

Chapter 15 幾何光學

□導讀

在這範圍的物理學，我們稱為光學。主要目標在於發現控制光行為的基本定律，並讓這些定律可以功能人使用，製造影像。在 1842 年，產生第一張的相片，自此生活中充滿著光學定律的應用：如電視、電影、電腦等影像的產生。

因此接下來兩章是討論關於幾何光學的部分，也就是只討論光的直線前進性質，內容上將高一基礎物理的部分加以延伸，但增加的並不多，主要增加的部分為成像公式及司乃耳定律。

□重點整理

15.1 光的反射定律與平面鏡

□光學(Optics)

1. **幾何光學(線光學)**：利用光為_____的觀點，來描述光的現象。
例如：光的反射與折射
2. **物理光學(波動光學)**：利用光為_____的觀點，來描述光的現象。
例如：光的干涉與繞射

□光的反射(Reflection)

1. 定義：光由一介質傳遞另一介質，部分或是全部的光自介面反射的現象
2. 反射定律：
 - 入射線與反射線分別位在法線的兩側，且三者共一平面。
 - 入射角=反射角。

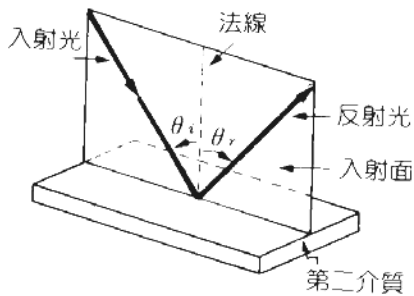
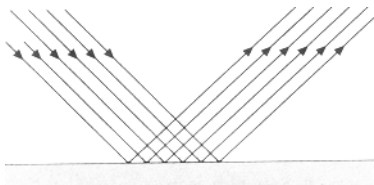


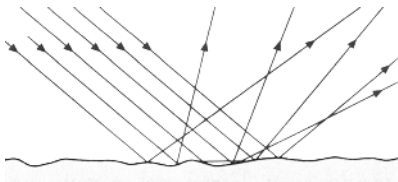
圖 15-1 光的反射定律

3. 反射的類型

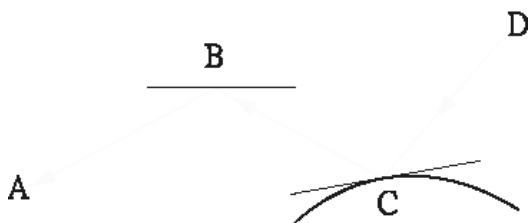
■ **漫反射(diffuse reflection)**：粗糙不平的表面產生的不規則反射的現象



■ **鏡面反射(specular reflection)**：光滑表面產生的規則反射



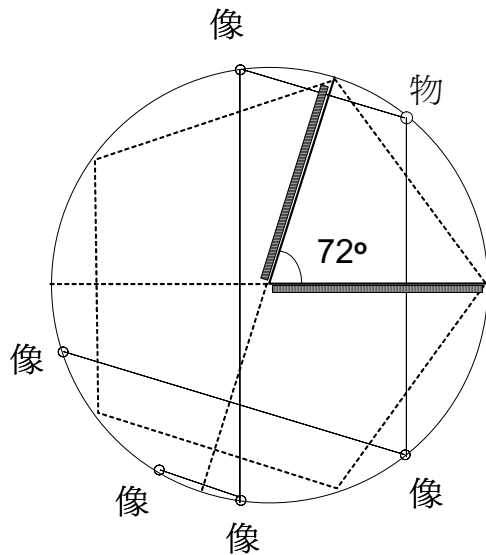
4. 光的行進路徑具有可逆性



4 幾何光學

□ 平面鏡之多次反射成像

1. 兩平面鏡夾一 θ 角，一物置於其間，所成影像數目



2. 成像原理：

- 物先對任一面鏡成像
- 此像再對另一面鏡再成像
- 直到成像在兩平面鏡之後停止

3. 像的性質

- 所有的虛像均_____
- 當所得之像落在兩鏡之背後，便不再繼續成像。
- 反射次數若為奇數，像與物_____。
- 反射次數若為偶數，像與物_____。

範例演練

例題1：平面鏡反射

身高 170 公分的人，若眼睛離其頭頂 8 公分，則要經由掛在牆上的平面鏡能看到自己全身的像，則：(1)鏡高最少若干？ (2)鏡的底端離地高度不得超過幾公分？

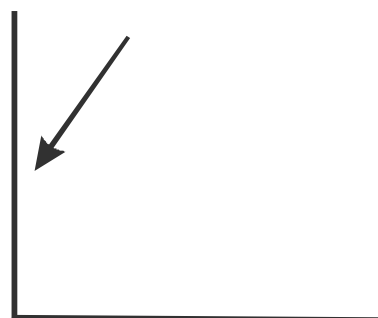
解：

類題：甲、乙兩人同居一室，欲購得一平面鏡，使兩人皆能看見全身的像，則所需之平面鏡長度最少要多少公分？（已知甲的身高 180cm，眼高 170cm，乙的身高 160cm，眼高 150cm）
(A)85 (B)90 (C)95 (D)100 cm 答案：D

例題2：光槓桿定理

一束光線以一入射角射向一組相互垂直的平面鏡組，如圖：若入射線向下旋轉 10 度（入射點相同），則反射線旋轉幾度？ (A)0 (B)5 (C)10 (D)20。

解：C

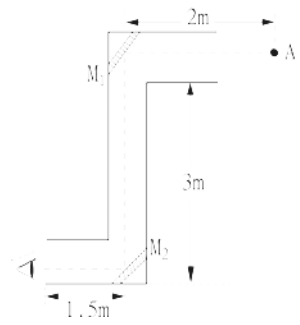


6 幾何光學

例題3.：

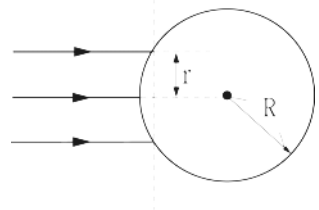
一潛望鏡結構示意圖如附圖所示， M_1 和 M_2 為平面鏡，鏡面與邊壁夾成 135° 角，則：(1)眼睛與看到 A 點的像相距_____公尺。(2)若 A 為物體，則眼睛所看到的是正立或倒立？_____。

解：(1)6.5；(2)正立



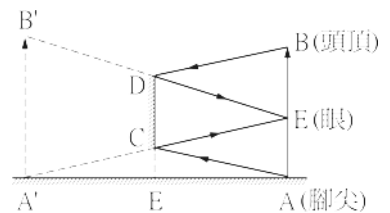
類題：如圖，一束平行光從左方入射到半徑為 R 的反射球面上，若入射光束截面為圓形，其半徑為 r ，則欲使所有的入射光線無法進入球面被照射區域的右方（即圖中虛線的右方），則反射面半徑 R 必須大於_____。

解： $\sqrt{2}r$

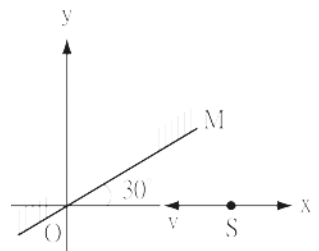


課後練習題

1. 鏡中看到自己的全身像，鏡頂不可太低，鏡底不可太高。此平面鏡的(1)底端離地面不能超過多少公分？(2)此平面鏡的長度至少為多少公分



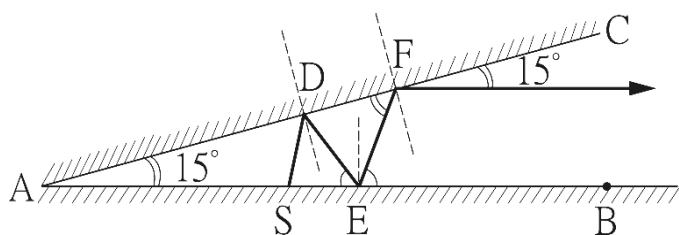
2. 如圖所示，一平面鏡 M 與正 x 軸方向夾角為 30° ，一點光源 S ，以等速度 v 沿負 x 軸方向移近平面鏡 M ，則光源 S 對平面鏡的像之移動方向與正 x 軸夾角為_____。



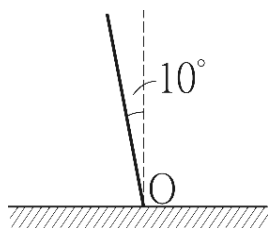
3. 如圖，一枝鉛筆與桌面夾 30° ，今在鉛筆左方置一平面鏡，欲使鉛筆在鏡中的像垂直桌面，則平面鏡應與地面夾_____或_____。



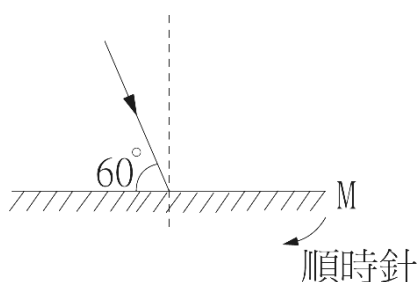
4. 兩平面鏡 AB 與 AC 成 15° 角，在 AB 上有一點光源 S，欲使其發出的光經 3 次反射後與 AB 平行，則光線在 AC 面之第一次入射角為_____



5. 如圖示，光線投射到一水平放置的平面鏡時，入射角為 10° ，為了使光線能沿水平方向傳播，現以入射點 O 為軸轉動平面鏡，則鏡面應轉到與水平面夾角_____或_____

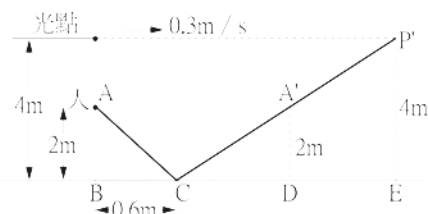


6. 如圖，一光束與平面鏡 M 夾 60° 入射，今不變入射方向，使平面鏡順時針轉動 15° ，則反射線偏轉的角度為_____

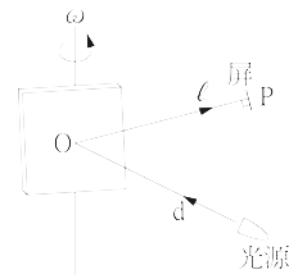


7. 兩平行平面鏡 A 與 B 相距 30cm，一物置於其間相距 A 於 10cm 之處，求距 A 鏡最近三像其鏡面之距離

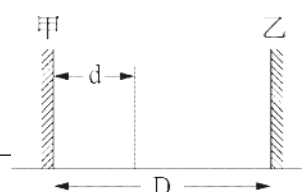
8. 某人位於一大直立平面鏡前 2 米處，見一光點在平面鏡前 4 米處，沿平面鏡鏡寬平行方向以 0.3m/s 作等速運動，若平面鏡寬 0.6 米，則人於平面鏡前能見到光點虛像的時間有_____秒



9. 如圖所示，一光源至一轉動平面鏡之距離為 d ，平面鏡至屏距離為 l ，若平面以 ω 之角速度旋轉，則反射至屏上 P 點處的光點之移動速率為_____。



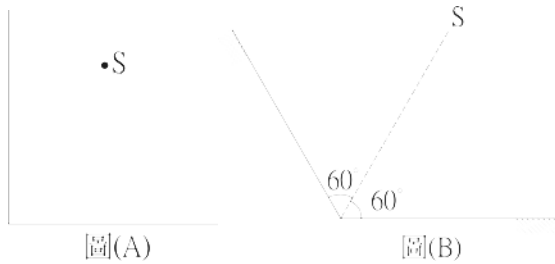
10. 平面鏡之鏡面向東，一人於鏡前以 2m/s 向北偏西 30° 行走，則此人所見其像之運動如何？



8 幾何光學

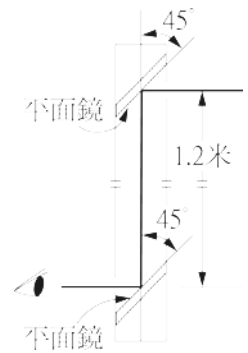
11. 將兩個平面鏡甲、乙，以 D 的間隔直立在地面，讓兩鏡面互相平行且相對，今將一物體以距離甲鏡 d 的距離置於兩鏡之間，如附圖，理論上在鏡中將有無限多個像，若觀察者觀察甲鏡中物體的像，以最接近鏡面的像稱之為第一像，依序為第二像、第三像……，則第三像距離甲鏡鏡面的距離為_____

12. 二平面鏡相交成圖(A) 90° 和圖(B) 120° ，一點光源 S 置於兩平面鏡之間，如圖所示，試標出像的數目及位置



13. 身高 h 之人立於地面，人頭頂至眼睛距離為 d ，欲照全身之像，平面鏡下緣離地高度_____

14. 一個潛望鏡可以用兩塊平面鏡裝於管子的兩端作成（如圖），兩塊平面鏡對面互相平行，並且和管子軸各成 45° 角，在管子的一端，正對著一面鏡子的中心處打一眼洞，再在管的另一端，打一較大的洞，對準另一面鏡子中心，兩塊鏡子之間的距離為 1.2 米，今用這潛望鏡看牆外 16.8 米遠處高 1.8 米之人，則：



- (1)潛望鏡頂端的洞的最小可能高度為何？
- (2)頂端的鏡子最小應為何？

答案

- 1.答案：(1) 85公分；(2) 90公分 2.答案： 120° 3.答案： $60^\circ, 150^\circ$ 4.答案：45
 5.答案： $40^\circ, 50^\circ$ 6.答案： 30° 7.答案：10cm、50cm、70cm 8.答案：6 9.答案： $2\omega l$
 10.答案：2m/s向東 11.答案： $2D+d$
 12.答案：(A) $\frac{360}{90} - 1 = 3$ (個像) 即 $S_1、S_2、S_3$ 。(如圖所示) (B) $\frac{360}{120} - 1 = 2$ (個像) 即 S_1 及 S_2 。(如圖所示) 13.答案： $\frac{1}{2}(h-d)$ 14.答案：(1)0.12(m) (2) $\approx 0.17(m)$

15.2 拋物面鏡 parabolic mirror

□拋物面鏡 parabolic mirror

1. 將一拋物線繞著主軸（即對稱軸）旋轉 180° ，所產生的曲面稱為拋物面，以拋物面作成反射面的鏡子即為拋物面鏡。
2. 種類：_____、_____
3. 拋物面鏡的幾何性質
 - 平行於主軸的光線入射至**凹面拋物面鏡**→反射光線必定通過拋物線的_____
 - 若由拋物面鏡的焦點射出之光線→則經由鏡面反射的光線必定_____
 - 平行於主軸的光線入射至**凸面拋物面鏡**→反射光線之反向延長線必會聚於_____

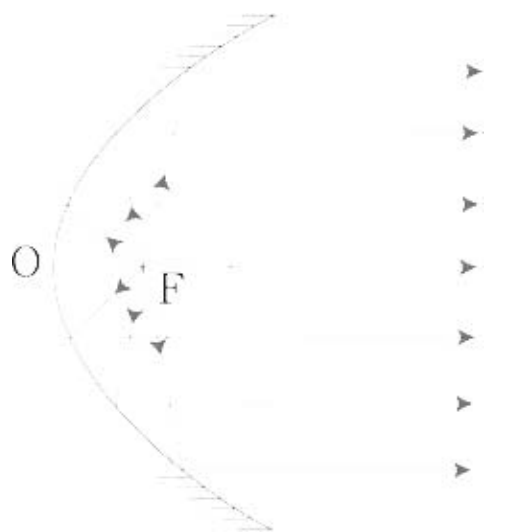


圖 15-4 平行主軸的入射光射入凹面鏡會聚在焦點

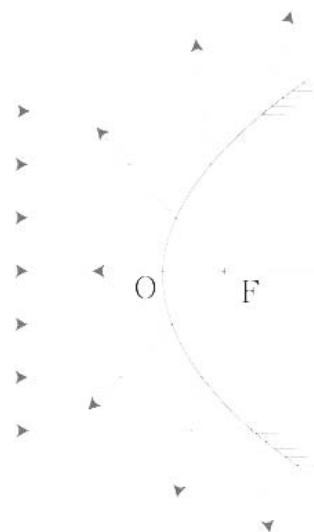


圖 15-5 平行主軸的入射光射入凸面鏡

4. 拋物面鏡的應用

- 反射式天文望遠鏡利用拋物面鏡會聚光線。

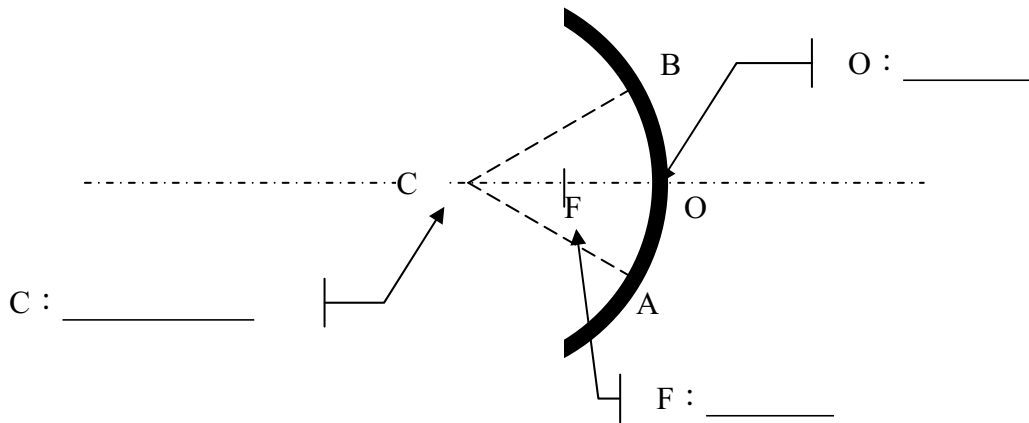


- 碟型天線相當於拋物面鏡，用以會聚遠方傳來的電磁波
- 探照燈：將光源置於凹面拋物面鏡的焦點處，經鏡面反射後的平行光可以傳至甚遠處

15.3 球面鏡

□球面鏡

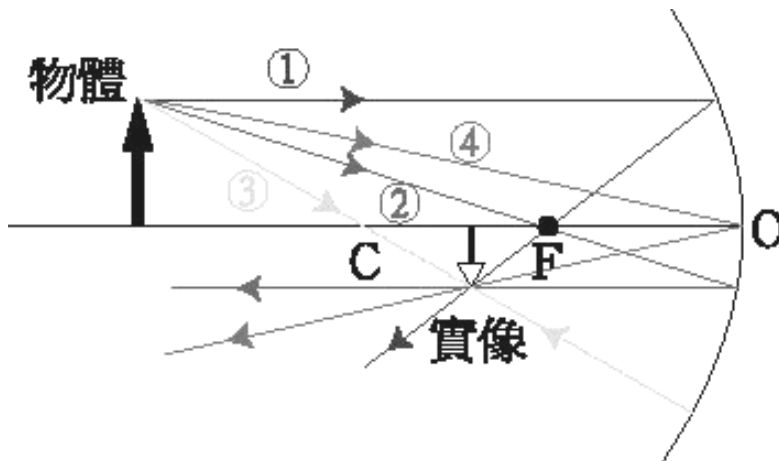
1. 反射面為圓球面的一部份，稱為球面鏡→取某一極小的截面→可視為拋物面鏡
2. 種類：_____、_____
3. 各部名稱：
 - OC、CB、CA：_____，以_____表示
 - OF：_____，以_____表示



□凹面鏡的成像

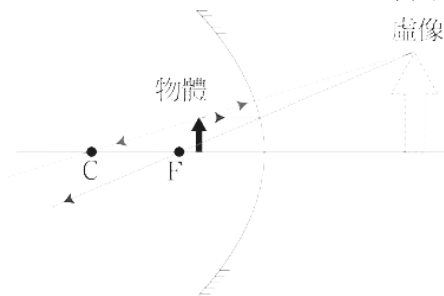
1. 成像規則

- 平行主軸之入射光，其反射光線通過焦點。
- 通過焦點之入射光，其反射光線平行於主軸。
- 通過球心之入射光，其反射光線循入射光線的反方向行進。
- 入射於鏡頂的光線，其反射光線對稱於主軸。

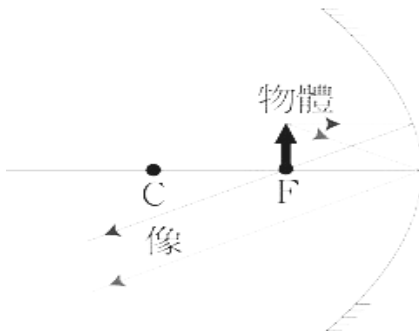


2. 凹面鏡的成像：物體與像的關係

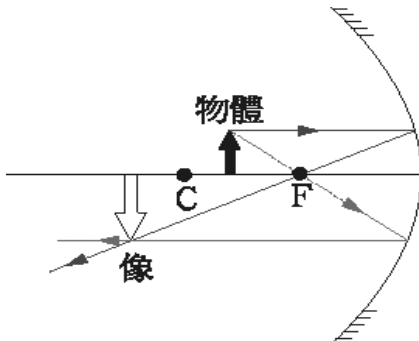
- 物體在焦點和鏡面間，會形成一個放大的**正立虛像**在鏡後。



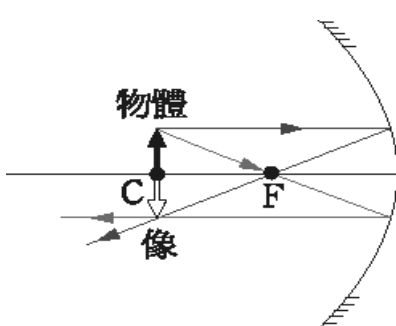
- 物體在焦點處，則成像在 無限遠處。



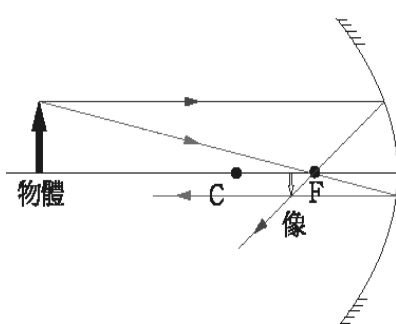
- 物體在焦點與焦距的二倍處之間，會形成一個放大倒立實像在鏡前焦距二倍的外側。



- 物體在二倍焦距處，則像亦成於鏡前二倍焦距處。



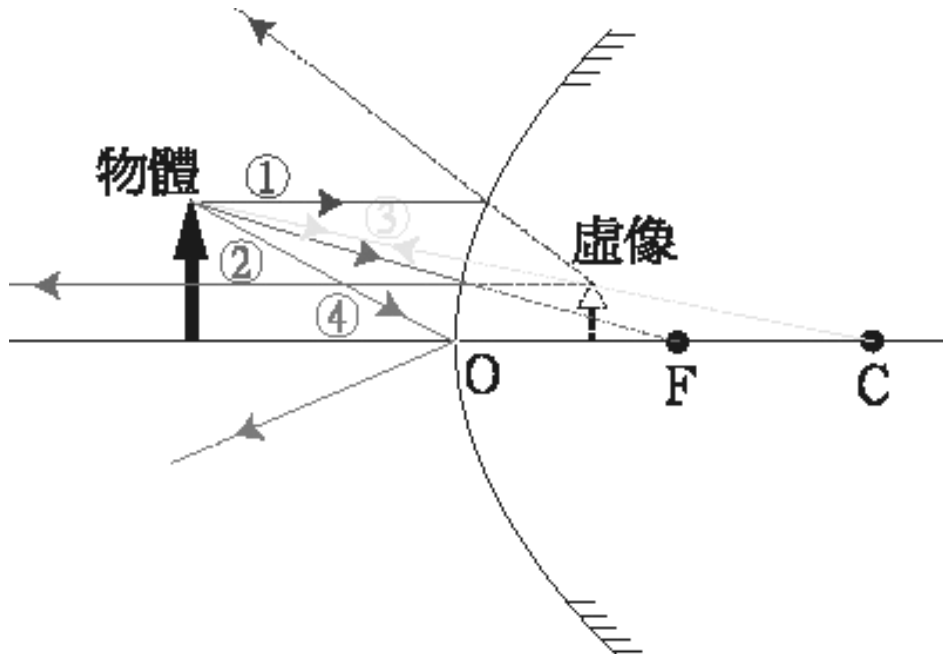
- 物體若置於焦距的二倍外側，會在焦點與二倍焦距間形成一個縮小倒立的實像。



□凸面鏡的成像：

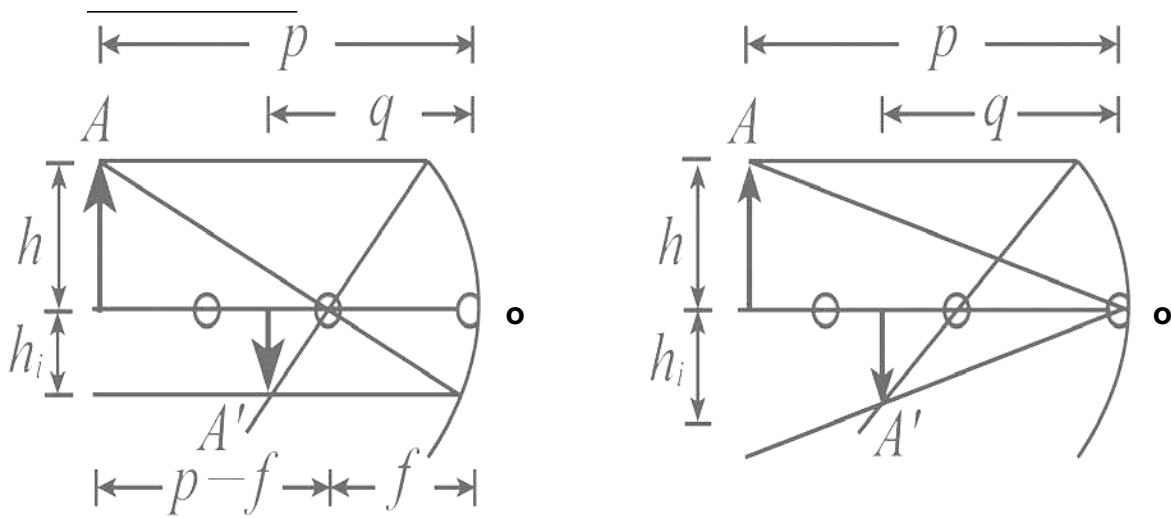
1. 光的成像原則

- 平行主軸之入射光，其反射光線的反方向延長線通過焦點。
- 指向焦點之入射光，其反射光線平行於主軸。
- 射向球心之入射光，其反射光線循入射光線的反方向行進。
- 入射於鏡頂的光線，其反射光線對稱於主軸。



□面鏡成像公式

1. 公式



2. 面鏡公式符號法則

- 鏡前實物_____
- 鏡後虛物_____
- 實像_____
- 虛像_____
- 凹面鏡_____
- 凸面鏡_____
- 平面鏡_____

3. 橫向放大率：與鏡面平行方向的放大率，即 像長 與 物長 的的比值

$M > 1$ ，放大； $M < 1$ ，縮小

4. 縱向放大率：某瞬間像在軸上的位置變化量與物在軸線上的位置變化量的比值

負號：表示像與物移動方向相反

14 幾何光學

□ 成像總整理

		位置	虛實	正立 倒立	和實物相比 的大小	像 物 移動 速率 之比較
凹 面 鏡	無窮遠處 $P = \infty$	焦點上	實	×	一點	物速 > 像速
	球心外 $P > 2f$	球心與焦點間	實	倒	較小	
	球心上 $P = 2f$	球心上	實	倒	相等	物速 = 像速
	球心與焦點間 $f < P < 2f$	球心外	實	倒	較大	物速 < 像速
	焦點上 $P = f$	無窮遠	×	×	×	
	焦點內 $P < f$	鏡後	虛	正	較大	物速 < 像速
	焦點內向鏡頂漸近	鏡後移向鏡面	虛	正	較大	
凸 面 鏡	無窮遠處 $P = \infty$	焦點上	虛	×	一點	物速 > 像速
	鏡前 $P > 0$	鏡後	虛	正	較小	
	鏡前向鏡頂漸進	鏡後移向鏡面	虛	正	較小	
平 面 鏡	鏡前 d 處	鏡後 d 處	虛	正	相等	物速 = 像速
	鏡前向鏡面移近	鏡後移向鏡面	虛	正	相等	

範例演練

例題4：凹面鏡成像-基礎題

凹面鏡前 120 公分處置一光屏，於兩者間置一物體，使物於光屏上成 5 倍大之像，求：(1) 物與凹面鏡之距離？(2) 凹面鏡之曲率半徑？

類題：某燭燄之像位於凹面鏡中心前 30 公分處，若燄高 10 公分，其像高 5 公分，則此鏡之焦距為何？ 答：20cm

例題5：凸面鏡基礎題

用焦距 5 公分之凸面鏡看本身之像，像位於眼前 24 公分處，則臉與鏡間距離為何？

類題：凸面鏡焦距 f 所生之像為物高的 $\frac{1}{n}$ 倍 ($n > 1$)，則物與鏡相距多遠？ 答： $(n-1)f$

16 幾何光學

例題6.：面鏡成像公式應用

高度為 2 cm 的物體，放在焦距為 10 cm 的凹面鏡前，欲形成高度為 10 cm 的正立像，物體應放在哪裡？

解：8cm

類題：月球和地球之間的距離為 $3.84 \times 10^8 \text{m}$ ，月球的直徑為 $3.48 \times 10^6 \text{m}$ ，若以焦距為 0.20 m 的凹面鏡觀測月球，則所生成的像的直徑是多少？

解：0.18cm

例題7.：透鏡與運動學

$f=20(\text{cm})$ 的凸面前鏡前 40(cm)處有一點光源以 4(cm/s)等速向鏡靠近，則在 5 秒內像的平均速度大小為_____cm/s。

解：2/3

類題：焦距為 18m 的凹面鏡，正對著太陽，所生太陽實像直徑為 17cm，若已知太陽距地球 $1.5 \times 10^{11} \text{m}$ ，則太陽直徑為若干？

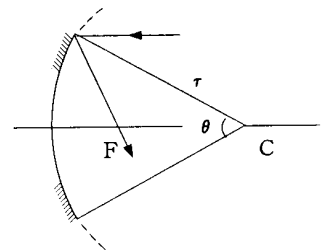
例題8：透鏡與面積放大率

一凸面鏡曲率半徑 20cm，鏡半徑 2cm，在鏡前 10cm，主軸上放一點光源，距鏡前 15cm 有一屏垂直於主軸，則屏上被反射光照亮部分的面積為若干？

類題：物體置於凹面鏡前，結果在距離物體 30 cm 處，見到 1.5 倍大的虛像，則此凹面鏡的曲率半徑為_____cm。 解：72

課後練習題

1. 焦距 f 之凹面鏡，欲得放大 n 倍($n > 1$)之像，則物距應為何?
2. 某人明視距離25公分，他拿了一個焦距為30公分之凸面鏡，此鏡需放於眼前多遠處，他才可清晰看見自己的臉? (人可見清晰之像與眼睛的距離謂之明視距離)
3. 一凹面鏡邊緣為直徑12公分的圓，焦距20公分，鏡前30公分主軸上放一點光源，在鏡前40公分放一屏，屏上像之面積為何?
4. 與主軸平行的光束，經凹面鏡反射後，並不聚於任何一點，而是聚於主軸上一小段區域，產生所謂球面像差。若凹面鏡曲率中心為 C ，曲率半徑為 r ，孔徑角為 θ ，一接近鏡之邊緣、平行於主軸之入射光線，經凹面鏡反射後，與主軸交於 F 點 (如圖所示)，則 $\overline{FC} = ?$ (以 r 及 θ 表示之)。



5. 焦距 50 公分的凸面鏡前 2 公尺處，有高1公尺之物，若於鏡前 40 公分處觀察，可見鏡內映滿該物之像，求此凸面鏡之孔徑大小?
6. 一凹面鏡焦距15公分，今有一長5公分之箭，置於主軸上，箭頭朝鏡面且距鏡25公分，求像之長度?
7. 廚師拿杓子時，見其像距凹面 12 公分且正立，將杓面翻過來使凸面面對自己，見其像正立距凸面4公分，則杓之曲率半徑為何?
8. 某物在凸面鏡前20公分，像在鏡後10公分處，則此鏡的曲率半徑為何?

答案

- | | | | | |
|--|---------|------------------------|--|---------|
| 1. $\frac{(n+1)f}{n}$ 或 $\frac{(n-1)f}{n}$ | 2. 15cm | 3. $4\pi \text{ cm}^2$ | 4. $\frac{r}{2} \sec \frac{\theta}{2}$ | 5. 10cm |
| 6. 7.5cm | 7. 24cm | 8. 40cm | | |

老師的忠言

請你：

課堂中專心聽講，下課仍有疑問，需向老師請教，不可敷衍自己。

學習任何事情，都會有不耐煩的心裡，現在必須有「耐煩」的心。

心得筆記

