

4



光

- 4·1 光的傳播與光速 (1節)
 - 光的直進性
 - 針孔成像
 - 光速
- 4·2 光的反射與面鏡 (1.5節)
 - 光與視覺
 - 光的反射
 - 平面鏡的成像
 - 實像與虛像
 - 凸面鏡與凹面鏡
- 4·3 光的折射與透鏡 (2.5節)
 - 光的折射
 - 透鏡
 - 實驗 | 透鏡的成像觀察
- 4·4 光學儀器 (1節)
 - 複式顯微鏡
 - 照相機
 - 眼睛與眼鏡
 - 其他光學儀器
- 4·5 色光與顏色 (1.5節)
 - 陽光的色散
 - 光的三原色
 - 色光與物體的顏色
 - 實驗 | 色光與顏色的關係

宜蘭的蘭陽博物館，以單面山的形體做設計，融入當地自然景觀。外牆上，不同的石材排列組合，隨著天色變化有不同色調；玻璃部分，則可反射出天空的模樣，再搭配湖面下所形成的倒影，更是美不勝收。

因為有光，我們才得以看到這世界，萬物才能顯現繽紛的色彩。一些常見生活現象的發生與光息息相關，例如站在游泳池畔看到的水深會比實際水深稍淺；生活中更是常用到鏡子、眼鏡、顯微鏡等光學儀器，幫助我們發現問題或觀察更微小的事物。在本章中，我們將初步認識光的基本性質，更加了解光對我們的影響。



蘭陽博物館位於烏石港溼地，溼地中的自然生態景觀也很值得去看看喔！



給老師

此圖是從烏石港遊客中心望向蘭陽博物館的角度取景，前方有一水潭溼地，無風時水面像鏡面，可見博物館倒影，教師可提問：當風吹皺池水時是否可見清晰倒影？還是模糊的呢？

博物館內窗明几淨，我們能清楚看見玻璃帷幕外面景色，是外面物體反射光線或是陽光直接穿過透明玻璃進入我們的眼睛，引起視覺，而光線穿過玻璃時，已經發生折射了。這部分可在4-3節光的折射與學生討論。



教材地位

異動說明

(九貫教材到新綱教材)

⊕ 新增；⊖ 刪除或搬移

⊕ ₁ 凸面鏡與凹面鏡的成像性質	依學習內容說明Ka-IV-8-3「透過實驗觀察面鏡的成像情形與物體到面鏡距離有關。」於本章4·2節處，新增相關內容。
⊕ ₂ 視深	依學習內容說明Ka-IV-8-4「利用圖片說明視深與實際深度的成因與差異。」於本章4·3節處，新增相關內容。

概念承接

先備知識 (九貫國小)	本章概念	未來發展	
		(必修物理)	(選修物理)
<ul style="list-style-type: none"> 光遇阻礙時形成影子。 	4·1 光的傳播與光速 <ul style="list-style-type: none"> 光的直進性與其應用。 針孔成像。 光速。 (對應課綱：Ka-IV-6、Ka-IV-7)	<ul style="list-style-type: none"> 光的都卜勒效應。 光的微粒說、波動說。 馬克士威發現光是一種電磁波。 	—
<ul style="list-style-type: none"> 光的反射有一定的方向。 光滑平面會反射、聚光。 	4·2 光的反射與面鏡 <ul style="list-style-type: none"> 光與視覺的關係。 光的反射定律。 平面鏡、凸面鏡與凹面鏡的成像。【⊕₁】 實像與虛像。 光的可逆性。 (對應課綱：Ka-IV-8)	<ul style="list-style-type: none"> 光的反射現象(複習國中內容)。 	—
<ul style="list-style-type: none"> 光經不同介質時會折射。 觀察透鏡放大效果。 	4·3 光的折射與透鏡 <ul style="list-style-type: none"> 光在不同介質會產生折射。 水面下物體的視深與實際深度。【⊕₂】 凸透鏡與凹透鏡的成像。 (對應課綱：Ka-IV-8)	<ul style="list-style-type: none"> 惠更斯原理。 司乃耳定律(圖示定量說明)。 光的干涉及繞射。 雙狹縫干涉實驗。 	<ul style="list-style-type: none"> 司乃耳定律。 光的全反射。 薄透鏡公式與折射率的測定。 以疊加原理說明光的干涉。 以惠更斯原理說明光的繞射(含暗紋位置與波長、屏幕距離的關係)。
—	4·4 光學儀器 <ul style="list-style-type: none"> 顯微鏡、照相機、眼睛的構造與光學原理。 近視、遠視的成因與矯正。 (對應課綱：Ka-IV-9)	—	—
<ul style="list-style-type: none"> 光可用「顏色」描述。 光折射後在某些角度可看到彩虹。 	4·5 色光與顏色 <ul style="list-style-type: none"> 陽光色散與三原色。 色光與物體(不透明物體、透明物體)的顏色。 (對應課綱：Ka-IV-10、Ka-IV-11)	—	<ul style="list-style-type: none"> 彩虹的成因。



媒體資源

實驗影片

- 4·1 了解光的傳播方式(2')
- 4·1 觀察針孔成像(3')
- 4·2 觀察平面鏡成像(3')
- 4·2 凸面鏡與凹面鏡的成像性質(2')
- 4·3 光的折射現象(2')
- 4·3 凸透鏡的焦距(2')
- 4·3 透鏡的成像觀察(7')
- 4·5 色光與顏色的關係(6')

教學影音

- 4·3 光的折射(2')
- 習作 鬼屋布置(3')

互動媒體

- 4·1 光的直進性與針孔成像
- 4·1 針孔成像
- 4·2 光的反射
- 4·2 平面鏡之成像
- 4·3 光的折射(PhET)
- 4·3 光的折射
- 4·3 凸透鏡之成像
- 4·3 凹透鏡之成像
- 4·4 透鏡與視力矯正
- 4·4 配戴眼鏡眼球之成像
- 4·5 光的三原色
- 4·5 色光與顏色
- 4·5 色光與顏色的關係
- 4·5 視覺色彩



康軒自然
YouTube
Ch4



康軒自然
教學頻道

自然暖身操



你看！我在小夜燈前面放了一顆小樹模型，這樣牆面上就可以有樹影的裝飾效果！

很美耶！不過為什麼光不會繞過小樹模型，然後照亮小樹後面的牆面呢？

B 1 光的直進性

C 大自然中，可以看見陽光穿過雲層縫隙而筆直灑落的景象，也常看見光被不透明的物體擋住而無法繼續前進，使得物體後方出現陰影。這些現象是不是代表光是沿著直線傳播呢？我們藉由以下探索活動來了解。

D 探索活動 了解光的傳播方式

1. 取兩張邊長為10公分的正方形西卡紙，將兩張西卡紙重疊後，以打孔機在正中心處打一直徑約為0.5公分的圓孔。
2. 將一光源置於距桌面5公分高處，左、右手各拿一張西卡紙，直立置於眼睛與光源之間。利用直尺調整西卡紙的位置，使兩張西卡紙的圓孔和小燈泡光源連成一直線（圖4-1），此時眼睛是否能透過圓孔看見光源？
3. 接著移動其中一張西卡紙，使其偏離直線排列上的位置，此時眼睛是否能透過圓孔看見光源？

☑ 圖4-1 觀察光的傳播方式。



100



給老師

【提問A】為什麼光不會繞過小樹模型，然後照亮小樹後面的牆面呢？

因為光是以直線前進，如果光會轉彎，我們將無法判斷進入我們眼睛的光線是來自何方。亦即我們無法確認周遭到底有什麼物體，因為它們發出的光，可能轉彎跑到別的地方去了。

【技巧B】開始進行本章教學前，應先向學生說明光須進入眼睛，才能產生視覺。

【技巧C】教師可以躲避球為例說明陰影的產生，當躲在同學後面時，就不會被躲避球打到，就像光是直線前進，遇到障礙物就被擋下來，無法照到後方物體，而形成陰暗區域。

【技巧D】如果使用的卡紙不是正方形也無妨，只要孔與貼靠桌面那一邊的垂直距離相同即可，因為活動是利用桌面和直尺來對齊，讓孔在一直線上。另外卡紙要儘量垂直於桌面不要歪斜，孔才容易對齊。



給學生

Ans 探索活動

2. 當兩張卡紙上的圓孔與光源連成一直線，就可看見光源，證明光是沿直線前進。
3. 當移動其中一張西卡紙，使得三者未連成一直線時，光源發出的光線被擋下來，就無法看見燈泡。

 實驗影片

探索活動：了解光的傳播方式

由探索活動可以發現，當光源、西卡紙的圓孔與眼睛的位置排列成一直線時，眼睛才能透過圓孔看見光源，如果移動其中一張西卡紙使圓孔偏離直線排列時，

就看不見光源（圖4-2），這是因為光在傳播時是沿直線前進的緣故，所以常以「光線」來稱呼光。



圖4-2 觀察光的直進性。



光的傳播方式

生活中常見的影子，即為光的直進性所造成的現象；而我們也可利用光的直進性來對齊物品，例如排杯子時，以單眼沿杯子邊緣的其中一端望向另一端，當看不見後方杯子時，即代表杯子排成一直線（圖4-3）。



圖4-3 光直進性的原理可用於對齊物品。



給老師

【技巧E】說明光的直線傳播性質時，應強調傳播光的介質必須是均勻的，避免與折射混淆。

【技巧F】除了介紹排杯子的例子外，也可讓學生思考生活中還有哪些運用光直進性質的實例，例如影子遊戲、日晷、日食、月食、排隊時向前看齊或單眼從木棍的一端沿棍身望向另一端，可檢查木棍是否平直等。

【技巧G】日食、月食與光的直進性相關，教師可簡單提及，相關知識可留待九年級學習地球科學時，再詳細說明。



給學生

1 本影與半影

在教室日光燈下，把手貼緊桌面慢慢往上升，可以觀察到手所形成的影子形狀逐漸變模糊，因為光完全到不了的地方（本影區）逐漸變小，部分光線可到達的地方（半影區）增加，將在九年級地科介紹。



實驗影片

探索活動：觀察針孔成像

互動媒體

光的直進性與針孔成像
針孔成像



▲ 圖4-4 以燭光照射圓形鏤空紙卡時，後方會形成圓形的明亮區塊。

2 針孔成像

當我們將光源照射在有孔洞的紙上時，可以在紙的後方觀察到形狀與洞口相似的亮面（圖4-4）；但如果將此孔洞縮成像針孔一樣小時，會發生什麼有趣的現象呢？我們將經由以下探索活動來了解。



針孔成像

A
B
C



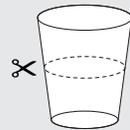
探索活動 觀察針孔成像

1.依圖4-5A製作針孔成像裝置。

①剪取紙杯下半部使用。

②開口處貼描圖紙，底端貼黑紙並刺一小孔。

③取半張A4大小的黑紙，將黑紙長邊對齊紙杯底部，黏貼於紙杯的側邊。



④完成裝置。



A 針孔成像裝置的製作步驟

B 針孔成像的操作

▲ 圖4-5 針孔成像的裝置與操作

2.如圖4-5B，將一點燃的蠟燭豎立於桌面上，然後將針孔對準蠟燭，紙屏上是否看得到燭焰的成像？

3.改變針孔與燭焰的距離，紙屏上的燭焰成像會如何變化？

在探索活動中，紙屏上所呈現的成像與原燭焰大小成比例，但上下顛倒且左右相反，這些都是光沿直線前進的特性所造成的結果。另外，由於燭焰向各方向發出的光線中，僅有少部分光線能通過針孔，故紙屏上的成像比原燭焰的亮度為暗，而燭焰到針孔的距離會影響其在屏幕上成像的大小（圖4-6）。

102

給老師

【技巧A】以課本裝置觀察針孔成像時，須將室內燈光關閉，且針孔須對準光源以避免紙屏上的成像不清晰。亦可使用其他不透明容器做為針孔成像的主體裝置，唯須注意針孔的大小須適當。可鼓勵學生利用課餘時間，使用不同長度的筒狀容器或盒子製作針孔成像裝置，觀察燭焰在紙屏上成像的變化。

【提問B】針孔成像活動中為何要使用描圖紙當紙屏？

描圖紙透光效果比較好，易於觀察，如果用完全透明的塑膠膜則不易觀察到火焰形狀，紙屏太厚也不容易看清楚成像。

【技巧C】如果燭火不明顯，針孔可稍微挖大些，讓光量多一些；或是靠近燭火，也能增加光量。亦可改用LED光源，但須注意挑選亮度較大的LED光源，另因LED光源多半為對稱分布，無法看出成像上下顛倒、左右相反。

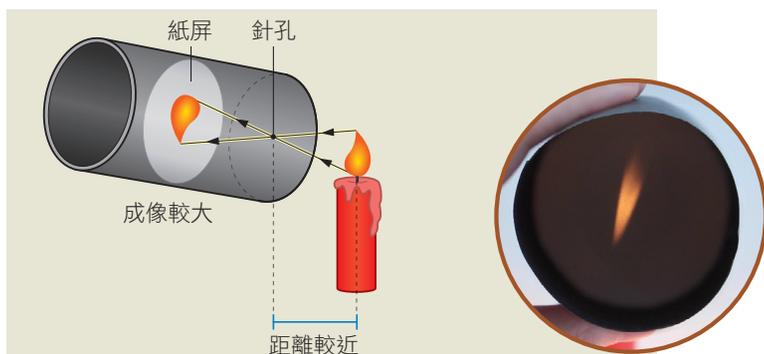
給學生

Ans 探索活動

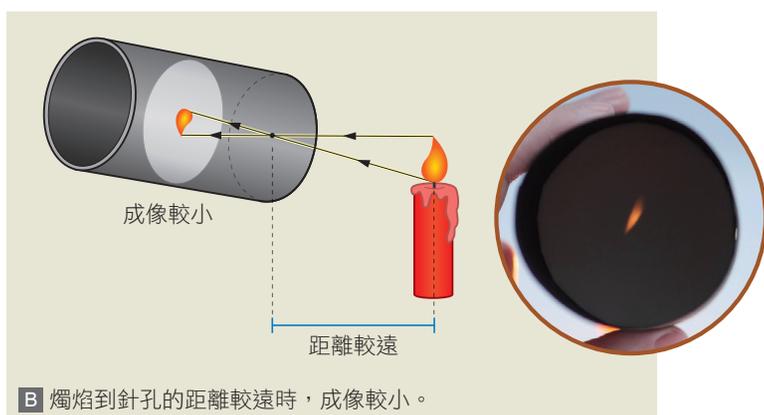
- 2.從紙屏上可以觀察到倒立的燭焰成像。
- 3.當針孔越靠近燭焰，燭焰的像就越大。

①實像

有實際光線在屏幕上會聚的像稱為實像，所以針孔成像的像是實像。



A 燭焰到針孔的距離較近時，成像較大。



B 燭焰到針孔的距離較遠時，成像較小。

圖4-6 燭焰到針孔的距離會影響成像大小。



動腦時間

1. 在探索活動中，可以觀察到紙屏上形成上下顛倒的燭焰成像，但難以看出其方向是否左右相反；想一想，若想要證明針孔成像也會造成左右相反的情形，可以如何操作呢？
2. 若在針孔成像裝置上刺三個小孔，則紙屏上的成像會有什麼變化？

圖4-7 太陽光透過樹葉縫隙所形成的針孔成像。



- D 晴天時在茂密的大樹下，可以發現太陽光穿過樹葉縫隙後，在地上形成圓形的亮點，這是因為葉子的縫隙就相當於針孔，所以地上的圓形亮點即為太陽的成像（圖4-7）。

第4章 光 103



給老師

【提問D】如何確認圖4-7地面亮點是針孔成像？

從形狀觀察，如果是不規則，表示縫隙太大，地面亮區為樹葉縫隙形狀；如果接近圓形，就可能為針孔成像。



給學生

Ans 動腦時間

1. 可在硬紙板上刻出不對稱圖案，例如「L」，擋在燭焰前面製作出「L」形光源，就有機會觀察到上下顛倒、左右相反的像。
2. 紙屏上會出現三個成像。

自然界的針孔成像

發生日偏食時，可利用有小孔洞的漏勺，讓陽光穿過小孔洞，即可在地面看見日偏食的像，而且是上下顛倒、左右相反的實像。

教材編注

依經濟部標準檢驗局109年11月公告的法定度量衡單位使用指南將天文單位縮寫AU改為au。

歷屆試題

PI-28 第1題

知識快遞

地球到太陽的平均距離約等於 1.5×10^8 公里，稱為一個天文單位（1 au）。



動腦時間

雷雨交加時，會先看到閃電照亮天際，然後才聽到隆隆的雷聲，這是因為光速比聲速快很多的緣故。想一想，你還能舉出哪些「光的傳播速率比聲音快」的例子嗎？

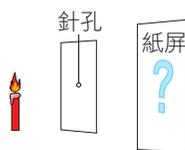
自然暖身操 解答

由於光是沿直線傳播的，因此如果不用不透光的物品擋住光，光便無法穿透，導致擋住的部分就變成暗的，而其餘地方仍是亮的。

例題4-1

針孔成像

在暗室中，欲使蠟燭的火焰所發出的光線，透過針孔後在紙屏上成像，如右圖所示。請問下列敘述何者錯誤？



- (A) 針孔成像是光線直進的結果
 (B) 紙屏上的成像與原物相比為上下顛倒、左右相反的像
 (C) 紙屏上的成像大小與針孔和紙屏的距離有關
 (D) 針孔越大，紙屏上的成像越清楚。

3 光速

我們在第3章中學過，空氣中的聲速約為343公尺/秒，那光速又有多快呢？

A 經過科學家們不斷的實驗，測出光在真空中的傳播速率約為 3×10^8 公尺/秒，即每秒30萬公里，通常以「 c 」表示。若能以光速繞地球赤道（約4萬公里）而行，則1秒鐘就可以繞地球約7圈半之多；而光從太陽傳播到地球大約只需500秒。

光不僅可以穿越真空，不經介質而傳播至地球上，也可以在空氣和玻璃等物質中傳播。但光在不同的介質中的傳播速率並不相同，表4-1為光在一般常見介質中的傳播速率。

表4-1 光在真空和不同介質中的傳播速率

介質	光速（公尺/秒）	以 c 表示
真空	300,000,000	c
空氣	$\approx 300,000,000$	$\approx c$
水	$\approx 225,000,000$	$\approx \frac{3}{4}c$
玻璃	$\approx 200,000,000$	$\approx \frac{2}{3}c$

給老師

【技巧A】以雷電現象及放煙火的生活實例，讓學生比較與體認光的傳播速率極快，也可簡單介紹測量光速的歷史。

給學生

1 光速的測量

法國科學家艾曼·菲佐（Armand Fizeau，西元1819～1896年）是第一位準確測量光速的科學家。美國科學家阿伯特·邁克生（Albert A. Michelson，西元1852～1931年）以干涉儀更準確的測量出光速平均值為 $299,796 \pm 4$ km/s。光在真空中的傳播速率為 $299,792,458$ m/s，西元2018年第26屆國際度量衡大會訂定以光在真空中的速度 c 之固定數值定義公尺（meter）。 c 的單位為m/s，秒由鈉頻率 $\Delta \nu_{Cs}$ 所定義，即 $1 \text{ m} = \frac{9,192,631,770}{299,792,458 \Delta \nu_{Cs}} c$ 。

Ans 例題4-1

答 (D)。

解 針孔過大時，紙屏上只能看到一圈亮區，無法看到蠟燭火焰的成像。

Ans 動腦時間

先看到煙火再聽到爆炸聲；先看到砲管火光再聽到砲聲等。

4·2

光的反射與面鏡

自然暖身操



1 光與視覺

我們能看見太陽、燭焰及日光燈等光源，是因為它們發出的光線進入眼睛，引起視覺。書本不會發光，但在光的照射下，光線會被書本反射到眼睛，因此我們也能看見書本（圖4-8）；若沒有光，我們將看不到任何物體。

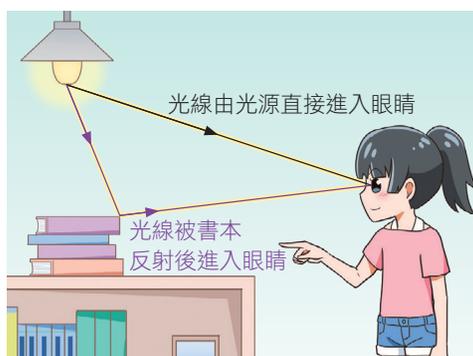


圖4-8 眼睛能看見物體的兩種不同情形

2 光的反射

你是否曾注意過鏡子會反射光線，在牆面上形成較明亮的區塊（圖4-9）？這時候只要轉動鏡面的角度，此亮塊的位置也會跟著改變。以下讓我們來了解，光的反射具有哪些特性？

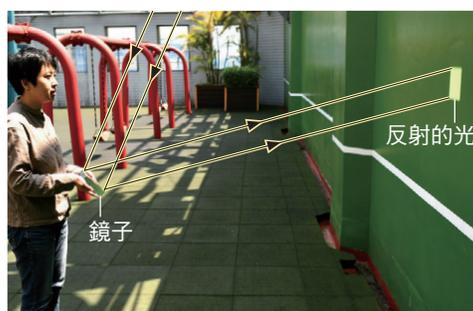


圖4-9 鏡子會反射光線，在牆面上形成明亮的區塊。



給老師

【提問B】為什麼要用手電筒照自己才能嚇到別人呢？鬼臉的樣子要反射光線進入觀察者眼睛，才能嚇到人。

【技巧C】教學時應再次強調人眼能看見物體，是因為物體發出或反射的光線進入眼睛而引起視覺。

【提問D】用方形鏡面反射光，反射在牆上的亮光區也是方形嗎？

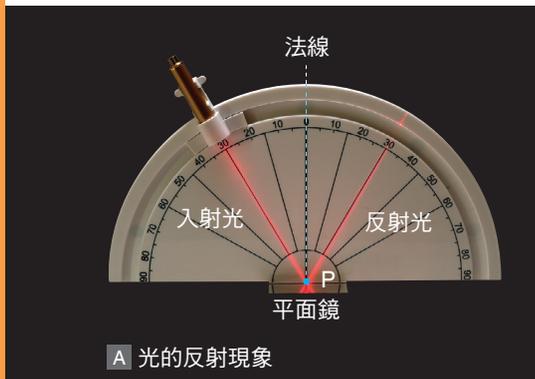
這要看光源是否為平行光，以及鏡子與牆的相關位置才能判斷是否為方形。



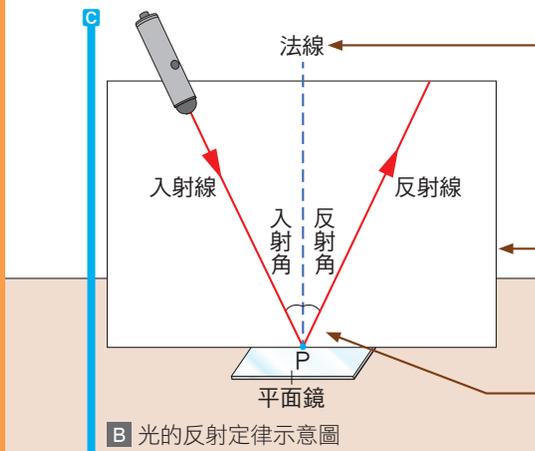
給學生

②在黑暗環境中照鏡子

在黑暗中想從鏡子看清楚自己的臉，若手邊有手電筒，應用手電筒照射臉部，臉部反射光線，打到鏡面再反射進入自己的眼睛，這樣才能看清楚自己的臉，而非用手電筒照射鏡子。



A 光的反射現象



B 光的反射定律示意圖

圖4-10 光線照射到平面鏡表面時發生反射現象。

A 由圖4-10A可以發現，當光射向平面鏡時，會發生**反射**現象。經過平面鏡上P點與鏡面垂直的直線稱為P點的**法線**。當光由法線的一側入射到P點時，會被反射而由法線的另一側射出。如圖4-10B，入射光的行進路徑及方向以箭頭表示，稱為**入射線**；反射光的行進路徑及方向以箭頭表示，稱為**反射線**。入射線與法線的夾角稱為**入射角**；而反射線與法線的夾角稱為**反射角**。光在任何表面發生反射現象時，必定會遵守以下**反射定律**：

1 入射線與反射線分別在法線的兩側。

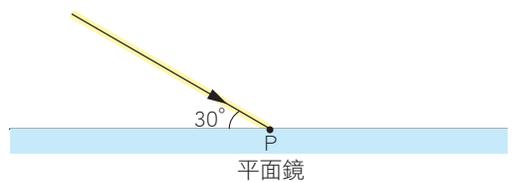
2 入射線、反射線與法線均都在同一平面上。

3 入射角必等於反射角。

例題4-2

反射定律

如右圖所示，一光束與平面鏡鏡面夾角為 30° ，射向鏡面P點。試在圖中畫出法線與反射線，並標明入射角及反射角各為幾度？



106

給老師

【技巧A】可用球碰觸地面或牆面時球的反彈方向，輔助說明光的反射現象與原理。

【技巧B】說明光的反射時，必須強調光在任何表面發生反射時，均會遵守反射定律。

【提問C】如果不是平面時，要如何畫法線？

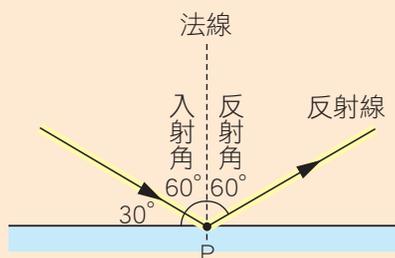
先在入射點畫出切線，再畫一條垂直切線並通過入射點的線，即為該入射點的法線。

給學生

Ans 例題4-2

答 入射角 = 反射角 = 60° 。

解 雷射光束與平面鏡鏡面的夾角為 30° ，故入射角為 $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ ，反射角 = 入射角 = 60° 。



動腦時間

當入射光沿著法線射向平面鏡的鏡面時，反射光的行進路徑會是如何呢？

互動媒體

平面鏡之成像

3 平面鏡的成像

你有想過為何照鏡子時，能看見自己在平面鏡中的成像嗎（圖4-11）？這是由於鏡前物體發出（或反射）的光線，經過鏡面反射後進入眼睛的結果。如圖4-12所示，將點燃的蠟燭置於平面鏡前，從燭焰A點所發出的光線，以直線前進的方式向四面八方傳播，其中射向鏡面各點的光線經反射後，其反射線的延長線（即圖中黑色虛線部分）都會通過鏡後A'點，所以圖中兩人往鏡內看時，會以為燭焰在鏡後。



圖4-11 我們能在鏡中看見自己的成像。

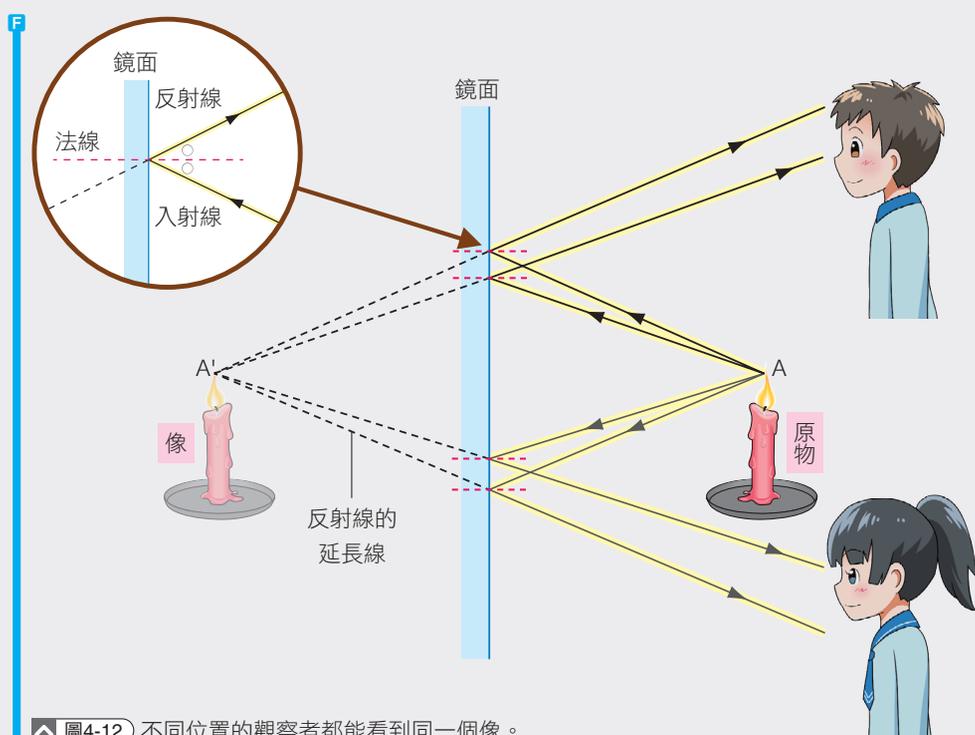


圖4-12 不同位置的觀察者都能看到同一個像。

第4章 光 107

給老師

【技巧D】 介紹平面鏡成像時，應先以點光源為例，說明成像原理；點光源發出的光線中，部分光線經由平面鏡反射進入人眼後，人的視覺會將經由平面鏡反射進入眼睛的光線，看成是由鏡後的某點（像）所發出的。了解點光源的成像後，實物的成像就可以視為是眾多點光源的成像。

【技巧E】 應提示學生注意虛像並不是由實際光線交會而成，而是由鏡面反射的光線進入眼睛造成的視覺。

【提問F】 為什麼人在不同位置皆能看見同一個蠟燭的像呢？因為蠟燭上的每一點皆向四面八方傳遞光線，會在平面鏡上形成無數條入射光，也就產生無數條向四面八方的反射光，因此人就可以在不同位置看見燭火的像。

給學生

Ans 動腦時間

入射光沿法線射向平面鏡時，根據反射定律可知，入射角 = 反射角 = 0° ，所以反射光也會沿著法線行進，但行進方向與入射光相反。

 實驗影片

探索活動：觀察平面鏡成像

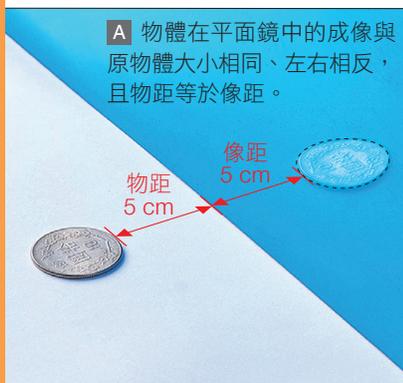
 歷屆試題

P.I-28 第2題



平面鏡成像

圖4-14 物體在平面鏡中的成像



A 物體在平面鏡中的成像與原物體大小相同、左右相反，且物距等於像距。

108

 給老師

【技巧A】此探索活動可得知像與物體的位置、大小關係。進行時必須注意以下事項：

1. 可先準備有刻度的B4大小紙張，例如方格紙，縮短活動時間。
2. 應選用表面光滑但為深色透明的壓克力板，且厚度盡量薄，以減少穿透壓克力板的光線，不致看到硬幣的雙重成像，也可減少因視深造成的物距誤差。
3. 步驟2中，壓克力板豎立於桌面上時，須與桌面垂直，以避免硬幣未成像在水平桌面上。

【技巧B】萬花筒的色彩與圖案千變萬化，是介紹平面鏡成像良好的延伸題材。也可搭配探究科學大小事「浮光幻影」，利用平面鏡成像性質製作魔術箱。

現在讓我們經由以下的探索活動，進一步了解平面鏡成像的其他性質。



探索活動 觀察平面鏡成像

1. 將B4白紙平鋪在桌面上，並在紙面中央等分處畫一直線。
2. 如圖4-13所示，以長尾夾夾住深色半透明壓克力板的底部，使其垂直豎立在桌面上，壓克力板邊緣與紙上的直線對齊。
3. 在壓克力板前約5公分處，放置1枚拾圓硬幣，使硬幣的字面朝上，可否看見硬幣在壓克力板後的成像？
4. 將另1枚拾圓硬幣放在步驟3中成像的位置，觀察板後硬幣和板前硬幣的成像，兩者的大小和硬幣上文字的左右方向是否相同？
5. 移開壓克力板，分別量取兩枚硬幣到所畫直線的距離，兩者是否相等？
6. 改變壓克力板前方硬幣的位置，重複步驟4、5，觀察硬幣與其成像，兩者的大小是否相同？板後和板前兩枚硬幣到所畫直線的距離是否相等？

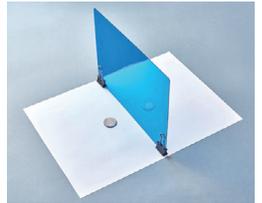
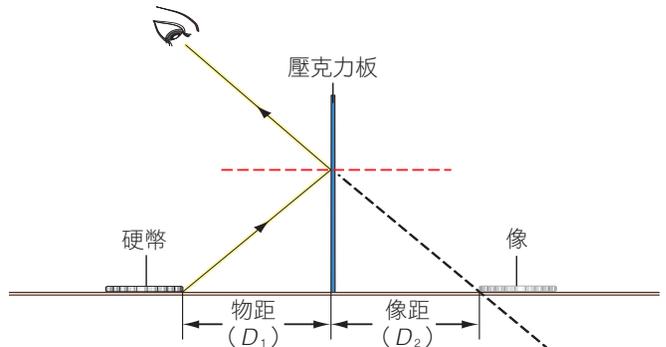


圖4-13 將壓克力板直立於桌面上。

B 由以上的探索活動可以發現，物體在平面鏡中的成像與物體原本的形狀及大小相同、左右相反，而且成像與鏡面的距離（稱為像距）等於物體與鏡面的距離（稱為物距），如圖4-14所示。

B 平面鏡成像性質示意圖


 給學生

Ans 探索活動

3. 可看見硬幣在壓克力板後的成像。
4. 兩者大小相等，但是硬幣上文字的左右方向相反。
5. 兩者距離相等。
6. 平面鏡成像時，硬幣成像會與實體大小相等，且成像和實物皆與平面鏡距離相等。

① 平面鏡的成像上下相同、左右相反

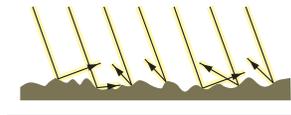
從鏡外看右手的拇指在左邊，觀察鏡中成像，像的拇指也在左邊，所以對鏡外的人來說左右並沒有相反，但是右手的像看起來像左手，因此簡單描述鏡像左右相反。



知識快遞 古人利用光滑的金屬作為鏡子，例如銅鏡。

知識快遞

平行光照在凹凸不平的表面時，反射光線會朝四面八方散射，這種現象稱為漫反射，但每道光線仍遵守反射定律。

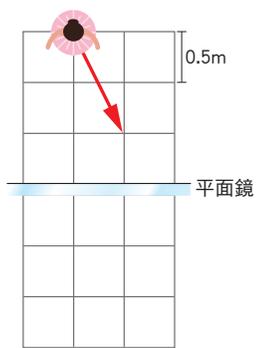


例題 4-3

平面鏡的成像

一位芭蕾舞者在平面鏡前練舞，他隨著舞步正朝著他的左前方移動，路徑如右圖紅色箭頭所示，請回答下列問題：

- (1)在平面鏡下方圖中，畫出在平面鏡裡舞者的移動路徑。
- (2)若舞者在移動前，與鏡中的成像相距3公尺，則移動後與成像相距多少公尺？



C 除了平時照鏡子整理服儀外，平面鏡也可以運用在醫學等用途，例如牙醫可藉由平面鏡所製成的口鏡，來檢查牙齒的內側（圖4-15）。光亮而平滑的物體表面，也有類似平面鏡的作用，例如鋁箔和平靜無波的水面（圖4-16、圖4-17），只是效果不像平面鏡那麼好。



圖4-15 牙醫利用平面鏡所製成的口鏡檢查牙齒背面。



圖4-16 光滑的鋁箔具有類似平面鏡的作用。



圖4-17 平靜無波的水面具有類似平面鏡的作用。



給老師

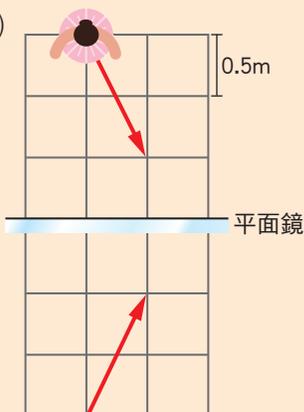
【技巧C】可以準備紙張、光亮平滑的鋁箔、木板和玻璃等表面性質不同的物品，讓學生觀察是否能使物體像平面鏡般產生清晰的成像，並說明理由。



給學生

Ans 例題4-3

答 (1)



; (2) 1公尺。

解 (2)由圖可知，移動後舞者距離平面鏡0.5公尺，故與鏡中成像的距離為1公尺。

教材編注

1. 依據課綱Ka-IV-8-3「透過實驗觀察面鏡的成像情形與物體到面鏡距離有關。」教材新增探索活動「凸面鏡與凹面鏡的成像性質」。
2. 依據課綱精神，是以實際觀察為重點，而非明確的成像性質與距離的關係的背誦，故調整教材內容。

實驗影片

探索活動：凸面鏡與凹面鏡的成像性質



A 針孔成像是光線通過針孔傳播至紙屏所形成的實像。



B 平面鏡成像中，光線並非實際傳播至成像位置，故成像為虛像。

圖4-18 實像與虛像

4 實像與虛像

在4·1節觀察針孔成像時，人眼看到的像是由燭焰發出的光實際傳播到紙屏上形成的，稱為**實像**。而由平面鏡看到的成像雖然是在鏡後，但實際上燭焰發出的光並沒有傳播到像所在的位置上，因此燭焰無法在紙屏上成像，稱為**虛像**（圖4-18）。

5 凸面鏡與凹面鏡

除了平面鏡之外，有些面鏡的表面是彎曲具有弧度的，例如凸面鏡與凹面鏡等。現在讓我們利用光亮的金屬湯匙，來觀察凸面鏡與凹面鏡的成像。



探索活動 凸面鏡與凹面鏡的成像性質

1. 取一光亮的湯匙，並將湯匙凸面朝向一物體，調整距離使其能成像，觀察湯匙凸面上的成像與原物體有何不同。
2. 調整湯匙到物體的距離，觀察湯匙凸面上的成像有什麼變化。
3. 改用湯匙凹面朝向物體，重複步驟1~2。

凸面鏡

成像為縮小的像。



圖4-19 湯匙凸面成像

凹面鏡

成像為放大的像（凹面鏡與物體距離較近時）。



圖4-20 湯匙凹面成像

給老師

【提問A】 實像與虛像如何區別？

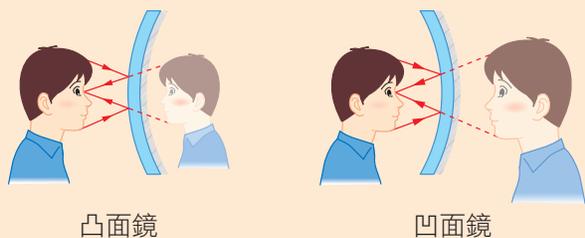
實像可在紙屏上成像，虛像則無法；實像與物體的比較是倒立，虛像是正立；兩者都可用眼睛觀察。

給學生

Ans 探索活動

1. 湯匙凸面會形成正立縮小的像。
2. 當湯匙凸面遠離物體，所見的像會逐漸變小。
3. 當湯匙凹面極靠近物體時，會形成正立放大的像；當湯匙凹面逐漸遠離時，像會由正立變成倒立。

1 凸面鏡與凹面鏡成像示意圖



凸面鏡

凹面鏡

B 由以上的探索活動可以發現，湯匙兩面的成像與平面鏡不同。物體在湯匙凸面前，會形成正立縮小的像（圖4-19），而當物體距離湯匙凹面較近時，會形成正立放大的像（圖4-20）。當湯匙與物體之間的距離改變時，湯匙表面上的成像大小也會跟著改變。

C 生活中，有些商店會在牆角頂端裝設凸面鏡，使店內環境經由凸面鏡形成縮小的成像，店員透過凸面鏡即可掌握店中大部分角落的情況。交叉路口及山路轉彎處所裝設的凸面鏡也是利用相同原理，使觀察者所看到的視野變廣，幫助看到彎道處的來車（圖4-21）。有些化妝用的面鏡是凹面鏡，因為靠近凹面鏡時即可看見放大的成像，所以更能清楚得看見臉上每一處（圖4-22）。

知識快遞

物體與湯匙凹面（凹面鏡）的距離會影響鏡中的成像；當物體離湯匙凹面較近時，會形成正立放大的像；反之，當物體距離湯匙凹面較遠時，將會形成倒立的像。

2



◀ 圖4-21 山路轉彎處常裝設凸面鏡。



◀ 圖4-22 具放大效果的化妝鏡是以凹面鏡製成。

第4章 光 111



給老師

【技巧B】 介紹凹面鏡與凸面鏡的成像時，可將凹面鏡與凸面鏡的曲面視為許多小平面鏡的組合，以平面鏡成像法則簡略講解凹面鏡與凸面鏡的成像性質。

【提問C】 還有其他日常生活中常見的凸面鏡或凹面鏡成像例子嗎？

凸面鏡成像有金屬罐表面、瓷碗凸面、水龍頭表面、鋼珠表面、車前擋風玻璃外觀等；凹面鏡成像有鐵碗內面、化妝鏡、湯匙凹面、手電筒內面、車前燈內面等。

【提問D】 為何巷口反射鏡都用凸面鏡，而不用凹面鏡？

凸面鏡形成正立縮小的像，視野會變廣；凹面鏡遠看時像是倒立的，不易分辨來車狀況。

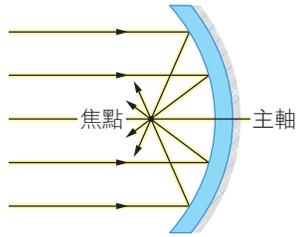


給學生

2 凹面鏡與凸透鏡的成像

凹面鏡可形成放大虛像、倒立實像，與凸透鏡相似，可於學完凸透鏡的成像後回頭複習比較。

✓ **圖4-23** 平行主軸的光線射向凹面鏡時，交會於焦點上。

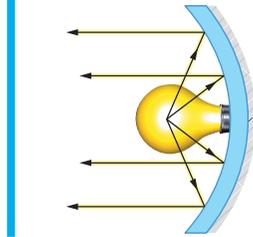


此外，凹面鏡還有會聚光線的特性，以圖4-23凹面鏡的切面圖做說明，其中通過鏡面中心且垂直鏡面的直線，稱為**主軸**。依照反射定律及凹面鏡的曲面特性，臨近主軸且平行於主軸的光線由左方射向鏡面時，會被鏡面反射而交會於一點，此點稱為凹面鏡的**焦點**。若太陽光以平行主軸的方向射向凹鏡面，則可將太陽光集中在焦點而達到高溫，因此可以加熱物體（圖4-24）。

▶ **圖4-24** 利用凹面鏡反射太陽光，將光線交會於焦點上，可加熱鍋子。



A ✓ **圖4-25** 光源置於凹面鏡焦點上時，光線將平行主軸射出。



反之，若將光源置於凹面鏡前焦點處，則光源發出的光線經鏡面反射後會平行射出（圖4-25）。其光線行進的方向恰與圖4-23相反，此性質稱為**光的可逆性**。手電筒、汽車的車前燈即是運用此性質，利用凹面鏡將光源的光線反射後平行射出，以集中射出的光束（圖4-26）。



▲ **圖4-26** 利用凹面鏡反射，以集中射出的光束。



自然暖身操 解答

若欲使小軒看見阿康，則需有阿康反射的光線進入小軒的眼睛，才能引起小軒的視覺，故應將手電筒照射在阿康身上。

給老師

【提問A】比較有凹面反射與沒有凹面的燈泡照亮情形，有何不同？

有凹面反射的燈泡，可將所有光束反射約朝同一方向射出，可照得比較遠，被照到的物體，因為受光量較多而顯得比較明亮；沒有凹面的燈泡，相當於點光源，光朝四面八方發散不集中，雖然到處都有受光照射，但受光量不多，顯得昏暗。

給學生

1 凹面鏡的應用

除了手電筒、車前燈之外，還有太陽能熱水器集熱板、太陽能電池的集光板等應用。

4 · 3

光的折射與透鏡

教材編注

根據國教院審查要求，示範實驗步驟的雷射筆調整為進行斜向射入水中，再進行垂直射入水中，如此學生才能藉由斜向射入水中時觀察到光的反射，理解垂直入射水中時也會產生光的反射。

自然暖身操



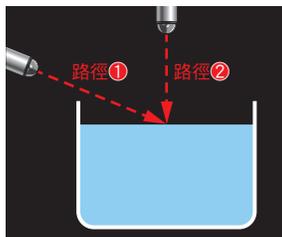
1 光的折射

當我們從空氣中觀看水中物體時，常會發現許多有趣的現象，例如杯裡的吸管看起來會有折斷的感覺，或是從游泳池邊朝池底望去時，泳池的水深看起來會比實際淺（圖4-27）。是什麼原因造成這些現象？讓我們藉由以下觀察來了解。



示範實驗 光的折射現象

1. 取一長方體的透明容器，並在容器內裝水約八分滿。
2. 在水中滴入數滴鮮奶，使溶液略呈白色混濁；並將點燃的線香置於杯中空氣處，使白煙繚繞。（註：此步驟可使光線行進路徑更便於觀察。）
3. 如圖4-28路徑①，將雷射筆發出的光線，以斜向射入水中，觀察光線進入水後的行進方向有何變化。
4. 如圖4-28路徑②，將雷射筆發出的光線，改沿著與水面垂直的方向射入水中，觀察光線進入水後的行進方向有何變化。



▲圖4-28 光的折射現象操作示意圖



▲圖4-27 在游泳池中，人浸入的腿部看起來比實際為短，池水的深度看起來也比實際為淺。

第4章 光 113



給老師

【提問B】在裝有吸管的杯子裡加水，吸管看起來被折彎了，吸管真的被折彎了嗎？這是什麼原理呢？沒折彎。是因為水中吸管反射的光線，穿出水面之後偏折進入眼睛，眼睛視覺不能轉折，只能向後延伸形成虛像，與原路徑不同，所以看起來像折斷。

【提問C】為何水中滴幾滴鮮奶會讓光線更明顯？鮮奶滴入水中，分散後顆粒仍較大，反射光線較多，比較容易觀察到光線。



給學生

Ans 示範實驗

3. 光線斜向射入水中，進入水中時會產生偏折。
4. 光線會沿法線垂直射入水中，行進方向保持不變。

實驗影片

示範實驗：光的折射現象

互動媒體

光的折射 (PhET)
光的折射



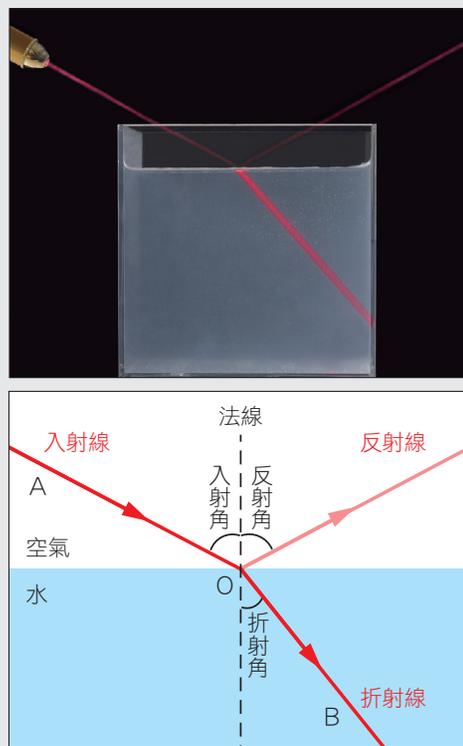
光的折射

由以上示範實驗發現，當光線由空氣斜向射入水中時，可觀察到在空氣與水的交界面上會發生反射現象。此外，進入水中時，光線的行進方向會產生偏折，此現象稱為折射，這是由於光在不同介質中傳播速率不同的緣故。

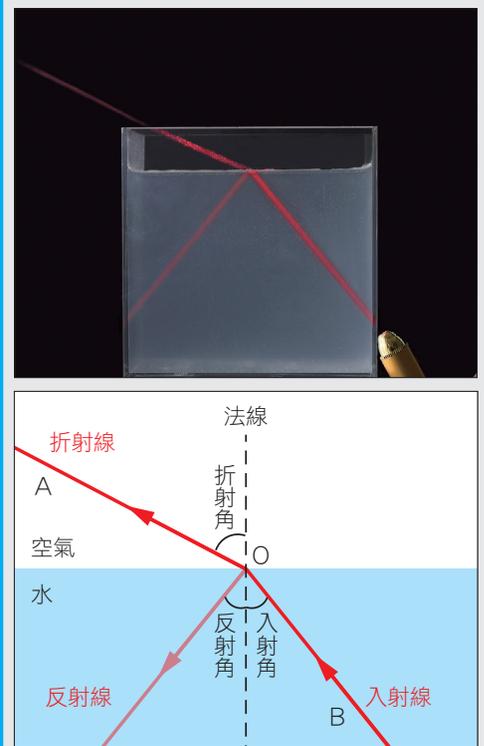
光線進入水之後的行進路徑 (\overline{OB})，稱為折射線，⁵ 折射線與法線的夾角，稱為折射角。當光由空氣中進入水中時，因傳播速率變慢，折射線會偏向法線，即折射角小於入射角 (圖4-29A)。反之如圖4-29B，當光由水中進入空氣中時，因傳播速率變快，折射線 (\overline{OA}) 會偏離法線，即折射角大於入射角。¹⁰

圖4-29 光的折射與反射現象

A 光由空氣進入水中的折射與反射現象



B 光由水進入空氣中的折射與反射現象



114

給老師

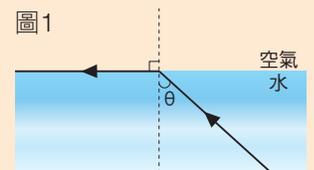
【技巧A】配合課本圖4-29A，說明光的折射法則。

【技巧B】利用課本圖4-29B，說明光的可逆性。

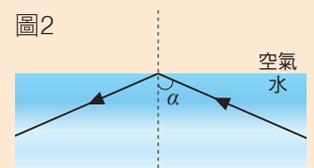
給學生

1 折射與全反射

光在不同介質時，具有不同的傳播速率，如果光從傳播速率較慢的介質（如水）射向傳播速率較快的介質（如空氣）時，入射角必小於折射角（如課本圖4-29B），因此當入射角變大時，折射角也隨之變大，如果入射角增加至某一角度 θ 時，折射角已達 90° ，此時折射光線沿介質面傳播，我們稱 θ 為臨界角（圖1）；若入射角大於臨界角 θ ，則入射光線在兩介質界面不發生折射，而完全反射回到原介質的現象，稱為光的全反射（圖2）。由魚缸水面或壁面可如一面鏡子般反射缸中的魚，即是由於全反射所造成。



當折射角為 90° 時，入射角 $\theta =$ 臨界角。



當入射角 $\alpha >$ 臨界角 θ ，會發生全反射。

觀察圖4-29A、B，可發現在兩圖中光的行進方向恰好相反；由此可知，光的折射現象與在4·2節中學過的光的反射現象，皆符合**光的可逆性**。

- 5 然而當光線沿著與水面垂直的方向射入水中時，可觀察到光線進入水中後的行進方向會與在空氣中的行進方向相同；但根據反射定律，在空氣與水的交界面上，也會產生反射，且方向與入射線相反（圖4-29C）。

觀念速記

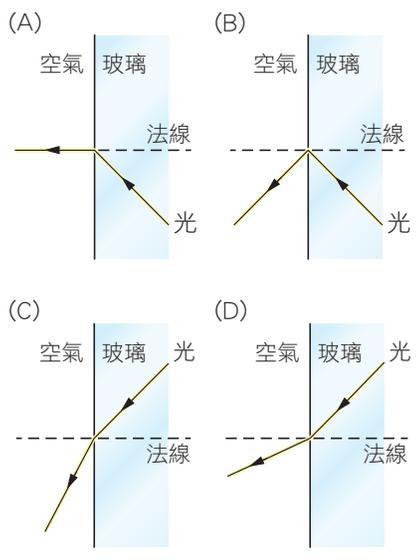
光的折射現象

介質性質	由空氣進入水	由水進入空氣
傳播速率	變 <u>慢</u>	變 <u>快</u>
折射角	折射角 $<$ 入射角	折射角 $>$ 入射角
折射線	偏 <u>向</u> 法線	偏 <u>離</u> 法線

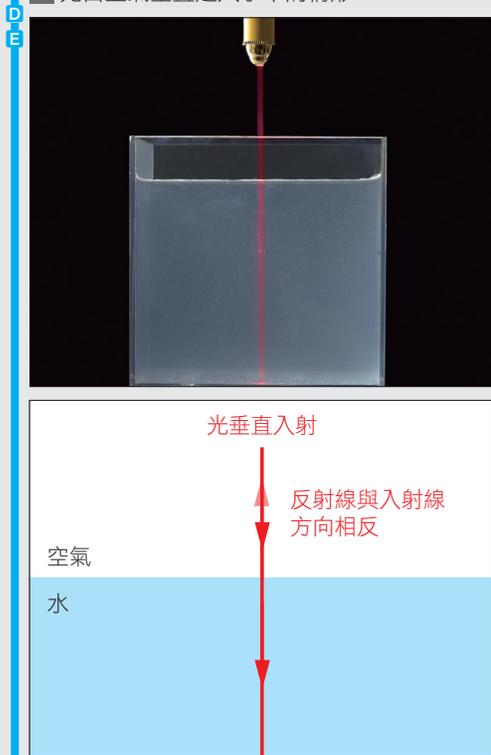
例題 4-4

光的折射路徑

如課文所述，折射線的偏折方向可藉由光在不同介質中的傳播速率來決定。依此說法，已知光在空氣中的傳播速率大於玻璃，則當光從玻璃進入空氣後的行進路徑，下列選項何者正確？



C 光由空氣垂直進入水中的情形



給老師

【提問C】 光垂直入射水中後方向不變，那速率會如何變化？
 光由空氣進入水中，速率變慢。

【技巧D】 利用課本圖4-29C，說明垂直入射光的方向不變，
 入射角 = 折射角 = 0° 。

【提問E】 光在交界面會發生哪些事？

當光由空氣進入水中時，將會發生部分反射、部分折射及部分被吸收。



給學生

Ans 例題4-4

答 (C)。

解 由於光在空氣中的傳播速率大於在玻璃中的，故折射角大於入射角。

教材編注

依據課綱Ka-IV-8-4「利用圖片說明視深與實際深度的成因與差異。」教材增加「視深」名詞與定義。

參考資料

[P.I-11] 視深

教學影音

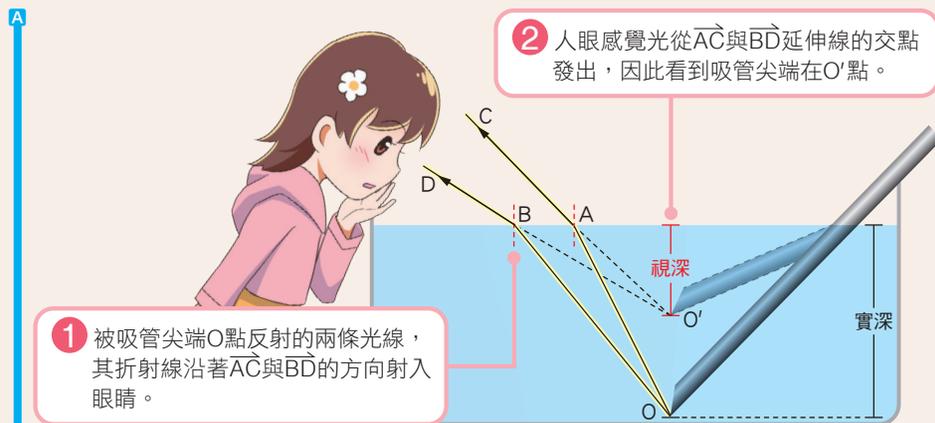
光的折射

圖4-30 吸管斜放入裝水的水槽中，看起來好像彎折了。



因為光在不同介質的交界處會發生折射，所以從空氣中看向水中物體時，才會感覺物體變形了。

如圖4-30，一支吸管斜放入水槽中時，被吸管尖端反射的光線，在水與空氣的交界處發生折射，所以水面上方的眼睛看到吸管尖端的位置並不在實際的位置（實際）上，而是在看起來較淺的位置，此位置與水面的距離稱為**視深**。水面下吸管的其他部分也是如此，所以吸管看起來好像彎折了。



動腦時間

將一枚硬幣放在碗的底部，移動目光直到只能看到硬幣的邊緣為止。在碗及目光均未移動的情況下，緩緩加入水至碗中，你會發現又可以看見硬幣了（圖4-31），這是為什麼呢？



圖4-31 在碗中加水後，即可看見整個硬幣。

給老師

【提問A】由空氣看向水中的鉛筆，為何覺得鉛筆往上翹？

由課本圖4-30可知，鉛筆反射的光線穿出水面時，會偏離法線進入眼睛，眼睛視覺只能向後延伸，因此得到一個變淺、變近的虛像。

給學生

1 視深

1. 如果從空氣中（光速較快）看水中（光速較慢）的物體，眼睛所看到物體的位置會比實際來的近。
2. 如果從水中（光速較慢）看空氣中（光速較快）的物體，眼睛所看到物體的位置會比實際來的遠。

Ans 動腦時間

加水後，硬幣發出（反射）的光線在水與空氣的界面上發生折射，使光線偏折而進入眼睛，便可看到碗底的硬幣。

2 透鏡

透過放大鏡與近視眼鏡觀看書本上的文字時，會發覺與透過平面玻璃所看到的效果不同（圖4-32）。這是因為放大鏡與近視眼鏡的表面是曲面的緣故，這種鏡片稱為透鏡。

透鏡通常由透明的玻璃或塑膠所製成，具有光滑的表面，形狀一般為球面，主要原理來自它對光線具有折射的作用。如圖4-33，中間部分比邊緣厚的透鏡，稱為**凸透鏡**；而中間部分比邊緣薄的透鏡，則稱為**凹透鏡**。

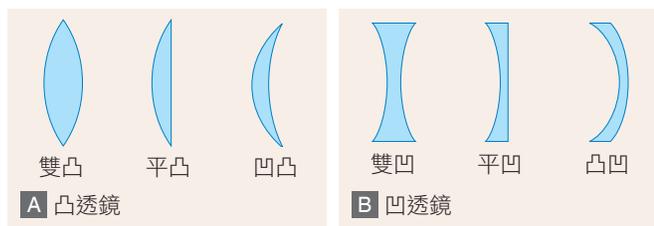


圖4-33 各種凸透鏡與凹透鏡



圖4-32 平面玻璃、放大鏡和近視眼鏡的成像效果皆不相同。

參考資料
PI-11 扁平式放大鏡

以下讓我們藉由三稜鏡，來了解光線進入凸透鏡與凹透鏡後的結果。三稜鏡各面均為平面，當雷射光束由空氣中射入任一面時會發生折射，而從稜鏡另一面穿出再回到空氣中時也會發生折射，如圖4-34A所示，兩次折射的結果都使雷射光束朝厚度大的一方偏折。若改變三稜鏡的放置方式，如圖4-34B所示，雷射光束通過稜鏡後，仍會朝厚度大的一方偏折。



圖4-34 光線通過稜鏡後，會向厚度大的部分偏折。



給老師

【技巧B】介紹透鏡的分類及如何區分凸透鏡與凹透鏡。

【提問C】想想看，要怎麼組合三稜鏡，才可以模擬凸透鏡或凹透鏡呢？

先讓學生思考，再引入下一頁。

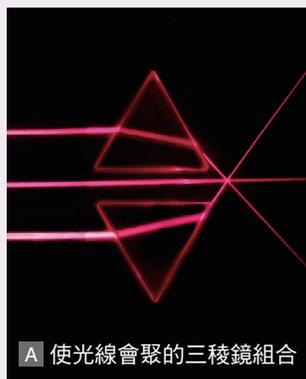


給學生

2 光在三稜鏡中的折射

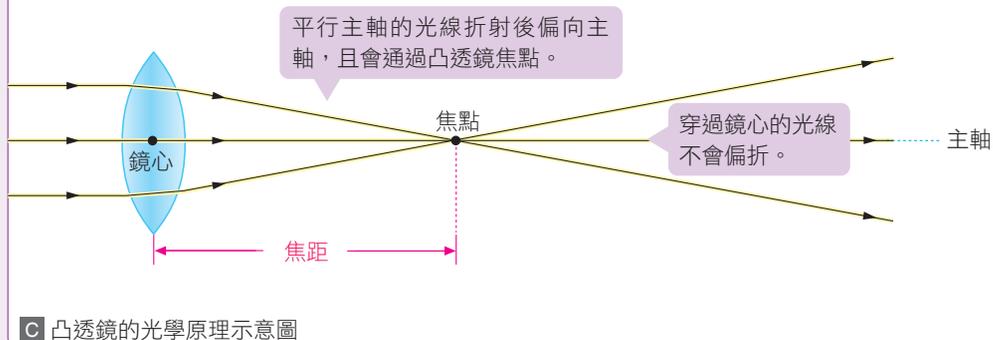
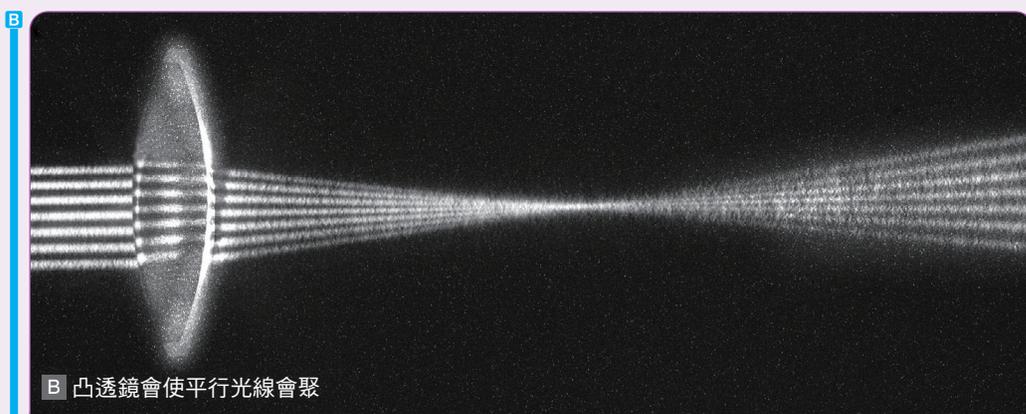
光由空氣中射入三稜鏡一面時會發生折射，入射角大於折射角；而光從稜鏡另一面穿出再回到空氣中時也會發生折射，入射角小於折射角。兩次折射的結果均會使光線朝向三稜鏡厚度較大的部分偏折。

凸透鏡 | 光線會聚



若將兩個三稜鏡組合成如圖4-35A，則此組合與圖4-35B凸透鏡的結構與功能類似，可以使平行光線會聚。透鏡的中心點稱為鏡心，通過鏡心且垂直鏡面的直線稱為主軸。任何平行主軸的入射光線，經過凸透鏡折

射後，均會偏向主軸而會聚於主軸上的一點，此點稱為凸透鏡的焦點。焦點至鏡心的距離稱為**焦距**。另外，穿過鏡心的光線，其行進方向不會改變（圖4-35C）。



▲圖4-35 經凸透鏡折射後，可使光線會聚。

118



給老師

【技巧A】須向學生強調，在透鏡的兩側各有一個焦點。

【提問B】如果將圖4-35中的凸透鏡更換為平凸透鏡，會有什麼不同呢？

平行光先垂直入射平的那一面，接著穿出凸面向主軸會聚。

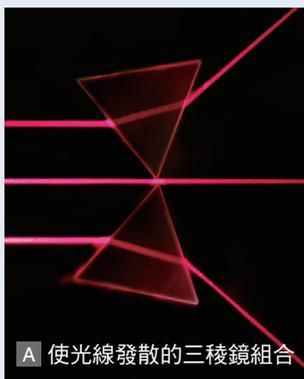


給學生

①凸透鏡兩側的焦距

要測試凸透鏡左右兩側的焦距是否相同，可利用太陽光（平行光）來尋找焦點並測量焦距，以驗證兩側焦距相等。

凹透鏡 | 光線發散



若將兩個三稜鏡組合成如圖4-36A，則此組合與圖4-36B凹透鏡的結構與功能類似，可以使平行光線發散。任何平行主軸的入射光線，經過凹透鏡折射後，都會偏離主軸；但沿折射光線的前進方向反向延伸，仍可相交於主軸上的一點，此點為凹透鏡的焦點，它與光源都位於凹透鏡的同一側，並不是由實際光線會聚而成（圖4-36C）。讓我們經由以下透鏡成像的實驗，更進一步了解透鏡的成像特性。

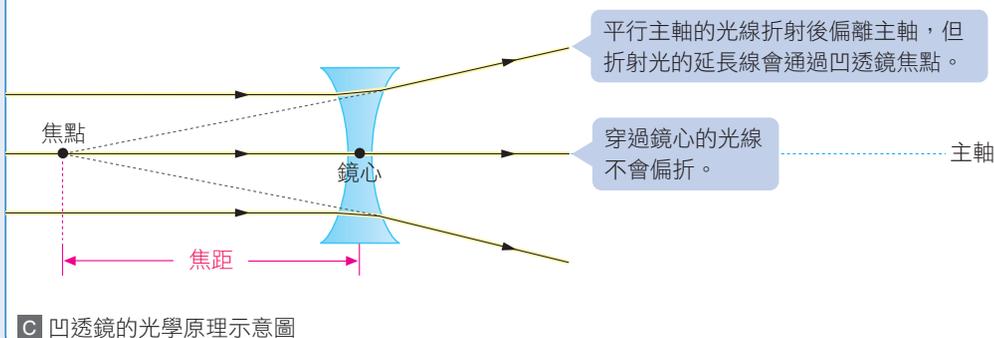
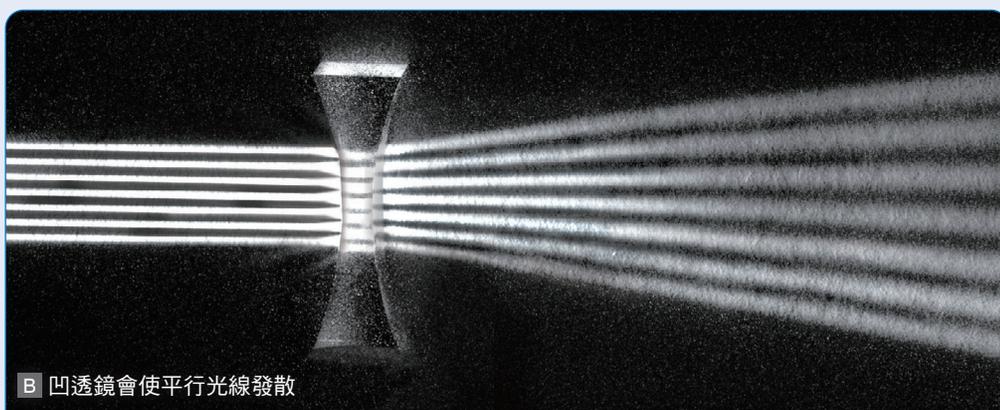


圖4-36 經凹透鏡折射後，可使光線發散。

凹透鏡會使光線發散，自光線發散的角度反向畫回鏡片，即可在另一端得到虛焦點的位置。

虛焦點並非由實際光線匯聚而成，但因超出課綱且非此處教學重點，故不須過於深入。若學生有疑問，僅需稍加解釋即可。

根據國教院審查要求，應利用探究方法設計實驗步驟，使學生自行實作並推測透鏡成像原理，故將實驗調整為請學生先利用已知概念預測凹、凸透鏡的成像，然後透由探究操作找出蠟燭與成像的位置關係為何，並引導學生進一步將所觀察到的成像及數據整理成圖表，並整理歸納實驗結果。

實驗影片

基本操作：凸透鏡的焦距
實驗：透鏡的成像觀察



目的

藉由改變光源、透鏡及紙屏的相對位置，探討透鏡的成像性質。

預測（可複選）

我們已經知道凸透鏡會使平行光會聚、凹透鏡會使平行光發散，則可以推測：

- 凸透鏡可能呈現 實像 虛像。
- 凹透鏡可能呈現 實像 虛像。



科學工具箱
P. 1-6 推理

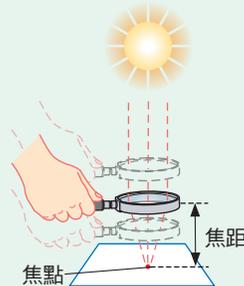
實驗

器材（每組）

- | | | |
|---|---|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 已知焦距的凸透鏡1面 | <input type="checkbox"/> 已知焦距的凹透鏡1面 | <input type="checkbox"/> 白紙屏1組 |
| <input type="checkbox"/> 蠟燭1支（或LED燈等光源） | <input type="checkbox"/> 直尺1把（或光學儀器架1組） | |

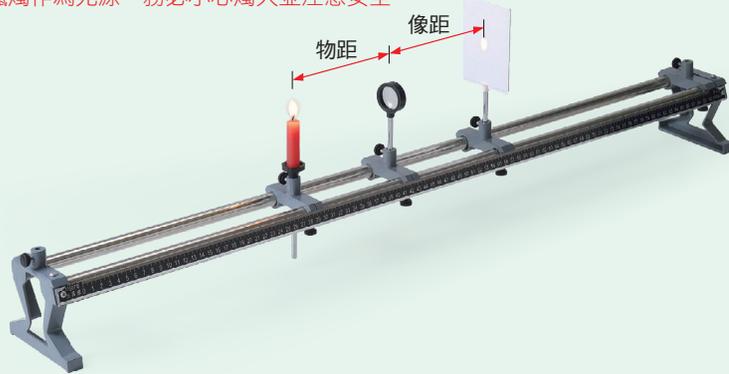
凸透鏡的焦距

- 凸透鏡可使平行光會聚於焦點，因此可以在垂直於平行光的方向上，移動凸透鏡，使光線在白紙上會聚形成最小、最亮的點，即為焦點；而此時焦點與鏡面的距離，即為凸透鏡的焦距。
- 由於太陽離地球十分遙遠，因此太陽光可視為平行光；實驗時若無陽光，可用手電筒的光源取代陽光。



1 架設實驗裝置

- 將已知焦距的凸透鏡，固定於紙屏與光源之間。
- 光源到凸透鏡鏡心的距離稱為物距；而紙屏到凸透鏡鏡心的距離稱為像距。
- ⚠若使用蠟燭作為光源，務必小心燭火並注意安全。



給老師

【技巧A】本實驗是屬於任務型實驗，詳細操作要由學生自行摸索，教師可大致說明儀器如何裝置，接著給學生幾分鐘討論思考，然後各組發表如何進行實驗（須掌握好時間），交流完畢再執行實驗。

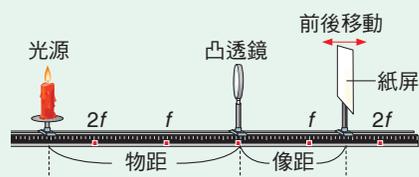
【技巧B】教師巡視學生操作情形，適時提供提示引導，盡量不要直接告知該如何操作。

教材編注

根據國教院審查要求，應加強學生創造想像能力培養，故新增進一步探索內容，提問學生哪些物品可以取代凸透鏡，以達成學習表現中的想像創造能力。

2 觀察不同物距時，凸透鏡的成像性質

- 將光源從2倍焦距外向凸透鏡逐次靠近，改變光源和凸透鏡的相對位置（物距），找出不同性質的成像。
- 前後移動紙屏，直到光源在紙屏上的成像最清楚為止。
- 觀察不同物距下，成像的大小、方向等性質的變化。



我發現蠟燭形成的像，有些會上下顛倒、有些會放大或縮小……

- ❗ 若無法在紙屏上成像，可以從紙屏所在的一端透過透鏡觀察。
- 📝 將成像性質記錄下來，並比較物距、像距與焦距之間的關係。

3 觀察不同物距時，凹透鏡的成像性質

- 將凸透鏡換成已知焦距的凹透鏡，重複步驟2，觀察光源在焦距外和焦距內的成像性質。
- ❗ 若無法在紙屏上成像，可以從紙屏所在的一端透過透鏡觀察。
- 📝 將成像性質記錄下來，並比較物距、像距與焦距之間的關係。

結果與討論

1. 請問無法在紙屏上成像所代表的意義為何？若透過透鏡能看到像，此時是實像或是虛像？
2. 當光源剛好移動到凸透鏡的焦點上時，是否可以觀察到成像？為什麼？
3. 綜合實驗結果，試說明物體經凸透鏡、凹透鏡折射後，可呈現哪些性質的成像？

進一步探索



想一想，如果要得到放大物體的像，生活中有哪些物品可以取代凸透鏡呢？

可利用活動紀錄簿P.44進行探討活動



給學生

1 快速觀察到不同性質的成像

蠟燭位置由遠處，一次縮減與透鏡一半的距離，觀察是否看到與前次不同性質的成像，若仍相同，則再縮減一次。

2 量取凹透鏡的焦距

凹透鏡的表面實際上也是一個凹面鏡，部分被反射的光線會會聚於一點，為了量取凹透鏡的焦點，可在正午太陽光下平放凹透鏡，拿一張硬紙板在凹透鏡上方上下緩慢移動，不要完全遮住陽光，將可找到會聚的焦點，並測量焦點至鏡心的距離，即約為凹透鏡的焦距。

Ans 結果與討論

1. 代表光線沒有會聚到紙屏上成像。透過透鏡看到的是虛像。
2. 無法觀察到成像。根據光的可逆性，從焦點發出的光線經透鏡折射後會平行射出，故無法成像。
3. 依物距不同，透過凸透鏡可以產生放大、等大或縮小的倒立實像，及正立放大虛像；透過凹透鏡則可以產生正立縮小虛像。

Ans 進一步探索

透明玻璃珠、圓柱形玻璃杯裝水、表面光滑的透明寶特瓶裝水等。

教材編注

1. 配合審查要求以探究方法操作實驗，對應實驗步驟讓學生在圖4-37中歸納出物體成像的位置。成像的放大縮小、正立倒立等性質則在頁124、125例題與觀念速記整理。
2. 為較符合實驗裝置的真實位置，故圖4-37、圖4-38透鏡成像示意圖中的物體（蠟燭）在主軸中間；頁124、125例題則為試題中物體位在主軸以上的畫法。

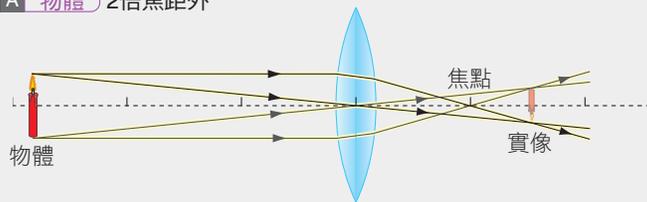
互動媒體

凸透鏡之成像

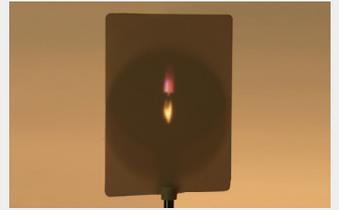
A

凸透鏡

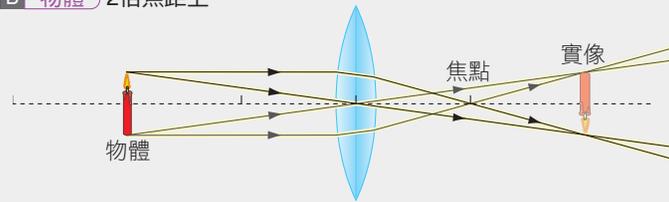
A 物體 2倍焦距外



成像 鏡後的焦距與2倍焦距間



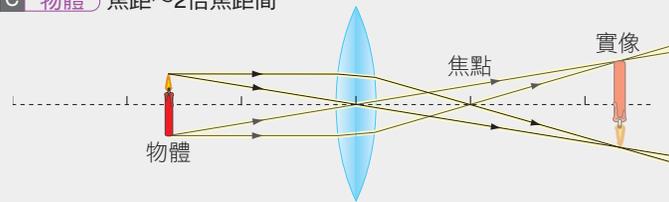
B 物體 2倍焦距上



成像 鏡後2倍焦距上



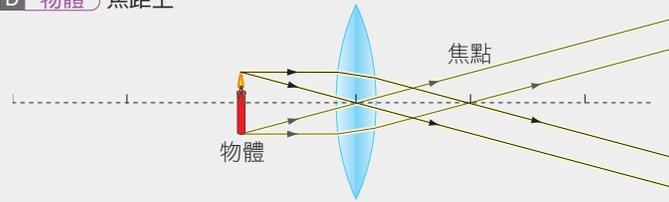
C 物體 焦距~2倍焦距間



成像 鏡後2倍焦距外



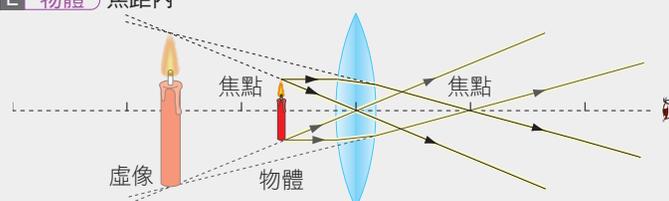
D 物體 焦距上



成像 無法成像



E 物體 焦距內



成像 鏡前



圖4-37 物體經過凸透鏡折射所形成的像。

122



給學生

1 物體位在焦距上時無法成像

無法成像的意思是從焦點上發出的所有光線將平行射出至無窮遠處。課本圖4-37D的實照僅為舉例，紙屏上實際看到的樣子會視紙屏所在位置而不同（例如看到透鏡的輪廓、模糊的燭焰等）。

學習小幫手

觀察左圖光線路徑，物距不同時，會在什麼位置成像？

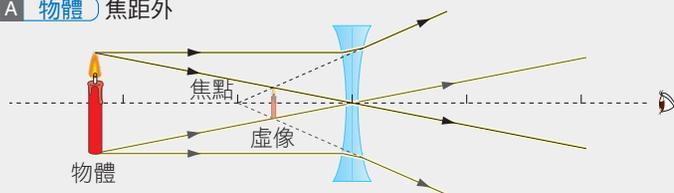
凹透鏡之成像

PI-28 第4題

PI-29 第5題

A 凹透鏡

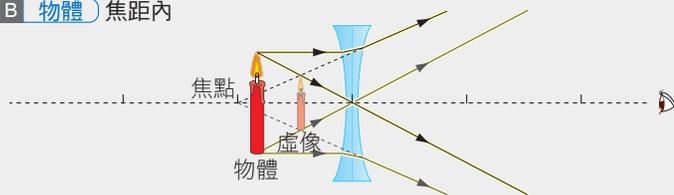
A 物體 焦距外



成像 鏡前



B 物體 焦距內



成像 鏡前


 圖4-38 物體經過凹透鏡折射所形成的像。

【分析與結論】

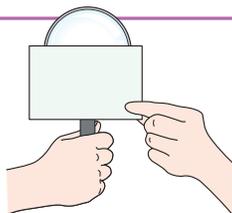
>>> 由以上實驗可發現，物體經過透鏡折射後所得的成像，與物距有關。當物體位於凸透鏡焦距以外時，可以在紙屏上成像，屬於實像（圖4-37A~C）；當物體位於凸透鏡焦點時，無法成像（圖4-37D）；而當物體置於凸透鏡的焦距內（圖4-37E），或是置於凹透鏡前的任一位置時（圖4-38），則僅能透過透鏡觀察到物體的虛像，而無法在紙屏上成像。

透鏡成像與原物體比較，有正立也有倒立，有放大也有縮小，所以透鏡的生活應用很多，下節將介紹一些應用透鏡的光學儀器。<<<



動腦時間

1. 在凸透鏡的成像實驗中，當光源置於焦距外時，會形成上下顛倒的成像。想一想，此時的成像是否也左右相反呢？
2. 若以不透明紙板遮住透鏡的下半部（圖4-39），你推測紙屏上的成像將會有什麼變化？為什麼？

 圖4-39 以不透明紙板遮住透鏡的下半部。


第4章 光 123



給老師

【提問A】凸透鏡和凹透鏡，在物距改變的過程中，其成像有何變化？

當物體由凸透鏡2倍焦距外移向焦點時，像逐漸變大；當物體由凹透鏡焦點外移向焦點內時，像逐漸變大。

【提問B】凸透鏡與凹透鏡皆會形成虛像，這兩種虛像有何差異性？

凸透鏡在焦點內會形成正立放大虛像；凹透鏡不論物距為何，只能形成正立縮小虛像。



給學生

Ans 動腦時間

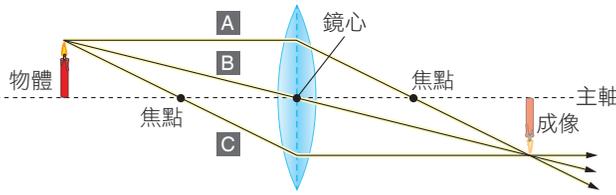
1. 可觀察燭火左右飄移方向，來判斷凸透鏡內的像是左右相反的。
2. 燭火成像的位置、大小都不會改變，且成像依然為倒立，但燭火的成像會變得較暗，因為透鏡被紙板擋住一半，所以經過透鏡折射成像的光線也減半。

例題 4-5

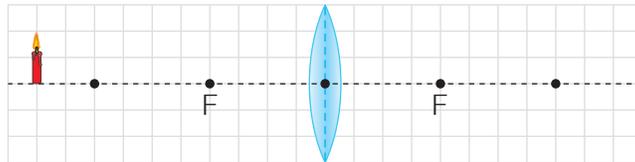
試利用凸透鏡的三條特殊光線，畫出蠟燭在以下不同位置時的成像，並勾選成像性質。

觀念

判斷凸透鏡成像性質時，有三條特殊光線，透過其中兩條光線的交點即可找到成像的位置，如下圖：

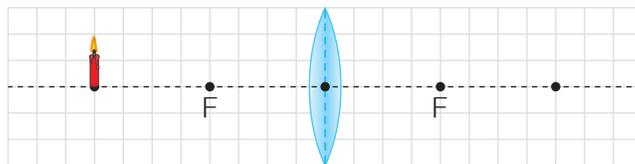


- A** 平行主軸的光線：折後，通過另一側的焦點。
- B** 通過鏡心的光線：通過透鏡後，方向不變。
- C** 通過焦點的光線：折後，與主軸平行。



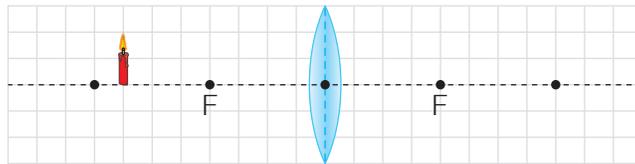
(1) 2倍焦距外

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大



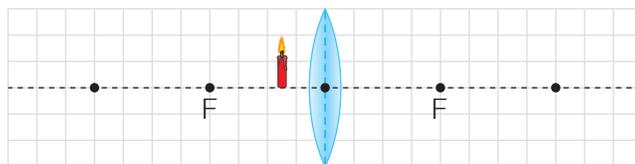
(2) 2倍焦距上

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大



(3) 焦距~2倍焦距間

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大



(4) 焦距內

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大

給老師

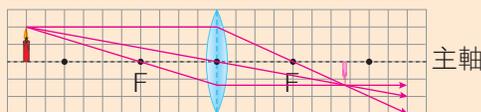
【技巧A】

可向學生說明實際上光線應在進、出透鏡時各折射一次，例題中為了作圖方便，簡化為通過透鏡中心折射一次的畫法。

給學生

Ans 例題4-5

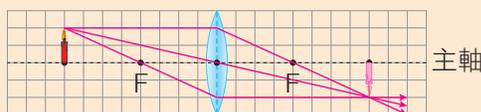
答 (1) 實像、倒立、縮小。



(3) 實像、倒立、放大。



(2) 實像、倒立、等大。



(4) 虛像、正立、放大。



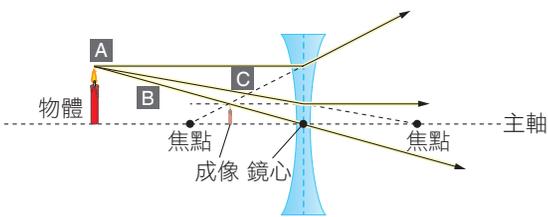
例題 4-6

凹透鏡的成像性質

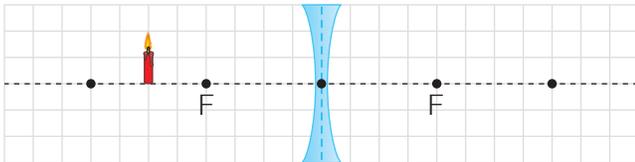
試利用凹透鏡的三條特殊光線，畫出蠟燭在以下不同位置時的成像，並勾選成像性質。

觀念

凹透鏡也有三條特殊光線，透過其中兩條光線的交點即可找到成像的位置，如下圖：

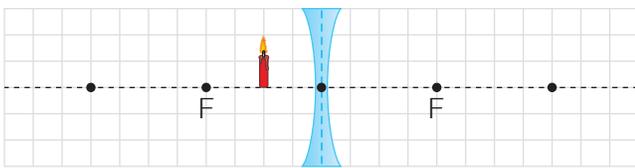


- A** 平行主軸的光線：折射後反向延伸通過同一側的焦點。
- B** 通過鏡心的光線：通過透鏡後，方向不變。
- C** 指向另一側焦點的光線：折射後，與主軸平行。



(1) 焦距外

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大



(2) 焦距內

- 實像 虛像
- 正立 倒立
- 放大 縮小 等大

觀念速記

透鏡的成像性質

透鏡	比較	物體位置	成像位置	成像性質
凸透鏡		無窮遠處	另一側焦點上	一點
		2倍焦距外	鏡後焦距與2倍焦距之間	倒立縮小實像
		2倍焦距上	鏡後2倍焦距上	倒立等大實像
		焦距與2倍焦距之間	鏡後2倍焦距外	倒立放大實像
		焦距上	無法成像	無法成像
		焦距內	鏡前	正立放大虛像
凹透鏡		焦距外	鏡前	正立縮小虛像
		焦距內	鏡前	正立縮小虛像



自然暖身操 解答

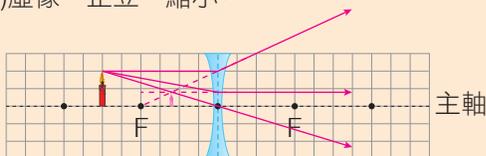
來自水中吸管的光線穿出水面時會發生折射，因此水裡的吸管看起來像是被折彎了一樣。



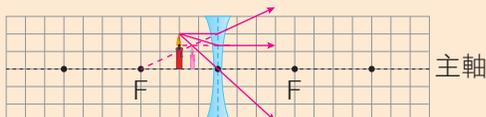
給學生

Ans 例題4-6

答 (1) 虛像、正立、縮小。



(2) 虛像、正立、縮小。



4 · 4 光學儀器

自然暖身操



利用透鏡的成像性質，可製造各種光學儀器，例如顯微鏡、照相機、眼鏡等。以下我們就來簡單介紹一些光學儀器的構造及原理。

B 1 複式顯微鏡

在生物課程中，我們曾學過複式顯微鏡的使用，你可曾想過是什麼原理，讓我們得以觀察肉眼看不到的微小物體（如細胞）？複式顯微鏡（圖4-40）的物鏡與目鏡都是凸透鏡，眼睛透過顯微鏡所觀察到的像，是經過多次折射，最後所成的像與原標本互為上下顛倒、左右相反的虛像。

圖4-40 複式顯微鏡的目鏡和物鏡都是凸透鏡，因此物體的成像是經過多次折射後被放大的結果。



126

動腦時間

在生物課我們已經學過複式顯微鏡的操作，當我們發現視野中的草履蟲即將朝右上方游出視野時（圖4-41），玻片應往右上方移動。現在你能說出為什麼了嗎？



圖4-41 草履蟲朝右上方移動。

給老師

【提問A】近視眼鏡和老花眼鏡看物體為何不一樣？這兩種眼鏡的設計有何差異？

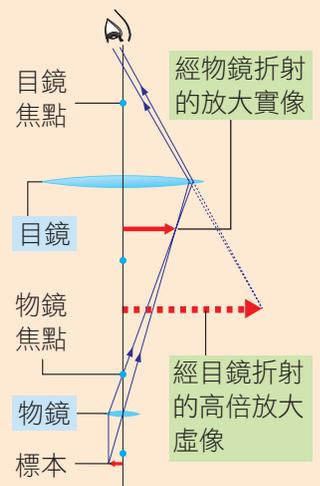
近視是像落在視網膜前面，要戴凹透鏡矯正讓像後退到視網膜上；遠視是像落在視網膜後面，要戴凸透鏡矯正讓像前進到視網膜上；至於老花是眼睛機能衰退，使像落在視網膜後面，要戴凸透鏡矯正讓像前進到視網膜上。

【技巧B】可配合七年級生物課程及實驗4·3透鏡的成像觀察，複習複式顯微鏡的使用方法，並介紹顯微鏡的放大原理。

給學生

1 複式顯微鏡

置於顯微鏡下方的標本，經物鏡形成與原物體倒立的放大實像，並使得此實像落在目鏡的焦點內，然後再經目鏡形成與原物體倒立的放大虛像。



知識 世界上第一張永久性的照片，需要至少八個小時的曝光時間，而且成像不太清晰。

2 照相機

圖4-42為相機的基本結構與成像示意圖。相機的基本結構包含鏡頭、快門及感光元件，其中，鏡頭包含由鏡片組成的透鏡組，功能相當於凸透鏡；鏡頭中的光圈具有調節光線接收量的功能；而快門則可以控制感光元件的曝光時間。

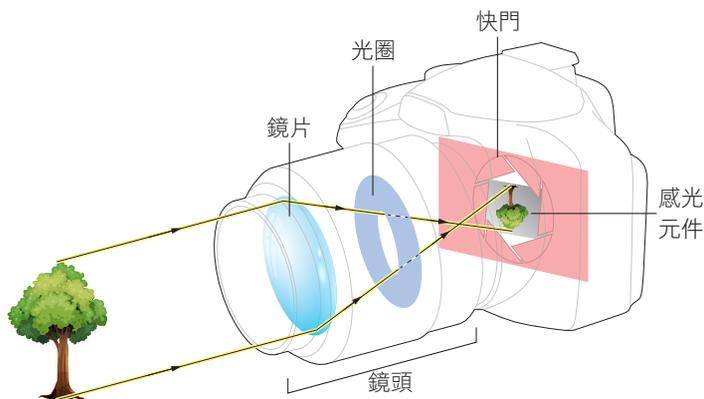


圖4-42 數位相機的基本結構及成像示意圖

以相機拍攝景物時，鏡頭前的景物經透鏡折射後產生的倒立實像（圖4-43），恰好落在感光元件上，使其感光而記錄下景物的影像。手機上的相機與一般相機的基本構造及原理相同，當倒立的實像投射在感光元件上之後，此倒立的像會再經過手機內建程式處理，使最終顯示在手機螢幕上的像為正立。



知識快遞

數位相機內部裝了具有感光功能的半導體元件，可將影像轉換成數位訊號儲存於記憶體上，並可連接電腦或電視以顯示影像。



感光元件



圖4-43 透過相機鏡頭直接觀察物體成像，可看到倒立實像。



給老師

【提問C】 傳統相機要拍清楚景物，其物距有何要求？可拍攝細微物體（例如花草、昆蟲等）的微距鏡頭，和傳統相機的成像有何不同？

在傳統相機感光元件上所成的像為倒立縮小實像，所以物距要在2倍焦距外。可引導學生認識現今的微距鏡頭可拍出和實物大小相同、甚至放大的實像。



給學生

Ans 動腦時間

因為顯微鏡成像是上下顛倒、左右相反，所以當視野內蟲游向右上角，表示蟲真正方向是向左下角游動，此時載玻片要向右上方移動才能再觀察到蟲。

2 手機自拍

當使用手機自拍時，會看到螢幕顯示上的制服名字方向，與真實制服上繡的名字方向剛好相反。這是因為自拍時面對鏡頭，顯現在手機螢幕上制服名字的像，與照鏡子時類似；有些型號的手機處理器會將拍好的像翻轉，瀏覽照片時會看到與真實制服上名字的方向一模一樣。

互動媒體

透鏡與視力矯正
配戴眼鏡眼球之成像

歷屆試題

PI-29 第6題

3 眼睛與眼鏡

A 人的眼睛主要結構如圖4-44所示，當眼前景物發出或反射光線時，會經由角膜穿過瞳孔進入水晶體。水晶體相當於一個精巧的凸透鏡，視力正常的人，可藉著睫狀肌調整焦距，使折射後的光線能夠聚焦在視網膜上，而得到清晰的倒立縮小實像（圖4-45）。此成像會經由視神經傳遞至大腦，再由大腦解讀轉為正立的像，引發視覺。

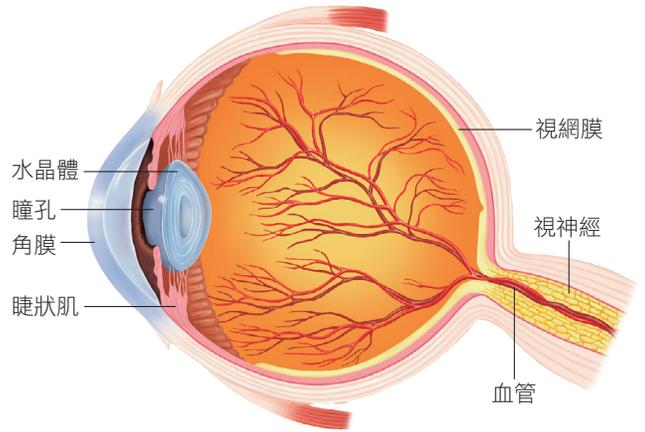


圖4-44 眼睛的主要構造

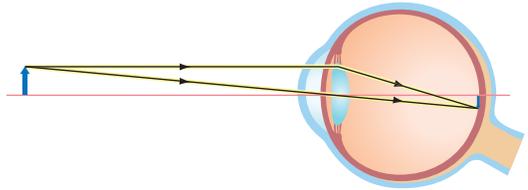
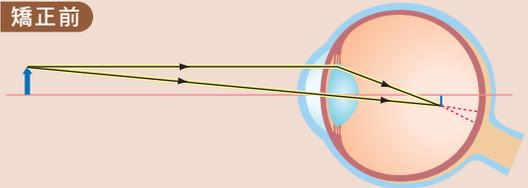


圖4-45 視力正常的眼睛，成像落在視網膜上。

B 近視眼

近視是水晶體彎曲弧度過大，焦距過短，使遠處物體的像落在視網膜前方，所以看不清楚。有近視眼的人必須配戴適當焦距的凹透鏡，使光線進入眼睛前先發散，便能使遠處物體的成像清晰落在視網膜上（圖4-46）。

矯正前



矯正後

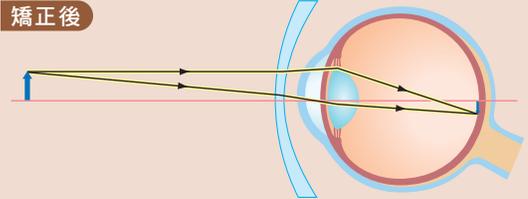


圖4-46 近視眼的矯正

給老師

【技巧A】 介紹眼睛各部分構造及功能，其中角膜和水晶體具有凸透鏡的功能，使入射眼內的光線發生折射。

【技巧B】 可配合圖片說明近視和遠視的成因，並說明配戴透鏡矯正視力的原理。

給學生

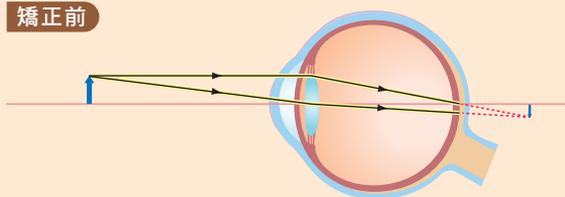
1 眼睛的主要結構

人眼的水晶體相當於凸透鏡，眼前景物發出或反射的光線，經由角膜折射後，穿過瞳孔進入水晶體，使光線能夠聚焦在視網膜上而成倒立的實像。角膜是一透明薄膜，形同鏡片，負責70%的聚光力；虹膜根據光刺激眼睛的程度，擴張與收縮瞳孔，控制進入的光量；水晶體則提供剩餘30%光能的對焦能力，透過睫狀肌來控制其厚、薄，以分別對近遠距離對焦。光繼續通過玻璃液折射，倒影在視網膜上，上面的感光細胞利用光色素吸收可見光，除提供清楚的影像外並轉換為神經能量，刺激視神經傳遞至腦部，並轉換為視覺資訊。

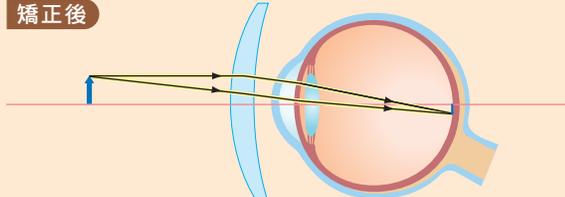
B 遠視眼

遠視是水晶體彎曲弧度過小，焦距過長，使得近處物體的成像會落在視網膜後方，所以看不清楚。有遠視眼的人必須配戴適當焦距的凸透鏡，使光線進入眼睛前先會聚，近處物體的成像就能落在視網膜上（圖4-47），便可在正常距離下閱讀書報了。另外，一般較年長的人會有老花眼，是由於水晶體調節機能衰退所引起，老花眼的人可配戴適當焦距的凸透鏡來矯正。

矯正前



矯正後



▲圖4-47 遠視眼的矯正

💡 動腦時間

當物體由遠處逐漸靠近時，眼睛水晶體的焦距將會隨著逐漸變長、變短，或維持不變呢？

教材編注

頁128、129的物體與人眼成像示意圖，主要在強調物體在不同的物體位置時，成像位置與水晶體的改變，教師在教學時，應引導學生觀察兩處的不同，以了解視力異常的成因。

參考資料

[PI-12] 全功能眼鏡

15 4 其他光學儀器

除了以上介紹的幾種光學儀器外，其他如望遠鏡、解剖顯微鏡、攝影機和單槍投影機等光學儀器也都利用到透鏡（圖4-48），可上網或至圖書館查閱相關書籍，學習它們的成像原理。



▲圖4-48 常見的光學儀器



自然暖身操 解答

以近視眼鏡看物體時，由於近視眼鏡是凹透鏡，故會看到縮小的成像；以老花眼鏡看物體時，由於老花眼鏡是凸透鏡，故會看到放大的成像。



給學生

2 近視眼

近視眼在觀察遠處物體時，因水晶體無法變薄（焦距過短），使物體成像無法在視網膜上，但觀察近處物體時，則與正常眼睛相同。

3 遠視眼

遠視眼在觀察近處物體時，因水晶體無法變厚（焦距過長），使物體成像無法在視網膜上，但觀察遠處物體時，則與正常眼睛相同。

4 眼鏡度數

近視、遠視眼可配戴適當焦距的凹、凸透鏡矯正視力，在眼科的應用上，眼鏡的度數不以鏡片焦距表示，而以鏡片焦距 f 倒數的100倍（以 m 為單位），即 $\frac{1}{f(m)} \times 100$ 為眼鏡的度數，其中的單位為 D_i （縮寫為 D ）表示鏡片的屈光度，而 $\frac{1}{100}D$ 為一度。

Ans 動腦時間

我們眼睛不論看遠看近，都是利用水晶體調整焦距，讓像能落在視網膜上。當物體由遠至近，像距會變大，所以要將水晶體的焦距縮短，使成像落在視網膜上。

[P.I-12] 太陽發出的
可見光

[P.I-12] 電磁波

4·5

色光與顏色



自然暖身操



▲圖4-49 光的色散現象

知識快遞

天空中看到的彩虹，是陽光穿過雨滴造成的色散現象。

130

1 陽光的色散

西元1666年，牛頓（Isaac Newton，西元1643~1727年）發現太陽光通過透明的三稜鏡後，會被折射分散成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種主要顏色的光，此現象稱為**色散**（圖4-49），牛頓由此推論太陽光是由不同顏色的光混合而成。而這種連續排列如彩虹般的色光帶，就是能引起人們視覺的可見光，稱為**可見光譜**。相反的，若將紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種可見色光混合起來，則會產生白光。

給老師

【提問A】芭樂的顏色與攤販的綠色燈光有何關係？

芭樂是綠色，照綠光會讓芭樂反射大量綠光進觀察者眼睛，使芭樂看起來是亮綠色，進而吸引民眾購買。

【技巧B】可由陽光通過透明三稜鏡的色散現象，說明陽光和日光燈等白光光源是由不同顏色的光混合而成。

給學生

1 陽光的色散

1. 陽光經三稜鏡折射後，所分散形成的色帶稱為光譜。
2. 陽光經三稜鏡折射後之所以會產生色散，是因為各色光在三稜鏡中行進的速率不一樣所引起的（紫光速率最慢、偏折最大）。
3. 一般的光學元件也都會有些許的色散現象。因此，精密度高的光學原件中都會加入一些特殊鏡片，以減少色散現象。

2 雷射光

當白光通過三稜鏡後會產生色散現象，但雷射光卻不會，因為雷射光是單色光。雷射光細而直，且具有能量集中的特性，以雷射光向天空照射，即使傳播距離很遠，光束仍不會散開。雷射光可用於切割物體，因此使用時眼睛絕不能直視雷射光源。

知識 人類的眼睛大約能區分出一千萬種顏色。

2 光的三原色

C 如果將電腦螢幕的白色畫面中的一小部分放大，我們可以發現，其實是由紅、綠、藍三種單色的小光格組合起來所產生的視覺效果；由此可知，除了將七種可見色光混合起來，會產生白光之外，將紅、綠、藍三種單色光混合，也同樣可以產生白光。如果將紅、綠、藍三種單色光以相同亮度同時照射在白紙上，紅光、綠光與藍光重疊照射處，所顯現的顏色會是白色。一般我們將紅、綠、藍三種色光稱為**光的三原色**（圖4-50）。而當這些三原色的小光格，以不同的亮度、比例配置時，就可呈現出許多不同的色彩（圖4-51）。

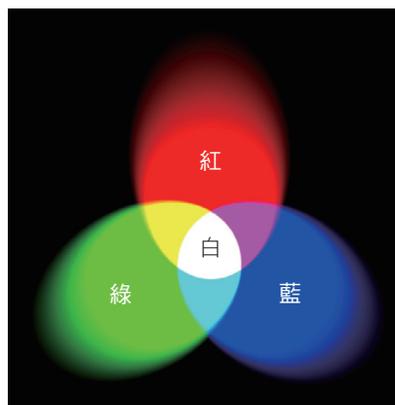


圖4-50 光的三原色

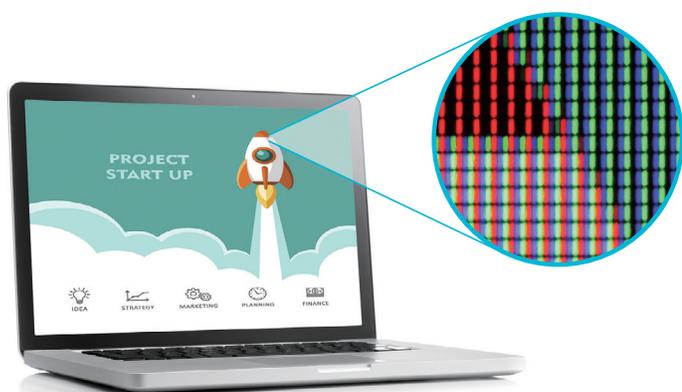


圖4-51 將螢幕畫面放大，可看到許多紅、綠、藍色的光格，以不同亮度、比例構成不同的色彩。

動腦時間

在電風扇的葉片上，分別貼上紅色、綠色、藍色的色紙（圖4-52），然後以高轉速開啟電風扇。想一想，轉動中的葉片會呈現什麼顏色？



圖4-52 葉片貼上色紙的電風扇

給老師

【技巧C】教師可引導學生使用數位相機的近拍功能，直接拍攝電視或電腦螢幕，再將所得圖像放大，觀察到畫面是由三原色的小光點所組成，以引導出光的三原色相關概念。

給學生

24bit全彩

電視機、電腦螢幕都具備產生三原色（RGB），就是紅（Red）、綠（Green）、藍（Blue）三種基本光線的發光裝置。因為這三種光線的混合幾乎可以顯示所有的顏色，因此電腦顯示就用RGB三個數值的大小來標示色彩，每個顏色用8 bit記錄，可以有0~255，共256種亮度變化，故三色乘起來就有一千六百多萬種變化，也就是我們常聽到的24 bit全彩。

Ans 動腦時間

扇葉快速轉動時，因為人體的視覺暫留現象，會看到紅綠藍三色混合接近白色。

教材編注

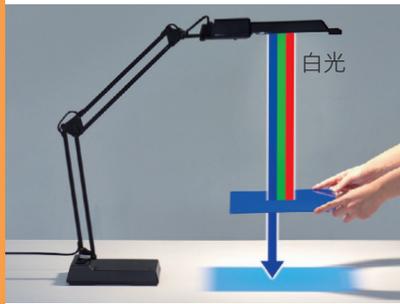
根據國教院審查要求，應增加學習表現，故調整實驗前的引起動機並新增提問，讓學生藉由有計畫的觀察，進而能察覺問題。

實驗影片

實驗：色光與顏色的關係

參考資料

[PI-12] 色光



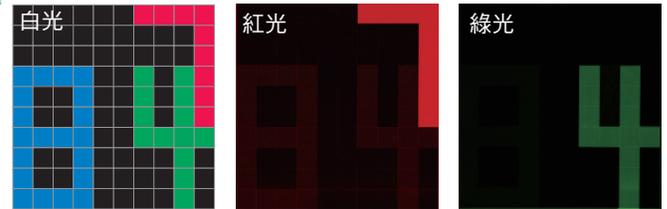
▲圖4-53 白光穿過藍色壓克力板後，就變成了藍光。
(白光以紅、綠、藍三色光表示)

3 色光與物體的顏色

當光線射向具有顏色的透明物體，例如玻璃紙或壓克力等材料時，只有與該物體顏色相近的色光會有較高的比例穿透物體，其餘色光皆會被吸收。當我們將檯燈的白光照射向藍色壓克力板時，藍色壓克力板讓藍光通過而吸收其他大部分色光，所以白光通過壓克力板後就變成藍光了(圖4-53)。

圖4-54有紅、綠、藍色的3種數字，當使用紅光或綠光照射圖案時，你觀察到圖案發生什麼變化呢？

發現問題



▲圖4-54 彩色圖案在不同色光下呈現的各種圖案。

實驗 4.5

色光與顏色的關係



實驗 4.5

目的

利用不同色光照射不同顏色物體，進而了解物體吸收或反射色光的特性。

規畫實驗

將不同色光照射在不同顏色物體上，就可以觀察物體吸收或反射色光的特性了！我們可以利用 不同顏色的玻璃紙 來製造不同顏色的光。為了減少外界光源的干擾，可以用 紙箱 製作一個不透光的小空間來觀察。



給學生

1 透明物體

透明或半透明物體的顏色，除了反射光產生顏色外，尚有經透射光而呈現的顏色。

教材編注

根據國教院審查要求，應讓學生設計規畫實驗流程，以達到計畫與執行的能力培養，故新增實驗設計的相關提問，可引導學生討論適合實驗的材料，及如何排除環境光源對此實驗的干擾。

實驗

器材 (每組)

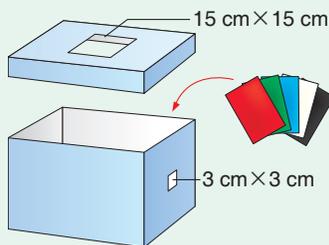
- 紙箱1個
- 紅色、綠色、藍色、白色、黑色色紙各1張
- 檯燈1盞
- 紅色、綠色、藍色玻璃紙各1張

1 製作觀察箱

- 在紙箱蓋子上切割15公分×15公分的洞口。
- 在紙箱側面切割3公分×3公分的洞口。
- 在紙箱中放置各種顏色的色紙，並蓋上紙箱蓋。

⚠ 若紙箱內部不是白色，則須黏貼白紙。

步驟Q 為什麼要讓紙箱內部為白色？

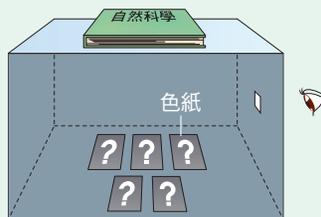


2 在無光源下，觀察各顏色的色紙

- 以課本或其他不透明的物體遮住暗箱蓋上的洞口，使外界光源無法進入紙箱中。
- 從側面的洞口觀察，是否能看見暗箱中色紙的顏色？

⚠ 需減少室內光源，例如拉上窗簾及關燈。

☑ 將觀察結果記錄在活動紀錄簿中。

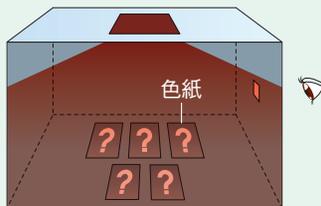


3 在紅、綠、藍光下，觀察各顏色的色紙

- 分別以紅、綠、藍光照射箱內色紙。
- 從側面的洞口觀察，看看暗箱中色紙顯現的顏色變化。

⚠ 需減少室內光源，例如拉上窗簾及關燈。

☑ 將觀察結果記錄在活動紀錄簿中。



結果與討論

1. 步驟2中，在沒有光源時，能分辨暗箱中色紙的顏色嗎？為什麼？
2. 步驟3中，紅色的色紙在何種光源照射下，依然保持原來的顏色？



給老師

【技巧A】用上蓋式影印紙箱做成暗箱，密閉效果較一般紙箱佳。紙箱的上蓋和側面切割的洞口大小須適當，以避免不必要的光源進入。紙箱內部黏貼的白紙可用一般影印紙，比黑紙容易取得，故實驗步驟中仍以白紙為主。但肉眼所見的光源強弱和色光顏色是因人而異的，教師可於課前先行操作，再以感覺較明顯的素材作為實驗用品，使實驗效果更好。置於暗箱中的色紙或物體，使用紅、綠、藍、白、黑色為原則，以免增加實驗的複雜性。



給學生

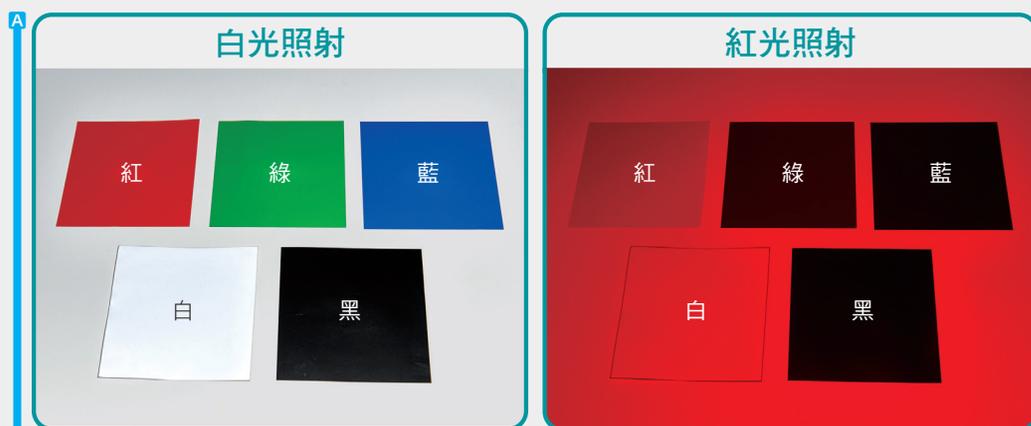
Ans 步驟1Q

白色可反射所有光線，實驗效果最佳，可增加準確性。

Ans 結果與討論

1. 不能。在沒有光源的暗箱中，物體無法反射任何光線進入眼睛，所以無法看見物體的顏色。
2. 紅色的色紙在白光或紅光光源照射下，依然呈現紅色。

色光與顏色
色光與顏色的關係
視覺色彩



▲圖4-55 光源的顏色不同，眼睛所觀察到的色紙顏色也會隨之改變。

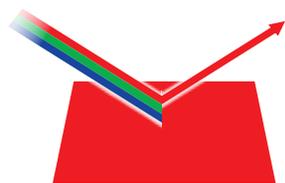
【分析與結論】

>>> 在沒有光源的暗箱中，由於色紙無法反射任何光線進入眼睛，故無法看見色紙。而如圖4-55，當白光照射紅色紙時，紅色紙會吸收其他顏色的光而反射紅光，反射的紅光進入眼睛，所以呈現紅色。白光下，綠色紙呈現綠色，藍色紙呈現藍色也是相同原理。

而白紙幾乎不會吸收任何色光，以白光照射時，白光中的所有色光幾乎都會被反射，這些色光混合進入眼睛，所以呈現白色。黑色紙則幾乎能將所有入射的色光吸收，因此以白光照射黑色紙時，幾乎沒有任何色光反射，所以呈現黑色（圖4-56）。

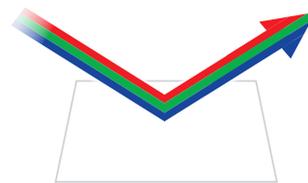
▼圖4-56 不同顏色的物體對白光的吸收與反射示意圖。

B 白光（以紅、綠、藍三色光表示）



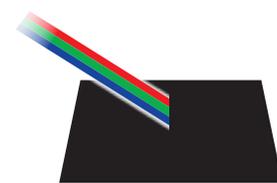
A 吸收其他光線，只反射紅光，因此呈現紅色。

白光



B 幾乎完全反射光線，沒有吸收光線，因此呈現白色。

白光



C 幾乎完全吸收光線，沒有反射光線，因此呈現黑色。

134

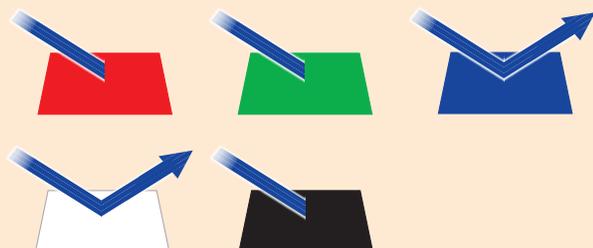


給老師

【技巧A】實驗所使用的紅綠藍玻璃紙並非單一色光，因此三張合起來看仍可隱約看見光源，這是實驗時學生常有的疑惑，可向學生簡單說明。

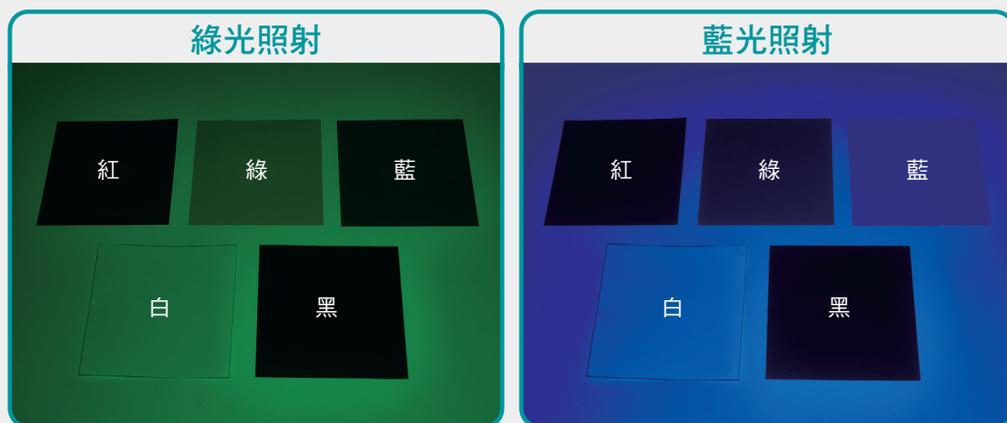
【技巧B】實驗完成後，可以課本圖4-56說明物體所呈現的顏色，主要與光源的顏色、物體表面吸收與反射光的特性有關。物體的顏色有其物理性與心理性，教學時只須針對色光三原色的變化說明即可。

Ans 學習小幫手



學習小幫手

請用紅、藍、綠三色色筆，參考圖4-56的原理示意畫法，將藍光下色紙的呈色原理畫出。



當改成以紅光照射時，紅色紙與白紙仍會反射紅光，所以呈現紅色；而綠、藍、黑色紙則會吸收紅光，因此顏色呈現黑色。同理，在綠光或藍光照射下，紅色紙會吸收綠光或藍光而幾乎不發生反射，因此紅色紙所呈現的顏色會接近黑色。<<<

- 5 不透明物體所呈現的顏色，與物體表面受到光線照射時，吸收和反射光的特性有關；而被物體表面反射的光線進入眼睛後，再經由大腦解讀，我們才能看到如此色彩繽紛的世界。

動腦時間

將紅、綠、藍三色的玻璃紙疊在一起，透過玻璃紙看日光燈時，日光燈發出的白光中，哪種色光會透過玻璃紙？為什麼？

例題 4-7

物體的顏色

教堂中美麗的彩繪玻璃能使外面透進來的陽光呈現繽紛的色彩。阿康在教堂中從紅色玻璃看出去，看見戶外的新娘穿著美麗的紅色婚紗，此婚紗真正的顏色可能為何？

(A)必為紅色 (B)必為白色 (C)紅色或白色 (D)必為黃色。

自然暖身操 解答
以綠色光源照射綠色芭樂時，會提高芭樂所反射出的綠光亮度，使芭樂顏色看起來更鮮明。

給學生

1 可見光

可見光波進入人眼到達視網膜時，引起的視覺具有三種屬性，即色彩 (hue)、飽和度 (saturation) 及亮度 (brightness)。引起視覺的可見光可由單一波長或數種波長的光波所合成，人眼視覺感受出最接近可見光譜的顏色，即是色彩。白光是所有光譜色光的混合，而黑色則是缺乏任何色光。飽和度表示顏色的純度 (purity)，指的是顏色接近純光譜色的程度，亦可簡單視為顏色的深淺。人眼經由視覺感受，會主觀的判定它們有不同的明亮程度。在白天的時候，人眼視覺最敏感的色光為波長555 nm的黃綠光。

Ans 動腦時間

解 白光中的色光分別被紅、綠、藍三種顏色的玻璃紙吸收，而沒有色光通過。

Ans 例題4-7

答 (C)。

解 紅色玻璃讓紅光通過，因此陽光照射婚紗所反射的色光中包含紅光，婚紗可能的顏色為可反射紅光的顏色，例如紅色或白色。

電磁波的生活應用

水波、繩波和聲波等力學波，都需要依靠介質傳播，但無線電波和微波等電磁波，在真空中也能傳播，而不需要依靠任何介質。西元19世紀，英國科學家馬克士威（James Clerk Maxwell，西元1831~1879年）計算出電磁波在真空中的波速和光速一樣，由此推測光是電磁波的一種。如圖1所示，電磁波的範圍分布很廣，整個電磁波譜包含γ射線、X射線、紫外線、紅外線、微波、可見光和無線電波等，除了本章學習的可見光外，讓我們來認識生活中還有哪些電磁波的應用吧！

γ射線 (Gamma rays)



用於治療癌症的γ射線儀器

- 穿透力強。
- 應用於癌症治療、農業科技，例如防治蟲害等。

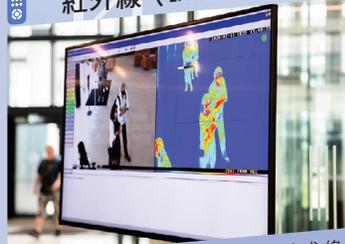
X射線 (X rays)



X光成像

- 能穿透肌肉。
- 常用於醫療顯影或機場行李檢查。

紅外線 (Infrared, 簡稱IR)



偵測物體發出的紅外線輻射成像

- 物體的熱輻射主要就是輻射出紅外線。
- 常用於食物保溫、耳溫槍、遙控裝置及夜視攝影。

微波 (Microwaves)



利用微波爐加熱食物

- 某些頻率的微波可以使食物中的水釋放熱能，將食物加熱。
- 另常應用於衛星通訊與雷達。

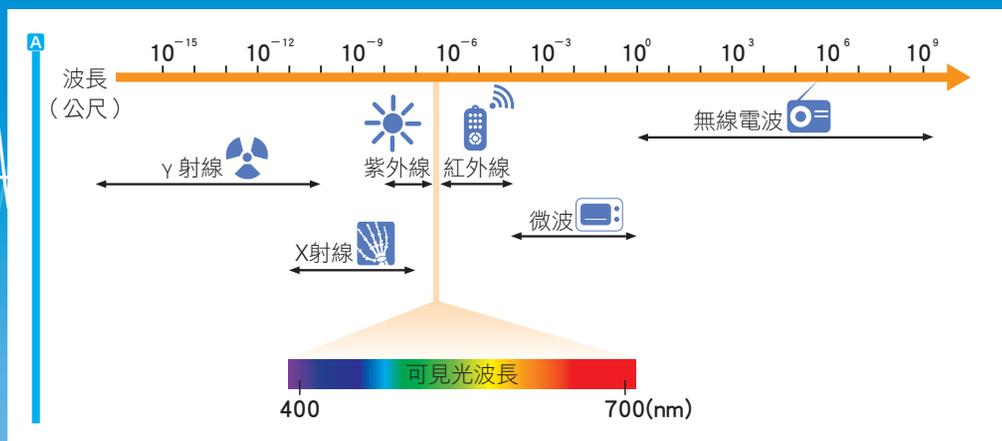


圖1 電磁波譜

紫外線 (Ultraviolet, 簡稱UV)



以紫外線消毒餐具

- 太陽光中含有紫外線，有助人體形成維生素D，但不可過度曝曬，以免曬傷或引起皮膚細胞病變。
- 常用於食物或器具的殺菌、消毒。

無線電波 (Radio waves)



傳遞無線電波的無線電塔

- 常用於手機、無線電視與收音機傳遞訊號。

閱讀思考

- 觀察電磁波譜的簡圖，請問：
1. 人眼能看到的可見光，波長介於哪兩種電磁波之間？
 2. 根據電磁波的介紹，你判斷γ射線和無線電波何者的頻率較高？為什麼？



給老師

【技巧A】複習本冊第三章學過波的頻率與波長間的關係，並可簡單介紹電磁波的能量與頻率呈正相關，頻率越高，波長越短，能量越大。



給學生

Ans 閱讀思考

1. 紅外線與紫外線之間。
2. γ射線頻率較高，因為其波長較短。

舞臺燈光設計師

舞臺燈光的歷史最早可追溯到西元前五百多年的希臘，從純粹為了晚上照明，演變到現代宛如魔法般的五光十色，可說是科技帶領燈光設計一起進步。國內知名的燈光設計師——曹安徽教授至今有上百件設計作品，就讓我們跟著曹教授一起了解燈光的奧妙吧！

曹安徽

◆ 國立臺北藝術大學
劇場設計學系
副教授



▲圖2 紅色常用來代表危險。



▲圖1 晚上常用深藍色的光來呈現。

B



Q1 為什麼舞臺燈光需要設計？設計的目的是什麼？

舞臺燈光最一開始是為了在晚上表演時，能讓觀眾看得到表演者。隨著時代演進，為了滿足一些戲劇效果，燈光的藝術設計才開始發展。舞臺上寫實性和寫意性的效果都可以用光做藝術呈現，寫實性的效果例如時間是白天或是晚上；寫意性的效果例如情緒是快樂或是悲傷。

另外，舞臺表演常需要更換布景，原本劇場上的布景和道具主要都是木造，現代為了環保，漸漸減少木造景的需求，這時燈光就是重要的輔助，使得燈光設計更蓬勃發展。

138



給老師

【技巧A】可以選一齣燈光效果豐富的舞臺劇影片作為此篇的開場。

【提問B】在昏暗或絢麗燈光下的舞臺上，舞者或演員如何不跑錯位置？

其實舞臺的地板上貼有定位用的螢光膠帶，舞者或演員可以此知道位置，不易跑錯，不過這還是需要專業訓練。



給學生

① 舞臺燈光與科技

將科技融入藝術表演的發展趨勢，不僅體現在歌手的MV中，就連舞蹈展現也不乏加入科幻投影，多元的展現方式也是時下觀眾所喜愛的。



Q2 如何運用燈光營造出不同的戲劇效果？

C 照光的角度以及不同顏色的光，都可以創造出不同的戲劇效果。以照光的角度來說，例如頂光（從表演者正上方打下來的光），就常用來表示壓迫感、孤立感或被注意等。

在光的顏色上，當在傳達陽光、陰天、白天、晚上等寫實性的事物時，常取用自然光的顏色，讓觀眾很自然就能了解。其中特別的是，晚上常用深藍色的光呈現（圖1），實際上晚上沒有藍光，但觀眾都能了解其意義，這跟我們生活中接受到的資訊有關，不知不覺中將顏色和情境做連結。

當在表達情緒和氛圍等寫意性的效果時，例如悲傷，現實並沒有叫作「悲傷的光」，因此燈光設計師可以主觀的決定要用哪種光來傳達悲傷。像是觀眾較常理解的，藍光代表憂鬱、紅光代表危險（圖2）、綠光代表恐懼等。

然而，並沒有特定某一種光的呈現方式，就是代表特定的事物，都是必須搭配戲劇演出才能表達其意義的。

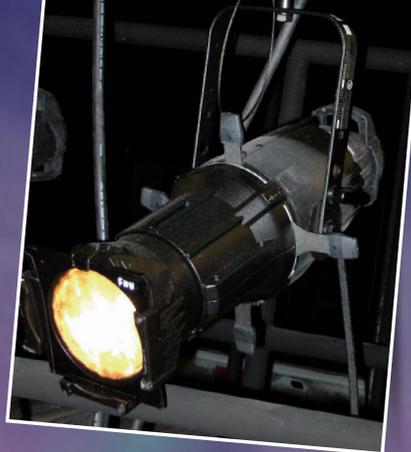


圖3 橢圓形反射鏡聚光燈



Q3 舞臺燈光常用到的燈具有哪些？有什麼特色或功能？

D 一般舞臺燈光使用最廣的是聚光燈，聚光燈裡有反射鏡，燈的前面則是凸透鏡組，讓光可以聚焦，依照反射鏡的不同有橢圓形反射鏡聚光燈（圖3）、球形反射鏡聚光燈和拋物線反射鏡聚光燈等，打出來光的形狀和質感各有不同。

另外還有電腦燈（圖4），是現在最先進的燈具，可以用控制電腦製造出各式各樣的燈光效果，廣泛使用在舞臺或是演唱會。



圖4 電腦燈



Q4 如果國中生想要運用手邊簡單的設備做出宛如舞臺燈光的效果，您會如何建議？

舞臺打光的光源可以使用手電筒或檯燈，手電筒可呈現類似聚光燈的效果。如果想要做出不同色光，可以運用玻璃紙，一般書局就可以買得到，也很便宜。將玻璃紙放在日光燈前，或是貼在教室的窗戶上，讓外面的自然光透進教室，就可以產生五顏六色的光。



給老師

【提問C】 如果你是燈光師，你要如何設計由神祕進到燦爛的視覺？

讓學生自由發揮或在班上以白光手電筒及玻璃紙模擬。

【技巧D】 舞臺燈光可觀察到光的直進性、影子的形成、色光的變化等現象，另外投射燈內有利用到凸透鏡及凹面聚光的原理，這些教師都可以帶入教學。



Start

光的傳播



4·1 光的傳播與光速

光的直進性

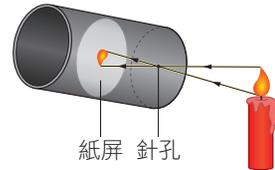
1. 光是以直線前進的方式傳播，常以「光線」來稱呼。
2. 物體陰影的形成及針孔成像等，都是光直線傳播的結果。

光的傳播速率

1. 光不需要依靠介質傳播，其在真空中的傳播速率約為 3×10^8 公尺 / 秒，以「c」表示。
2. 光在不同介質中傳播速率不相同，大小依序為：真空 > 氣體 > 液體 > 固體。

針孔成像

光通過針孔後，會在紙屏上形成與原物體大小成比例，但上下顛倒、左右相反的像。燭焰到針孔的距離較近時，成像較大；燭焰到針孔的距離較遠時，成像較小。

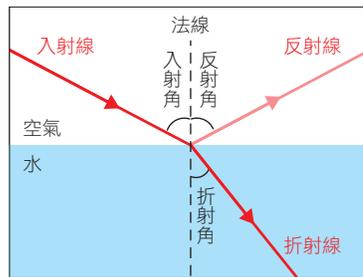


以折射為例，當光線往返於不同介質時，若將原折射線改為入射線，則原入射線即為折射線，此性質稱為光的可逆性。

4·3 光的折射與透鏡

光的折射

成因：光由一介質進入另一介質時，因速率改變而造成行進方向偏折。



介質	空氣→水	水→空氣
光的性質		
光速變化	變慢	變快
折射線方向	偏向法線	偏離法線
與法線的夾角	折射角 < 入射角	折射角 > 入射角

實驗 4·3

凸透鏡與凹透鏡的成像性質

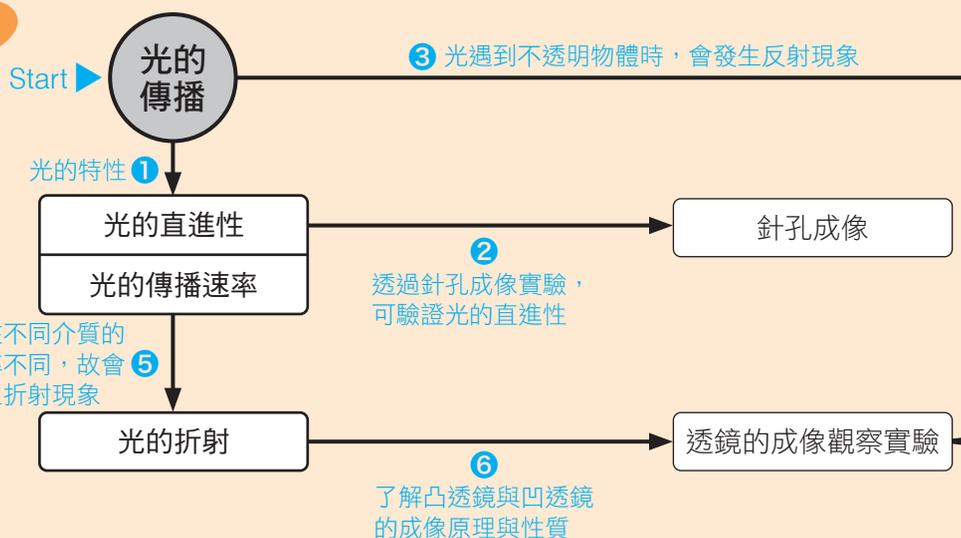


具有使光線會聚的功能，光線經過凸透鏡後，行進方向會偏向主軸。

具有使光線發散的功能，光線經過凹透鏡後，行進方向會偏離主軸。

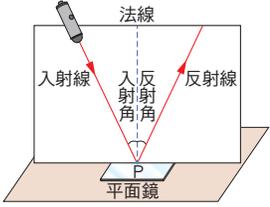
物體位置	凸透鏡成像性質	凹透鏡成像性質
兩倍焦距外	倒立縮小實像	正立縮小虛像
兩倍焦距與焦點間	倒立放大實像	正立縮小虛像
焦點與鏡面間	正立放大虛像	正立縮小虛像

教學指引



光的反射

成因：光照射到不透明物體，返回原行經介質的現象。



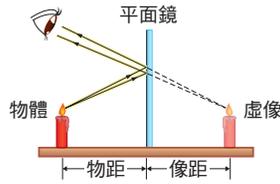
反射定律：

- 1.入射線與反射線分別在法線兩側。
- 2.入射線、反射線與法線均在同一平面上。
- 3.入射角=反射角。

4·2 光的反射與面鏡

平面鏡的成像性質

- 1.物體在平面鏡後方形成正立虛像。
- 2.物與像大小相等、左右相反。
- 3.物距=像距。



曲面鏡的成像性質

種類	圖示	成像性質	應用
凸面鏡		物體經由凸面鏡反射，會形成正立縮小的像，看到的視野會比平面鏡更廣闊。	1.汽車後視鏡 2.路口轉角反射面鏡
凹面鏡		物體經由凹面鏡反射，會形成正立放大的像（物體離凹面鏡較近時）。此外平行主軸的光，經凹面鏡反射後會聚於焦點。	1.化妝鏡 2.車前燈 3.手電筒

4·4 光學儀器

常見的光學儀器

例如：複式顯微鏡、照相機、放大鏡、眼鏡。



眼睛與視力矯正

眼睛	近視眼	遠視眼
圖示		
說明	遠物成像落在視網膜前方，須配戴凹透鏡矯正。	近物成像落在視網膜後方，須配戴凸透鏡矯正。

4·5 色光與顏色

色散

陽光（白光）通過透明三稜鏡後，折射出紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種色光的現象。



過濾色光



白光照射透明物體時，物體僅讓部分色光通過，並吸收其他色光。

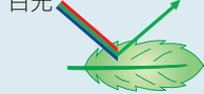
光的三原色

紅、綠、藍為光的三原色，三種色光以不同亮度混合，可呈現各種不同的顏色。



實驗 4·5

物體的顏色



白光照射不透明物體時，物體會吸收部分的色光，而將其餘色光反射。

