或 $C = \sin^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)$

其中 C 是介質與空氣交界面的臨界角， n 是介質的折射率。

11 全內反射的例子

- 光學儀器用稜鏡代替平面鏡，以避免產生多重影像。
- 鑽石閃閃生輝，原因是它把大部分入射的光線經全內反射從鑽石的頂部反射出來。
- 光線在光纖內壁發生一連串全內反射，藉此經光纖傳播。
- 光線從天空射向地面時，會因折射而逐漸變得水平，最後發生全內反射，產生海市蜃樓。
- 潛水員可看見水面上的一切，不過視域會壓縮成一個圓錐。圓錐以外的水面會把來自水中物體的光線反射進潛水員的眼睛。

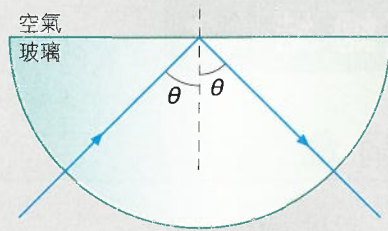
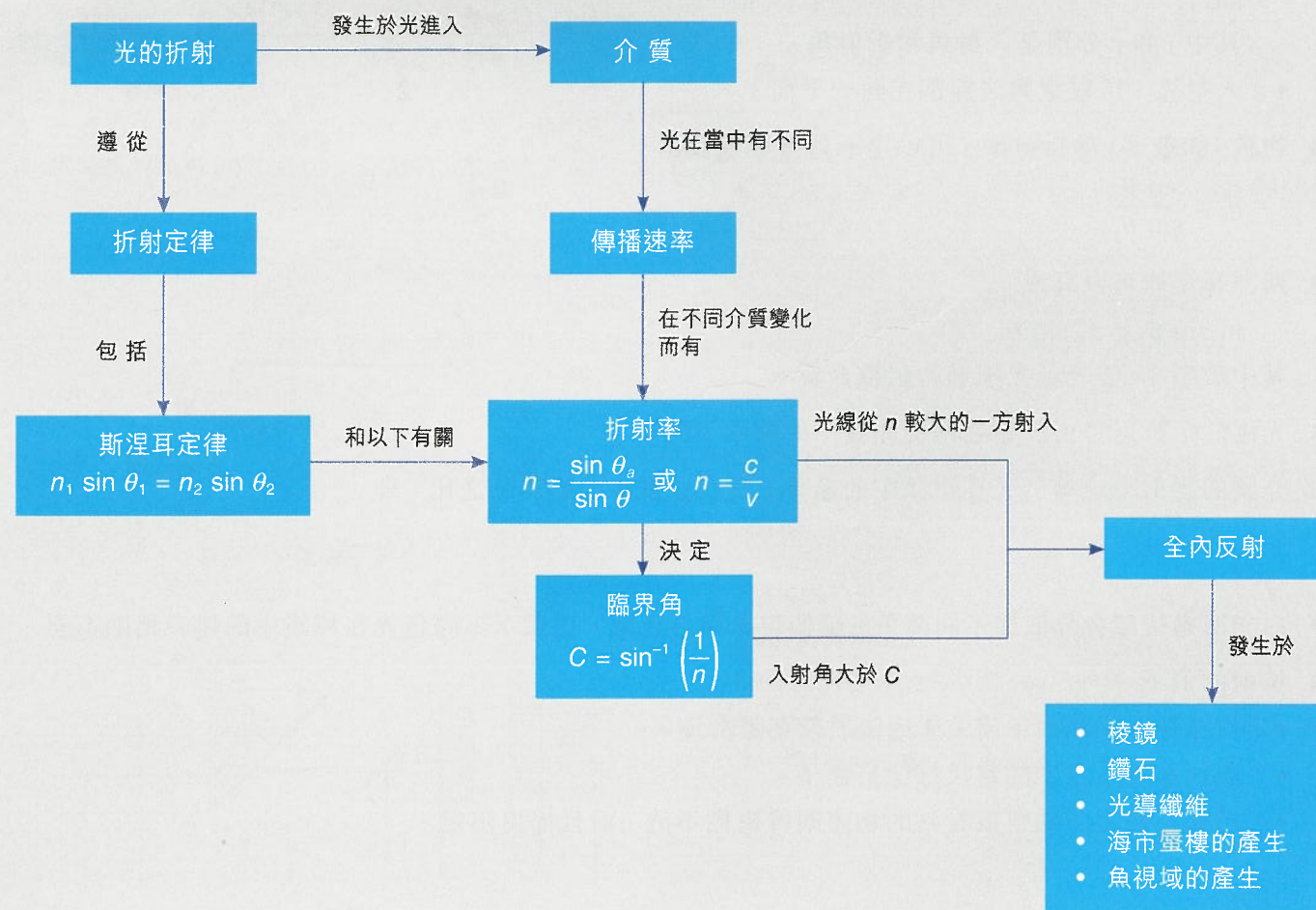


圖 b

概念圖



複習 2

Q2 只有當光線從光密介質進入光疏介質，例如從水進入空氣，才會發生全內反射。光線從空氣進入水，是從光疏介質進入光密介質，因此不會發生全內反射 (見 p.54)。

除特別指明外，光在真空中的速率為 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。

概念重溫

(第1至3題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 2.1 1 光發生折射是由於光在不同介質中的速率不同。T
- 2.2 2 如果光線從空氣射到水中時，入射角大於交界面的臨界角，光線便會發生全內反射。F
- 2.2 3 無論光線從空氣進入光纖的入射角是多少，它都能經彎曲的光纖，從一端傳播到另一端。F

多項選擇題

- 2.1 4 光線從某介質進入空氣 (圖 a)。如果折射角是 30° ，該介質的折射率是 1.4，入射角是多少？

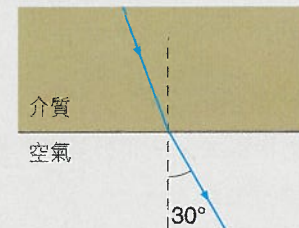
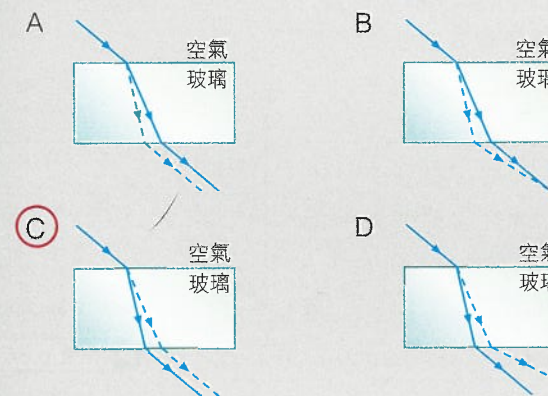


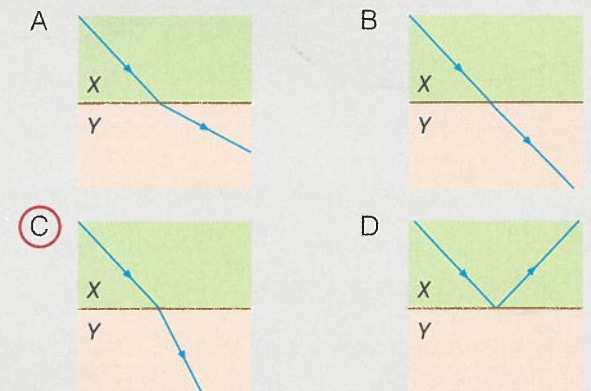
圖 a

- (A) 20.9° (B) 28.4°
(C) 30.0° (D) 44.4°

- 2.1 5 光線從空氣進入矩形玻璃塊，然後從玻璃塊的另一面離開。如果玻璃塊的折射率增大，下列哪一幅圖最能顯示光線原本的路徑 (以虛線表示) 及新的路徑 (以實線表示)？



- 6 在下列哪一幅圖中，光線射到介質 X 與介質 Y 的交界面後速率下降？



- 7 光線從油進入玻璃 (圖 b)。玻璃的折射率是 1.64。油的折射率是多少？

- A 1.23
B 1.29
(C) 1.47
D 2.08

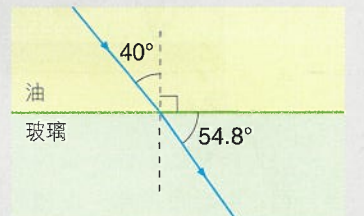


圖 b

- 8 全內反射發生時，下列哪些敘述必然正確？

- (1) 入射角等於臨界角。
(2) 光線從光密介質射向光疏介質。
(3) 反射角等於 45° 。

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

- 9

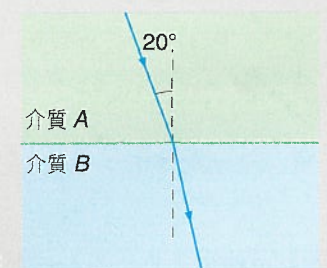


圖 c

光線從介質 A 進入介質 B (圖 c)，入射角是 20° 。光在介質 A 和介質 B 中的速率分別是 $1.5 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 和 $2 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。光線的折射角是多少？

- A 14.8° (B) 27.1°
C 30.9° (D) 43.2°

- ★ 10 介質 P 與介質 Q 交界面的臨界角是多少 (圖 d)?

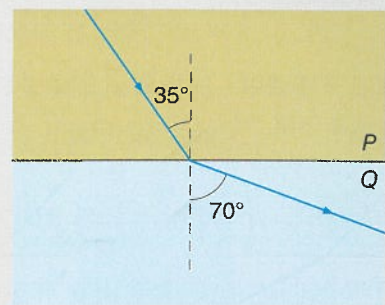


圖 d

- (A) 38° (B) 45°
(C) 48° (D) 55°

- ★ 11 女孩如圖 e 所示望着魚缸內的金魚。下列哪些敘述是正確的?

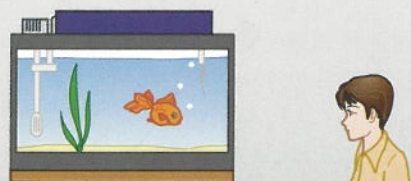


圖 e

- (1) 對女孩來說，金魚較實際近。
(2) 對金魚來說，女孩較實際遠。
(3) 金魚看不見女孩，因為光在魚缸壁發生全內反射。

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

- ★ 12 一條光導纖維包含玻璃 X 製的內心和玻璃 Y 製的包覆層 (圖 f)。 X 和 Y 的折射率分別是 1.67 和 1.54。



圖 f

如果光線在光導纖維內發生全內反射，圖中的角 θ 最大是多少?

- (A) 22.8°
(B) 36.8°
(C) 53.2°
(D) 67.2°

- ★ 13 介質 P 的折射率比介質 Q 小，而介質 P 與介質 Q 交界面的臨界角是 42° 。光線從 P 射向 Q ，入射線與交界面之間的角度是 40° (圖 g)。光線會出現下列哪一種情況?

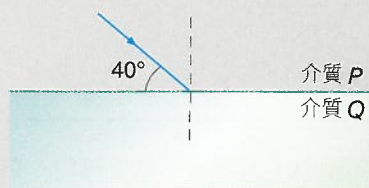


圖 g

- (A) 偏離法線
(B) 向法線偏折
(C) 發生全內反射
(D) 通過交界面而不偏折

- ★ 14 P 、 Q 和 R 是三個平排相連的透明方塊，由不同材料製成。如圖 h 所示，光線從 P 進入 Q ，然後再進入 R 。

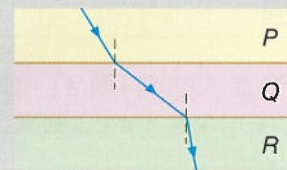


圖 h

下列哪些敘述是正確的?

- (1) Q 的折射率最大， R 的折射率則最小。
(2) Q 的光學密度比 R 高。
(3) 光在 R 中傳播得比在 P 中慢。

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

參看 p.43, 44

- ★ 15 學生把光線依次射進三種不同的介質 X 、 Y 和 Z ，然後量度入射角 i 和折射角 r ，繪畫出圖 i 所示的 $\sin i$ 對 $\sin r$ 關係線圖。在下列哪一個情況中，光必然不會發生全內反射?

- (A) 光從 X 射到 Y
(B) 光從 Y 射到 X
(C) 光從 Z 射到 Y
(D) 光從 Z 射到 X

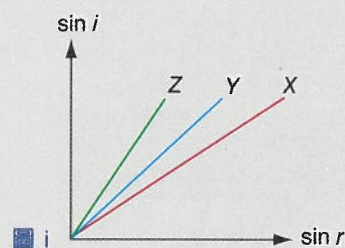
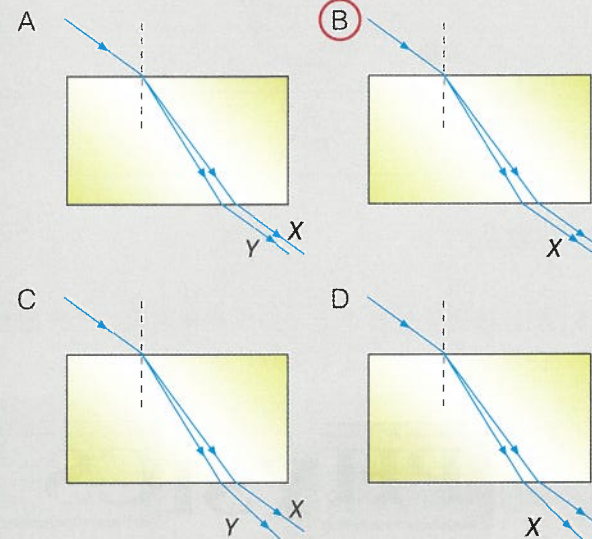


圖 i

參看 p.54

- ★ 16 由兩種不同色光 X 和 Y 組成的光束射向矩形玻璃塊。光束進入玻璃塊後，兩種色光分開。已知色光 Y 在玻璃塊內傳播得比色光 X 快。下列哪一幅光線圖正確顯示光束通過玻璃塊的情況?



參看 p.41, 45

- 2.1 17 香港中學會考 2007 年卷二 Q13

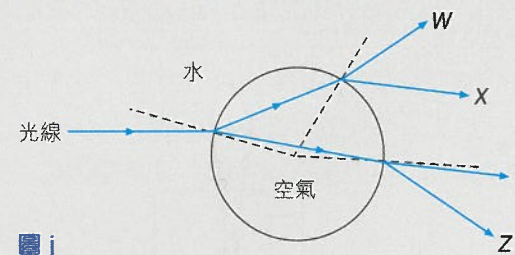


圖 j

圖 j 顯示一條光線從水中入射到一個空氣泡。哪一條光線最能表示出射線?

- (A) W (64%) (B) X
(C) Y (D) Z

- 2.1 18 香港中學會考 2009 年卷二 Q15

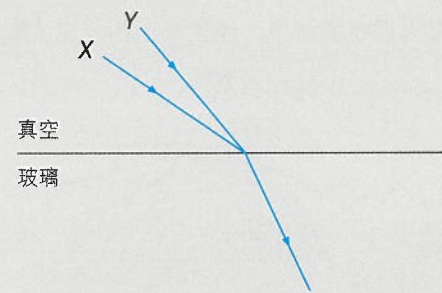


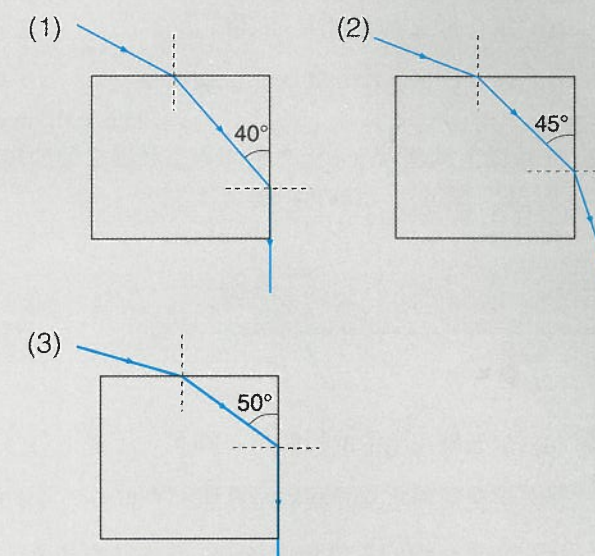
圖 k

兩種色光 X 和 Y 從真空進入玻璃。經過折射後，兩種色光在玻璃中的路徑相同。以下哪一項關於兩種色光的描述是正確的?

- (A) 對於 X ，玻璃有較大的折射率，而在真空中 X 和 Y 的速率相同。(49%)
(B) 對於 X ，玻璃有較大的折射率，而在真空中 X 的傳播比 Y 慢。
(C) 對於 X ，玻璃有較小的折射率，而在真空中 X 和 Y 的速率相同。
(D) 對於 X ，玻璃有較小的折射率，而在真空中 X 的傳播比 Y 快。

- 2.1 19 香港中學會考 2011 年卷二 Q39

一光線從空氣進入一透明長方體並射出。以下哪幅/哪些光線圖是~~不可能~~的? 虛線表示該表面的法線。



- (A) 只有 (1) (B) 只有 (3) (47%)
(C) 只有 (1) 和 (2) (D) 只有 (2) 和 (3)

- 2.1 20 香港中學文憑考試 2014 卷一甲部 Q15

圖示一條光線由介質 I 傳播至介質 III 的路徑，各個界面互相平行。試把光在各介質中的速率以升序排列。

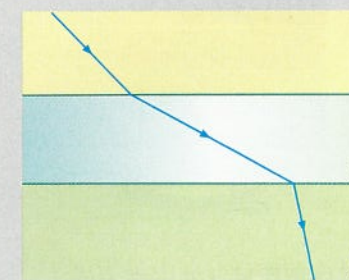
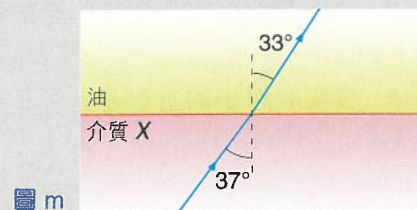


圖 l

- (A) $I < III < II$ (B) $II < III < I$
(C) $III < I < II$ (78%) (D) $III < II < I$

問答題

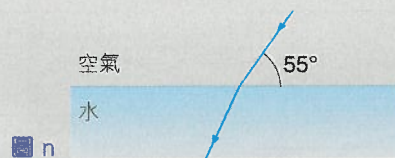
- 2.1 21 光線從介質 X 進入油中 (圖 m)，入射角是 37° ，折射角則是 33° 。油的折射率是 1.47。



- (a) 介質 X 的光學密度比油低還是高？試簡單解釋。**低** (2 分)
 (b) 求介質 X 的折射率。**1.33** (2 分)
 (c) 據此計算光在介質 X 中的速率。

$$2.26 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

- 綜合題 22 光線從空氣進入水中，入射線與交界面之間的角度是 55° (圖 n)。水的折射率是 1.33。



- (a) 求光線在水中的折射角。 **25.5°** (2 分)
 (b) 求空氣與水交界面的臨界角。 **48.8°** (2 分)
 (c) 如果光線的入射角大於 (b) 部求得的角度，它會發生全內反射嗎？試簡單解釋。**不會** (2 分)

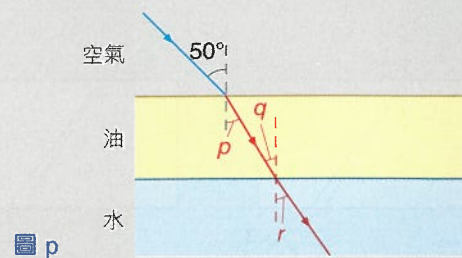
- 2.1 23 如圖 o 所示，學生把耐火玻璃棒放進燒杯裏，浸在菜油中的一截看似消失了。水和菜油的折射率分別是 1.33 和 1.47。



- (a) 為甚麼玻璃棒在油中會消失？ (1 分)
 (b) 估算耐火玻璃的折射率。**1.47** (1 分)
 (c) 據此，找出光在耐火玻璃中的速率。

$$2.04 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

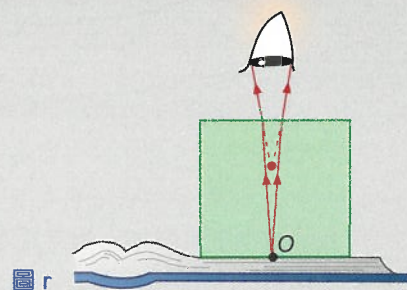
- ★ 24 光線從空氣進入油中，然後再進入水中 (圖 p)。試完成光線的路徑，並找出過程中光線在交界面與法線之間的所有角度。油和水的折射率分別是 1.47 和 1.33。 **$p = q = 31.4^\circ, r = 35.2^\circ$** (6 分)



- ★ 25 兩塊玻璃置於書本上。如果從玻璃塊的上方觀看印在書上的文字，文字看似升高了 (圖 q)。

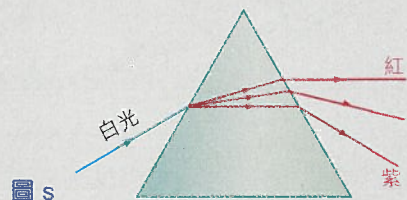


- (a) 完成圖 r 的光線圖，以顯示眼睛透過玻璃塊看到的 O 點比直接看書時的位置升高了。(2 分)



- (b) 如果把這玻璃塊換成另一折射率較大的玻璃塊，然後透過它來看書上的文字，文字會顯得怎樣？**更高** (1 分)

- ★ 26 一束白光通過稜鏡後，產生彩色的光譜 (圖 s)。



- (a) 寫出這種現象的名稱。**色散** (1 分)
 (b) 解釋為甚麼會產生光譜。 (3 分)
 (c) 在圖 s 繪畫光線，以顯示光譜怎樣形成。標示光譜兩端的顏色。 (2 分)

- ★ 27 樂成在海中潛水時向上望 (圖 t)，在一個圓錐內看到水面以上的景物。圓錐的角度是 98° ，直徑是 0.8 m。

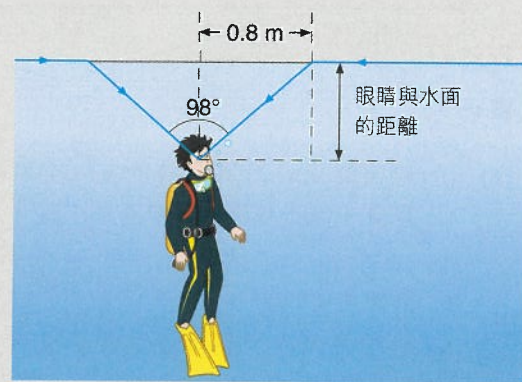


圖 t

- (a) 他的眼睛位於水面以下多深？**0.695 m** (2 分)
 (b) 解釋在以下情況中圓錐的角度有甚麼改變。
 (i) 樂成改為在淡水湖中潛水。**增加** (3 分)
 (ii) 水面蓋了一層油。**不變** (3 分)
 已知：海水的折射率略大於淡水，而油的折射率則大於海水。

- ★ 28 (a) 我們日常用的平面鏡由一塊玻璃片鍍上一層銀色反光物料而成。從物體發出的光線射到平面鏡時，光線會如圖 u 所示傳播，產生多個像。

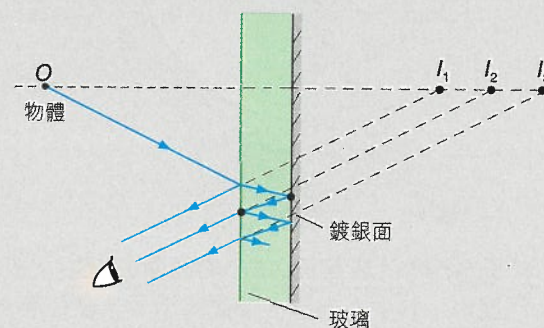


圖 u

根據圖 u，指出在 P 點和 Q 點出現的現象。
P：反射；Q：反射和折射 (3 分)

- (b) 稜鏡可以當作「平面鏡」使用。
 (i) 把稜鏡當作「平面鏡」使用時，涉及哪一種現象？**全內反射** (1 分)
 (ii) 繪畫光線圖，以顯示稜鏡怎樣當作「平面鏡」使用。 (2 分)
 (iii) 舉出一個稜鏡成像比平面鏡成像優勝之處。 (1 分)

- ★ 29 學生把激光束斜斜地射進水缸。水缸內盛了糖溶液，較接近底部的溶液濃度較高。如圖 v 所示，激光束通過溶液時向下偏折。



圖 v

- (a) 描述糖溶液的折射率怎樣隨濃度改變。(1 分)
 (b) 隨後，學生把激光束從較高的位置斜斜地向下射進水缸 (圖 w)。
 (i) 在糖溶液內會發生全內反射嗎？試簡單解釋。**不會** (3 分)
 (ii) 激光束會怎樣偏折？在圖 w 草繪出它的路徑。 (1 分)

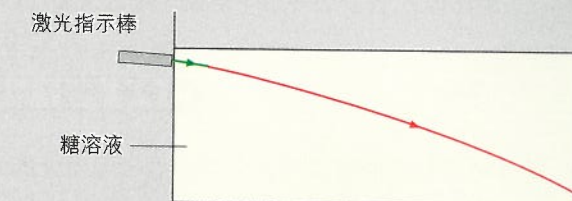


圖 w

- ★★ 30 綜合題 如圖 x 所示，光線入射玻璃塊內的空氣泡。玻璃塊的折射率是 1.62。空氣泡呈球狀，中心點位於 O 點。

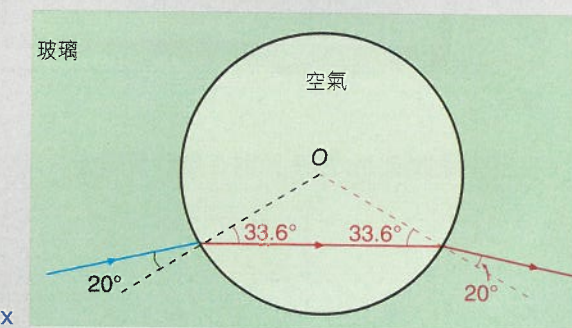
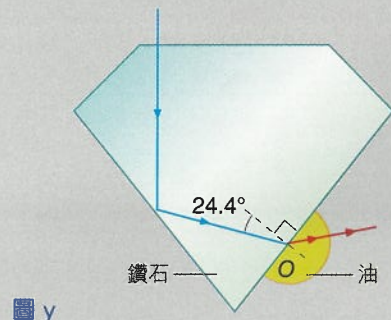


圖 x

- (a) 找出光線在空氣中的折射角。 **33.6°** (2 分)
 (b) 光線在空氣泡內會發生全內反射嗎？試簡單解釋。**不會** (3 分)
 (c) 在圖 x 繪畫光線的路徑，以顯示光線怎樣從空氣泡射出玻璃。 (2 分)

▶ 參看 例題 6 (p.55)

- ★★ 31 如圖 y 所示，光線進入鑽石，經全內反射後，到達其中一個琢面，入射角為 24.4° 。在鑽石表面的 O 點有一滴油黏附着。鑽石與空氣交界面的臨界角是 24.4° ，油的折射率是 1.40。



- (a) 求鑽石的折射率。2.42 (2 分)
- (b) 求鑽石與油交界面的臨界角。35.3° (2 分)
- (c) 簡單解釋為甚麼當油滴黏附在鑽石表面時，鑽石會失去光澤。 (2 分)
- (d) 完成圖 y 的光線圖，以顯示光線到達 O 點後的路徑。假設油滴是半球體，中心點是 O 點。 (2 分)

▶ 參看 例題 7 (p.59)

- ★★ 32 磨砂玻璃製成的窗能夠讓光線通過，但窗外的人卻無法透過玻璃看清楚室內情況。



圖 z

平行光線如圖 aa 所示照射在磨砂玻璃上。

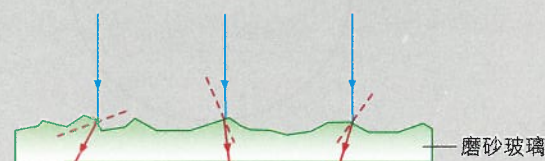


圖 aa

- (a) 在圖 aa 完成光線的路徑。 (1 分)
- (b) 解釋磨砂玻璃的原理。 (3 分)

▶ 參看 p.41

☆ 略去(b)(ii)、(iii)部

33 WJEC GCE Summer 2010 PH2 Q3

學生從玻璃塊的一端射進一條幼細的光束(圖 ab)。



圖 ab

- (a) (i) 根據圖 ab，計算入射角 x 。(空氣的折射率是 1.00，玻璃的折射率是 1.52。) (3 分)
- (ii) 計算角 y 。65° (1 分)
- (iii) 證明光束在 P 點不會經折射進入空氣。 (2 分)
- (iv) (1) 光束在 P 點改變了傳播方向。這過程稱為甚麼？全內反射 (1 分)
- (2) 比較角 z 與角 y 的大小。相等 (1 分)
- (b) 用於數據傳輸的玻璃纖維由中央的玻璃內心，以及折射率較小的玻璃包覆層組成。試指出內心外圍加上包覆層比直接與空氣接觸的一個優勝之處。 (1 分)

34 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q5

綜合題

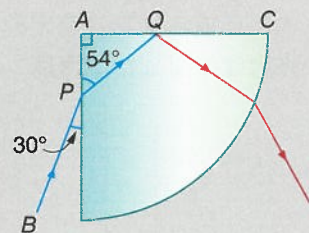


圖 ac

圖 ac 顯示玻璃塊 ABC 的截面。 ABC 為四分之一圓形，其中心為 A 。如圖所示，一條紅色光線於 P 點入射 AB 面，而折射光線射向 AC 面的 Q 點。

- (a) 計算玻璃對紅光的折射率。1.47 (2 分)
- (b) 解釋為甚麼光線射向 AC 面的 Q 點時會全部被反射。 (2 分)
- (c) 在圖 ac 草繪光線隨後的路線，直至它最終從玻璃塊出射到空氣。 (2 分)
- (d) 如果入射的是白色光線，當它最終從玻璃塊出射時可觀察到甚麼？光譜 (1 分)

實驗題

- ★ 35 在一個驗證折射定律的實驗中，學生把光線從空氣射入有機玻璃塊中。表 a 列出實驗結果。

入射角 i	折射角 r
10°	8°
20°	15°
30°	20°
40°	26°
50°	31°
60°	36°
70°	39°
80°	42°

表 a

- (a) 標繪合適的線圖，以找出有機玻璃的折射率。1.46 (4 分)
- (b) 我們不應應用某一組數據來計算有機玻璃的折射率。為甚麼？ (2 分)
- (c) 寫出實驗的兩個誤差來源。 (2 分)

- ★ 36 你將獲提供以下儀器(圖 ad)。

綜合題

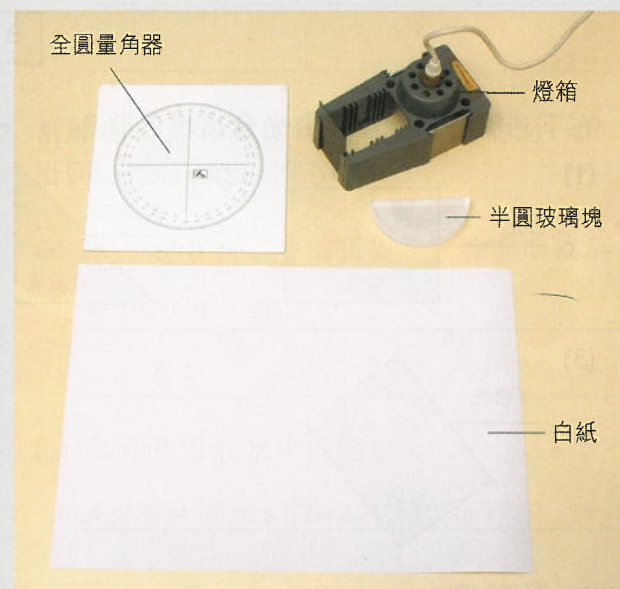


圖 ad

Q37 考試報告：這是使用半圓形玻璃塊產生反射和折射的題目。考生表現良好。

- (b) (ii) 能力較弱的考生未能正確完成直至光束最後射出玻璃塊的路徑。考生似乎並不知道半徑 OX 是光線到達表面位置 X 時的法線，和未能正確繪出光束在 X 位置反射的方向。
- (c) 很多考生能正確繪出在 Y 位置折射光束的路徑。然而部分考生沒有標示題目要求的折射角。

- (a) 描述如何利用這些儀器做實驗，以驗證折射定律中 i 和 r 的關係。 (5 分)
- (b) 描述如何利用同一組儀器做實驗，以找出半圓玻璃塊的臨界角。 (3 分)

37 香港中學會考 2008 年卷一 Q10

綜合題

在一項實驗中，一位教師將一束紅光從空氣法向射入一圓心為 O 的半圓形玻璃塊的直邊(見圖 ae)。玻璃的折射率為 1.48。

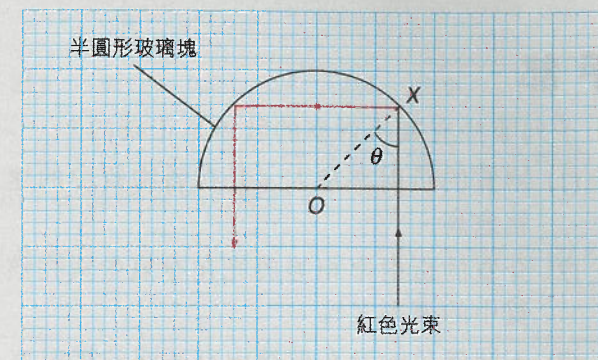


圖 ae

- (a) 求玻璃塊的臨界角。42.5° (2 分)
- (b) 若 $\theta = 45^\circ$ ，
- (i) 描述並解釋當光束到達 X 點時，會發生甚麼情況。 (2 分)
- (ii) 在圖 ae 中，完成光束的路徑直至光束最後射出玻璃塊進入空氣。 (2 分)
- (c) 若光束以相同方向但距 O 點較近處射入玻璃塊，而 $\theta < 40^\circ$ ，在圖 af 中草繪出光束於 Y 點的折射路徑，並標示折射角為 r 。 (2 分)

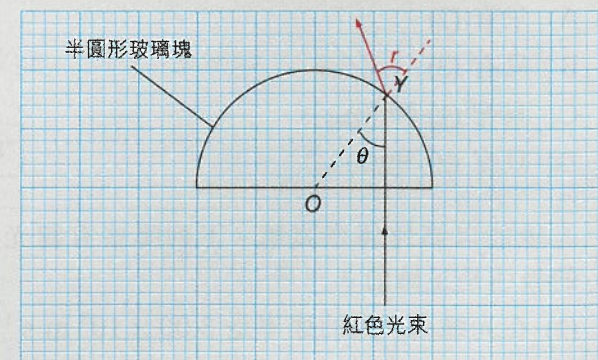


圖 af

自我評核 2

時間：25 分鐘 總分：19 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

2.1 1 下列哪些有關折射率的敘述是正確的？

- 物質的折射率愈大，光在該物質中的速率就愈高。
- 介質的折射率相等於光在空氣中與在該介質中的速率之比。
- 不同顏色的光在玻璃中有不同的折射率。

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

C

2 光線從光密介質射向光疏介質。下列哪項必然正確？

- 全內反射一定不會發生。
- 如果光線通過交界面，它會偏離法線。
- 如果光線通過交界面，它的速率會增加。

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

D

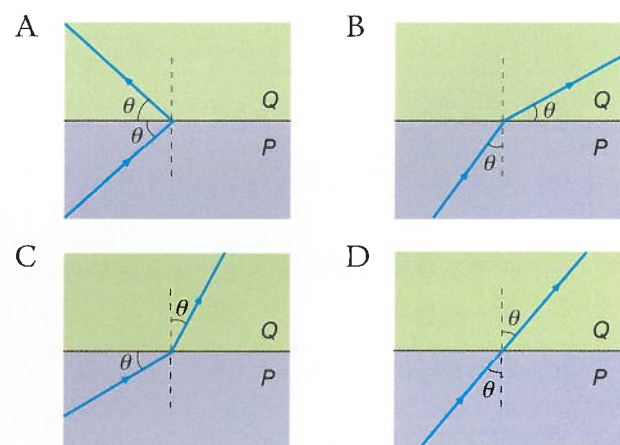
3 光纖能以高速傳送訊號。下列哪些有關光纖的敘述是正確的？

- 在光纖內，光的速率是 $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 。
- 在光纖內傳播時，光會發生折射。
- 外圍包覆層的折射率必然小於內心。

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

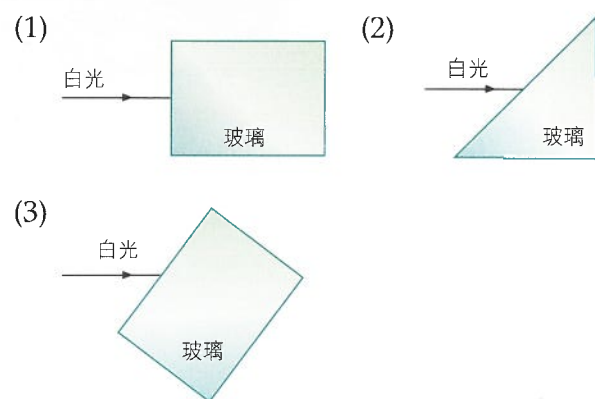
B

4 光線從光密介質 P 射向光疏介質 Q 。下列哪一幅圖所顯示的可能是該光線的路徑？



B

2.1 5 在下列哪些情況中，白光會出現色散？



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

C

乙部

6 玻璃、無色的鉛石、鑽石三種物質看起來十分相似，但折射率卻完全不同。表 a 列出這三種物質的折射率。

物質	折射率
鑽石	2.42
鉛石	1.96
玻璃	1.70

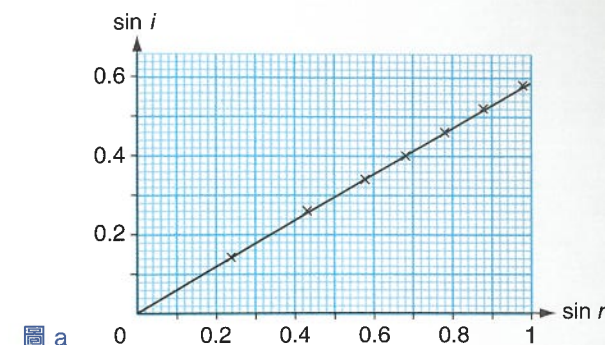


表 a

研究員要測試一塊透明寶石，以分辨它含有以上哪一種物質。他量度光線從寶石進入空氣時的入射角 i 和折射角 r ，並利用所得的數據標繪 $\sin i$ 對 $\sin r$ 的關係線圖 (圖 a)。

(a) $\sin r = 1$ 時， i 的值是多少？這個 i 值有甚麼物理意義？ (2 分)

35.5°

(b) 入射角 i 大於 (a) 部求得值時，光線會出現甚麼情況？ (1 分)

(c) 找出寶石的折射率，並由此辨別寶石所含的物質。 (3 分)

玻璃

7 兩種色光 A 和 B 從空氣射到水面的同一點，入射角分別是 37.8° 和 38.2° 。它們經折射後，在水中沿同一路徑傳播 (圖 b)。

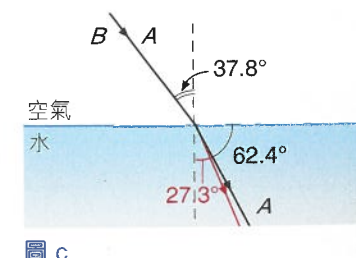
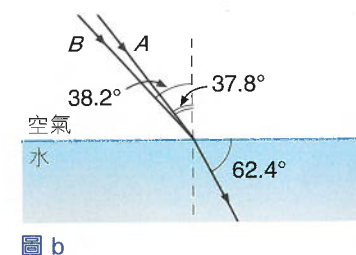
(a) 求 A 和 B 在水中的折射率，答案準確至 3 個小數位。 (3 分)

A: 1.323; B: 1.335

(b) 求 A 和 B 在水中的速率。 (3 分)

A: $2.27 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$; B: $2.25 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

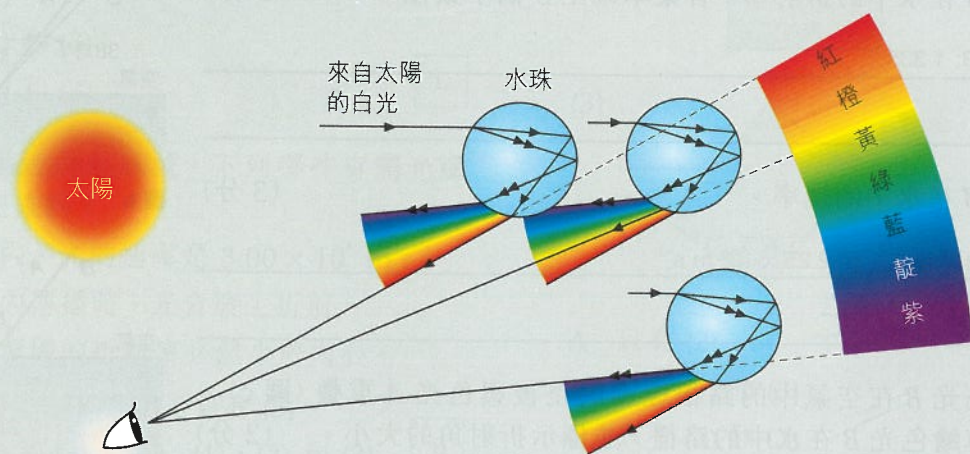
(c) 現在，色光 B 在空氣中的路徑經過調整後與色光 A 重疊 (圖 c)。在圖 c 草繪色光 B 在水中的路徑，並標示折射角的大小。 (2 分)



彩虹

有時，雨後會出現彩虹，這種現象由陽光的色散造成。

雨後不久，空氣中仍有很多小水珠。這時，太陽出來，陽光通過每顆水珠後發生色散，形成色譜。每顆水珠都會產生完整的色譜，但從每顆水珠到達我們眼睛的色光只有一種。不同色光組合起來後，便形成一道上方呈紅色、下方呈紫色的彩虹。



3

透鏡

我們在這課會學到

- 凸透鏡怎樣成像
- 凹透鏡怎樣成像
- 透鏡成像的特性
- 透鏡公式

3.1

凸透鏡與凹透鏡

起點 冰能生火？

怎樣可以利用冰來生火呢？ 參閱第 82 頁「生活中的物理」。



✓ 本節重點

- 1 凸透鏡
- 2 凹透鏡

透鏡通過折射成像。有些透鏡中心較邊緣厚，這種透鏡稱為**凸透鏡**。相反，有些透鏡中心較邊緣薄，這種透鏡稱為**凹透鏡**（圖 3.1a）。兩種透鏡在日常生活中用途廣泛（圖 3.1b）。

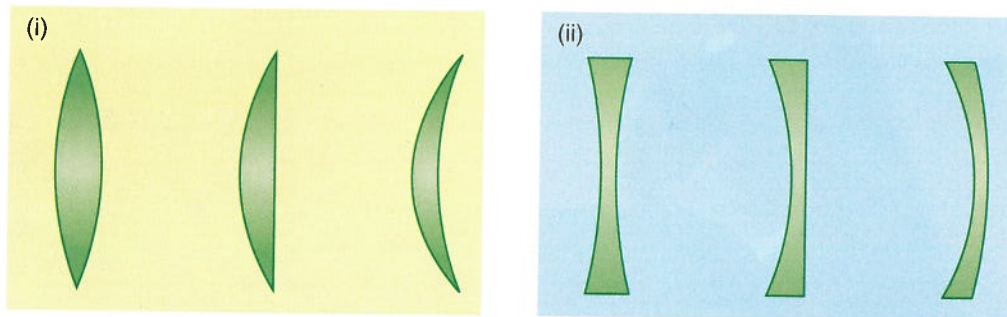


圖 3.1a 不同類型的 (i) 凸透鏡和 (ii) 凹透鏡的切面圖

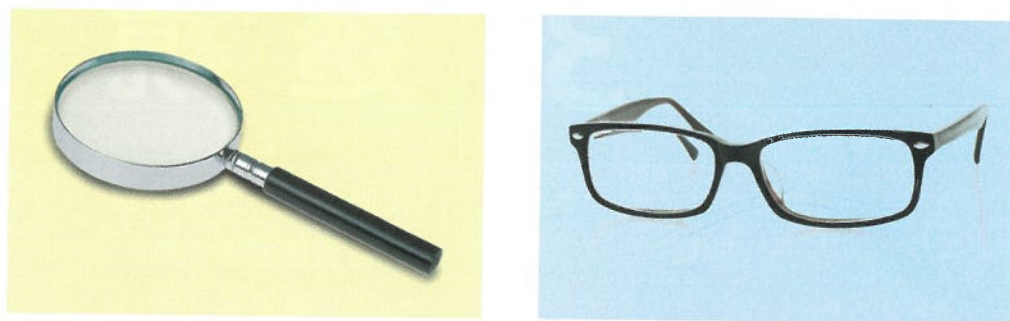


圖 3.1b 放大鏡和近視眼鏡分別安裝了凸透鏡和凹透鏡

透鏡 lens 凸透鏡 convex lens 凹透鏡 concave lens

 寧路德透鏡由英國考古學家萊亞德發掘。該透鏡或被亞述人用作放大鏡使用，它的焦距約為 12 cm。

歷史點滴

最古老的透鏡

寧路德透鏡是目前發挖出來的透鏡之中最古老的。它是一塊水晶透鏡，製造於 2700 年前美索不達米亞這個古代地域（位於現今的伊拉克）。



在大英博物館展出的寧路德透鏡

→ 錄像片段 3.1 示範實驗 3a。

錄像片段 3.1

1 會聚還是發散光線？



實驗 3a

光線在凸透鏡和凹透鏡中折曲

- 1 把平行光線射向凸透鏡（圖 a）。觀察光線通過透鏡後的情況。
- 2 把一條光線射向凸透鏡（圖 b），然後改變光線的入射方向，觀察光線通過透鏡後怎樣折曲。
- 3 以凹透鏡重複步驟 1 和 2（圖 c 和 d）。



圖 a

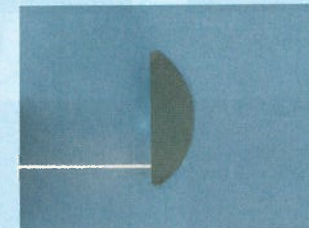


圖 b



圖 c

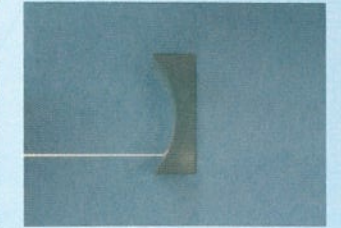


圖 d

討論

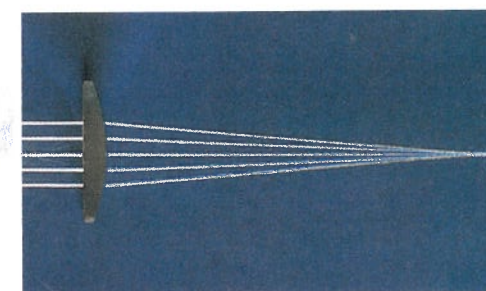
光線通過凸透鏡和凹透鏡後怎樣折曲？

凸透鏡把平行光線會聚到一點。一般而言，光線通過凸透鏡後向內折曲。
凹透鏡把平行光線從一點發散開去。一般而言，光線通過凹透鏡後向外折曲。

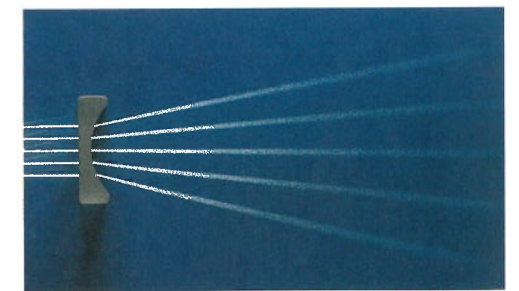
凸透鏡把平行光線會聚到一點，因此又稱為**會聚透鏡**。相反，凹透鏡把平行光線從一點發散開去，因此又稱為**發散透鏡**（圖 3.1c）。

光線經凸透鏡和凹透鏡的偏折遵從折射定律。

我們可以把透鏡設想為由眾多稜鏡組成（圖 3.1d）。光線進入或離開稜鏡時，會發生折射。這就是透鏡會聚或發散光線的原因。



(i) 凸透鏡（會聚透鏡）



(ii) 凹透鏡（發散透鏡）

圖 3.1c 平行光線通過透鏡後的情況

 可向學生提問：怎樣在曲面上繪畫法線？

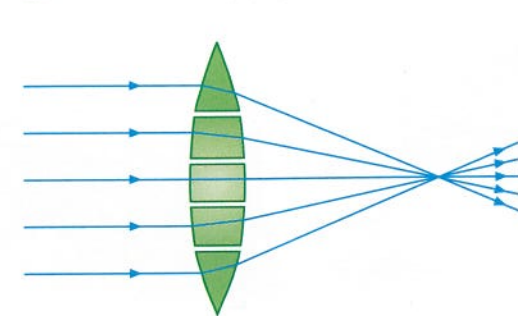
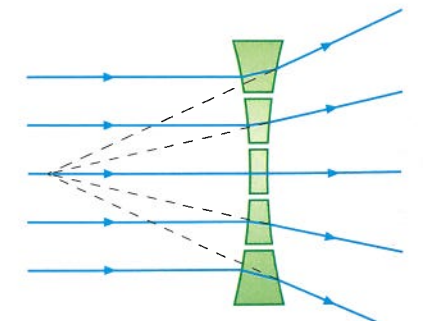


圖 3.1d 透鏡可以設想為由眾多稜鏡組成



會聚透鏡 converging lens 發散透鏡 diverging lens

介紹了主軸後，可強調凸透鏡使光線向主軸偏折，凹透鏡則使光線偏離主軸。

一般而言，凸透鏡把光線向內折曲（圖 3.1e），凹透鏡則把光線向外折曲（圖 3.1f）。但如果光線通過透鏡的中心點，就不會改變方向（圖 3.1g）。

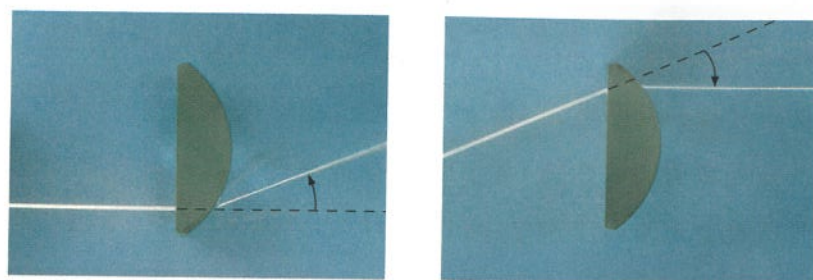


圖 3.1e 凸透鏡把光線向內折曲

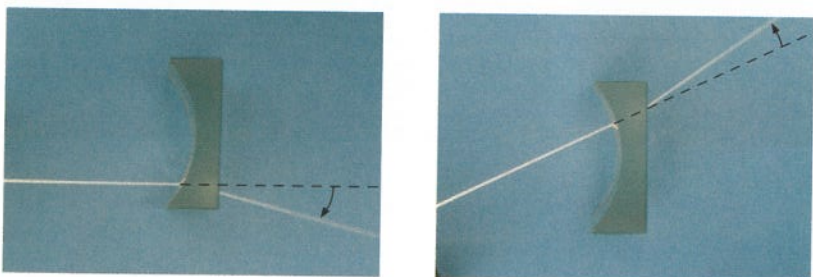


圖 3.1f 凹透鏡把光線向外折曲

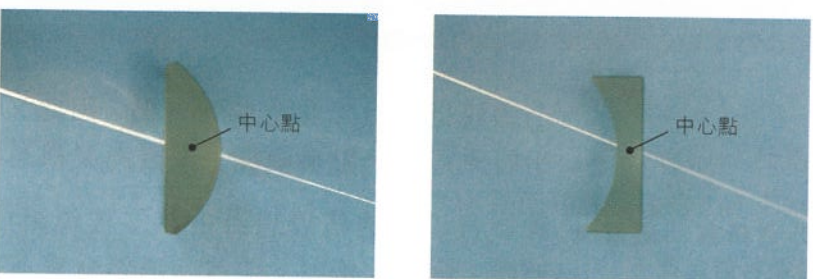


圖 3.1g 通過透鏡中心點的光線不會改變方向

生活中的物理 用凸透鏡生火

在起點中，可以把冰塊磨成凸透鏡的形狀，製成的冰透鏡可將平行的陽光聚焦到一點，集中陽光的能量，令這一點的溫度大幅上升。此外，也可用放大鏡（圖 a）或其他安裝了凸透鏡的工具生火。

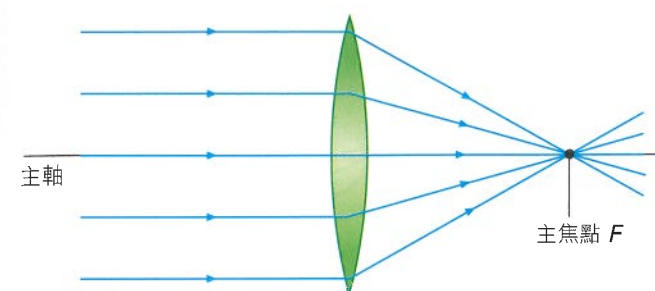


圖 a

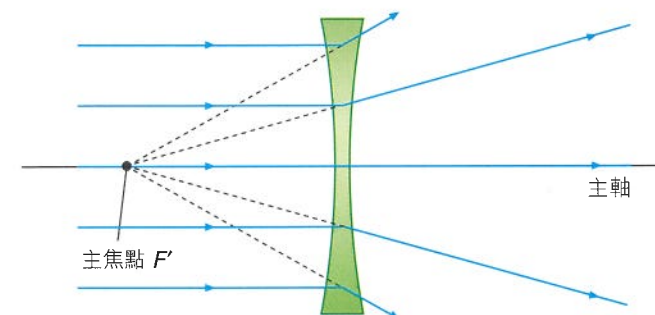
用這些方法生火時要注意安全。

2 透鏡的特徵

透鏡（凸透鏡或凹透鏡）有以下特徵（圖 3.1h）：



(i) 凸透鏡



(ii) 凹透鏡

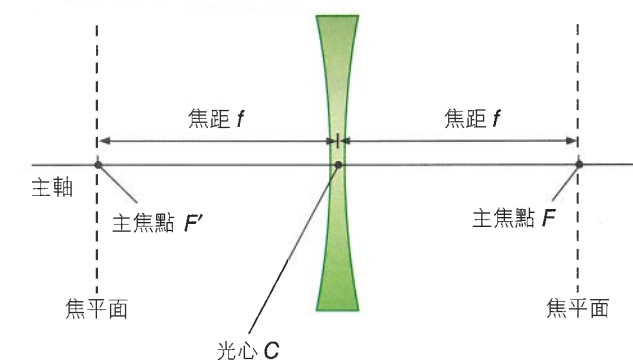
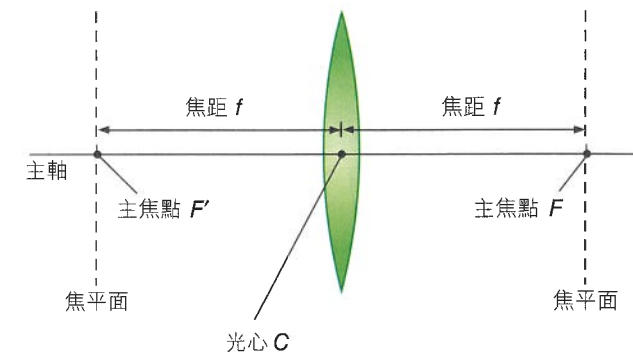


圖 3.1h 透鏡的特徵

光心 (C)：透鏡的中心。通過光心的光線不會改變方向。

主軸：通過光心並垂直於透鏡鏡面的線。

主焦點 (F 或 F')：對於凸透鏡來說，與主軸平行的光線通過透鏡後會會聚於一點，該點就是凸透鏡的主焦點；對於凹透鏡而言，與主軸平行的光線通過透鏡後會看似從一點發散出來，該點就是凹透鏡的主焦點。

每塊透鏡都有兩個主焦點，分別位於透鏡的兩側。

焦距 (f)：由焦點至光心的距離。曲率較大（較厚）或折射率較大的凸透鏡使光線會聚的幅度較大，因此焦距較短；曲率較大或折射率較大的凹透鏡使光線發散的幅度較大，因此焦距也較短。

焦平面：通過焦點並垂直於主軸的平面。

部分學生以為光線會聚在焦點 F 後便停下來。提醒他們光線通過透鏡並會聚於焦點 F 後，會繼續傳播。

進度評估 1

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.80)。

- 1 1 光線如圖 a 所示射向凸透鏡。X、Y 和 Z 哪一個最能表示光線的路徑？ Z
- 2 2 光線如圖 b 所示射向凹透鏡。X、Y 和 Z 哪一個最能表示光線的路徑？ X

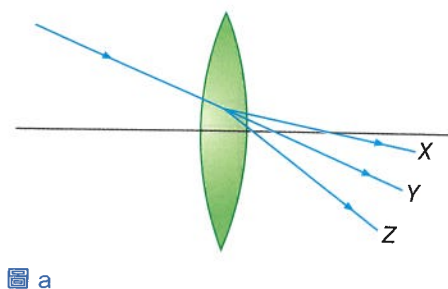


圖 a

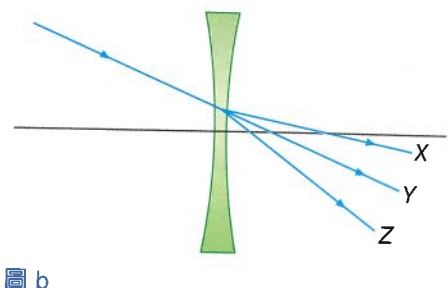
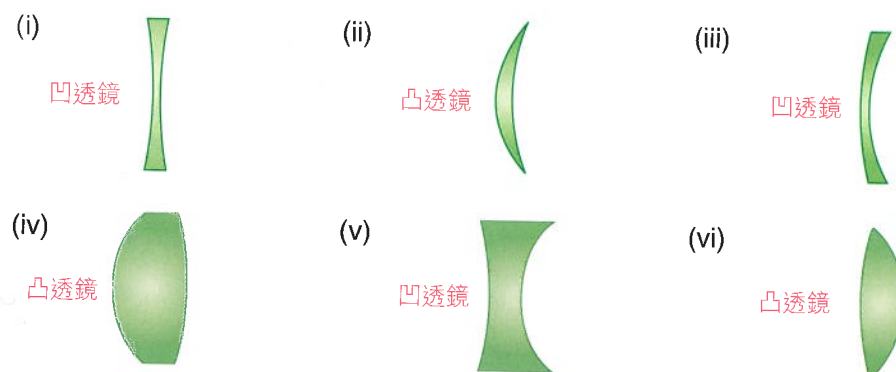


圖 b

習題與思考 3.1

- 1 1 下列哪些有關凸透鏡的敘述是正確的？
- (1) 它是發散透鏡。
 - (2) 它的中心較厚。
 - (3) 它透過折射把光線曲折。
- A 只有 (1) B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) D 只有 (2) 和 (3)

- 1, 2 2 辨別以下鏡片是凸透鏡還是凹透鏡。



- 1 3 圖 a 顯示一塊凸透鏡。兩條與主軸平行的光線射向透鏡。

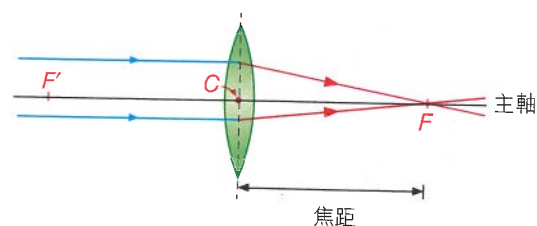


圖 a

- (a) 試解釋焦距怎樣隨凸透鏡的厚度改變。
- (b) 在圖 a 標示凸透鏡的光心和主焦點。
- (c) 完成兩條光線的路徑。

3.2

凸透鏡成像

起點

透過露珠看風景

蜘蛛網上掛着一串串露珠。仔細觀察這些露珠，會看見倒轉的景色，十分有趣。為甚麼那些景色是倒轉的？參閱第 93 頁頁底文字。



✓ 本節重點

- 1 實像和虛像
- 2 透鏡成像的作圖法
- 3 像的性質與位置
- 4 放大率
- 5 像的亮度
- 6 透鏡公式

1 凸透鏡成像

凸透鏡會聚光線成像。在這單元，我們會研究凸透鏡形成的像。



模擬程式 3.1
錄像片段 3.2

→ 模擬程式 3.1 展示凸透鏡如何成像。

→ 錄像片段 3.2 示範實驗 3b。透鏡在屏幕上形成像，顯示成像的位置是透鏡前方的區域，而不是如某些學生所想，在透鏡背後或表面形成。

燈箱、透鏡和眼睛 (或屏幕) 必須成一直線。

使用焦距為 15–30 cm 的凸透鏡。



實驗 3b

觀察凸透鏡形成的像

- 1 把寫上字母「F」的透明膠片加入燈箱，在燈箱前放置一塊凸透鏡，兩者之間的距離要較凸透鏡的焦距長。移動半透明屏幕，直至屏幕上出現清晰的像 (圖 a)。
- 2 拿走屏幕 (圖 b)，你還能看見像嗎？能夠
- 3 改變透鏡的位置，使兩者之間的距離較凸透鏡的焦距短。你能看見像嗎？移動半透明屏幕，看看能否把像投射在屏幕上。不能把像投射在屏幕上。



圖 a



圖 b

討論

在步驟 1，向前或向後稍為移動屏幕，屏幕上的像能保持清晰嗎？不能

從實驗 3b，我們知道凸透鏡可以形成兩種像：實像和虛像。

a 實像

在實驗的步驟 1，當半透明屏幕移到某特定位置，屏幕上會出現字母「F」的一個清晰的像（圖 3.2a）。這時，把屏幕拿走，透過透鏡觀看燈箱，仍然可以看到字母「F」的像（圖 3.2b）。



圖 3.2a 用屏幕捕捉字母「F」的像



圖 3.2b 直接看字母「F」的像

要理解以上實驗結果，可考慮一個放在凸透鏡後的細小物體（例如紅豆）（圖 3.2c）。來自物體的光線通過凸透鏡後，會聚於 Y 點。圖 3.2d 中，如果在虛線範圍內（例如 P 點）望向透鏡，便會有來自物體的光線進入眼睛。

光線會聚於 Y 點，因此會在這點成像，我們覺得物體就在這個位置。因為光線**確實**通過這個像，所以這種像稱為**實像**。

我們不能從虛線範圍以外的地方（例如 Q 點）看到像，原因是來自物體的光線不能到達那個範圍。

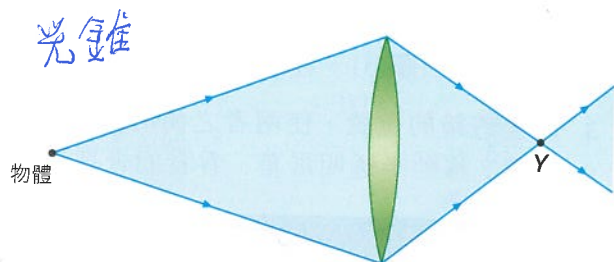


圖 3.2c 來自物體的光線通過透鏡後會聚於 Y 點

在透鏡和 Y 點之間的位置不能看到像，因為這時進入眼睛的光線還是會聚的，光線向後延長並不會相交於一點。

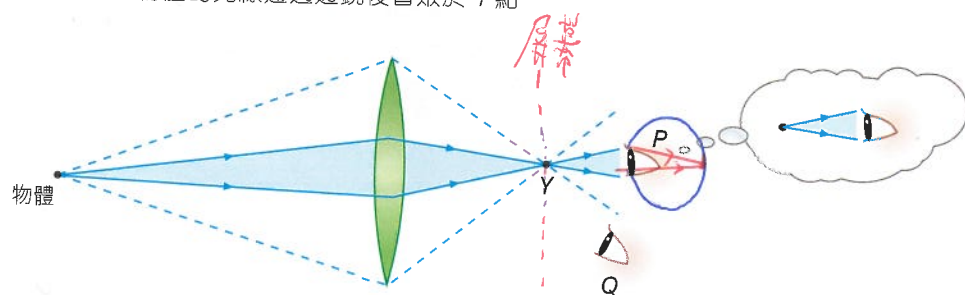


圖 3.2d 直接觀看凸透鏡形成的實像。來自物體的小光錐進入眼睛

強調光線在屏幕上會出現漫反射，因此不論眼睛從哪個方向觀看，都會有光線射進眼睛。

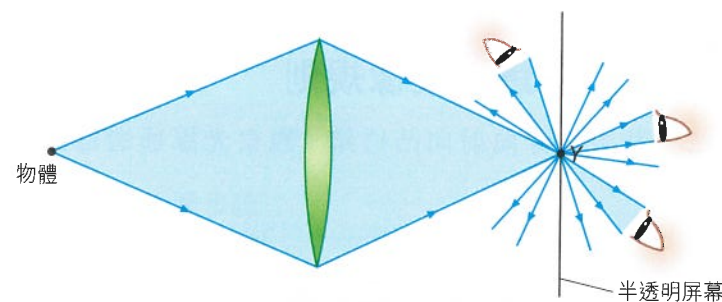


圖 3.2e 觀看屏幕捕捉的實像



圖 3.2f LCD 投影機投射的是實像

如果在 Y 點放一塊半透明屏幕，就能捕捉像，並從不同方向看到屏幕上的像（圖 3.2e）。這也類似觀看 LCD 投影機投射影像的方法（圖 3.2f）。我們必須注意，只有實像才可投射在屏幕上。

如果把屏幕稍為向前或向後移動，像便變得模糊不清，這是因為物體上的一點投射成屏幕上的一小片光。

b 虛像

當透鏡與字母「F」的距離較透鏡的焦距短，我們仍然可以看到清晰的像（圖 3.2g），但卻不能用屏幕捕捉像。

圖 3.2h 顯示物體與凸透鏡的距離很接近時，從 P 點透過凸透鏡觀看物體的情況。來自物體的光線通過透鏡後仍是發散的。因為光線向後延長會通過 Y 點，所以光錐進入眼睛時，我們便以為像在這一點形成。

由於沒有光線真正通過 Y 點，在那處形成的是虛像。與實像不同，虛像不能用屏幕捕捉。

同樣，我們不能從藍色虛線範圍以外的地方（例如 Q 點）看到像。



圖 3.2g 物體很接近透鏡時看到的像

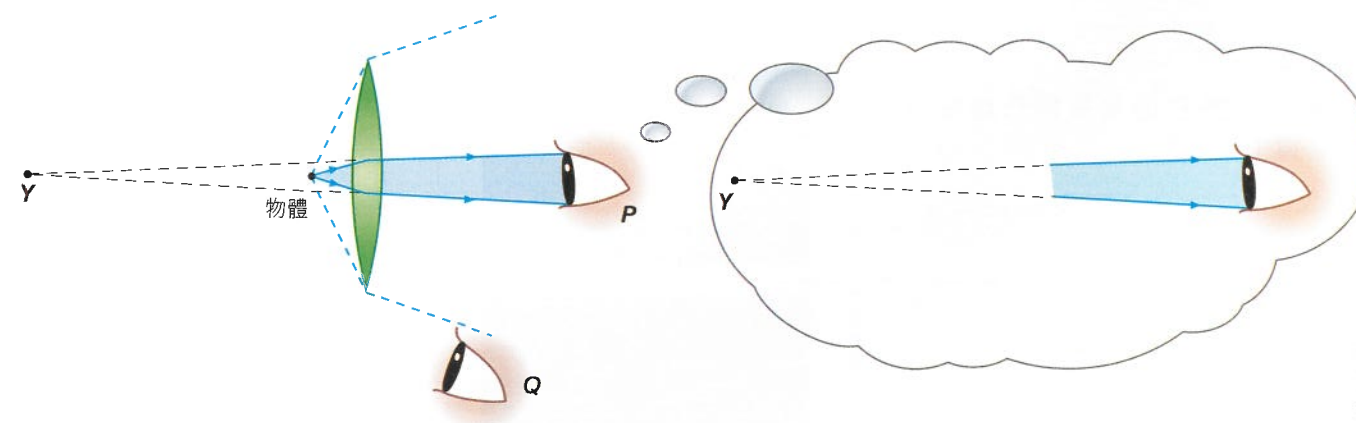


圖 3.2h 觀看凸透鏡形成的虛像

2 透鏡成像的作圖法

光線經透鏡的折曲雖遵從折射定律，但折射定律卻難以用來找出光線的路徑。以下所介紹的三條成像規則，是光線沿特定方向通過透鏡的路徑。

模擬程式 3.2
錄像片段 3.3

→ 模擬程式 3.2 展示凸透鏡怎樣折射燈箱發出的 (a) 光錐、(b) 平行光線和 (c) 單一光線。學生可以改變燈箱及光線入射的位置。

→ 錄像片段 3.3 示範實驗 3c。

實驗 3c 凸透鏡的成像規則

如圖 a 所示把光線沿指定方向射向凸透鏡，觀察光線通過透鏡後的路徑。

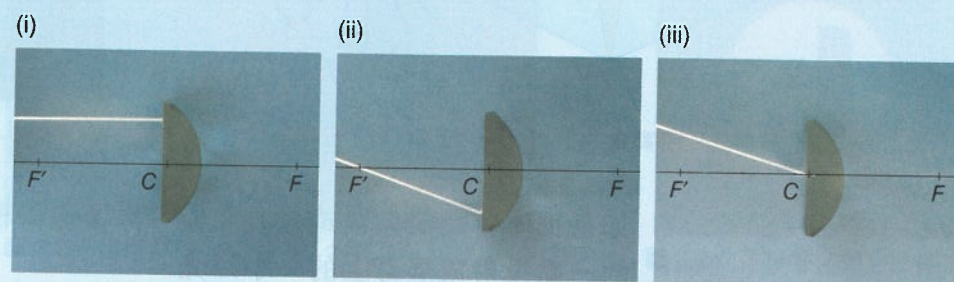


圖 a 光線 (i) 平行於主軸、(ii) 通過主焦點 F' 、(iii) 通過光心

討論

繪畫光線圖，顯示在以上情況下光線的路徑。參閱下方。

老師可指出成像規則不過是沿特定方向傳播的光線。學生可以用其他方向的入射線來繪畫光線圖，但情況會較為複雜。

根據實驗 3c 的結果，可以把凸透鏡的成像規則總結如下：

凸透鏡的成像規則		
規則 1 與主軸平行的光線經凸透鏡折射後，通過透鏡另一邊的主焦點 F 。		
規則 2 通過主焦點 F' 的光線經凸透鏡折射後，與主軸平行。		
規則 3 通過透鏡光心的光線方向不變。		

我們可以按照三條成像規則繪製光線圖，以確定見技巧分析。▶ 凸透鏡成像的位置和性質。繪圖時，凸透鏡通常以圖 3.2i 中的符號表示。

→ 模擬程式 3.3 展示怎樣應用凸透鏡的成像規則來繪畫光線圖。學生可把物體移離主軸，也可改變物體的方向。

模擬程式 3.3 「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

圖 3.2i 凸透鏡的符號

技巧分析

凸透鏡成像的作圖步驟

步驟	情況 1 (物在 $2F'$ 之外)	情況 2 (物在 F' 之內)
① 繪畫一條水平線代表主軸，再繪畫凸透鏡的符號。		
② 在透鏡的一邊標出 F' 和 $2F'$ 的位置，然後在另一邊標出 F 和 $2F$ 的位置， $2F'$ 和 $2F$ 與透鏡的距離為兩倍焦距。		
③ 在主軸上的指定位置繪畫直立向上的箭號，表示物體。		
④ 依據任何兩條成像規則，從物體的頂端畫出兩條光線。若折射線相交於某點，相交點就是實像的頂端。否則，用虛線畫出折射線向後延長的部分，以確定虛像的位置。		
⑤ 用一個垂直於主軸的箭號代表物體的實像，像的末端連於主軸。用虛線箭號來表示虛像。(物體垂直且末端位於主軸上，因此像也必然垂直，像的末端也位於主軸上。)		

提醒學生：(a) 在光線圖中，光線只在透鏡符號的位置折曲；(b) 應用兩條成像規則便足以找出成像的位置。

講解後可提問：如果物體 OA 放在其他位置，情況又會怎樣？

這條例題強調縱使來自物體的光線方向與成像規則不同，通過透鏡後仍會通過像，或看似來自像 I 。

例題 1 凸透鏡成像

物體置於凸透鏡的 F' 與 $2F'$ 之間。如圖 a 所示，四條光線 p 、 q 、 r 和 s 從物體射向透鏡。

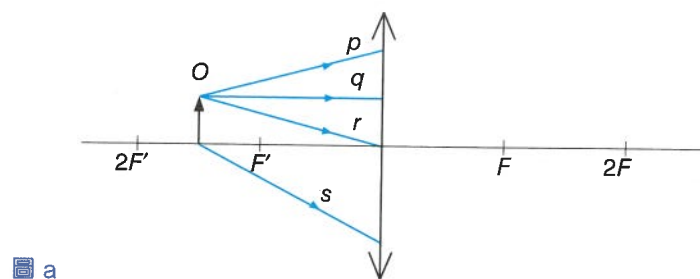


圖 a

- (a) 完成光線的路徑，並繪出像的位置。
(b) 像是實像還是虛像？

題解

- (a) 光線的路徑和像的位置如圖 b 所示。可強調像與物體上各點一一對應。

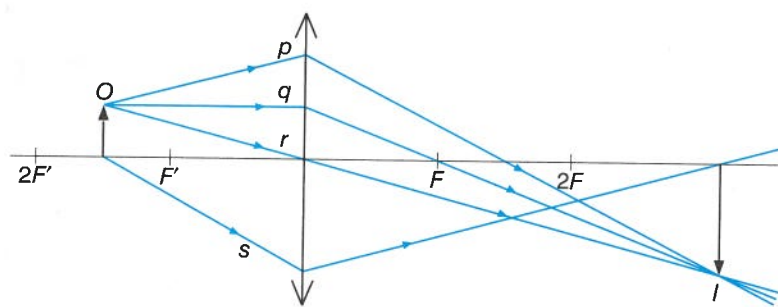


圖 b

- (b) 所形成的是實像。

進度評估 2 Q2 (p.91)

技巧分析

繪畫光線圖 (I)

在例題 1，按以下步驟完成光線的路徑：

- ① 應用成像規則 1 和 3，完成光線 q 和 r 的路徑，以確定像頂端的位置。
- ② 由於光線 p 也從 O 點出發，所以同樣會通過 I 點。
- ③ 確定像的位置後，便可以畫出光線 s 的路徑，它穿過像的末端。

焦平面是通過焦點並垂直於主軸的平面(見 p.83)。

平行光線如果並非與主軸平行，就會聚焦在焦平面上的一點(圖 3.2j)。換言之，如果把屏幕放在焦平面上，就能捕捉遙遠物體的像(圖 3.2k)。

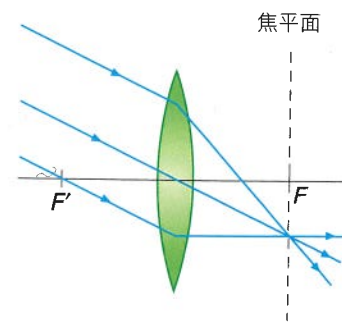


圖 3.2j 平行光線通過凸透鏡，會聚在焦平面上



圖 3.2k 來自遙遠物體的平行光線聚焦在焦平面上

預試訓練 1 光線通過凸透鏡的路徑 ☆ 香港中學會考 2010 年卷二 Q14

圖 a 顯示光線 Y 和 Z 通過一塊凸透鏡的路徑。 X 和 Y 是平行光線。 X 會通過下列哪一點？

- A P B Q
C R D S

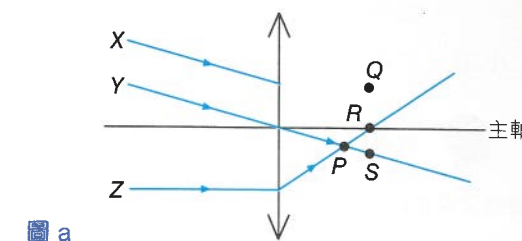


圖 a

題解

光線 Z 原本與主軸平行，通過凸透鏡後與主軸相交於 R 點，因此 R 點就是焦點。

X 和 Y 是平行光線，所以會聚焦在焦平面上的一點。

∴ 答案是 D。

注意：

選項 A、B、C 不正確，以下列出原因。

平行光線 X 和 Y 會聚焦在焦平面上的一點。

∴ A 不正確。

凸透鏡是會聚透鏡，通過凸透鏡的光線必定向主軸折曲。

∴ B 不正確。

光線 X 並不是與主軸平行，所以不會通過焦點。

∴ C 不正確。

常見錯誤

學生或誤以為由於 Y 和 Z 在 P 點相交，所以應在該位置成像。他們可能沒留意到 Y 和 Z 並不是平行光線。

複習 Q19 (p.118)

進度評估 2 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點(參看 p.85)。

- 21 在圖 a 繪畫光線折射後的路徑，並在圖中標示透鏡的光心、主軸和焦距。 22 完成以下光線圖。

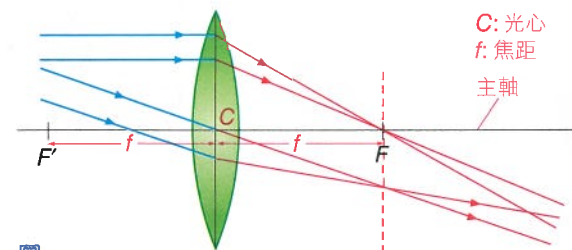


圖 a

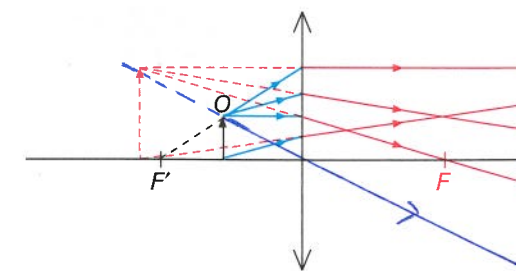


圖 b

3 像的性質與位置



實驗 3d

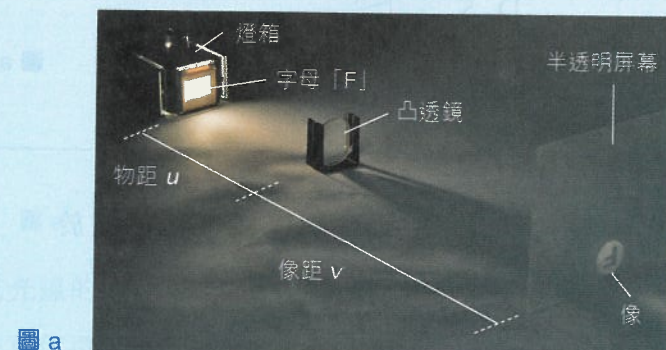
研究凸透鏡形成的像



錄像片段 3.4

→ 錄像片段 3.4 示範實驗 3d。

1 如圖 a 所示裝置實驗器材，把燈箱上的字母「F」當作物體。



2 從較大的物距 (即 $u > 2f$) 開始。前後移動屏幕，直至字母「F」的像清晰地顯現在屏幕上。

3 逐步減少物距並重複步驟 2，觀察像的變化。

討論

物距改變時，像會怎樣改變？參閱第 93 頁。

或須強調「正立」或「倒立」並不是指像本身的方向，而是像相對於物體的方向。

要描述像的性質，我們要指出像是：

- 1 倒立還是正立；
- 2 放大還是縮小；
- 3 虛像還是實像。

從實驗 3d 的結果，我們發現像的位置和性質隨物距而改變。利用成像規則來繪畫光線圖，便可找出像的位置和性質。

第 93 頁總結了凸透鏡成像的性質怎樣隨物距而改變。

生活中的物理

凸透鏡的應用

凸透鏡可安裝在眼鏡中矯正遠視 (在 E4 冊第 1 課有詳細討論)，也廣泛應用於各種光學儀器中，例如雙筒望遠鏡、望遠鏡和照相機。



雙筒望遠鏡



望遠鏡



照相機

凸透鏡形成的像

遙遠物體 (物體在無限遠處)			像在焦平面上 實像、倒立、縮小
物在 $2F'$ 之外			像在 F 與 $2F$ 之間 實像、倒立、縮小 $m = \frac{v}{u} < 1$
物在 $2F'$ 處			像在 $2F$ 處 實像、倒立、等大 $m = \frac{v}{u} = \frac{2f}{2f} = \frac{h_i}{h_o} = 1$
物在 F' 與 $2F'$ 之間			像在 $2F$ 之外 實像、倒立、放大 $m = \frac{v}{u} > 1$
物在 F' 處			折射線平行，像在無限遠處 (沒有像形成)
物在 F' 之內			像與物在同一側 虛像、正立、放大

在起點中，每顆露珠就好像一塊凸透鏡。因此，後方遠處樹木的像是倒立而縮小的實像。

凸透鏡成像的性質隨物體與透鏡的距離而改變。

透鏡形成的實像必定倒立，且與物體分處透鏡兩側；虛像必定正立，且與物體處於透鏡同一側。

4 線性放大率

像的**線性放大率** m 定義為 (圖 3.21) :

$$\text{線性放大率 } m = \frac{\text{像高 (像的大小)}}{\text{物高 (物的大小)}} = \frac{h_i}{h_o}$$

或 $\text{線性放大率 } m = \frac{\text{像距}}{\text{物距}} = \frac{v}{u}$

在圖 3.21 中，

$$\triangle IBC \sim \triangle OAC$$

$$\Rightarrow m = \frac{IB}{OA} = \frac{IC}{OC} = \frac{v}{u}$$

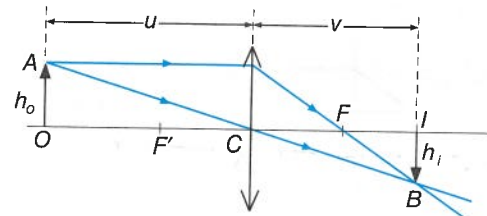


圖 3.21 凸透鏡成像的線性放大率

「線性放大率」通常簡稱「放大率」。線性放大率沒有單位。放大率大於 1，表示像放大了；放大率小於 1，表示像縮小了；放大率若等於 1，像的大小就與物體相同。

例題 2 找出像的線性放大率

某物體高 5 cm，置於凸透鏡前 15 cm 處。凸透鏡的焦距為 10 cm。求像的位置和線性放大率。

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{15} + \frac{1}{v}, \quad v = 30 \text{ cm}$$

題解

在方格紙上繪畫光線圖 (圖 a)。

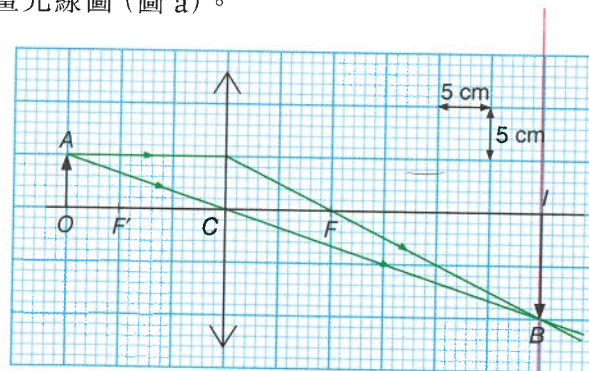


圖 a

$$\text{像距} = 6 \times 5 = 30 \text{ cm}$$

$$\text{線性放大率} = \frac{v}{u} = \frac{30}{15} = 2$$

像距離透鏡 30 cm，線性放大率是 2。

習題與思考 3.2 Q9 (p.101)

水平比例和垂直比例可以不相同。

如果直接量度物和像在方格紙所佔的格數，也會得出同一結果：

$$\text{線性放大率} = \frac{6}{3} = 2$$

例題 3 放大鏡

淑敏用凸透鏡閱讀課本，圖 a 顯示她看到的情境。

- 估算像的線性放大率。
- 指出像的性質。
- 透鏡在頁面以上 5 cm 處。試繪畫光線圖，以找出透鏡的焦距。

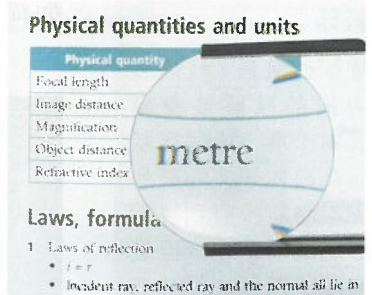


圖 a

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

利用作圖法求焦距

在例題 3，按以下步驟找出焦距：

- 物體的高度可以是任何數值。
取 $h_o = 5 \text{ cm}$ ，
則 $h_i = 5 \times 3 = 15 \text{ cm}$
此外 $u = 5 \text{ cm}$ ，
則 $v = 5 \times 3 = 15 \text{ cm}$
- 在方格紙上繪出透鏡、物和像 (圖 b)。
- 根據成像規則繪畫光線。
- 找出焦距。

題解

$$(a) \text{ 線性放大率} = \frac{\text{像的大小}}{\text{物的大小}} = \frac{3}{1} = 3$$

(b) 所形成的是正立而放大的虛像。

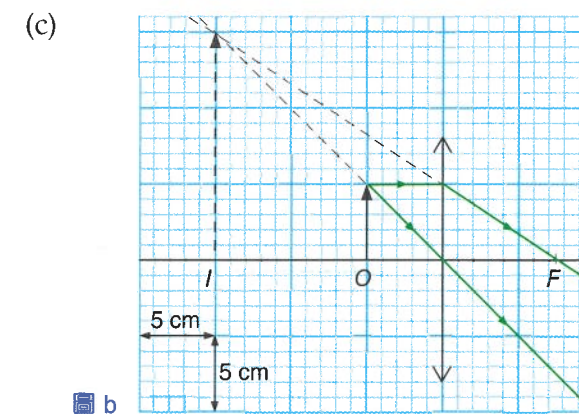


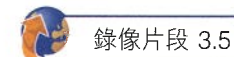
圖 b

焦距是 7.5 cm。

在圖 a 中，像 1 行的高度相等於物體 3 行的高度。

習題與思考 3.2 Q11 (p.101)

錄像片段 3.5 示範實驗 3e。



錄像片段 3.5

5 像的亮度

實驗 3e

凸透鏡成像的亮度

- 依照實驗 3d 裝置實驗器材，讓字母「F」的像清晰地顯現在屏幕上。
- 以卡紙遮蓋部分透鏡 (圖 a)，觀察成像是否完整。
- 拿走卡紙，用另一個焦距較短的凸透鏡在屏幕上形成清晰的像。觀察成像大小和亮度的變化。

討論

像的大小改變時，亮度有甚麼變化？像愈大就愈暗。



圖 a

生活中的物理

白內障：像不完整還是較暗？

隨着年齡增長，我們眼睛內的晶狀體會變得混濁不清，這個症狀就稱為白內障。外來的光線本應能投射到視網膜形成清晰的像，但混濁的晶狀體會阻擋或折曲部分光線，使像變暗和變得模糊。雖然如此，成像仍是完整的。

在實驗中，當卡紙遮蓋部分透鏡，透鏡形成的像依舊完整，但卻變得較暗（亮度較低）（圖 3.2m）。圖 3.2n 顯示沒有遮蓋和遮蓋着透鏡時，光線如何成像。

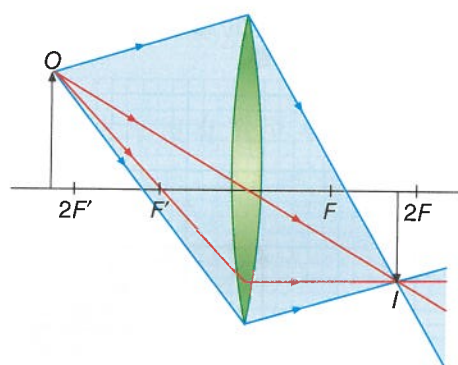


(i) 整塊透鏡形成的像

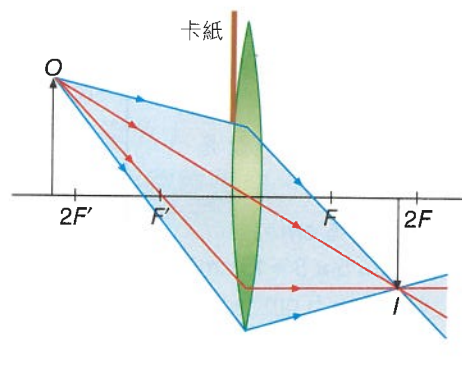


(ii) 半塊透鏡形成的像

圖 3.2m 當半塊透鏡被遮蓋，像會變得較暗



(i) 所有抵達透鏡的光線會聚成像



(ii) 遮蓋部分透鏡時，成像的光量減少

圖 3.2n 解釋成像的亮度變化

遮蓋部分透鏡後，來自物體的光線依然可以通過透鏡未遮蓋的部分。這些光線會聚起來，形成完整的像。但是，由於部分光線受阻，形成像的光量減少，像因而變得較暗。

現在假設有兩塊大小相同但焦距不同的凸透鏡 L_1 和 L_2 ，兩者與物體的距離相同，分別形成像 I_1 和 I_2 （圖 3.2o）。由於相同的光量各自分佈在 I_1 和 I_2 上，而 I_1 較 I_2 小，所以 I_1 會較 I_2 光亮。

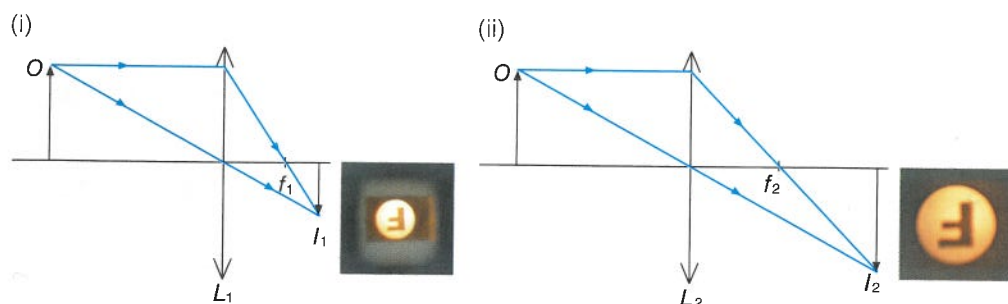


圖 3.2o 凸透鏡 L_1 和 L_2 形成大小不同的像

例題 4 觀察凸透鏡成像

嘉文前後移動屏幕，認為字母「F」的像會投射在屏幕上（圖 a）。

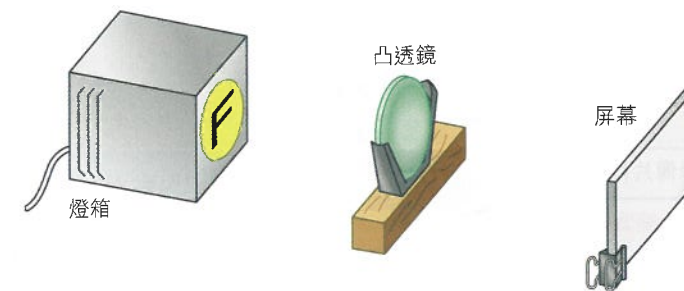


圖 a

- 結果她無論怎樣移動屏幕，也不能捕捉到「F」的像。為甚麼？
- 她應怎樣做，才能用屏幕捕捉像？
- 嘉文做了 (b) 部的改動，終於能夠用屏幕捕捉到像。接着，她用卡紙遮蓋透鏡的下半部分。
 - 簡單解釋她能否在屏幕上捕捉「F」完整的像。
 - 這個像與整塊透鏡所成的像相比，有甚麼不同？

題解

- 物距小於或等於焦距時，不能形成實像，像因而無法用屏幕捕捉。
- 把透鏡移離燈箱，直至物距比透鏡的焦距大。
- (i) 她能捕捉到「F」完整的像。因為透鏡上半部份仍能把來自「F」上各點的光聚焦到屏幕上。
(ii) 成像較暗。

▶ 複習 Q39 (p.123)

物理 DIY

用清水作透鏡

你有沒有留意到一杯清水可形成有趣的像（圖 a）？



圖 a

以水滴填滿中國古錢幣中央的小孔（圖 b），便可把錢幣當作放大鏡使用！



圖 b

牛津物理網

進度評估 3 ✓ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.85）。

- 31 男孩拿着放大鏡，伸直手臂，再透過放大鏡觀看牆上的海報，看到的像是正立而放大的。如果男孩把放大鏡移向自己的眼睛，像會有甚麼變化？
 - 變大，直至放大鏡接近至某個距離，像便變得模糊。
 - 變大，並保持正立。
 - 變小，直至放大鏡接近至某個距離，像便變得模糊。
 - 變小，並保持正立。
- 32 是非題：由凸透鏡形成的虛像必定比物體大。 (對/錯)
- 3 是非題：物體由 $2F'$ 處稍為移近凸透鏡，像就會變暗。 (對/錯)

3, 5

6 透鏡公式

例題 2 和 3 (見 p.94 和 p.95) 用作圖法找出 u 、 v 和 f 的值，事實上，如果知道三者的關係，也可用代數方法找出它們的值。我們將會在實驗 3f 找出那個關係。

錄像片段 3.6

→ 錄像片段 3.6 示範實驗 3f。



實驗 3f

透鏡公式

- 1 使用已知焦距的凸透鏡，如圖 a 所示裝置實驗器材。把燈箱上的字母「F」當作物體，物距 u 應大於焦距 f 。
- 2 前後移動屏幕，直至字母「F」的像清晰地顯現在屏幕上。記錄物距 u 和像距 v 。
- 3 改變 u 的數值，重複步驟 2，並記錄 v 的對應數值。



圖 a

結果與討論

表 a 列出一組數據樣本，試從中找出 u 、 v 和 f 的關係。 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

u / cm	100	80	60	40
v / cm	25	27	30	40
$\frac{1}{u} / \text{cm}^{-1}$	0.010	0.013	0.017	0.025
$\frac{1}{v} / \text{cm}^{-1}$	0.040	0.037	0.033	0.025
$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} / \text{cm}^{-1}$	0.050			
f / cm	20			
$\frac{1}{f} / \text{cm}^{-1}$	0.05			

表 a

從實驗 3f 可見，物距 u 的倒數加像距 v 的倒數等於焦距 f 的倒數。這就是透鏡公式：

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

這公式亦稱為薄透鏡公式。如果透鏡不算薄，公式仍然可以應用，不過 u 和 v 的含義稍有不同。

→ 模擬程式 3.7 (參看 p.111) 示範凸透鏡和凹透鏡的透鏡公式。如果在這階段使用程式，可把透鏡的選項設定為凸透鏡。

運用透鏡公式時，會使用實正虛負法則：實像的像距取正值，虛像的像距則取負值，此外，物距和凸透鏡的焦距都取正值 (表 3.2a)。

	焦距	物距	像距	
			實像	虛像
正負值	+	+	+	-

表 3.2a 凸透鏡的實正虛負法則

舉例來說，例題 2 (見 p.94) 也可用透鏡公式解答。將 $u = 15 \text{ cm}$ 和 $f = 10 \text{ cm}$ 代入公式：

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{v} = \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{10} - \frac{1}{15}$$

$$v = 30 \text{ cm}$$

$$m = \frac{v}{u} = \frac{30}{15} = 2$$

v 是正數，因此所形成的是實像。

$$\begin{array}{l} f \quad u \quad v \\ \square \quad +ve \quad +ve \quad +ve \text{ or } -ve \\ \square \quad -ve \quad +ve \quad -ve \end{array}$$

成像距離透鏡 30 cm，線性放大率是 2，答案與使用作圖法得到的結果相同。

例題 5 放大鏡的焦距

福爾摩斯正在案發現場調查。他將凸透鏡置於距離牆壁 2 cm 處，看到的像是正立的，像的線性放大率為 3。求透鏡的焦距。



題解

根據 $m = \frac{v}{u}$,

$$v = mu = 3 \times 2 = 6 \text{ cm}$$

根據透鏡公式， $u = 2 \text{ cm}$ ， $v = -6 \text{ cm}$ ，

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{2} + \frac{1}{(-6)} = \frac{1}{3}$$

$$f = 3 \text{ cm}$$

實正虛負法則只應用於透鏡公式。計算 m 時，不用取 v 為負值。

正立而放大的像只可以是虛像。因此，運用透鏡公式時，像距應取負值。

▶ 習題與思考 3.2 Q7 (p.101)

進度評估 4

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.85)。

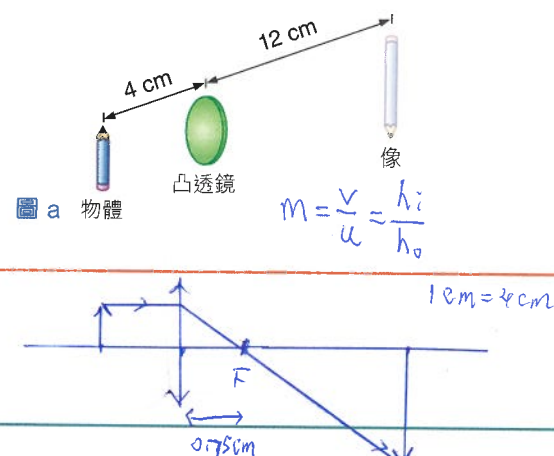
61 物體置於距離凸透鏡 3 cm 處，透鏡的焦距是 6 cm。下列哪一項有關透鏡成像的描述是正確的？

- (A) 距離透鏡 6 cm 的虛像
 (B) 距離透鏡 6 cm 的實像
 (C) 距離透鏡 3 cm 的虛像
 (D) 距離透鏡 3 cm 的實像

$$m > 1$$

$$v > u$$

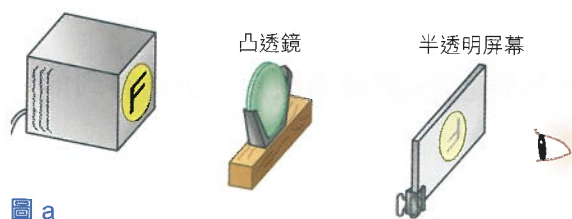
62 找出圖 a 中凸透鏡的焦距。3 cm



$$f = 0.75 \times 4 = 3 \text{ cm}$$

習題與思考 3.2

1 1 如圖 a 所示，字母「F」的像清晰地顯現在半透明屏幕上，燈箱、透鏡和觀察者的眼睛成一直線。如果把屏幕移走，下列哪一項敘述是正確的？



- (A) 像變成虛像。
 (B) 像仍然在同一位置形成。
 (C) 觀察者再看不到像。
 (D) 觀察者的眼睛必須移到屏幕原來的位置才能看到像。

2 2 在圖 b 中，光線有可能沿哪些出射線傳播？

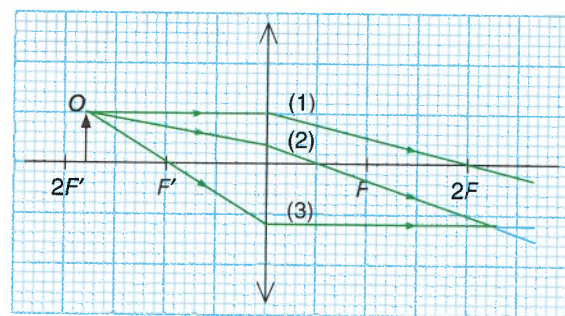


圖 b

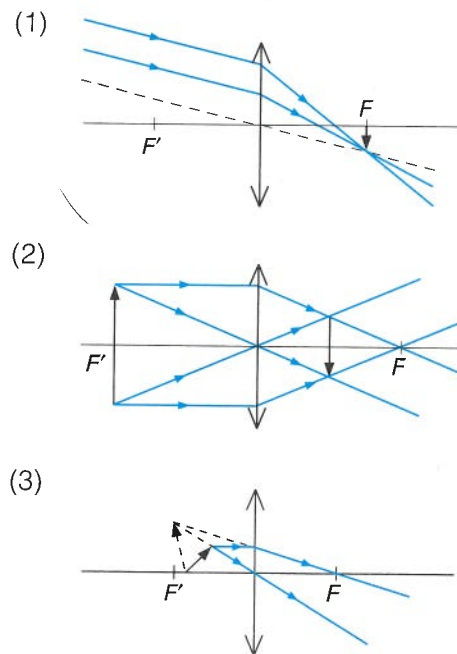
- (A) 只有 (3)
 (B) 只有 (1) 和 (2)
 (C) 只有 (1) 和 (3)
 (D) 只有 (2) 和 (3)

3 3 遙遠物體經凸透鏡成像，像必然

- (1) 是正立的實像。
 (2) 在焦平面上。
 (3) 在主軸上。

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

4 下列哪些光線圖是正確的？



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

5 凸透鏡形成一個倒立的像，像的線性放大率是 5。求透鏡的焦距，答案以像距 v 來表示。

- (A) $\frac{v}{6}$
 (B) $\frac{v}{4}$
 (C) $\frac{5v}{6}$
 (D) 物距為未知數，所以無法確定焦距。

6 如圖 c 所示，凸透鏡形成了一個像。



圖 c

- (a) 指出像的性質。
 (b) 繪畫光線圖，以顯示像怎樣形成。

7 物體置於距離凸透鏡 15 cm 處，透鏡的焦距是 18 cm。

3, 4, 6

- (a) 像距是多少？90 cm
 (b) 求像的線性放大率。6
 (c) 指出像的性質。

8 物體的像清晰地投射在距離凸透鏡 30 cm 的屏幕上。透鏡的焦距是 12 cm。

4, 6

- (a) 物距是多少？20 cm
 (b) 求像的線性放大率。1.5

9 物體置於距離凸透鏡 6 cm 處 (圖 d)。透鏡的焦距是 12 cm。

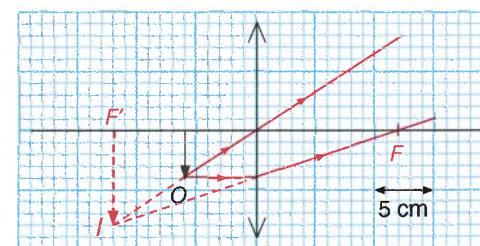
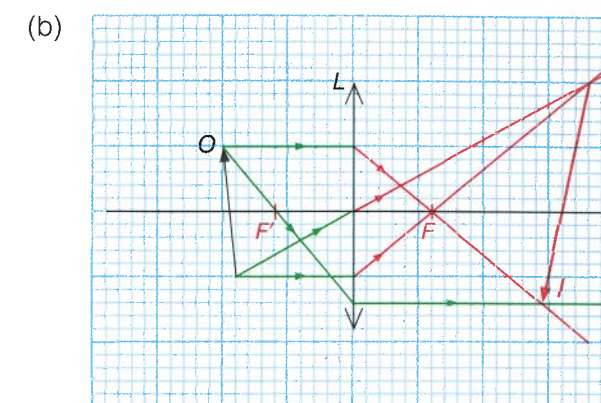
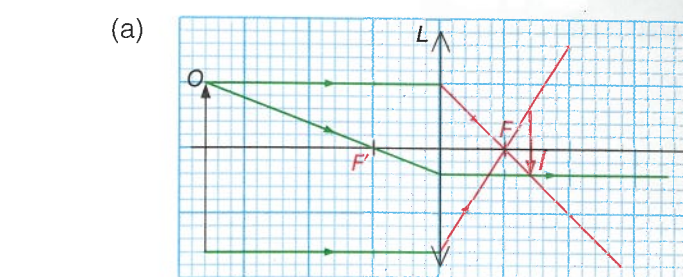


圖 d

- (a) 繪畫光線圖，以找出像的位置。
 (b) 求像的線性放大率。2
 (c) 指出像的性質。

10 完成以下光線圖。在每個情況中，繪出像的位置，並標示透鏡的兩個主焦點。



11 將一杯水放在一張紙前，會形成文字的像 (圖 e)。像的線性放大率是 2。

2, 3



圖 e

- (a) 所形成的像是虛像還是實像？試解釋答案。
 (b) 圖 f 顯示水杯 (以凸透鏡表示) 及紙 (以物表示) 的位置。在圖 f 中，
 (i) 繪出像的位置；
 (ii) 繪畫一條光線，以找出透鏡的焦距。20 mm

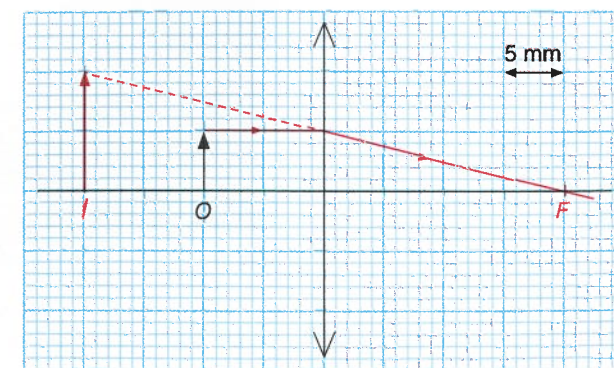


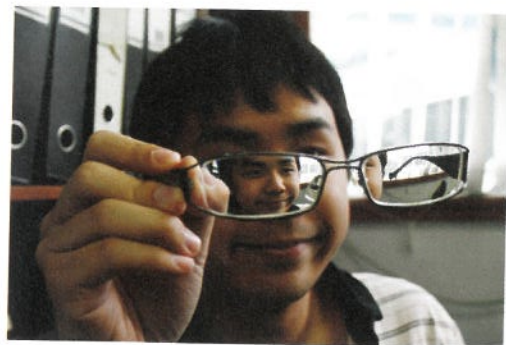
圖 f

3.3

凹透鏡成像

起點 近視眼鏡

以下照片中的眼鏡是用來矯正近視的，兩塊鏡片都是凹透鏡。你知道凹透鏡成像的性質嗎？正立而縮小（參閱第107頁頁底文字）



✓ 本節重點

- 1 透鏡成像的作圖法
- 2 像的性質與位置
- 3 放大率
- 4 透鏡公式

1 凹透鏡成像

凸透鏡可形成虛像和實像，凹透鏡是否一樣？



模擬程式 3.4
錄像片段 3.7

→ 模擬程式 3.4 展示來自物體上某一點的光線通過凹透鏡後怎樣折射。

→ 錄像片段 3.7 示範實驗 3g。



實驗 3g

觀察凹透鏡形成的像

- 1 透過凹透鏡觀看燈箱上的字母「F」（圖 a），你能看見像嗎？能夠
- 2 測試能否用屏幕去捕捉像（圖 b）。不能
- 3 用不同物距重複步驟 1 和 2。



圖 a



圖 b

討論

物距改變時，像會怎樣改變？像的性質不變，一直都是正立而縮小的虛像。

在實驗 3g，我們不能用屏幕捕捉像。事實上，凹透鏡只可形成虛像。圖 3.3a 顯示透過凹透鏡所看見的像。

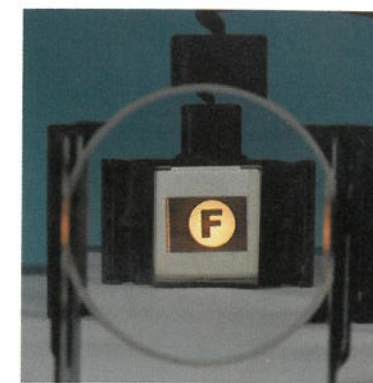


圖 3.3a 透過凹透鏡看見的像

考慮放在凹透鏡前的一個細小物體（例如紅豆）（圖 3.3b）。來自物體的光線通過凹透鏡後，向外折曲，看似從 Y 點發散出來。圖 3.3c 中，如果在藍色虛線範圍內（例如 P 點）望向透鏡，便會有來自物體的光線進入眼睛。

光線看似來自 Y 點，因此會在這點成像，我們覺得物體就在這個位置。因為沒有光線真正通過這個像，所以它是虛像。

我們不能從藍色虛線範圍以外的地方（例如 Q 點）看到像，原因是來自物體的光線不能到達那個範圍（圖 3.3c）。

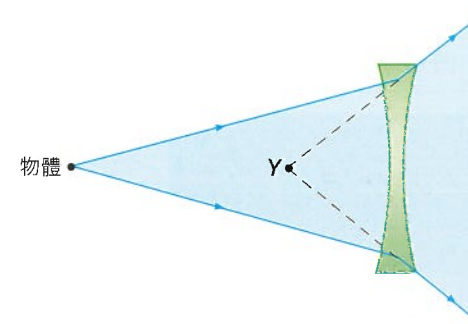


圖 3.3b 來自物體的光線通過透鏡後看似從 Y 點發散出來

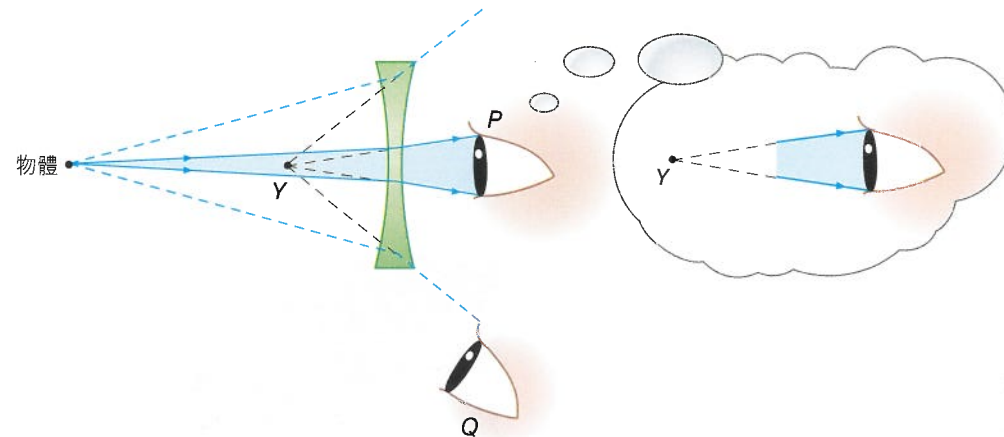


圖 3.3c 觀看凹透鏡形成的虛像。在藍色虛線範圍以外看不到像

第 128 頁比較了透過不同光學儀器看見像的原理。

2 透鏡成像的作圖法

要理解凹透鏡只可形成虛像的原因，我們先要學習凹透鏡的成像規則。



模擬程式 3.5
錄像片段 3.8

→ 模擬程式 3.5 展示凹透鏡怎樣折射燈箱發出的 (a) 光錐、(b) 平行光線和 (c) 單一光線。學生可以改變燈箱及光線入射的位置。

→ 錄像片段 3.8 示範實驗 3h。



實驗 3h

凹透鏡的成像規則

如圖 a 所示把光線沿指定方向射向凹透鏡，觀察光線通過透鏡後的路徑。

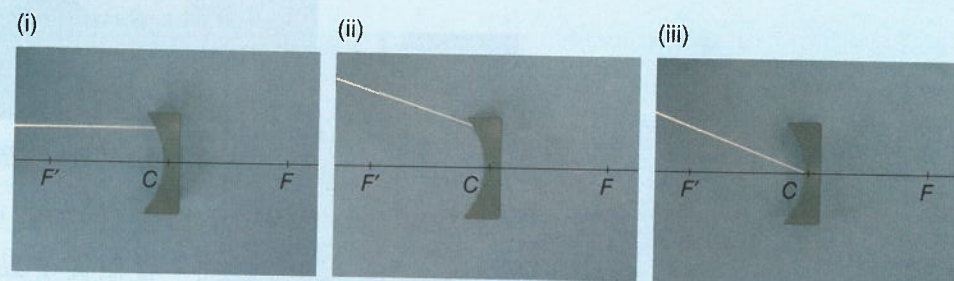


圖 a 光線 (i) 平行於主軸、(ii) 射向主焦點 F 、(iii) 通過光心

討論

繪畫光線圖，顯示在以上情況下光線的路徑。參閱下方。

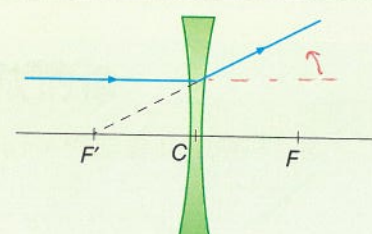
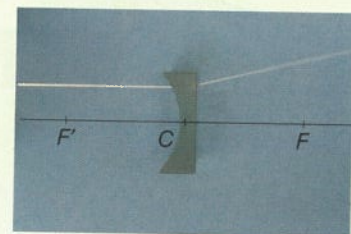
與凸透鏡的情況相似，凹透鏡的成像規則不過是沿特定方向傳播的光線。學生可以用其他方向的入射線來繪畫光線圖，但情況會較為複雜。

根據實驗 3h 的結果，可把凹透鏡的成像規則總結如下：

凹透鏡的成像規則

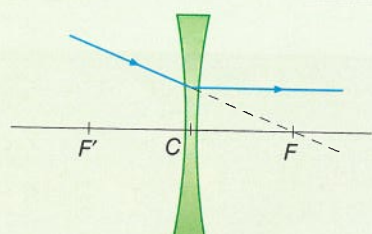
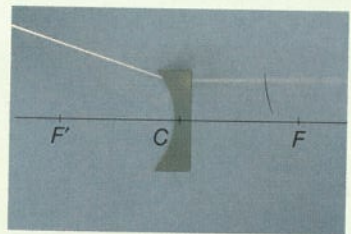
規則 1

與主軸平行的光線經凹透鏡折射後，就像來自主焦點 F' 。



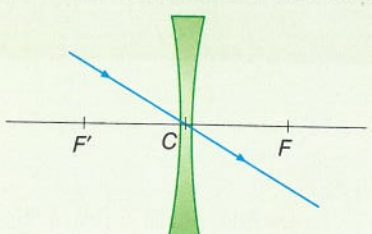
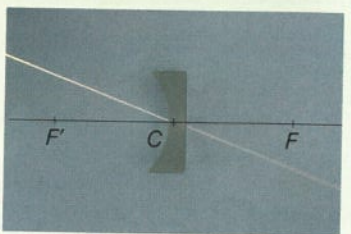
規則 2

射向主焦點 F 的光線經凹透鏡折射後，與主軸平行。



規則 3

通過透鏡光心的光線方向不變。



提醒學生：(a) 在光線圖中，光線只在透鏡符號的位置折曲；(b) 應用兩條成像規則便足以找出成像的位置。

以下應用程式以光線圖顯示不同透鏡怎樣成像：



iOS



Android

我們可以繪製光線圖來確定凹透鏡成像的位置和性質，做法與凸透鏡的情況類似。繪圖時，凹透鏡通常以圖 3.3d 中的符號表示。



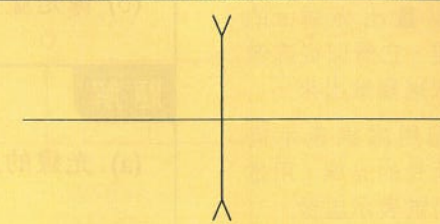
圖 3.3d 凹透鏡的符號

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

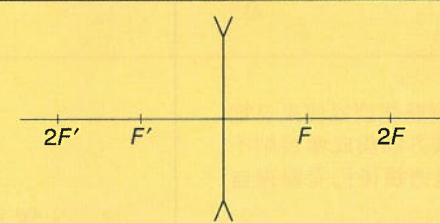
技巧分析

凹透鏡成像的作圖步驟

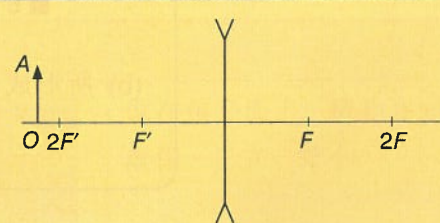
① 繪畫一條水平線代表主軸，再繪畫凹透鏡的符號。



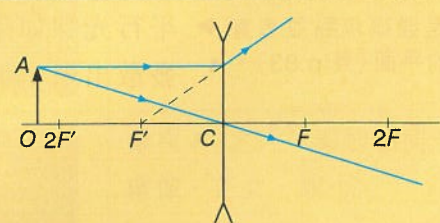
② 在主軸上標出 F' 、 $2F'$ 、 F 和 $2F$ 的位置。



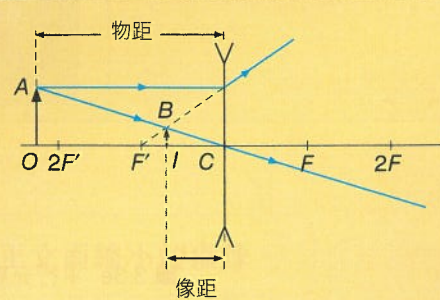
③ 在主軸上的指定位置標示物體。



④ 依據任何兩條成像規則，從物體的頂端畫出兩條光線，用虛線畫出折後延長的部分，以確定虛像的位置。



⑤ 用虛線箭號來表示虛像，像的末端連於主軸。(物體垂直且末端位於主軸上，因此像也必然垂直，像的末端也位於主軸上。)



講解後可提問：如果物體 OA 放在其他位置，情況又會怎樣？

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

繪畫光線圖 (II)

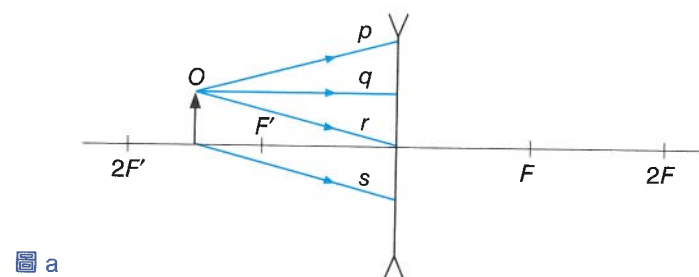
在例題 6，按以下步驟完成光線的路徑：

- ① 應用成像規則 1 和 3，完成光線 q 和 r 的路徑，以確定像頂端的位置。
- ② 由於光線 p 也從 O 點出發，所以通過透鏡後，同樣看似從 I 點發散出來。
- ③ 確定像的位置後，便可以畫出光線 s 的路徑，它看似從虛像的末端發散出來。
- ④ 緊記用虛線表示向後延長的光線，用虛線箭號表示虛像。

這條例題強調縱使來自物體的光線方向與成像規則不同，通過透鏡後仍看似來自像 I 。

例題 6 凹透鏡成像

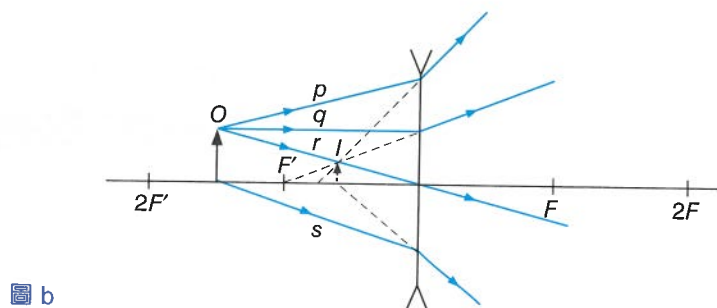
如圖 a 所示，光線 p 、 q 、 r 和 s 從物體射向凹透鏡。



- (a) 完成光線的路徑，並繪出像的位置。
(b) 像是虛像還是實像？

題解

(a) 光線的路徑和像的位置如圖 b 所示。



(b) 所形成的是虛像。

可強調像與物體上各點一一對應。

進度評估 5 Q3 (p.107)

焦平面是通過焦點並垂直於主軸的平面。如果光線並非與主軸平行，通過凹透鏡後會看似從焦平面上的一點發散出來 (圖 3.3e)。

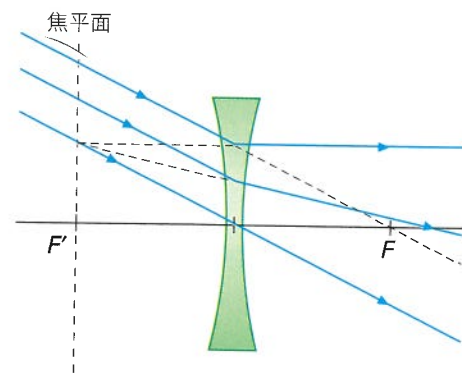
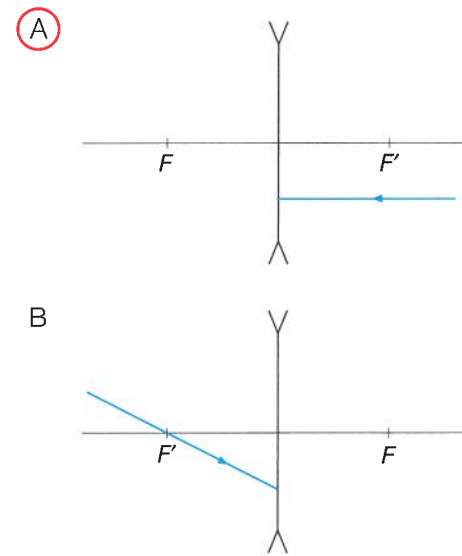


圖 3.3e 平行光線通過凹透鏡，看似從焦平面上的一點發散出來

進度評估 5

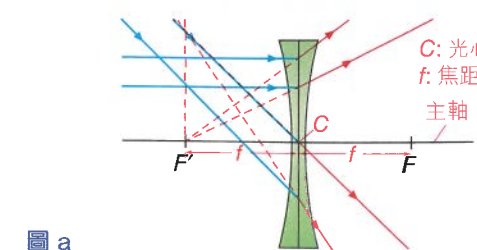
各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.102)。

1 1 以下哪一條入射線按照成像規則繪畫？

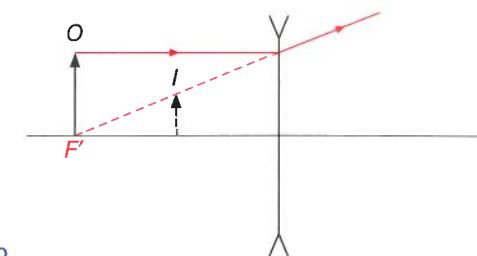


學生如選 B，可能混淆了凸透鏡和凹透鏡的成像規則。

1 2 在圖 a 繪畫光線折射後的路徑，並在圖中標示透鏡的光心、主軸和焦距。



1 3 在圖 b 繪畫一條光線，以找出透鏡的焦點。
[提示：應用成像規則 1。]



3 像的性質與位置

下表總結了凹透鏡成像的性質與位置。

凹透鏡形成的像			
遙遠物體 (物體在無限遠處)			像在焦平面上，與物在同一側 虛像、正立、縮小
物在無限遠處與透鏡之間			像在 F' 之內，與物在同一側 虛像、正立、縮小

這結果與起點中眼鏡形成的像一致。如佩戴了近視眼鏡，也可用它來驗證這裏的描述。

凹透鏡只會形成正立而縮小的虛像。

可強調不論物距怎樣改變，凹透鏡成像的性質都不變，因此無須考慮不同物距的情況。



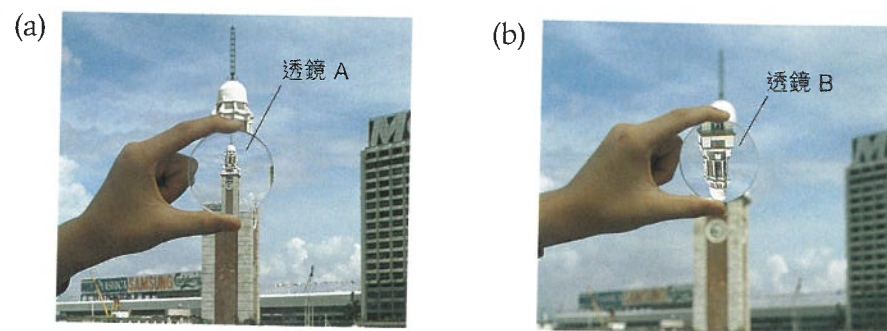
錄像片段 3.9

→ 錄像片段 3.9 展示一個安裝了平面鏡和透鏡的錢箱。

部分學生或會以為像在透鏡表面形成。

例題 7 判斷透鏡的種類

嘉莉透過透鏡 A 和 B 觀看尖沙咀鐘樓。



根據以上各圖，回答下列問題：

- 解釋所用的是哪一種透鏡；
- 判斷像形成的位置；
- 寫出像是實像還是虛像。

題解

- A 是凹透鏡。只有凹透鏡才會形成正立且縮小的像。
 - 像在透鏡後方形成。
 - 像是虛像。
- B 是凸透鏡。只有凸透鏡才會形成倒立的像。
 - 像在透鏡前方形形成。
 - 像是實像。

▶ 複習 Q23 (p.119)

生活中的物理

防盜眼

大門的防盜眼用凹透鏡製成，以便觀看門外更廣闊的範圍。它所產生的像必然是正立的，方便屋主辨別訪客的身份。



4 線性放大率

凹透鏡與凸透鏡一樣，成像的線性放大率 m 都可由 $m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{v}{u}$ 求得 (圖 3.3f)。凹透鏡只會形成縮小的像，所以 m 必然小於 1。

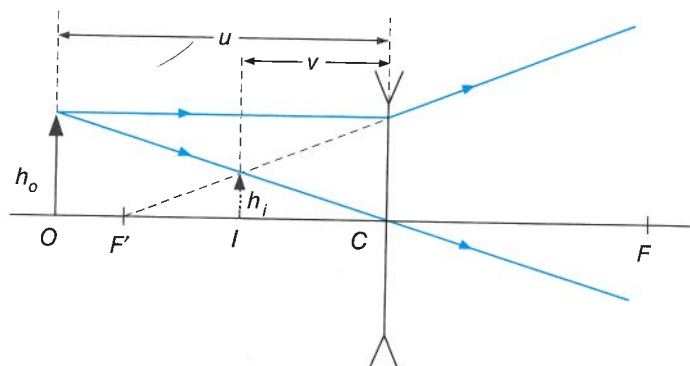
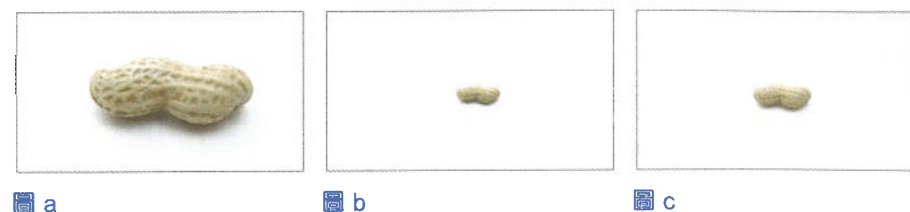


圖 3.3f 凹透鏡成像的線性放大率

例題 8 透過不同焦距的透鏡觀察

浩然正在觀察一粒花生。圖 a 顯示他以肉眼觀察時看到的景象，圖 b 和 c 則顯示透過兩塊透鏡觀察時所看到的景象，其中一塊的焦距是 25 cm，另一塊是 40 cm。

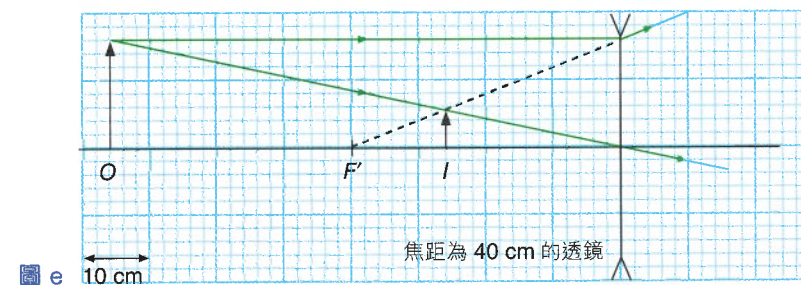
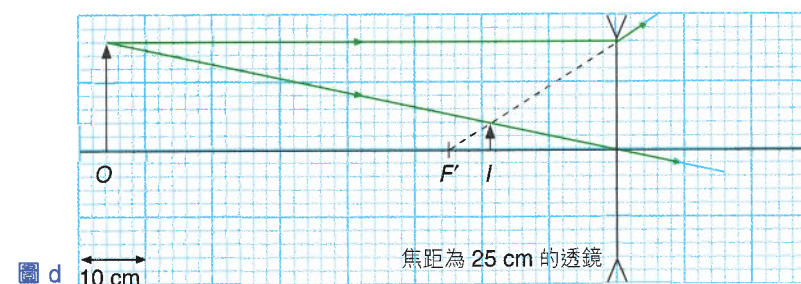


- 浩然所用的是哪一種透鏡？試簡單解釋。
- 花生與透鏡的距離是 76 cm。對於每一塊透鏡，
 - 繪畫光線圖，以找出花生的像所處的位置；
 - 找出像的線性放大率。
- 浩然透過哪一塊透鏡看到圖 b 所示的景象？試簡單解釋。

題解

- 凹透鏡。圖 b 和 c 顯示正立而縮小的像，只有凹透鏡才會形成這種像。

-



- 根據圖 d，使用焦距為 25 cm 的透鏡時，像距是 19 cm。

$$\text{線性放大率} = \frac{v}{u} = \frac{19}{76} = 0.250$$

根據圖 e，使用焦距為 40 cm 的透鏡時，像距是 26 cm。

$$\text{線性放大率} = \frac{v}{u} = \frac{26}{76} = 0.342$$

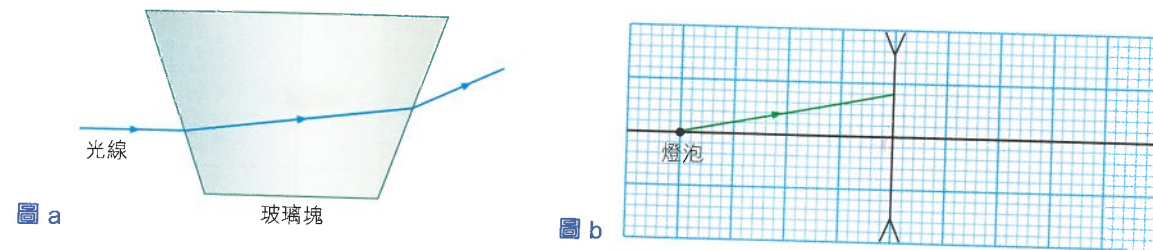
- 圖 b 顯示的像較小，表示它的放大率較低，因此這景象是透過焦距為 25 cm 的透鏡看到的。

▶ 複習 Q32 (p.121)

預試訓練 2

不同折射率的凹透鏡 ☆ 香港中學會考 2011 年卷一 Q4

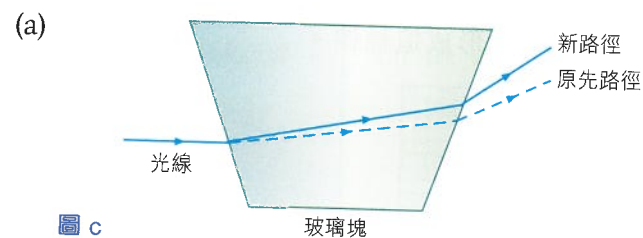
- (a) 圖 a 顯示光線通過玻璃塊的情況。假設換上另一塊形狀相同但折射率較大的玻璃塊，試草繪光線的新路徑。
(2 分)



- (b) 在圖 b 中，燈泡置於凹透鏡前，形成清晰的像，像的線性放大率是 0.5。

- (i) 在圖 b 中，找出像的位置，並以 I 標示。
(1 分)
- (ii) 完成光線的路徑。
(1 分)
- (iii) 現在換上另一塊形狀相同但折射率較大的透鏡。試解釋像的線性放大率怎樣改變。(3 分)

題解

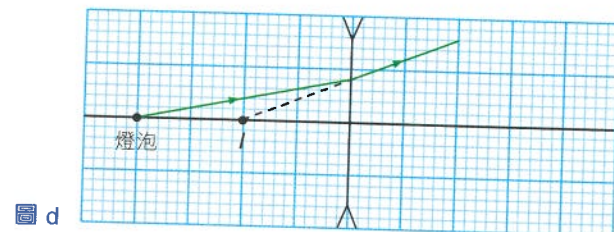


- (進入玻璃塊時的折射角較小)
(離開玻璃塊時的折射角較大)

1A

1A

- (b) (i) & (ii)



- (以 I 標示像的正確位置)
(正確出射線)

1A

1A

- (iii) 光線通過透鏡時折曲得更多。
(光線通過透鏡後發散得更多。)

1A

像會在較接近透鏡的位置形成。

1A

根據線性放大率 $= \frac{v}{u}$ ，由於 u 保持不變而

v 減少，線性放大率會減少。

1A

常見錯誤

學生或未能繪畫光線的正確路徑。他們繪畫的光線可能在一個交界面偏折得較原有光線多，但在另一個交界面卻偏折得較少。

線性放大率 $= 0.5$ 而 $u = 20$ 單位
 $\Rightarrow v = 10$ 單位

常見錯誤

學生或會忽略凹透鏡所形成的是虛像，而錯誤地把像繪畫在透鏡的右邊。

複習 Q35 (p.122)

進度評估 6

✓ 各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.102)。

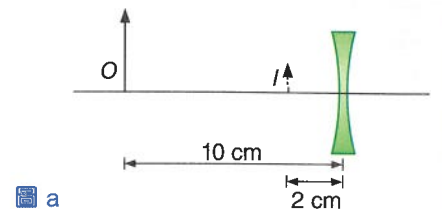
- 21 凹透鏡只可形成 (正立/倒立) 而 (放大/縮小) 的 (實/虛) 像。
- 22 位於不同位置的物體透過凹透鏡成像。試完成表 a。

物體的位置	像的位置	像的性質
在無限遠處與透鏡之間	與物體在透鏡的同一側	正立而縮小的虛像
在無限遠處	在物體那一側的焦平面上	正立而縮小的虛像

表 a

- 33 在圖 a 中，凹透鏡成像的線性放大率是多少？

- (A) 0.2 B 0.5
C 2 D 5



- 34 物體置於距離凹透鏡 10 cm 處，成像的線性放大率是 0.25。求像距。2.5 cm
[提示： $m = \frac{v}{u}$]



模擬程式 3.7

→ 模擬程式 3.7 展示透鏡公式。

會聚透鏡又稱為正透鏡，發散透鏡又稱為負透鏡。

5 透鏡公式

透鏡公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 亦能應用於凹透鏡。在實正虛負法則中，凹透鏡的焦距取負值。因為凹透鏡只會形成虛像，所以像距一定是負值。

例題 9 用透鏡公式計算焦距

一塊透鏡置於物體前 9 cm 處，所形成的虛像與透鏡相距 3 cm。

- (a) 求透鏡的焦距。
(b) 這塊是凸透鏡還是凹透鏡？

題解

- (a) 運用透鏡公式： $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

$$\frac{1}{9} + \frac{1}{-3} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -4.5 \text{ cm}$$

透鏡的焦距是 4.5 cm。

- (b) 由於 f 的值是負數，所以這塊是凹透鏡。

進度評估 7 Q2 (p.112)

因為形成的是虛像，所以 v 取負值。

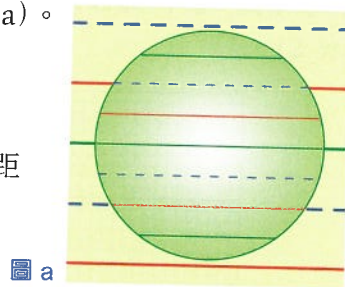
例題 10 用透鏡觀看物件

志鋒通過透鏡觀看一張畫有平行線的紙(圖 a)。

(a) 指出像的性質和透鏡的種類。

(b) 估算像的線性放大率。

(c) 如果透鏡的焦距是 6 cm，透鏡與紙的距離是多少？



題解

(a) 像正立而縮小。這塊是凹透鏡。

(b) 線性放大率 = $\frac{\text{像的大小}}{\text{物的大小}} = \frac{1}{2} = 0.5$

(c) 根據 $m = \frac{v}{u}$,

$$v = mu = 0.5u$$

將 $v = -0.5u$ (虛像) 和 $f = -6$ cm (凹透鏡) 代入透鏡公式：

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

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{-0.5u} = \frac{1}{-6}$$

$$\frac{1-2}{u} = \frac{1}{-6} \Rightarrow u = 6 \text{ cm}$$

透鏡與紙的距離是 6 cm。

習題與思考 3.3 Q5 (p.113)

進度評估 7

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.102)。

41 運用透鏡公式時，以下量值應取正值還是負值？

(a) 實像的像距 正值

(b) 虛像的像距 負值

(c) 凸透鏡的焦距 正值

(d) 凹透鏡的焦距 負值

42 物體置於距離凹透鏡 30 cm 處，所形成的虛像與透鏡相距 15 cm。凹透鏡的焦距是多少？

(A) 30 cm

B 10 cm

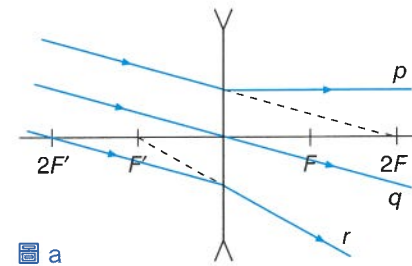
C -10 cm

D -15 cm

習題與思考 3.3

各題號旁的數字對應本節重點 (參看 p.102)。

1 在圖 a 中，哪些光線路徑有可能出現？



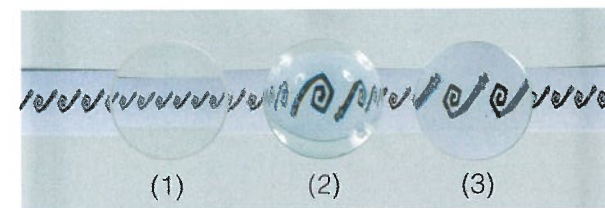
(A) 只有 q

B 只有 r

C 只有 p 和 q

D 只有 q 和 r

2 以下哪些是凹透鏡？



(A) 只有 (1)

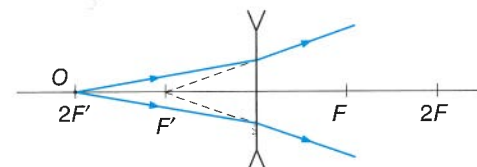
B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (2)

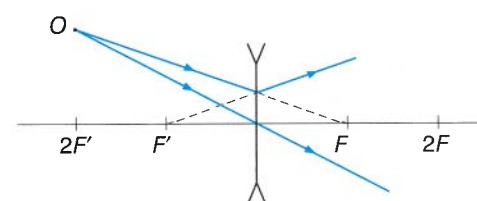
D 只有 (2) 和 (3)

3 F 及 F' 是凹透鏡的焦點。下列哪些光線圖不正確？

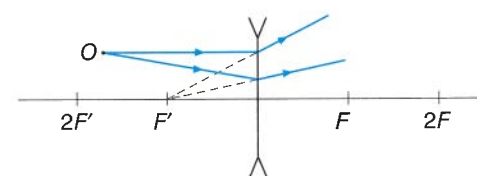
(1)



(2)



(3)



A 只有 (2)

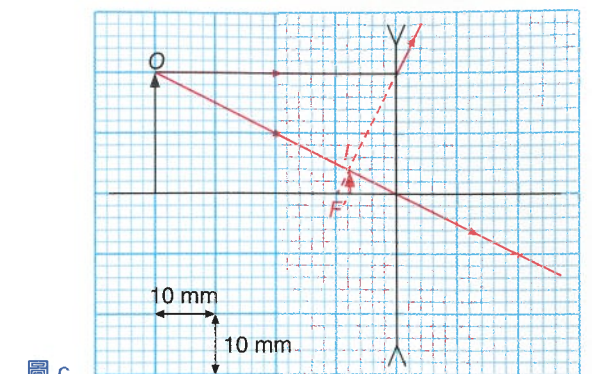
B 只有 (1) 和 (3)

C 只有 (2) 和 (3)

(D) (1)、(2) 和 (3)

4 某物體高 20 mm，置於凹透鏡前(圖 c)。透鏡的焦距是 10 mm。

1, 2, 3



(a) 在圖 c 繪畫光線圖，並找出像的高度。4 mm

(b) 指出像的性質。

(c) 求像的線性放大率。0.2

5 由凹透鏡形成的像，大小是物體的三分之一。透鏡的焦距是 0.1 m。

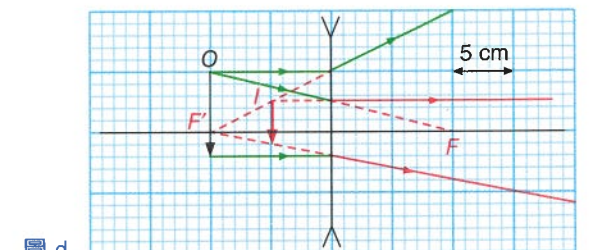
3, 4

(a) 求像的線性放大率。0.333

(b) 物距是多少？0.2 m

6 物體置於凹透鏡前(圖 d)。

1, 2



(a) 在圖 d 找出焦點的位置，並找出焦距。10 cm

(b) 完成圖 d 的光線圖，並找出像的位置。

(c) 增大凹透鏡的焦距，同時保持物距不變。像的大小和亮度會有甚麼影響？

7 物體置於距離凹透鏡 18 cm 處。透鏡的焦距是 22 cm。

2, 3, 4

(a) 像距是多少？9.9 cm

(b) 求像的線性放大率。0.55

(c) 指出像的性質。

總結 3

詞彙

1 透鏡 lens	p.80	9 焦距 focal length	p.83
2 凸透鏡 convex lens	p.80	10 焦平面 focal plane	p.83
3 凹透鏡 concave lens	p.80	11 實像 real image	p.86
4 會聚透鏡 converging lens	p.81	12 放大 magnified	p.92
5 發散透鏡 diverging lens	p.81	13 縮小 diminished	p.92
6 光心 optical centre	p.83	14 線性放大率 linear magnification	p.94
7 主軸 principal axis	p.83	15 透鏡公式 lens formula	p.98
8 主焦點 principal focus	p.83		

課文摘要

3.1 凸透鏡與凹透鏡

1 凸透鏡是會聚透鏡，能把通過的光線會聚或向內折曲（圖 a）。

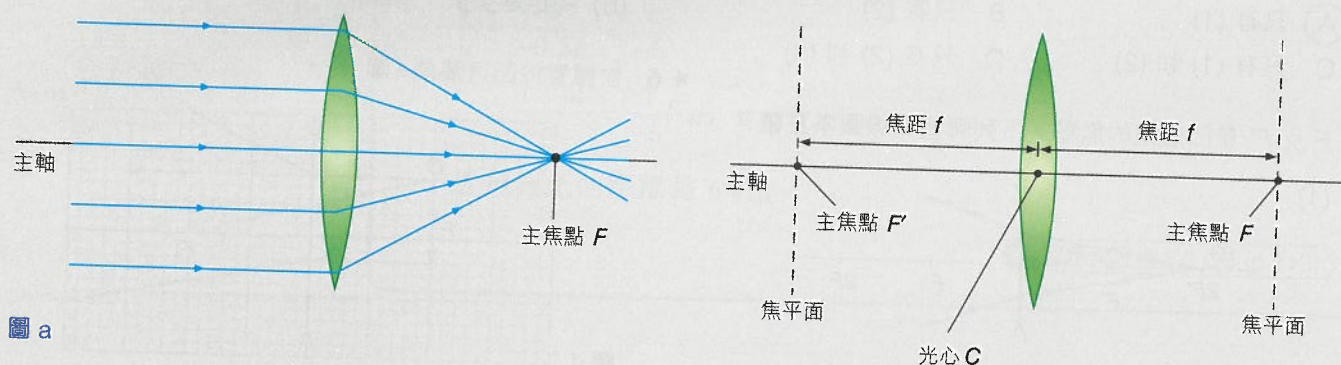


圖 a

2 凹透鏡是發散透鏡，能把通過的光線發散或向外折曲（圖 b）。

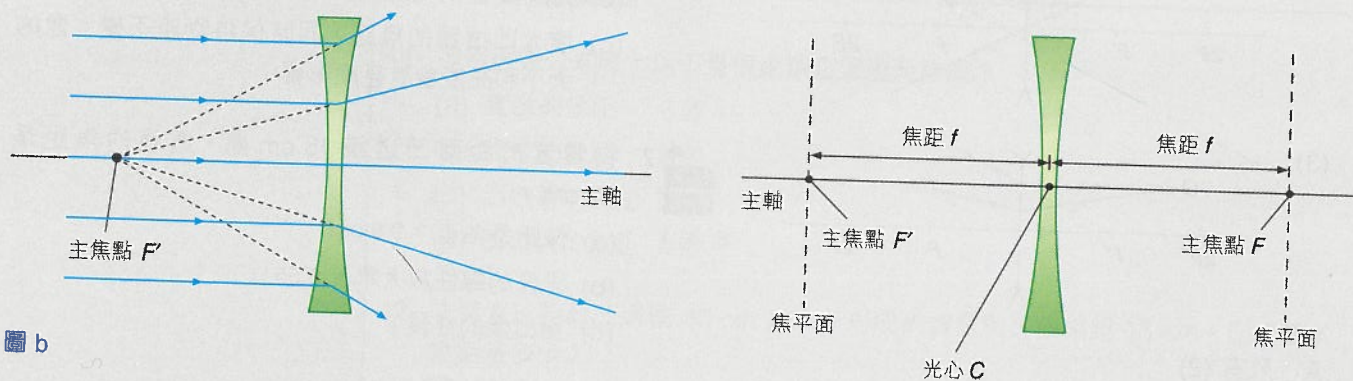


圖 b

3 平行於透鏡主軸的光線，會在焦點會聚（圖 a），或看似從焦點發散（圖 b）出來。

3.2 凸透鏡成像

4 凸透鏡可形成實像和虛像。

5 實像能用屏幕捕捉，光線在像的位置交錯；虛像不能用屏幕捕捉，光線沒有通過像。

6 凸透鏡的成像規則和像的性質見第 88 和 93 頁。

7 平行光線如果並非與主軸平行，就會聚焦在焦平面上的一點。

8 線性放大率 $m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{v}{u}$

9 像的亮度受形成像的光量與像的大小影響。

F-X **Ext** 10 透鏡公式： $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

凸透鏡的 f 取正值，實像的 v 取正值，虛像的 v 取負值， u 則一定取正值。

3.3 凹透鏡成像

11 凹透鏡只可形成正立而縮小的虛像。

12 凹透鏡的成像規則見第 104 頁。

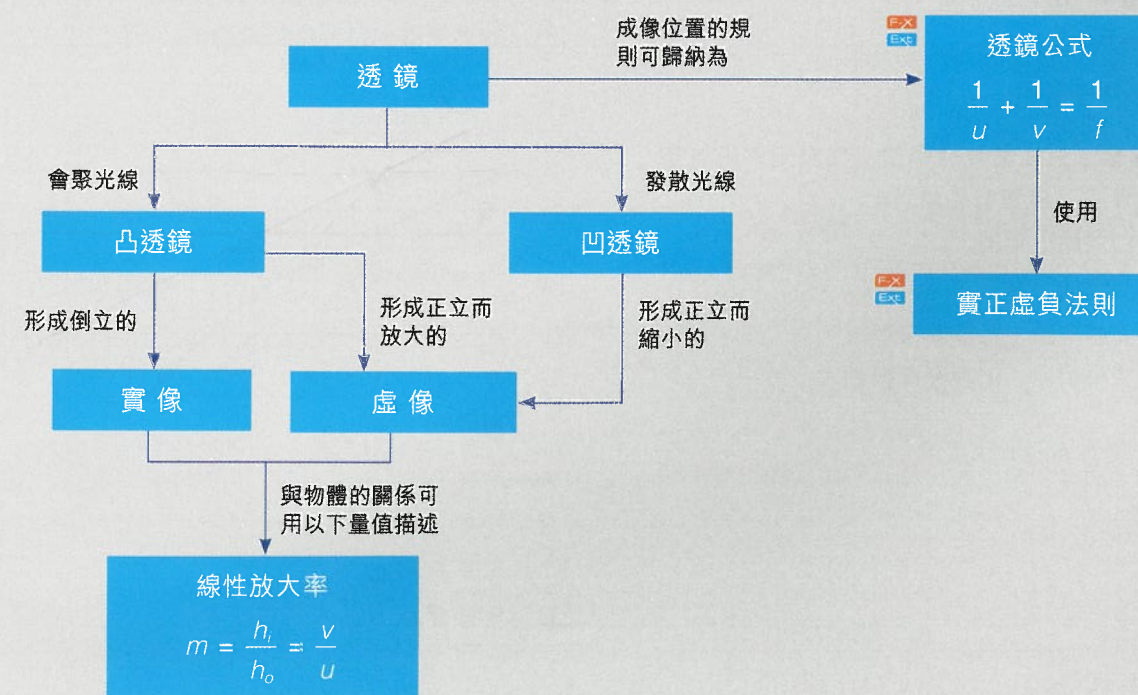
13 平行光線如果並非與主軸平行，就會看似從焦平面上的一點發散出來。

14 線性放大率 $m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{v}{u}$

F-X **Ext** 15 透鏡公式： $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

凹透鏡的 f 取負值。因為凹透鏡只會形成虛像，所以 v 一定取負值。

概念圖



複習 3

- Q1 因為 $\frac{\text{像距}}{\text{物距}} = \frac{\text{像的大小}}{\text{物的大小}}$ ，而放大鏡形成的像應大於物，所以像距也應比物距大。
- Q3 平行光線通過會聚透鏡後會相交於焦平面上的一點，但該點不一定是焦點。

概念重溫

(第1至3題) 判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

- 3.2.1 把凸透鏡當作放大鏡使用時，像距會比物距小。 **F**
- 3.2.2 即使沒有屏幕，觀察者仍然能夠看到實像。 **T**
- 3.2.3 平行光線通過會聚透鏡後，必然會聚於焦點。 **F**

多項選擇題

3.2.4

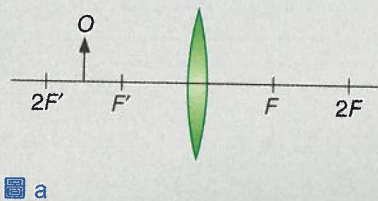


圖 a

如圖 a 所示，物體置於凸透鏡前方。下列哪項正確描述像的性質？

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

3.2.5 凸透鏡在屏幕上形成某物件的像。如果用卡紙遮蓋凸透鏡的上半部，像會有甚麼變化？

- A 只能看到像的上半部。
B 只能看到像的下半部。
C 能看到完整的像，但像變得較暗。
D 能看到完整的像，但像變得模糊。

綜合題 6 下列哪些光學儀器能形成虛像？

- (1) 凹透鏡
(2) 凸透鏡
(3) 平面鏡
- A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

綜合題 7 學生用屏幕捕捉透鏡形成的像。下列哪一項敘述必然正確？

- A** 學生用的是凸透鏡。
B 所形成的像是放大的。
C 所形成的像是正立的。
D 物體與透鏡相距很遠。

★ 8 圖 b 顯示三條光線通過一塊凸透鏡，F 是透鏡的焦點。哪些光線的路徑是正確的？

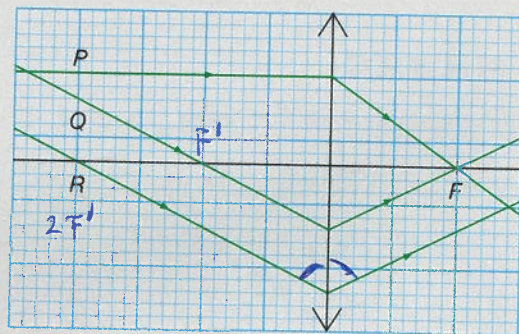


圖 b

- A 只有 P
B 只有 Q
C 只有 P 和 R
D 只有 Q 和 R

★ 9 圖 c 顯示三條光線通過一塊凹透鏡，F 是透鏡的焦點。哪些光線的路徑是正確的？

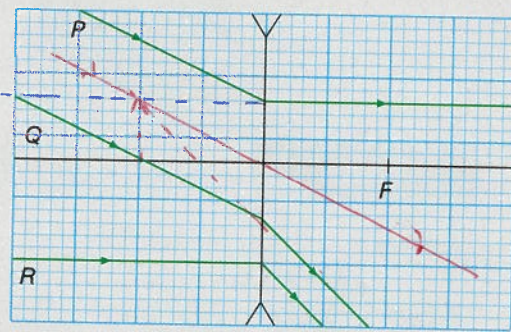


圖 c

- A 只有 P
B 只有 Q
C 只有 P 和 Q
D 只有 P 和 R

★ 10 透鏡置於物體前，成像與透鏡相距 4 cm，像的線性放大率是 1。透鏡的焦距是多少？

- A 1 cm
C 4 cm
B 2 cm
D 8 cm

★ 11 如圖 d 所示，字母「R」位於透鏡前面。半透明屏幕捕捉了它的像。

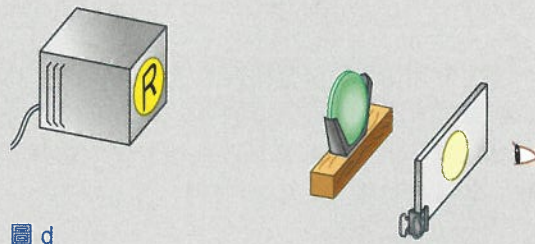


圖 d

圖中使用的是哪一種透鏡？在屏幕後的觀察者看到的像是怎樣的？

- | 透鏡種類 | 像 |
|--------------|----------|
| A 凹透鏡 | 正立、放大、虛像 |
| B 凹透鏡 | 正立、縮小、虛像 |
| C 凸透鏡 | 倒立、放大、實像 |
| D 凸透鏡 | 倒立、縮小、實像 |

★ 12 遠距離物體透過一塊透鏡形成正立的像。下列哪些敘述是正確的？

- (1) 所形成的是虛像。
(2) 像距等於透鏡的焦距。
(3) 像的線性放大率少於 1。
- A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 13 焦距為 12 cm 的凹透鏡置於物體前，成像的線性放大率是 0.75。物體與像之間的距離是多少？

- A 1 cm
C 4 cm
B 3 cm
D 5 cm

★ 14 物體與屏幕相距 72 cm。透鏡在屏幕上形成物體的像，其大小是物體的一半。透鏡的焦距是多少？

- A 16 cm
C 48 cm
B 24 cm
D 72 cm

綜合題 13

$$\left(\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}\right) \times v$$

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

$$\frac{v}{-12} = -0.75 + 1 = 0.25, \quad v = -3 \text{ cm}$$

綜合題 14

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

$$\frac{1}{-12} = \frac{1}{u} + \frac{1}{-3}, \quad u = 4 \text{ cm}$$

$$u + v = 4 + (-3) = 1 \text{ cm}$$

參看 p.98, 111

★ 15 學生如圖 e 所示裝置實驗器材。他把平面鏡放在凸透鏡後，I 在物體 O (字母 F) 旁邊形成清晰的像。圖 f 顯示光線圖。

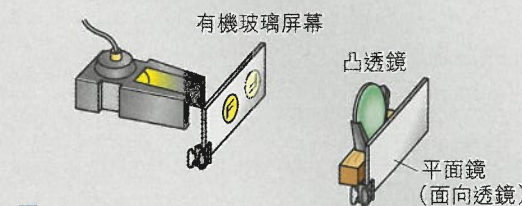


圖 e

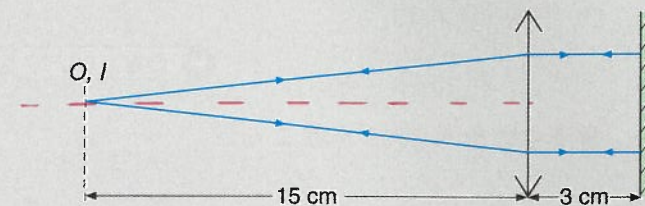


圖 f

下列哪些敘述是正確的？

- (1) 透鏡的焦距是 15 cm。
(2) O 和 I 等大。
(3) 如果透鏡與平面鏡之間的距離改為 15 cm，像的位置會保持不變。
- A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.93

★ 16 綜合題

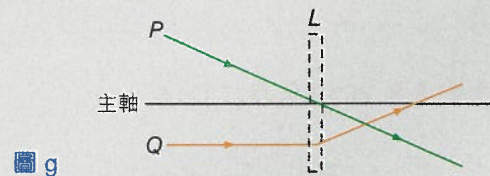


圖 g

圖 g 顯示兩條不同顏色的光線 P 和 Q 通過玻璃透鏡 L。下列哪些敘述必然正確？

- (1) L 是凸透鏡。
(2) 光線 P 進入 L 時，速率沒有改變。
(3) 如果光線 P 和 Q 通過 L 前都與主軸平行，它們便會聚焦在主軸上的同一點。
- A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

參看 p.88, 104

綜合題 16

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

$$\frac{1}{12} = \frac{1}{u} + \frac{1}{-3}, \quad u = 4 \text{ cm}$$

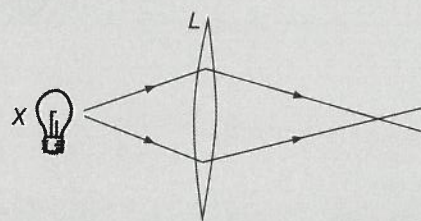
$$u + v = 4 + (-3) = 1 \text{ cm}$$

- ★★ 17 伸達把物體置於凸透鏡前，使物距大於焦距，形成物體的像。如果改用另一大小相同但焦距較短的凸透鏡，會出現下列哪種情況？

- (1) 形成的是實像。
(2) 像距增加。
(3) 像變暗了。
A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

參看 p.93, 96

綜合題 18 香港中學會考 2009 年卷二 Q17

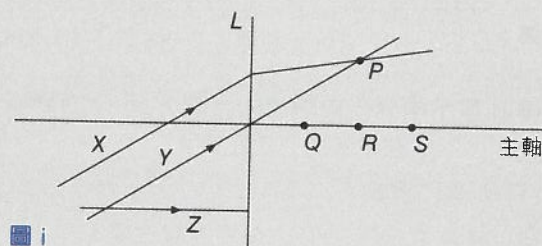


上圖中，X 是一個燈泡而 L 是一塊凸透鏡。以下哪些方法可以用作產生平行光束？

- (1) 將 L 移近 X。
(2) 用另一塊焦距較長的凸透鏡代替 L。
(3) 用另一塊焦距較短的凹透鏡代替 L。

- A 只有 (1) 和 (2) (50%)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

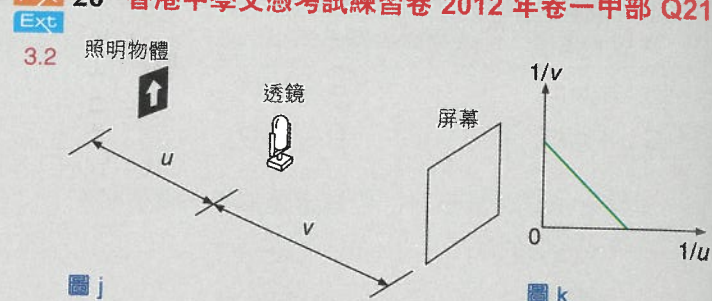
綜合題 19 香港中學會考 2010 年卷二 Q14



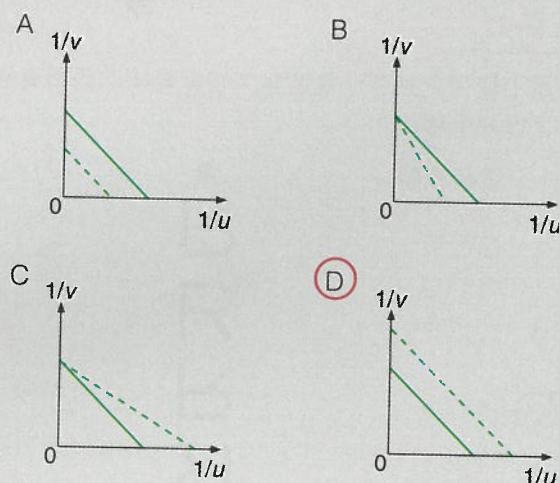
如圖所示，兩條平行光線 X 和 Y 穿過透鏡 L 後相交於 P。另一條與主軸平行的光線 Z 射向透鏡 L。光線 Z 會穿過圖中哪一點？

- A P
B Q
C R (46%)
D S

3.2 20 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q21

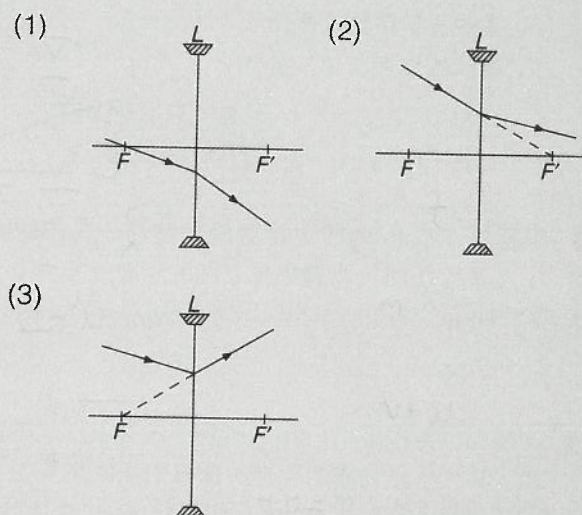


一學生利用圖 j 的裝置研究凸透鏡中物距 u 和像距 v 的關係。圖 k 顯示 $1/v$ 對 $1/u$ 的關係線圖。如果透鏡以另一塊焦距較短的凸透鏡取代，會得出以下哪一幅關係線圖（以虛線表示）？



3.3 21 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q21

在下列各圖中，L 是凹透鏡，而 F 及 F' 為其兩個主焦點。下列哪些光線圖是可能的？



- A 只有 (1) (40%)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

3.2 22 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q22

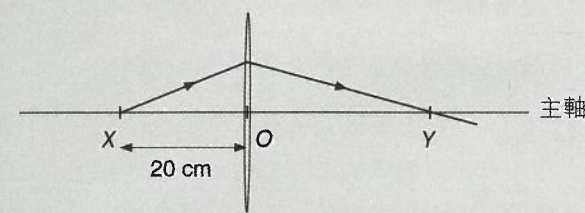


圖 l

在圖示的薄凸透鏡主軸上，放於 X 的一個點光源射出一條光線，在通過透鏡後到達主軸上的 Y 點。O 為透鏡的光心，而 $OX = 20\text{ cm}$ 及 $OY > OX$ 。以下哪些敘述是正確的？

- (1) 透鏡的焦距小於 20 cm。
(2) 如將點光源移離透鏡，間距 OY 會增加。
(3) 一物體放於 Y 會在 X 處得出縮小的成像。

- A 只有 (1) (23%)
B 只有 (2) (19%)
C 只有 (1) 和 (3) (40%)
D 只有 (2) 和 (3) (18%)

問答題

- 綜合題 23 (a) 指出凹透鏡成像的性質。 (3 分)
(b) 據此判斷圖 m 和 n 中所使用的透鏡種類。 (2 分)



圖 m

凸透鏡

圖 n

凸透鏡

- (c) 草繪光線圖，以顯示在下列情況中像怎樣形成。
(i) 圖 m 所示的情況 (2 分)
(ii) 圖 n 所示的情況 (2 分)

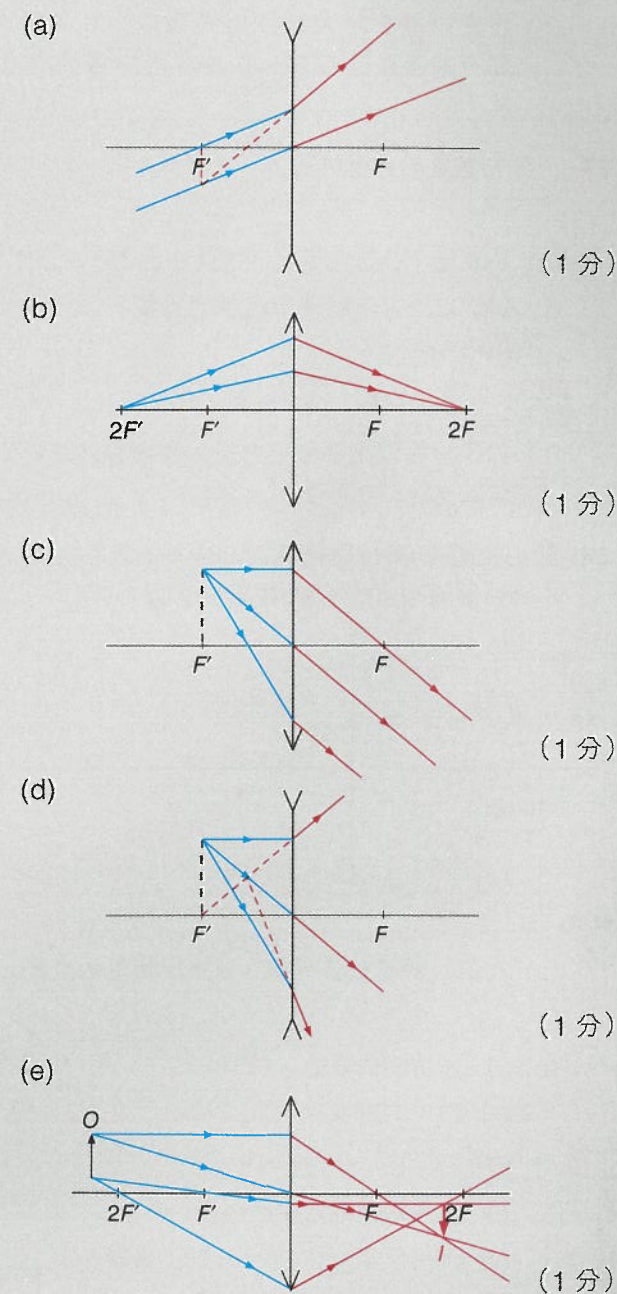
綜合題 24 圖 o 顯示透過大門防盜眼所看到的景象。



圖 o

- (a) 在防盜眼中使用了哪一種透鏡？試解釋答案。 (2 分)
(b) 指出在防盜眼中使用 (a) 部的透鏡的一個好處。 (1 分)

綜合題 25 在以下各圖中，完成光線通過透鏡後的路徑。



- ★ 26 兩個細小物體置於凹透鏡前的 P 點和 Q 點(圖 p)。

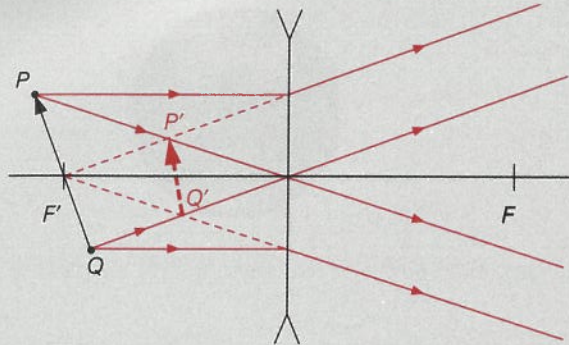


圖 p

- (a) 繪畫光線圖，並繪出兩個細小物體的成像位置。(4分)
- (b) 現在把線形物體放到凹透鏡前，頂端置於 P 點，末端置於 Q 點。繪出線形物體的成像位置。(1分)

- ★ 27 一個物體置於透鏡的前方，在物體的同一側形成放大的像。

- (a) 這裏用了凸透鏡還是凹透鏡？**凸透鏡** (1分)

- (b) 試從以下方向解釋 (a) 部的答案。

(i) 像的性質

- F-X** (ii) 透鏡公式 (2分)

- (c) 如果把物體稍為移近透鏡，像會有甚麼變化？試以光線圖說明答案。**變小** (3分)

- ★ 28 細小物體 O 與凸透鏡相距 36 cm，且在主軸上方 8 cm (圖 q)。它透過凸透鏡形成像 I 。

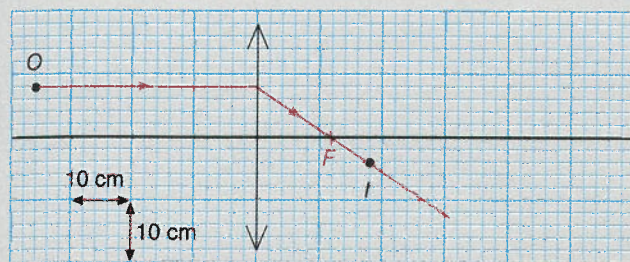


圖 q

- (a) 在圖 q 繪畫一條光線，以找出焦點的位置。(1分)
- (b) (i) 求透鏡的焦距。**12 cm** (1分)
- (ii) 求像的線性放大率。**0.5** (2分)
- (c) 描述 I 在以下情況的變化。
- (i) 改用焦距較短的凸透鏡
- (ii) 改用焦距大於 36 cm 的凸透鏡
- (iii) 改用相同焦距的凹透鏡
- (iv) 用硬幣遮蓋凸透鏡的中央部分 (4分)

- ★ 29 物體置於透鏡前 10 cm 處，形成一個虛像，像距是 5 cm。

綜合題

凹透鏡

- (a) 解釋這裏用了凸透鏡還是凹透鏡。(2分)

- (b) (i) 在方格紙上繪畫物和像的位置。(2分)

- (ii) 以繪圖的方法，找出透鏡的焦距。(2分)

- F-X** (iii) 現在將物體移至距離透鏡 15 cm 處。試運用透鏡公式來找出像距。**6 cm** (2分)

- ★ 30 在圖 r 中， AB 代表放在發散透鏡前的物體。 P 、 Q 、 R 和 S 是四條從 AB 射向透鏡的光線。 XX' 是透鏡的主軸。 AB 距離透鏡 32 cm 時，它的像就在距離透鏡 15 cm 處。

綜合題

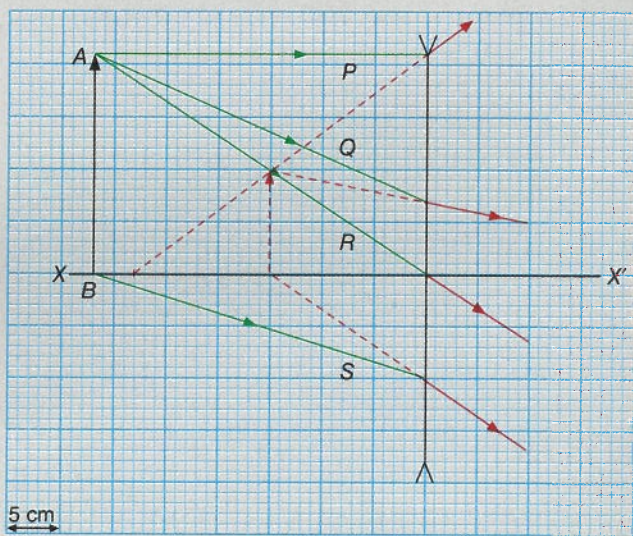


圖 r

- (a) 指出像的性質。(3分)
- (b) 求線性放大率。**0.469** (1分)
- (c) 在圖中繪畫 AB 的像，以及 P 、 Q 、 R 和 S 的折射線。(2分)
- (d) 求透鏡的焦距。**28 cm** (1分)
- (e) 現在用一塊會聚透鏡代替原來的發散透鏡，兩塊透鏡的焦距相等。

- F-X** (i) 運用透鏡公式找出像距。**224 cm** (2分)

- Ext** (ii) 指出像的性質。(3分)

- ★ 31 如圖 s 所示，志成通過透鏡來觀看遠處的湖泊。

綜合題



圖 s

- (a) 志成用了哪一種透鏡？**凸透鏡** (1分)
- (b) 志成能否用紙張捕捉這個像？如果可以，紙張要放在哪裏，才能得到清晰的像？如果不可以，試作簡單解釋。**能夠** (2分)
- (c) 繪畫光線圖，以顯示像怎樣形成。(2分)

- ★ 32 使用單鏡反光相機(圖 t)時，我們可以調整透鏡與影像感應器的距離，以對焦不同位置的物體。

綜合題

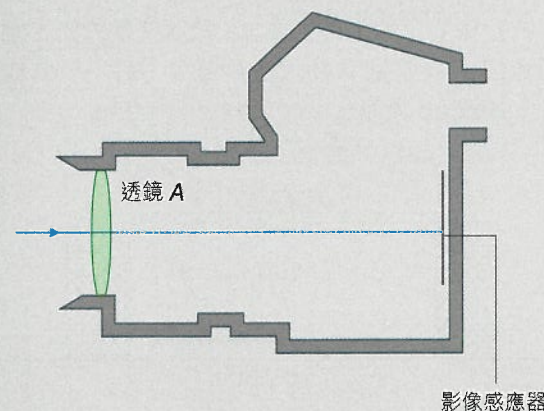


圖 t

家明想拍下相機前方 1.2 m 處的物體。

- (a) 透鏡 A 是哪一種透鏡？試簡單解釋。(2分)

凸透鏡

- (b) 透鏡的焦距是 200 mm。

- (i) 繪畫光線圖，以找出透鏡與影像感應器的距離。**240 mm** (2分)

- (ii) 求像的線性放大率。**0.2** (2分)

- (c) 現在以透鏡 B 代替透鏡 A ，兩者是同一種透鏡，但焦距不同。更換透鏡後，像的線性放大率增加。

- (i) 在這情況下，透鏡與影像感應器的距離應怎樣改變，才能在影像感應器上形成清晰的像？**增加** (1分)

- (ii) 家明想拍攝較闊的景觀。他應使用透鏡 A 還是 B ？試解釋答案。**透鏡 A** (2分)

- ★★ 33 圖 u 顯示比薩斜塔模型。

綜合題



圖 u

- (a) 一塊玻璃透鏡置於模型塔前 30 cm 處。在以下情況中，繪畫你透過透鏡所看到的像。
- (i) 使用焦距為 15 cm 的凸透鏡
- (ii) 使用焦距為 15 cm 的凹透鏡 (2分)
- (b) 比較兩個情況中成像的大小。(1分)
- (c) 如果改用塑膠(折射率略小於玻璃)製成的透鏡，而透鏡的形狀及模型塔的位置保持不變，(a)(i) 部成像的大小和亮度會有甚麼不同？試簡單解釋。(4分)

▶ 參看 例題 8 (p.109)

- ★★ 34 如圖 v 所示，物體 O 置於凹透鏡前。

綜合題

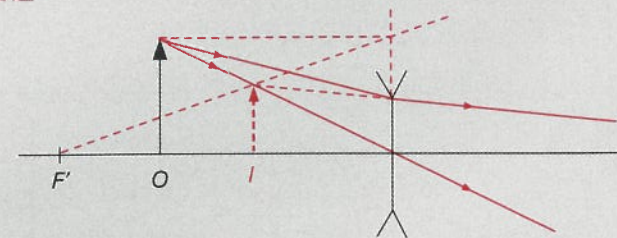


圖 v

- (a) 學生認為由於透鏡比物體細小，所以觀察到的像會不完整。他的說法正確嗎？試在圖 v 繪畫光線圖加以說明。**不正確** (3分)

(b) 如果改用直徑較大，但焦距相同的透鏡，像的大小和亮度會有甚麼變化？試解釋答案。(4分)

(c) 如圖 w 所示，把物體旋轉 90° 在圖 w 繪畫光線圖，以找出像的位置。(2分)

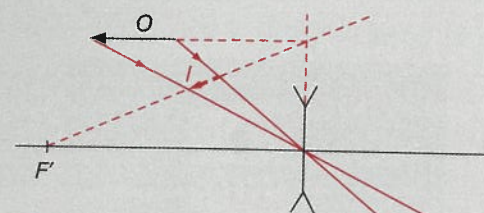


圖 w

▶ 參看 例題 8 (p.109)

□ 考試報告見第 124 頁。

綜合題 35 香港中學會考 2011 年卷一 Q4

已知對於不同波長的光，玻璃的折射率並不相同。圖 x 顯示一條藍色光線穿過一玻璃三稜鏡，和一些量度所得的角度。

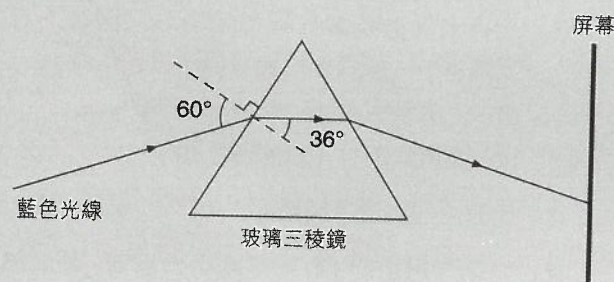


圖 x

(a) 求玻璃對藍光的折射率。1.47 (2分)

已知玻璃對紅光的折射率較對藍光的折射率小。

(b) 如圖 y 所示，現在以一紅色光線取代藍色光線。虛線 (-----) 顯示藍色光線原來的路徑。在圖 aa 草繪該紅色光線的路徑。(2分)

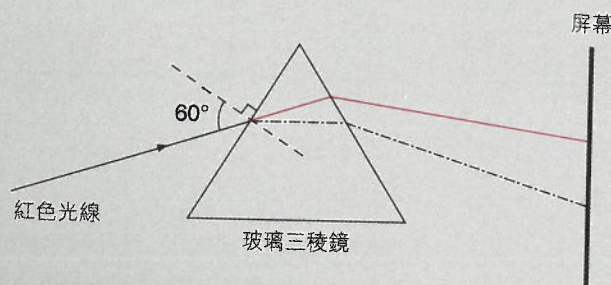


圖 y

(c) 圖 z 顯示一件發射紅光的物體放置於一凸透鏡前。透鏡以玻璃造成。屏幕上成一清晰的像。物體和透鏡的位置保持不變。

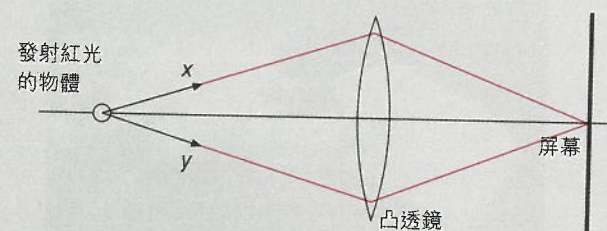


圖 z

(i) 在圖 z 完成光線 x 和 y 的路徑。(1分)

(ii) 當物體被一件發射藍光的物體取代，屏幕上的成像變得模糊。解釋屏幕應向哪方向移動才可以成一清晰的像。移向透鏡 (2分)

(iii) 現在物體被一件發射白光物體取代。解釋為甚麼理論上不可能在屏幕上成一清晰的像。(2分)

36 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q7

把一滴液體放在一片薄玻璃片上，而玻璃片放於一把塑膠間尺的上方。圖 aa 顯示裝置的側視圖。通過該滴液體觀察間尺上的數字「9」，其像放大了，如圖 ab 所示。

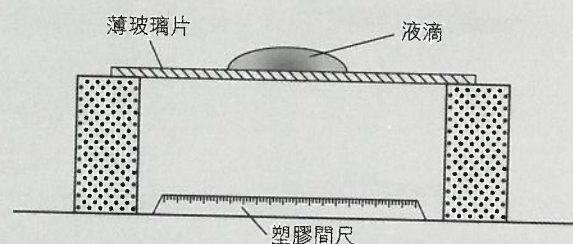


圖 aa

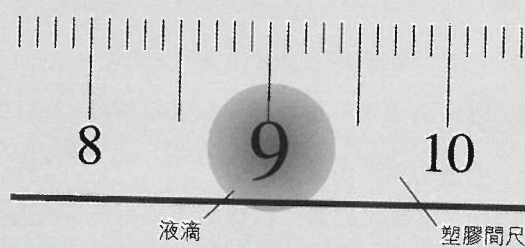


圖 ab

(a) 某一透鏡所成的像和該液滴所成的像的特性相同。指出該透鏡的類型並加以解釋。(2分)
凸透鏡

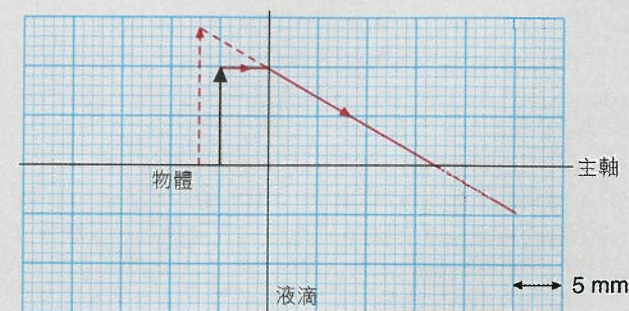
(b) 數字「9」的線性放大率為 1.4。設該數字「9」為物體，利用下方的方格紙

(i) 繪畫出物體的像，並

(ii) 繪畫一條光線以求該液滴的焦距。

薄玻璃片的影響可以忽略。

(3分)



該液滴的焦距 = 17.5 mm

圖 ac

(c) 如果液體的折射率減少，試解釋該液滴的焦距或有的改變。增加 (2分)

□ 考試報告見第 124 頁。

3.2 37 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q7

一個發光物體 PQ 與凸透鏡 AB 相距 15 cm，如圖 ad 所示。

(a) 透鏡的焦距為 5 cm。

(i) 用圖解法找出物體成像的位置，在圖 ad 清楚繪出所有作圖線，並指出成像的本質。(4分)

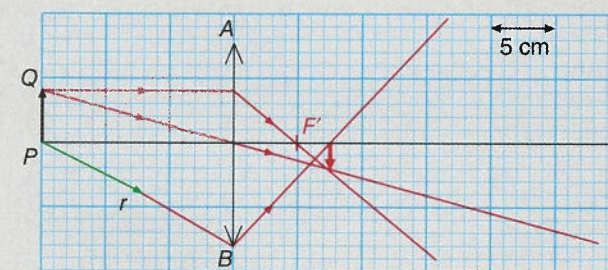


圖 ad

(ii) 在圖 ad 上完成光線 r 通過凸透鏡後的光路。(1分)

(b) 如果改為採用焦距 10 cm 的透鏡，而透鏡的大小以及 PQ 跟透鏡的物距保持不變。

EX (i) 用透鏡方程式求像距，並求成像的線性放大率。30 cm, 2 (3分)

Ext (ii) 比較這個成像的亮度與 (a) 部成像的差別，並加說明。(2分)

□ 考試報告見第 124 頁。

38 香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q6

綜合題

在圖 ae 中，XY 是薄球面透鏡 L 的主軸，而 A、B 是來自一遙遠物體（未有繪出）上某點 P 的兩條平行光線。

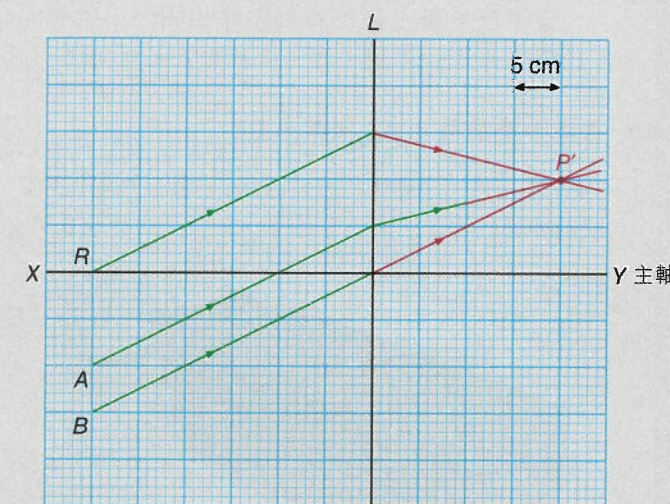


圖 ae

凸透鏡

(a) 透鏡 L 屬哪一類型？試加以說明。(2分)

(b) (i) 找出 P 所成的像的位置（標作點 P'）。(2分)

(ii) 據此求透鏡的焦距。20 cm (1分)

(c) R 是來自同一點 P 的光線，試完成其穿過透鏡後的光路。(1分)

(d) 根據以上光線圖所示的情況，描述一個簡單的實驗方法以找出透鏡 L 的焦距。(2分)

實驗題

★ 39 永賢想找出凸透鏡 X 的焦距，就如圖 af 所示裝置實驗器材，透過凸透鏡觀看燈箱上的字母「F」。結果他看到像，但卻不能用屏幕捕捉像。

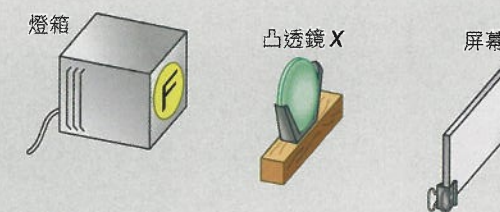


圖 af

- (a) 指出他不能捕捉像的一個可能原因。(1分)
- (b) 他用焦距為 10 cm 的凸透鏡代替 X 後，就能夠用屏幕捕捉像。X 的焦距是怎樣的？(1分)
- (c) 他把透鏡再次換成 X，然後調整 X 的位置，直至在屏幕上捕捉到與物體相同大小的像。這時，像距是 32 cm。求 X 的焦距。(1分)

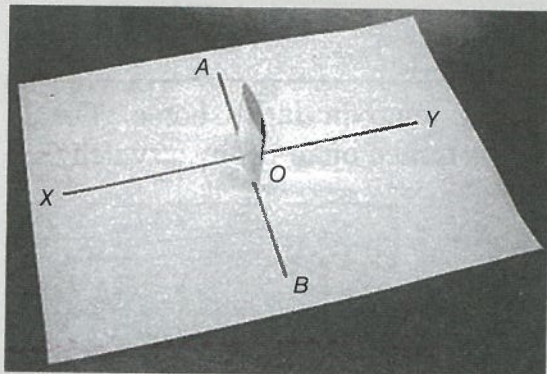
16 cm

3.2 40 香港中學會考 2008 年卷一 Q6

利用圖 ag 中的儀器，描述測定柱面凸透鏡焦距實驗的步驟。(5分)



一個已連接 12 V 電源的單縫光線箱



柱面凸透鏡置於紙面上，其光心位於兩互相垂直的線 AB 和 XY 的交點 O，線 XY 為透鏡的主軸



直尺

圖 ag

Q35 考試報告：本題考核考生對紅光和藍光在玻璃內有不同折射率的知識和理解，考生表現令人滿意。

- (a) 大部分考生求得正確的折射率，惟部分考生誤以為折射角為 30° 。
- (b) 部分考生的答案前後不一致。例如第一次折射時紅光偏折較藍光少，第二次折射時紅光偏折卻較藍光多。
- (c) (i) 部分考生把穿過透鏡後的光線錯誤繪成平行於主軸。
- (ii) 只有少數考生明瞭折射角的改變如何影響像的位置。部分考生未能清晰描述屏幕的移動，他們使用「向前」或「向後」等不合適的說法。
- (iii) 只有少數考生正確應用(b)(ii)部的概念回答本部。部分考生不知道白光由不同顏色的光構成。

Q37 考試報告：考生在(a)和(b)部的表現良好，但很多考生在(a)(i)錯誤以虛線代表影像和光線。在(a)(ii)部，光線 r 穿過透鏡後常錯誤畫到影像的頂端而非尾部。很多考生在(b)(ii)未能解釋為何影像變暗，他們沒法指出影像的亮度差異可以用每單位面積的光能解釋，極少人明瞭定量的光對不同大小的影像產生不同的亮度，更有人誤以為放大的像等同於較亮。

Q38 考試報告：考生在(a)部的表現良好。在(b)部，很多考生忽略了平行光線是來自同一點光源，以致錯畫箭頭符號為成像且標示錯誤，有個別考生更從光線圖中誤讀焦距為 10 cm。在(c)部，只有能力較強者明瞭相同一點射出的光線穿越透鏡後應相交於影像上的對應位置。有些考生沒有依(d)部利用遙遠物體的要求，只以燈箱實驗方法並根據透鏡方程 $1/f = 1/u + 1/v$ 求焦距 f。

Q40 考試報告：本題要求考生使用供給的儀器描述測定柱面透鏡焦距實驗的步驟。考生整體表現差劣。只有能力較強的考生明白單縫（光線箱內）的功能並正確描述如何使用一條平行於主軸 XY 的光線以測定柱面透鏡的焦距。然而大部分考生卻錯誤地將單縫視為一發光體，或錯誤地認為由單縫射出的光束（或數條光線）能在透鏡對面聚焦於稱為焦點的一點。

物理文章分析

★ 41 閱讀以下有關晶狀體的文章，並回答以下問題。
3.2

眼睛內的「透鏡」

晶狀體是眼睛內一個透明、雙凸面的組織。它與角膜都會折射進入眼睛的光線，令光線聚焦到視網膜上，因此它的功用與人造光學透鏡相似。

眼睛改變晶狀體的形狀，就可以對焦不同距離的物體，令視像清晰。這種調節受體內的神經系統操控，由晶狀體附近的肌肉執行，稱為視覺調節。經過視覺調節，所觀看的物體便可在視網膜形成清晰的像。

觀看近的物體時，睫狀肌會收縮，晶狀體變得較厚（圖 ah）。如果想改變焦點來觀看遠處的物體，睫狀肌就要放鬆，從而拉緊晶狀體，令晶狀體變薄，增大焦距（圖 ai）。

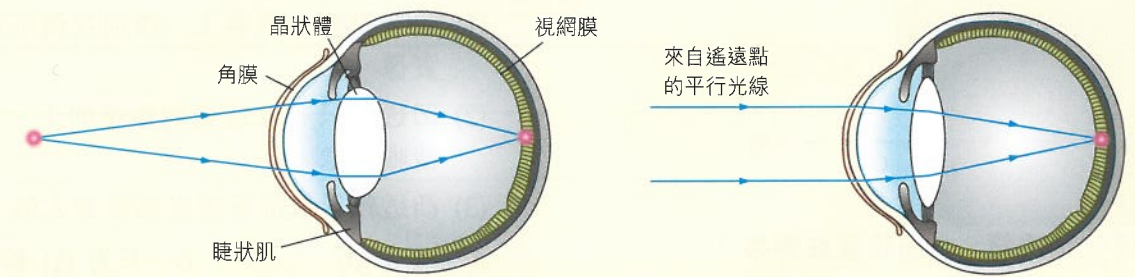


圖 ah

圖 ai

(a) 如果晶狀體的形狀跟凹透鏡一樣，會有甚麼問題？

(1分)

(b) 如圖 aj 所示，物體在屏幕上形成像。

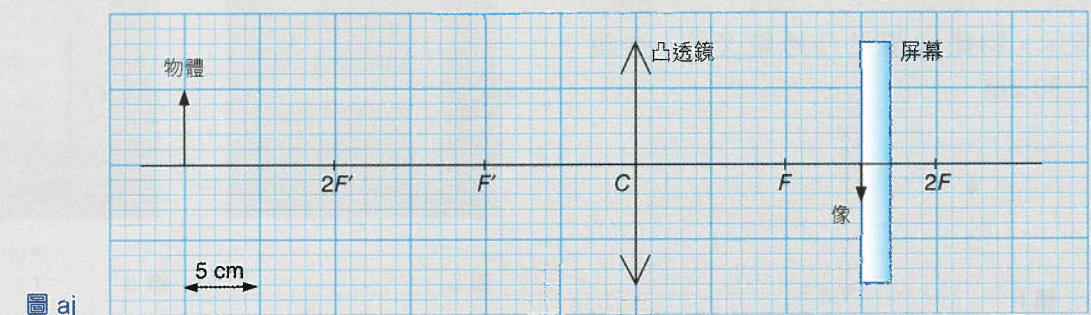


圖 aj

現在將物體與透鏡之間的距離縮減一半。

(i) 繪畫光線圖，以找出新的成像位置。

(3分)

F-X Ext (ii) 我們可以使用不同焦距的透鏡來模擬視覺調節。

(1) 運用透鏡公式，找出在這情況下透鏡的焦距。7.5 cm

(2分)

(2) 繪畫光線圖，以顯示經視覺調節後像怎樣形成。

(2分)

(3) 人眼怎樣作視覺調節？

(2分)

自我評核 3

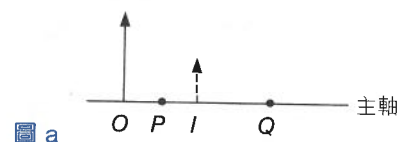
時間：20 分鐘 總分：17 分

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

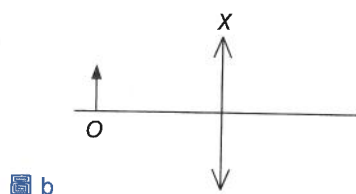
- 1 物體 O 透過透鏡 L 形成像 I 。圖 a 顯示 O 和 I 的大小及位置。



L 是哪一種透鏡？它的位置在哪裏？

L	L 的位置
A 凹透鏡	P
B 凸透鏡	P
C 凹透鏡	Q
D 凸透鏡	Q

- 3.2 2 如圖 b 所示，物體 O 置於凸透鏡 X 前，透鏡的焦距是 30 cm。



假設屏幕上可以捕捉物體清晰的像。下列哪些敘述是正確的？

- 所形成的像必然是縮小的。
- 物距必然大於 30 cm。
- 隨着物體遠離透鏡，像會變暗。

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

- 3 下列哪些有關透鏡成像的敘述是正確的？

- 除非投射在屏幕上，否則我們不可能看到實像。
- 凹透鏡只有在透鏡的焦平面上，才可形成清晰的像。
- 凸透鏡形成的虛像必然是放大的。

- A 只有 (3) B 只有 (1) 和 (2)

- C 只有 (1) 和 (3) D 只有 (2) 和 (3)

- 4 圖 c 顯示高 3 cm 的字母「F」。當透鏡置於字母上方 12 cm 處，就會形成高 1.5 cm 的像（圖 d）。

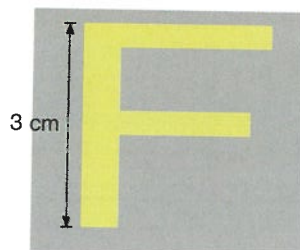


圖 c

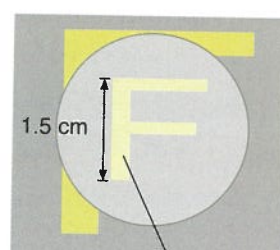


圖 d

透過透鏡看到「F」的像

透鏡的焦距是多少？

- A 3 cm B 4 cm
C 8 cm D 12 cm

- 5 當物體置於距離透鏡 20 cm 處，它的像不能投射在屏幕上。這時，像的線性放大率是 3。所用的是以下哪一款透鏡？

- A 焦距為 15 cm 的凸透鏡
B 焦距為 30 cm 的凸透鏡
C 焦距為 15 cm 的凹透鏡
D 焦距為 30 cm 的凹透鏡

乙部

- 綜合題 6 圖 e 和 f 顯示透過透鏡 A 和 B 觀察遠距離物體時看到的像。

- (a) A 和 B 分別是哪一種透鏡？試解釋答案。 (4 分)

A : 凹透鏡; B : 凸透鏡



圖 e



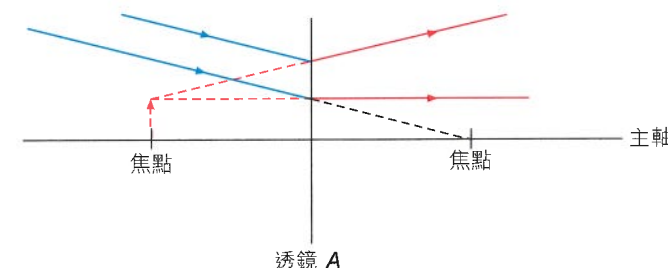
圖 f

- (b) 判斷透鏡 A 和 B 形成的是實像還是虛像。 (2 分)

A : 虛像; B : 實像

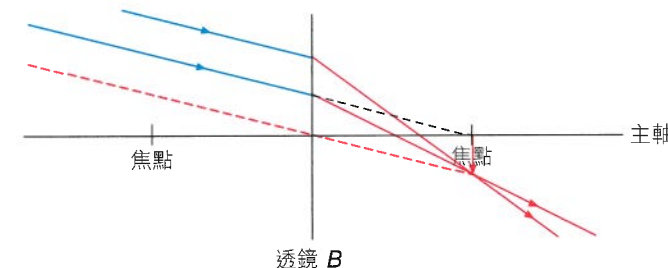
- (c) 在下圖中，完成光線的路徑，並顯示成像的位置。

- (i) 透鏡 A



(2 分)

- (ii) 透鏡 B



(2 分)

- (d) 指出以下改變對像的大小有甚麼影響。

- (i) 透鏡 A 的焦距增大。

變大

(1 分)

- (ii) 透鏡 B 的焦距變小。

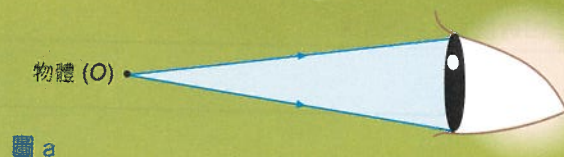
變小

(1 分)

實像和虛像

我們是怎樣看東西的？

光線從物體的一點進入眼睛後，大腦便會假定光線以直線運行，從而判斷那一點的位置（圖 a）。如果物體不僅僅是一個點，那麼物體上的每個點都將以同樣的方式判斷出來，我們由此掌握物體的外觀和位置。

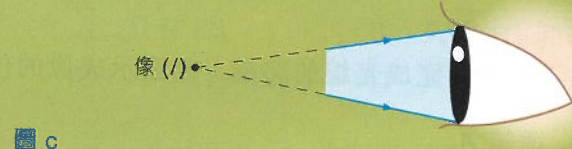


甚麼是像？

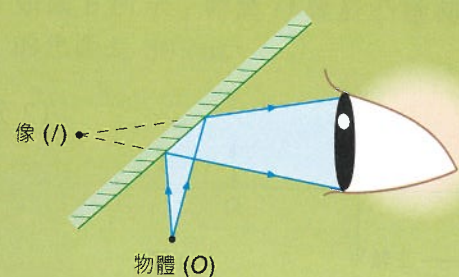
圖 b 的光線進入眼睛的角度與圖 a 的光線相同。把進入眼睛的光線向後伸延，會有一相交點，大腦會把光線判斷為從這相交點發出，並把該點視作物體所在的位置（圖 c）。這就是物體的像，但大腦卻不能分辨那個是像還是真實的物體（除非還有其他的觀察結果作依據）。



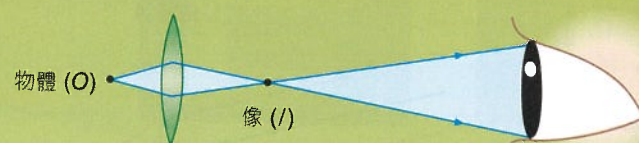
在以下各個情況中，從物體的一點發出的光線，以相同角度但不同路徑進入眼睛。它們是否都從像而來？這些像是實像還是虛像？



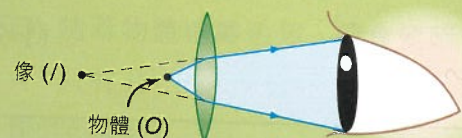
1 光線經平面鏡反射



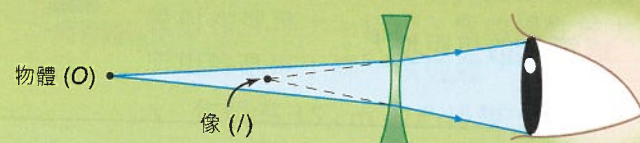
2 光線通過凸透鏡後相交，然後進入眼睛



3 光線通過凸透鏡後沒有相交



4 光線通過凹透鏡



答案

1 光的反射

進度評估 1 (p.6)

- 1 C 2 B

習題與思考 1.1 (p.6)

- 1 C 2 C 3 D
5 (a) 發散 (b) 發散
(c) 平行

進度評估 2 (p.10)

- 1 (a) 法線
(b) Y : 入射角; Z : 反射角
(c) 相等

習題與思考 1.2 (p.11)

- 1 C 2 A 3 C
4 (a) $i = 50^\circ$; $r = 50^\circ$
5 (a) 60° (c) 30°
7 (b) 不正確

進度評估 3 (p.17)

- 1 A
2 (a) 1.5 m (b) 3.6 m

進度評估 5 (p.25)

- 1 (b) (i) 0.75 m (ii) 能夠

習題與思考 1.3 (p.25)

- 1 A 2 D 3 A 4 D
5 C
7 (b) 不變
10 (a) 2.8 m (c) 不能，西
11 (a) 31.3 m
12 108 cm

複習 1

概念重溫 (p.29)

- 1 F 2 F 3 F

多項選擇題 (p.29)

- 4 B 5 A 6 A 7 A
8 A 9 B 10 C 11 D
12 A 13 B

問答題 (p.31)

- 15 (a) 漫反射
(c) (i) 適用
16 (a) 3 m
(b) (i) 不變 (ii) 不變
(c) 3 m
17 (b) 永明
18 (a) 70°
(b) (i) 30° (ii) 40°
(iii) 60°
20 (b) 正立 (c) 271 m
21 (b) 1.67 m (c) 3.85 m
(d) 53.9°

2 光的折射

進度評估 1 (p.40)

- 1 35.2° 2 D

進度評估 2 (p.43)

- 1 37.0° 2 34.0° 3 2.15 4 81.8°

進度評估 3 (p.47)

- 1 對 2 對 3 錯
4 $1.70 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
5 X : 紫色, Y : 紅色, X 較快

進度評估 4 (p.51)

- 1 對

習題與思考 2.1 (p.51)

- 1 C 2 A 3 A 4 B
5 B
8 $1.82 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 9 1.58
11 $A: 28.1^\circ, 28.1^\circ, 45^\circ$; $B: 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$
12 32.0°
14 (b) 高些

進度評估 5 (p.57)

- 1 對 2 錯

3 介質	n	c
水	1.33	48.8°
鑽石	2.42	24.4°
玻璃	1.50–1.70	36.0°–41.8°

進度評估 6 (p.65)

- 1 A 3 0.892 m

習題與思考 2.2 (p.65)

- 1 D 2 B 3 D 4 B
5 A
6 (a) 49.8° (b) 1.46
7 45°
8 (b) 41.1°
10 1.20
11 (a) 37.3° (b) 52.7°
13 (a) $w = 35.3^\circ$, $x = 54.7^\circ$, $y = 54.7^\circ$, $z = 60.0^\circ$
(b) 相等 (c) 不會

複習 2

概念重溫 (p.69)

- 1 T 2 F 3 F

多項選擇題 (p.69)

- 4 A 5 C 6 C 7 C
8 B 9 B 10 A 11 C
12 A 13 B 14 B 15 A
16 B 17 A 18 A 19 B
20 C

問答題 (p.72)

- 21 (a) 低 (b) 1.33
(c) $2.26 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
22 (a) 25.5° (b) 48.8°
(c) 不會
23 (b) 1.47 (c) $2.04 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
24 31.4°, 31.4°, 35.2°
25 (b) 更高
26 (a) 色散
27 (a) 0.695 m
(b) (i) 增加 (ii) 不變

- 28 (a) P: 反射; Q: 反射和折射

- (b) (i) 全內反射

- 29 (b) (i) 不會

- 30 (a) 33.6°

- (b) 不會

- 31 (a) 2.42

- (b) 35.3°

- 33 (a) (i) 40°

- (ii) 65°

- (iv) (1) 全內反射

- (2) 相等

- 34 (a) 1.47

- (d) 光譜

實驗題 (p.75)

- 35 (a) 1.46

- 37 (a) 42.5°

3 透鏡

進度評估 1 (p.84)

- 1 Z 2 X

習題與思考 3.1 (p.84)

- 1 D
2 凸透鏡: (ii)、(iv)、(vi); 凹透鏡: (i)、(iii)、(v)

進度評估 3 (p.97)

- 1 A 2 對 3 對

進度評估 4 (p.100)

- 1 A 2 3 cm

習題與思考 3.2 (p.100)

- 1 B 2 D 3 B 4 A
5 A
6 (a) 倒立而縮小的實像
7 (a) 90 cm (b) 6
(c) 正立而放大的虛像
8 (a) 20 cm (b) 1.5
9 (b) 2
(c) 正立而放大的虛像
11 (a) 虛像
(b) (ii) 20 mm

進度評估 5 (p.107)

- 1 A

進度評估 6 (p.111)

- 1 正立, 縮小, 虛

2 物體的位置	像的位置	像的性質
在無限遠處與透鏡之間	與物體在透鏡的同一側	正立而縮小的虛像
在無限遠處	在物體那一側的焦平面上	正立而縮小的虛像

- 3 A 4 2.5 cm

進度評估 7 (p.112)

- 1 (a) 正值 (b) 負值
(c) 正值 (d) 負值
2 A

習題與思考 3.3 (p.113)

- 1 A 2 A 3 D
4 (a) 4 mm
(b) 正立而縮小的虛像
(c) 0.2
5 (a) 0.333 (b) 0.2 m
6 (a) 10 cm
7 (a) 9.9 cm (b) 0.55
(c) 正立而縮小的虛像

複習 3

概念重溫 (p.116)

- 1 F 2 T 3 F

多項選擇題 (p.116)

- 4 D 5 C 6 D 7 A
8 C 9 C 10 B 11 C
12 D 13 A 14 A 15 D
16 A 17 A 18 A 19 C
20 D 21 A 22 C

問答題 (p.119)

- 23 (a) 正立而縮小的虛像
(b) 凸透鏡, 凸透鏡
24 (a) 凹透鏡
27 (a) 凸透鏡 (c) 變小
28 (b) (i) 12 cm (ii) 0.5
29 (a) 凹透鏡
(b) (ii) 10 cm (iii) 6 cm

- 30 (a) 正立而縮小的虛像

- (b) 0.469 (d) 28 cm

- (e) (i) 224 cm

- (iii) 倒立而放大的實像

- 31 (a) 凸透鏡

- (b) 能夠

- 32 (a) 凸透鏡

- (b) (i) 240 mm

- (ii) 0.2

- (c) (i) 增加

- (ii) 透鏡 A

- 34 (a) 不正確

- 35 (a) 1.47

- (c) (ii) 移向透鏡

- 36 (a) 凸透鏡

- (b) (ii) 17.5 mm

- (c) 增加

- 37 (a) (i) 倒立而縮小的實像

- (b) (i) $v = 30 \text{ cm}$, $m = 2$

- 38 (a) 凸透鏡

- (b) (ii) 20 cm

實驗題 (p.123)

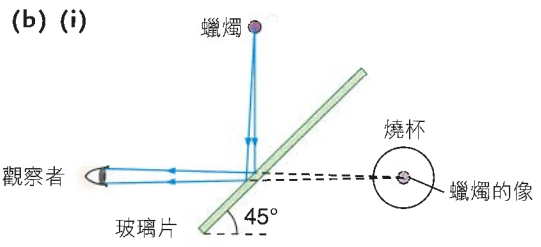
- 39 (b) 比 10 cm 長 (c) 16 cm

物理文章分析 (p.125)

- 41 (b) (ii) (1) 7.5 cm

自我評核題解

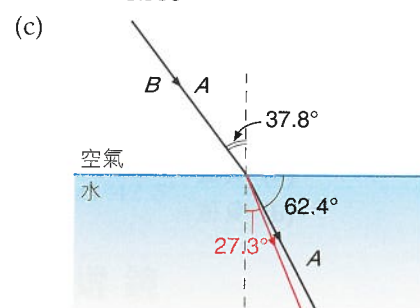
自我評核 1 (p.34)

- 1 B 2 D 3 B 4 C
- 5 (a) 光線 q 和 r 之間的角度
 $= 180^\circ - 38^\circ - 38^\circ = 104^\circ$ 1A
- (b) (i) 
 (光線由蠟燭至玻璃片) 1A
 (光線由玻璃片至觀察者) 1A
 (像至玻璃片的虛線) 1A
- (ii) 蠟燭的像與玻璃片的距離相等於蠟燭與玻璃片的距離。 1A
- (iii) 
 (蠟燭的像在燒杯的右方) 1A

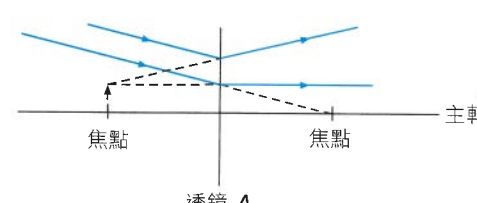
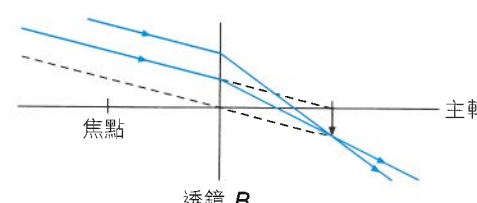
自我評核 2 (p.76)

- 1 C 2 D 3 B 4 B
- 5 C
- 6 (a) $\sin r = 1$ 時, $\sin i = 0.58$
 $\Rightarrow i = 35.5^\circ$ 1A
 這是寶石與空氣交界面的臨界面。 1A
- (b) 光線會發生全內反射。 1A
- (c) 寶石的折射率 $n = \frac{1}{\sin C}$ 1M
 $= \frac{1}{\sin 35.5^\circ}$
 $= 1.72$ 1A
 $\therefore$ 寶石含有玻璃。 1A
- 7 (a) 應用 $n = \frac{\sin \theta_a}{\sin \theta}$ 1M
 A 在水中的折射率
 $= \frac{\sin 37.8^\circ}{\sin (90^\circ - 62.4^\circ)} = 1.323$ 1A
 B 在水中的折射率
 $= \frac{\sin 38.2^\circ}{\sin (90^\circ - 62.4^\circ)} = 1.335$ 1A

- (b) 應用 $n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n}$ 1M
 A 在水中的速率
 $= \frac{3.00 \times 10^8}{1.323} = 2.27 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 1A
 B 在水中的速率
 $= \frac{3.00 \times 10^8}{1.335} = 2.25 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 1A



自我評核 3 (p.126)

- 1 C 2 B 3 A 4 D
- 5 B
- 6 (a) A 是凹透鏡。 1A
 只有凹透鏡能夠形成正立而縮小的像。 1A
 B 是凸透鏡。 1A
 只有凸透鏡能夠形成倒立的像。 1A
- (b) A 形成的是虛像。 1A
 B 形成的是實像。 1A
- (c) (i) 
 (光線正確) 2 × 1A
- (ii) 
 (光線正確) 2 × 1A
- (d) (i) 像會變大。 1A
 (ii) 像會變小。 1A

索引

二劃	十一劃	
入射角 angle of incidence	7	視深 apparent depth
入射線 incident ray	7	
四劃	十二劃	
不發光體 non-luminous object	4	發光體 luminous object
反射 reflection	7	發散光束 divergent beam
光的反射 of light	7	單向反射 regular reflection
反射角 angle of reflection	7	透鏡 lens
反射線 reflected ray	7	凹透鏡 concave
反射定律 laws of reflection	8	凸透鏡 convex
介質 medium	38	發散透鏡 diverging
光密介質 optically denser	41	會聚透鏡 converging
光疏介質 optically less dense	41	透鏡公式 lens formula
牛頓 Newton, Isaac	47	斯涅耳 Snell, Willibrord
內窺鏡 endoscope	61	斯涅耳定律 Snell's law
五劃		焦距 focal length
平行光束 parallel beam	3	焦平面 focal plane
平面鏡 plane mirror	7	十三劃
正立 erect	16	會聚光束 convergent beam
主焦點 principal focus	83	稜鏡 prism
主軸 principal axis	83	
六劃		十四劃
光束 light beam	3	漫反射 diffuse reflection
光線 ray	3	像 image
光錐 cone of rays	4	虛像 virtual
光導纖維 optical fibre	60	實像 real
光心 optical centre	83	
全內反射 total internal reflection	54	十五劃
色散 dispersion	47	線性放大率 linear magnification
色譜 colour spectrum	47	潛望鏡 periscope
七劃		
折射 refraction	38	十六劃
光的折射 of light	38	橫向倒置 laterally inverted
折射角 angle of refraction	38	
折射線 refracted ray	38	十七劃
折射定律 laws of refraction	40	臨界面 critical angle
折射率 refractive index	41	縮小 diminished
阿爾哈曾 Alhazen	4	十八劃
八劃		雙筒望遠鏡 binoculars
法線 normal	7	
放大 magnified	92	十九劃
十劃		羅默 Rømer, Ole
高錕 Kao, Charles K.	61	
海市蜃樓 mirage	62	