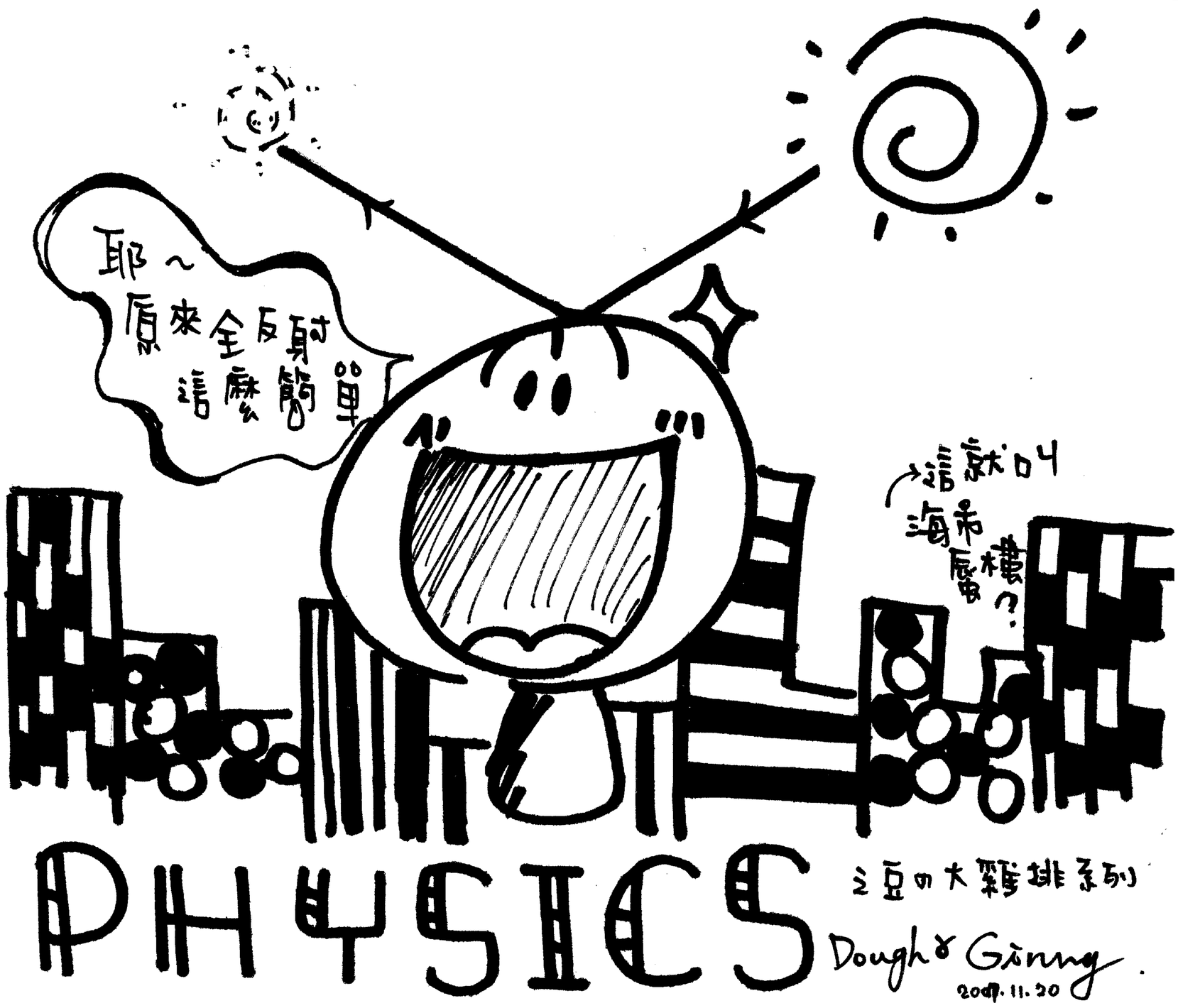
PHYSICS

第十六章

光的折射



_____年 _____班 _____號

姓名：_____

吳錫玠老師 編授

16-1 折射定律

一、折射：

(1)定義：光由一種介質進入另一種介質時，光進行方向發生改變的現象。

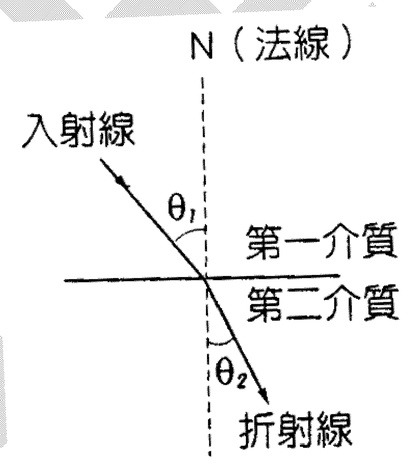
(2)原因：光在兩介質中之速率不同所致。

㊟**1.**光折射時，頻率不變，但速率、波長改變。

2.光自一介質垂直界面射向另一介質時，其進行方向不改變。

3.光由一介質進入另一介質時，通常是部分反射、部分折射。

二、折射定律：



(1)第一定律：入射線、折射線及界面的法線，均在同一平面上，且入射線與折射線各在法線的兩側。

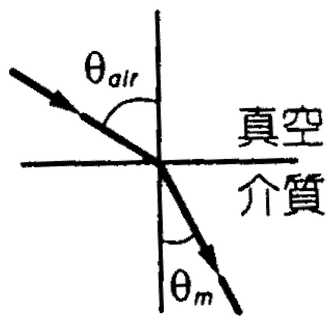
(2)第二定律：稱為司乃耳定律**(snell's law)**，入射角的正弦和折射角的正弦比值是一定值。$n_{12}=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

㊟**1.**某些晶體，其入射線、折射線和界面的法線，可能不在同一平面上，且有 **2** 條折射線，此為雙折射現象，如方解石、石英等。

2.$\mathbf{n_{12}}$ 之值與兩介質的種類及光的顏色**(**頻率**)**有關。

三、折射率：(Index of refraction)

(1)絕對折射率：



①定義：某單色光自真空射入介質 **m** 中，其入射角與折射角正弦之比值稱為該單色光在介質之絕對折射率。

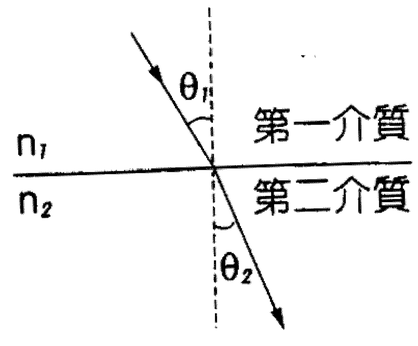
②公式：$n_m=\dfrac{\sin\theta_{air}}{\sin\theta_m}$

㊟**1.**真空的折射率為 **1**。

2.在真空中光速最大，故光在介質中之折射率恆大於 **1**，如下表所示。

物　　質	物質對黃色鈉光的折射率
空氣(1atm，0℃)	1.0003
鑽　　石	2.42
石英結晶	1.54
水(20℃)	1.33
玻　　璃	1.5~1.9
酒　　精	1.36

(2)相對折射率：



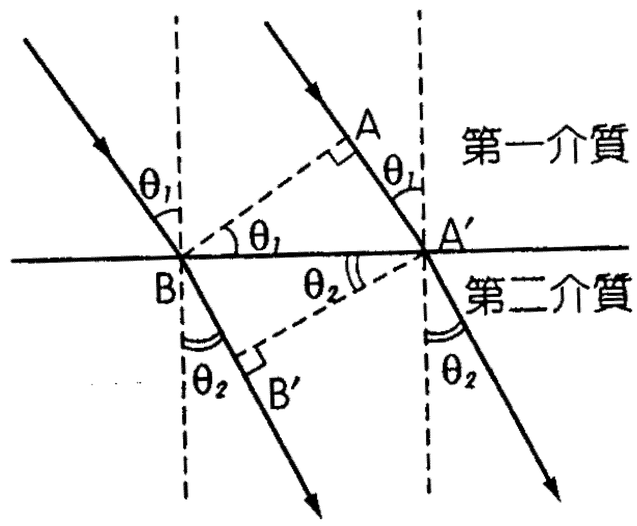
①定義：光線從介質一射入介質二的折射率，稱為介質二對介質一的相對折射率，常寫作 $\mathbf{n_{12}}$。

②公式：$n_{12}=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$

吳錫玠物理

(3)光速與折射率之關係：光由折射率 $\mathbf{n_1}$ 之第一介質進入折射率 $\mathbf{n_2}$ 之第二介質中，則

$$n_{12}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$ 其中 **v**：波速，λ：波長。



[證明]

(4)相對折射率與絕對折射率之關係：

①兩介質之相對折射率可大於或小於 **1**。

②兩介質之相對折射率互為倒數。$n_{12}=\dfrac{1}{n_{21}}$

③$n_{12}\cdot n_{23}=n_{13}$

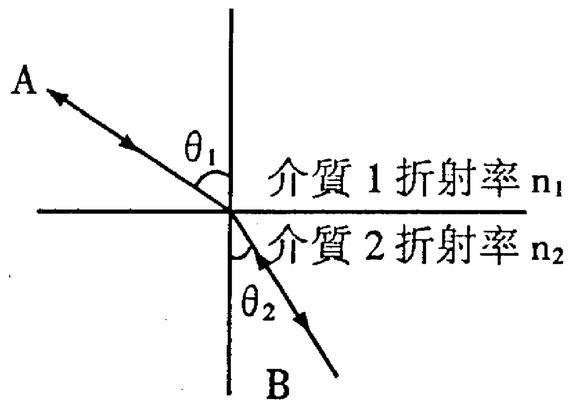
④司乃耳定律亦可表為：$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$，$n_1v_1=n_2v_2$

(5)光學中介質之分類：

①光疏介質：折射率**(n)**較小，光在其中行進的速率**(v)**較大之介質。

②光密介質：折射率**(n)**較大，光在其中行進的速率**(v)**較小之介質。

四、光徑的可逆性：



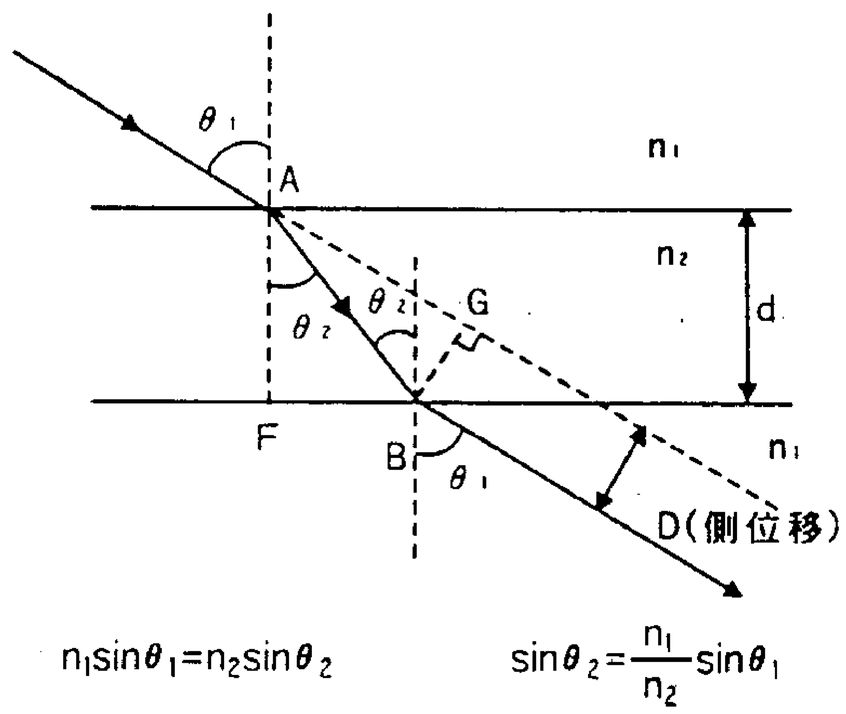
1.入射線與反射線之路徑為可逆。

2.入射線與折射線之路徑為可逆。

㊟由司乃耳定律之對稱性 $n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$ 及兩介質之相對折射率互為倒數，皆已顯示入射線與折射線之路徑為可逆。即光由介質 $\mathbf{n_1}$ 以 θ_1 入射，則在 $\mathbf{n_2}$ 介質中折射角為 θ_2。今若在 $\mathbf{n_2}$ 介質以 θ_2 入射，則 $n_2\sin\theta_2=n_1\sin\theta_1'$，可得 $\theta_1'=\theta_1$，即光循原來路線。

五、橫向位移

(1)折射光的側位移 **D**：



$$D=\overline{AB}\sin(\theta_1-\theta_2)$$

① $$=\frac{d}{\cos\theta_2}(\sin\theta_1\cos\theta_2-\cos\theta_1\sin\theta_2)$$

$$=d\sin\theta_1\left(1-\frac{\cos\theta_1}{\sqrt{n_{12}^{\ 2}-\sin^2\theta_1}}\right)$$

②當 θ_1，θ_2 甚小時 $D=d\theta_1\left(1-\dfrac{1}{n_{12}}\right)$

(2)反射光的側位移 **W**：

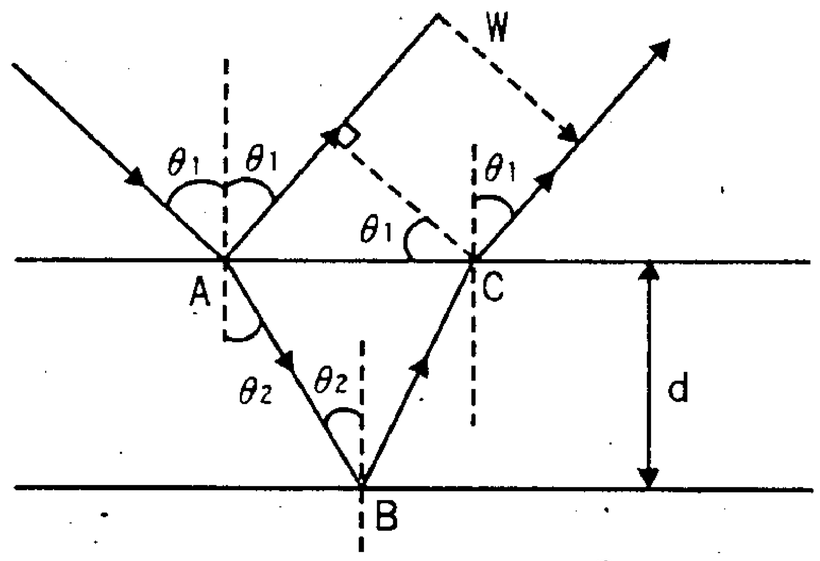
吳錫玠物理

$$W=\overline{AC}\times\cos\theta_1=2d\times\tan\theta_2\cos\theta_1$$

① $$=\frac{2dn_1\sin\theta_1\cos\theta_1}{\sqrt{n_2{}^2-n_1{}^2\sin^2\theta_1}}$$

$$=\frac{d\sin2\theta_1}{\sqrt{n_{12}-\sin^2\theta_1}}$$

②當 θ_1，θ_2 甚小時 $W=\frac{2d\theta_1}{n_{12}}$



$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$　　$\sin\theta_2=\frac{n_1}{n_2}\sin\theta_1$

$$\tan\theta_2=\frac{n_1\sin\theta_1}{\sqrt{n_2{}^2-n_1{}^2\sin^2\theta_1}}$$

※視深與實深

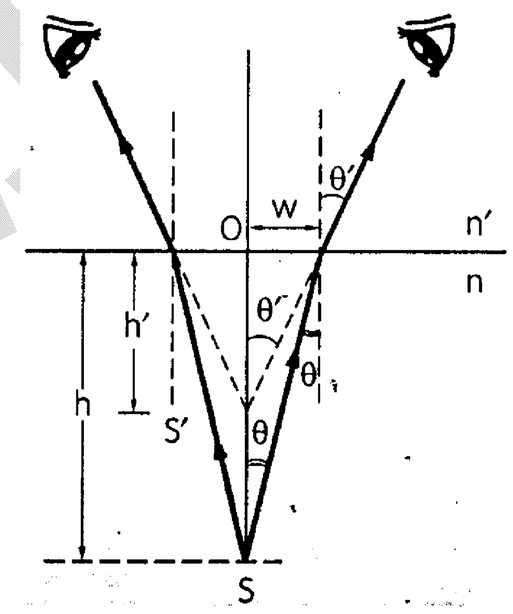
(1)定義：

①視深：像與界面的垂直距離。

②實深：物與界面的垂直距離。

(2)觀察者垂直界面下視時，視深與實深之關係：

①單層平界面：$\frac{h'}{n'}=\frac{h}{n}$



[證明]

$n'\times\sin\theta'=n\times\sin\theta$

當 θ 很小時，$\sin\theta\approx\tan\theta$

$\therefore n'\times\tan\theta'=n\times\tan\theta$

$n'\times\frac{w}{h'}=n\times\frac{w}{h}\Rightarrow\frac{n'}{h'}=\frac{n}{h}$

註**1.** $\frac{h'}{n'}=\frac{h}{n}\Rightarrow\frac{dh'/dt}{n'}=\frac{dh/dt}{n}\Rightarrow\frac{v'}{n'}=\frac{v}{n}$

v'：觀察者所見像垂直界面之速度。
v：物垂直界面之速度。

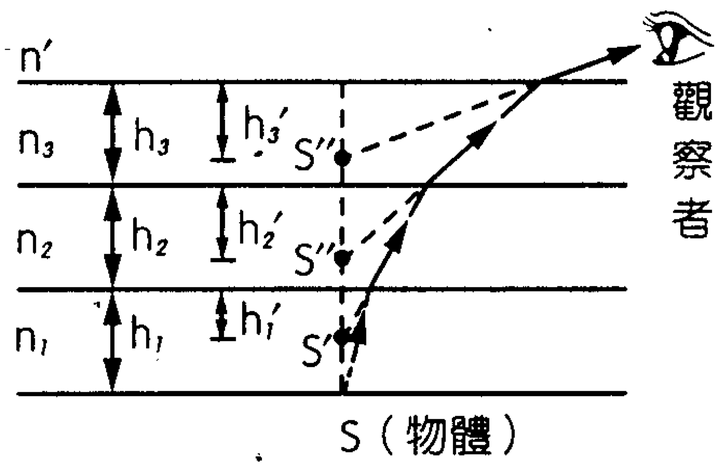
2.同理由 **1.**可得 $\frac{a'}{n'}=\frac{a}{n}$

a'：觀察者所見像垂直界面之加速度。
a：物垂直界面之加速度。

3.自疏介質看密介質中之物**(n'<n)**，視深<實深**(h'<h)**，即變淺。自密介質看疏介質中之物**(n'>n)**，視深>實深**(h'>h)**，即變深。

4. $\frac{h'}{n'}=\frac{h}{n}$ 僅適用於垂直界面下視之情況下才成立，若觀察者之視線並非幾乎垂直界面，則像之位置不可能在物之正上方或正下方。

②多層平界面：若自折射率 **n'**之介質中觀察厚度分別為 h_1、h_2、……，折射率分別為 n_1、n_2、……之最底層物體，則所見之視深 **h'**為：$\frac{h'}{n'}=\frac{h_1}{n_1}+\frac{h_2}{n_2}+\cdots\cdots$



※絕對折射率

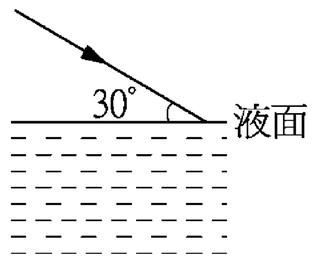
【觀念&公式】

絕對折射率：$n_m = \dfrac{\sin\theta_{air}}{\sin\theta_m}$ 或 $n = \dfrac{C}{v}$

例 1.一束波長為 6000 埃的橙色光射入一透明液體面上，若入射角為 30°，則折射角為 $\sin^{-1}\dfrac{3}{8}$。此光在液體中之性質如下：(A)若入射角接近 90°，則折射角接近 $\sin^{-1}\dfrac{3}{4}$ (B)頻率為 5×10^{14} 次/秒 (C)速率為 3×10^{8} 米/秒 (D)波長為 4500 埃 (E)顏色呈紅。(真空光速 $C=3\times10^{8}$ m/s)
答：(A)(B)(D)

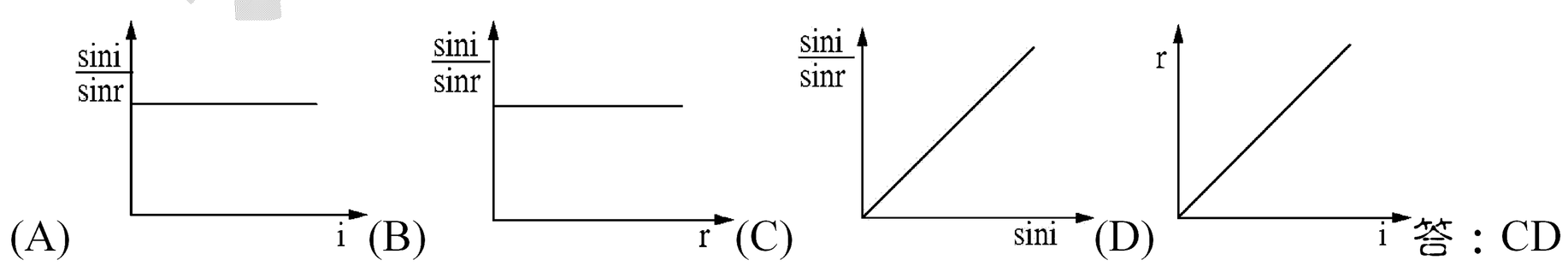
類 1.單色光從折射率 n_1 之介質Ⅰ，射入折射率 n_2 之介質Ⅱ，在Ⅰ、Ⅱ各介質時的波長為 λ_1、λ_2 頻率為 ν_1、ν_2，若 $n_1<n_2$，則 (A) $\nu_1>\nu_2$，$\lambda_1=\lambda_2$ (B) $\nu_1<\nu_2$，$\lambda_1=\lambda_2$ (C) $\nu_1>\nu_2$，$\lambda_1<\lambda_2$ (D) $\nu_1=\nu_2$，$\lambda_1>\lambda_2$ (E) $\nu_1=\nu_2$，$\lambda_1<\lambda_2$。【夜大】答：(D)

類 2.一光束與液面夾 30°角由空氣中入射，若反射線與折射線成直角，則液體的折射率為多少？ (A)$\dfrac{3}{2}$ (B)$\sqrt{3}$ (C)$\dfrac{2}{\sqrt{3}}$ (D)$\dfrac{4}{3}$ 。答：(B)



類 3.設 c、λ_0 為光在真空中之速率與波長，以入射角 θ_i 由真空中射入一介質，折射後之折射角為 θ_r，設此光在介質中之速率、波長為 v、λ，則 θ_i、θ_r、c、v、λ_0、λ 之間的關係為 (A) $\dfrac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}=\dfrac{v}{c}=\dfrac{\lambda_0}{\lambda}$ (B) $\dfrac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}=\dfrac{c}{v}=\dfrac{\lambda}{\lambda_0}$ (C) $\dfrac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}=\dfrac{c}{v}=\dfrac{\lambda_0}{\lambda}$ (D) $\dfrac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}=\dfrac{v}{c}=\dfrac{\lambda}{\lambda_0}$
答：C

類 4.作「光的折射」時，將空氣中的入射角 i 和介質中的折射角 r 作成函數關係圖，則下列何者錯誤？



答：CD

類 5.下列有關光的折射，何者正確? (A)光發生折射是因為光在不同的透明介質中，光速不同所致 (B)物質的(絕對)折射率皆大於 1 (C)折射率較大的介質稱為「光密介質」 (D)密度較小的介質稱為「光疏介質」 (E)光由光密介質進入光疏介質時，折射線偏向法線。答：ABC

※相對折射率

【觀念&公式】

相對折射率：光線從介質一射入介質二的折射率，稱為介質二對介質一的相對折射率，常寫作 $n_{12}=\dfrac{n_2}{n_1}=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$

例 2.介質 A 相對於介質 B 的折射率為 x，介質 B 相對於介質 C 的折射率為 y，則光在介質 A、C 中之行進速率比為： (A) xy (B) $\dfrac{x}{y}$ (C) $\dfrac{y}{x}$ (D) $\sqrt{xy}$ (E) $\dfrac{1}{xy}$ 。答：(E)

類 1.以相同的入射角由空氣分別入射於甲液和乙液，分別得到 30° 和 37° 的折射角，則甲液對乙液的相對折射率爲多少？ (A)1.2 (B)1.4 (C)1.6 (D)1.8 。答：(A)

類 2.光線自空氣以入射角 37° 射入 A 介質中，折射角爲 30°；同樣的光線以入射角 30°，自 B 介質射入空氣中，折射角爲 53°；則 B 介質對 A 介質的折射率爲： (A) $\dfrac{48}{25}$ (B) $\dfrac{25}{48}$ (C) $\dfrac{3}{4}$ (D) $\dfrac{4}{3}$ (E) $\dfrac{8}{3}$ 。答：D

類 3.介質 1 相對於介質 2 之折射率爲 n_{21}，介質 2 相對於介質 3 之折射率爲 n_{32}，則介質 3 相對於介質 1 之折射率爲何？ (A) $n_{21}\times n_{32}$ (B) $\dfrac{n_{21}}{n_{32}}$ (C) $\dfrac{n_{32}}{n_{21}}$ (D) $\dfrac{1}{n_{21}\times n_{32}}$ (E) $\sqrt{n_{21}\times n_{12}}$ 。答：D

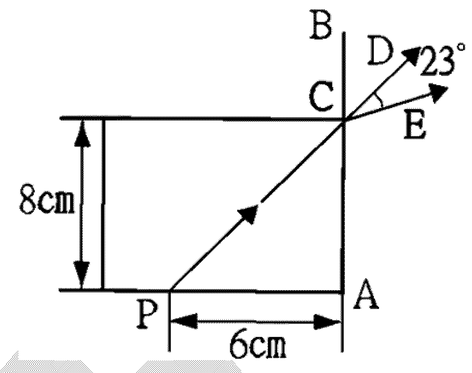
類 4.光於水中的速率爲 $\dfrac{3}{4}$C，若某介質對水的折射率爲 $\dfrac{3}{2}$，則光於該介質中的速率爲：(A) $\dfrac{2}{3}C$ (B) $\dfrac{8}{9}C$ (C) $\dfrac{C}{2}$ (D) $\dfrac{3}{4}$C (E) $\dfrac{9}{8}C$ 。答：C

類 5.已知光在介質 1（折射率 n_1）中的速率爲 v_1，波長爲 λ_1，在介質 2（折射率 n_2）中的速率爲 v_2，波長爲 λ_2，若光由介質 1 進入介質 2 時，入射角爲 θ_1，折射角爲 θ_2，介質 2 對介質 1 的相對折射率記爲 n_{12}，則下列敘述何者正確？ (A) $n_{12}=\dfrac{v_2}{v_1}$ (B) $n_{12}\times n_{21}=1$ (C) $n_{12}=\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$ (D) $n_{21}=\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ (E) $n_{12}=\dfrac{n_2}{n_1}$ 。答：BC

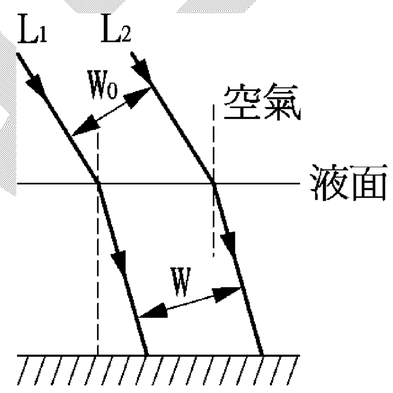
※司乃耳定律

【觀念&公式】
司乃耳定律：$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

例 3.杯底有一光點 P 沿 CD 方向恰可看見，當杯中注滿 8.0cm 深之某液體時，沿 EC 方向恰可看見 P 點，則液體折射率為若干？答：$\frac{5\sqrt{3}}{6}$



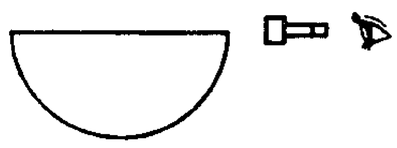
類 1.兩束雷射相距 W_0 的寬度，以 45° 的入射角入射於折射率 $\sqrt{2}$ 的液體中，如圖，若兩束雷射在液中的寬度爲 W，則 $\frac{W}{W_0}$ 之值爲_____。答：$\sqrt{\frac{3}{2}}$



類 2.一竹桿長 7m，垂直插入水池底而露出水面 3m，則在水面量得影長 4m 時，在水底之影長爲若干？答：7 公尺

類 3.某人沿直徑 10cm 之金屬杯口邊緣恰能見到杯底之遠端，若杯內注滿水，則在同位置可看到杯底中心，故知杯深爲： (A)$\sqrt{75}$ (B)$\sqrt{47}$ (C)$\sqrt{35}$ (D)$\sqrt{28}$ (E)$\sqrt{15}$ cm。答：C

類 4.一黑色半圓球形的碗底有一小發光源。當碗中加入折射率爲 n 的透明液體時，從碗面同一水平高度的望遠鏡可觀測到發光源(如右圖)，則透明液體的折射率 n 可能爲：(A)$\sqrt{2}$ <n< $\sqrt{3}$ (B)n> $\sqrt{2}$ (C)n< $\sqrt{2}$ (D)1<n< $\sqrt{2}$ (E)n> $\sqrt{3}$ 【72.日大甲組】答：(A)(B)(E)

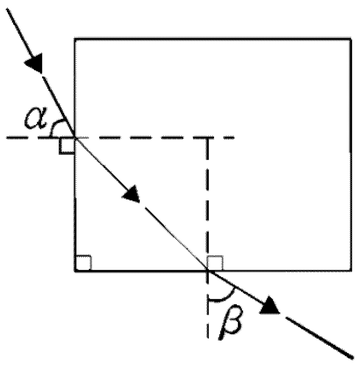


類 5.光自空氣進入水中，水的折射率爲 4/3，若反射光線與折射光線的夾角爲 120° ，則入射角的正切函數值爲： (A)$\frac{3}{4}$ (B)$\frac{3}{5}$ (C)$\frac{2}{5}$ (D)$\sqrt{\frac{3}{5}}$ (E)$\frac{2\sqrt{3}}{5}$。答：E

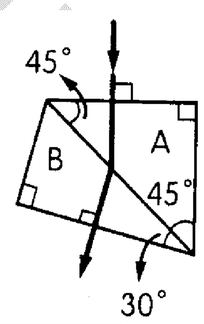
類 6.某人沿直徑 2 吋之金屬杯口邊緣恰只能看見杯底之遠端，若在杯內注滿清水，則在同位置可看到杯底中心，故知杯深爲 (A)$\sqrt{3}$ (B)$\sqrt{5}$ (C)$\sqrt{7}$ (D)$\sqrt{7/5}$ (E)$\sqrt{13}$ 吋。答：D

※司乃耳定律

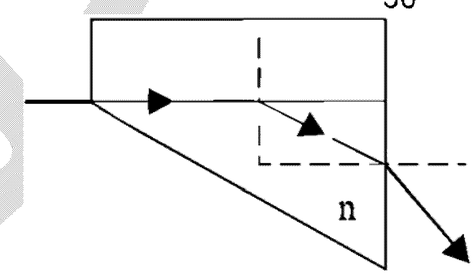
例 4.一光線自互相垂直之立方體玻璃塊兩相鄰面以入射角 α 射入，折射角 β 射出，則此玻璃之折射率為何？答：$\sqrt{\sin^2\alpha+\sin^2\beta}$



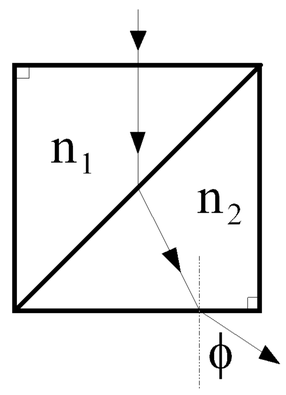
類 1.如右圖，折射率不同之 A、B 兩個三稜鏡：(1)求 B 對 A 之相對折射率。(2)若 A 鏡折射率爲 1.5，求 B 鏡之折射率。答：(1)$\sqrt{2}$；(2)$\frac{2\sqrt{2}}{3}$



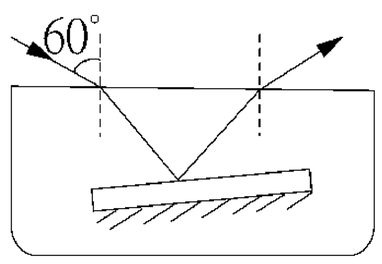
類 2.如圖，光沿折射率爲 n' 與 n 的兩介質的界面平行射入，由另一面射出進入空氣，折射角爲 θ，則上層介質的折射率 n' 爲(A)$\sqrt{n^2-\sin^2\theta}$ (B)$\sqrt{n^2-\cos^2\theta}$ (C)$\frac{\sin\theta}{n}$ (D)$n\cdot\tan\theta$ (E)$n\cdot\sin\theta$。答：(A)



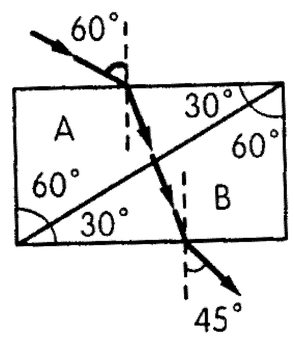
類 3.兩個折射率爲 n_1 及 n_2 之等腰直角稜鏡 重疊在一起，如圖所示。一束光線垂直射入第一稜鏡，若它離開第二稜鏡時與原入射方向之夾角爲 ψ，則 ψ 滿足下列方程式中的那一個？(A)$\sin^2\psi=n_2-\frac{n_1}{\sqrt{2}}$ (B)$\sin^2\psi=n_2^2-\frac{n_1}{\sqrt{2}}$ (C)$\sin\psi=\frac{1}{2}[(2n_2^2-n_1^2)^{1/2}-n_1]$ (D)$\sin\psi=n_1-\frac{n_1}{\sqrt{2}}$ (E)$\sin\psi=\frac{n_2}{\sqrt{2}}-n_1$。【72 日大】答：(C)



類 4.容器內裝折射率爲 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 的液體，且將一平面鏡斜放在液面下，平面鏡與水平面夾角 7.5°，今將一束紅色光以 60° 的入射角射入液中，紅光由液中折射而出時，折射角爲 θ，則 sin θ＝_____。答：$\frac{\sqrt{6}}{4}$



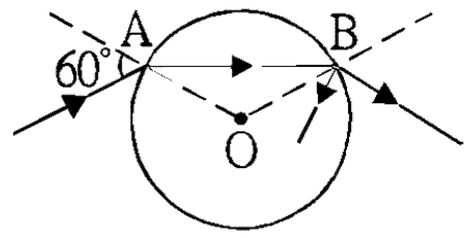
類 5.如右圖之 A、B 兩個三稜鏡，光自一面射入，在他側折射出，若 A 鏡折射率爲 $\sqrt{3}$，B 鏡之折射率必爲若干？答：$\sqrt{2}$



若需各章講義，可至 http://web.tcfsh.tc.edu.tw/whc1118/下載

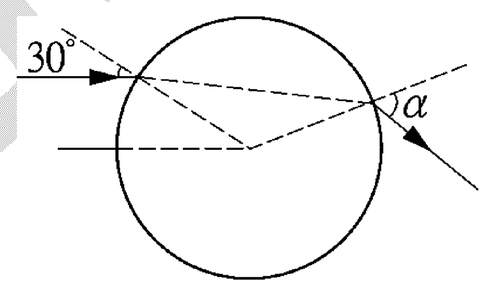
※司乃耳定律

例 5.光線以 60° 角入射角射入折射率 $\sqrt{3}$ 之玻璃球上 A 點，折射光到達圖示 B 點時部份反射、部份折射，此時 (1)反射光與折射光夾角為_____。(2)偏向角為_____。答：(1)皆為 90°；(2) 60°

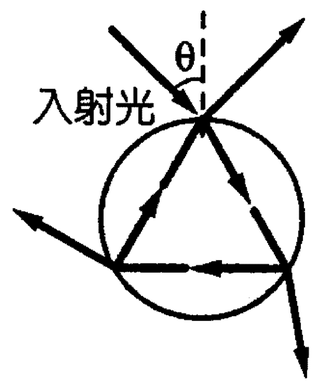


類 1.有一折射率爲 n 之圓球，其內部有一吸光物質存在，若圓球之半徑爲 R，吸光物質爲同心的球形，其半徑爲 r，則平行光束照射於球上，其透射光的百分率爲何？答：$1-(\frac{nr}{R})^2$

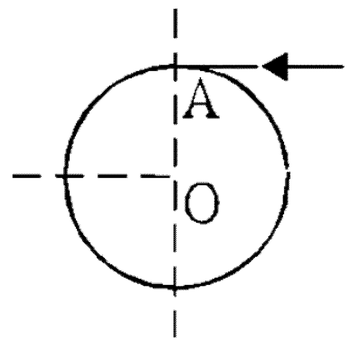
類 2.太陽光以 30° 的入射角入射於折射率 $\frac{4}{3}$ 的球形水滴中，當太陽光再度折射至空氣中時，折射角爲 α，則 sinα 之值爲_____。答：$\frac{1}{2}$



類 3.一單色光射入一折射率爲 $\sqrt{2}$ 的玻璃圓球，當入射角爲 θ 時，發現恰可在球外三個不同方向看到折射而出的光線如右圖，則角 θ 爲_____度。【81 日大】 答：45°



類 4.有一透明球，球心爲 O，折射率爲 $\sqrt{2}$ (參看右圖)。假設一光線垂直於一直徑 AB，由空氣中入射於 A 點，並能折射進入球內，再由球內出射。求
(1)在 A 點的折射角？答：45°
(2)求入射光線和出射光線的夾角？【78 夜大】答：90°



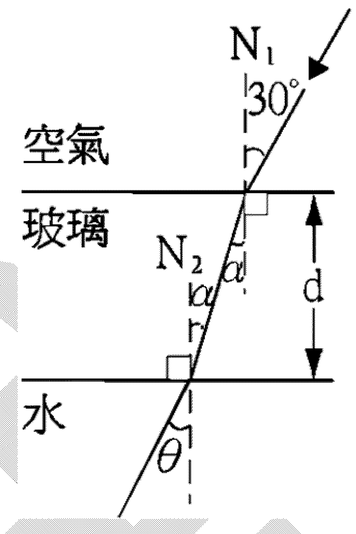
類 5.將折射率 $\frac{4}{3}$ 半徑爲 R 之半球形透明體平面向下置於水平桌面上，一束直徑 $\frac{8}{5}R$ 垂直於桌面且對稱球中心軸之平行光，，由上方射向半球，則其在桌面上形成的亮圈面積爲_____。
答：$\frac{25\pi R^2}{64}$

吳錫玠物理

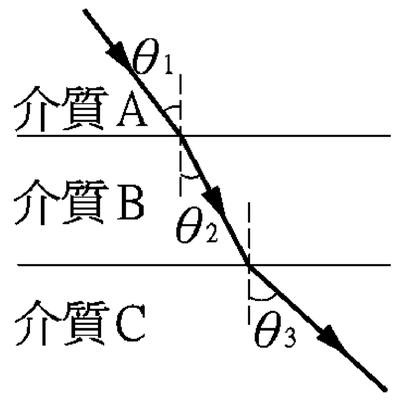
※多層折射

【觀念&公式】
多層平行介質：$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2 = n_3\sin\theta_3 = n_4\sin\theta_4 = \cdots\cdots\cdots$

例 6.兩面平行之透明玻璃板(玻璃的折射率為$\frac{3}{2}$)其厚度為 d，平放在水面上(水的折射率為$\frac{4}{3}$)。光由空氣中以30°之入射角射入玻璃板，光線在水中的折射角為θ，則$\sin\theta=$ (A)$\frac{1}{2}$ (B)$\frac{1}{3}$ (C)$\frac{2}{3}$ (D)$\frac{3}{5}$ (E)$\frac{3}{8}$ 。答：(E)



類 1.平行介質中，光的路徑由介質 A→B→C，如圖，若知$\theta_1>\theta_3>\theta_2$，則下列哪些正確？ (A)介質 A 的折射率最大 (B)光在介質 B 的波長最長 (C)光在 BC 交界面不可能發生全反射 (D)光由介質 A→B→C，其偏向角爲$\theta_1-\theta_3$ (E)若介質 A 的折射率爲 1，且$\theta_1=53°$，$\theta_3=30°$，則介質 C 的折射率爲$\frac{8}{5}$。答：CDE



類 2.大氣的折射率隨高度而改變，其折射率由低層到高層分別可區別爲n_1、n_2、$\cdots n_m\cdots$，設各層界面互相平行。則

(1)光由第 m 層經各層而射入第一層的相對折射率爲若干？答：$\frac{n_1}{n_m}$

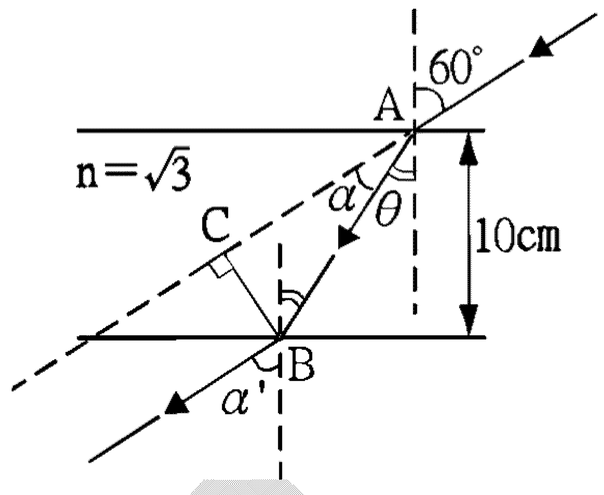
(2)吾人於第一層中見太陽光的仰角爲θ，則此光線在第 m 層中入射角的正弦值爲若干？答：$\frac{n_1}{n_m}\cos\theta$

類 3.有一男子的『那兒』與眾不同：是螺旋狀的！
和他一起上側所的友人常詢問爲什麼是這樣？
他自己也不知...
有一天，他和友人又廁所相遇，
友人這時終於發現他爲什麼是螺旋狀...
他上完廁所居然是『扭乾』...

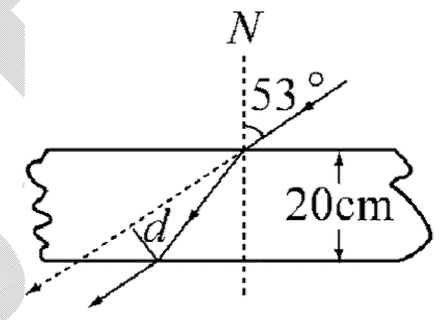
吳錫玠物理

※橫向位移

例 7.在真空中，一束光線穿過一個厚度 10cm、折射率 $\sqrt{3}$ 之平行透明介質後，出射光與入射光平行，若入射角為 60°，則此束光線之橫向位移為？答：$\frac{10}{\sqrt{3}}$ cm

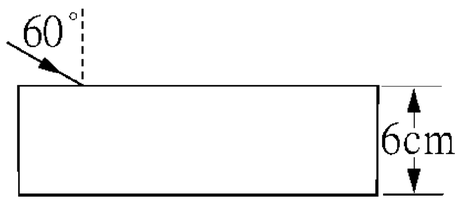


類 1.一光線以 53° 的入射角進入一厚度 20cm、折射率為 $\frac{4}{3}$ 的透明平行玻璃磚，如右圖所示。則入射光線與射出光線的平行側位移 d 為多少公分？ (A)5 (B)7 (C)9 (D)011 (E)12。答：(B)



類 2.有玻璃板，厚為 2 cm，折射率為 1.50，一光線以 60°角度入射於此玻璃之一面，玻璃板面之介質為空氣，則此入射線與出射線間之橫向位移為若干 cm？ (A)0.9 (B)1.03 (C)1.15 (D)1.32 (E)1.5 。答：(B)

類 3.如圖所示，厚度 6(cm)，折射率為 $\sqrt{3}$ 的透明平行板，光線以入射角 60°射入，經兩次折射，則其橫向位移為_____公分。答：$2\sqrt{3}$



類 4.一光線以 53° 的入射角進入一折射率為 $\frac{4}{3}$，厚度 20cm 的透明平行玻璃磚，則入射光與射出光線的平行側位移 d 為_____cm。答：7

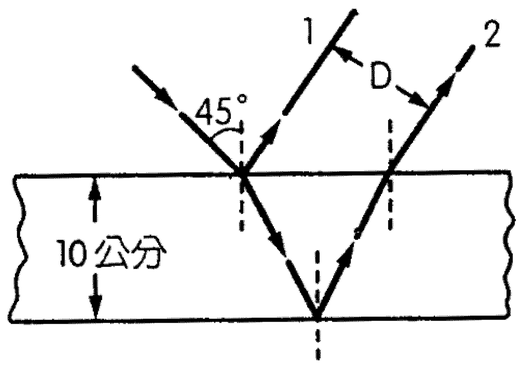
類 5.光線自厚度為 d 的透明平行玻璃板（折射率為 n）的一面斜射而入，經 2 次折射，由另一面射出且與原方向平行，但有一橫向側位移，當入射角 θ 甚小時，此側位移大小為多少？ (A) $d\theta(\frac{n-1}{n})$ (B) $d\theta(\frac{n}{n-1})$ (C) $d\theta(\frac{n^2}{n^2-1})$ (D) $d\theta(\frac{n^2-1}{n^2})$。答：A

類 6.光自空氣以 60° 角入射於厚 10 cm 的平行玻璃磚，若射出光的橫向位移為 $10\sqrt{3}$ cm，則此玻璃磚之折射率為_____。答：$\sqrt{3}$

吳錫玠物理

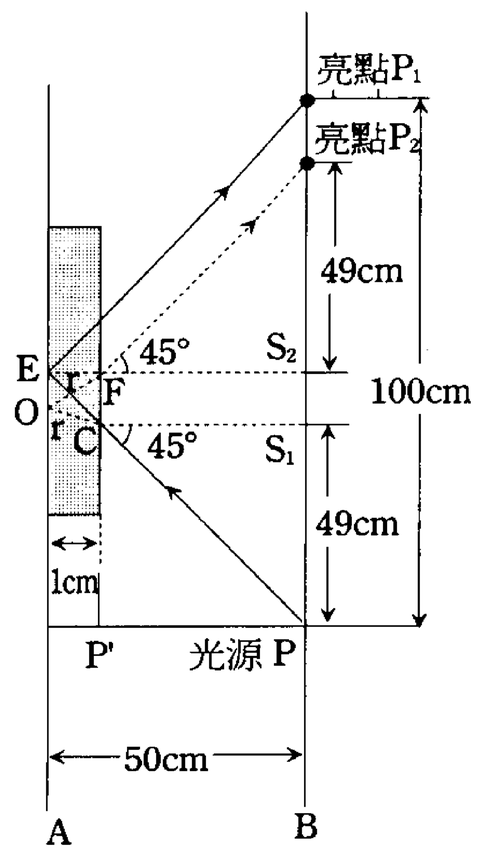
※橫向位移

例 8.光線以 45° 之入射角射入厚 10 公分的平行玻璃板，其中部分光線自頂面反射，另一部分光線經折射後，由底面反射，再由頂面折射而出，如右圖所示。若空氣的折射率為 1，玻璃板的折射率為 $\sqrt{2}$，則第二反射光線與第一反射光線的距離 D 為



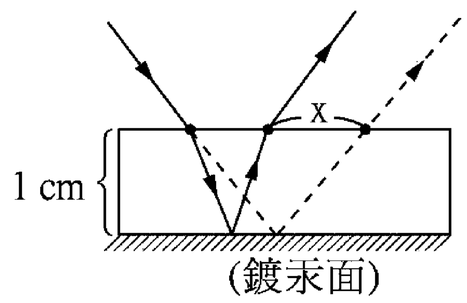
(A)$\frac{20}{\sqrt{6}}$ (B)$\frac{10}{\sqrt{2}}$ (C)$\frac{20}{\sqrt{3}}$ (D)$\frac{10}{\sqrt{6}}$ 公分。【83.夜大】答：(A)

類 1.兩相互平行之平面 A、B，相距 50 公分。A 爲一平面鏡，B 平面上有一光源，發出一光束照向平面鏡 A，反射後在 B 平面上產生的亮點與光源相距 100 公分。今若在平面鏡表面再鑲上一層折射率爲 $\sqrt{2}$，厚度爲 1 公分的平玻璃板，則反射後在 B 平面上的亮點位置將移動 (A)$2-\frac{2\sqrt{3}}{3}$ 公分 (B)$\frac{3\sqrt{2}}{2}-2$ 公分 (C)$\frac{\sqrt{3}}{2}$ 公分 (D)$2+\frac{2\sqrt{3}}{3}$ 公分 (E)$2+\frac{3\sqrt{2}}{2}$ 公分。【88.日大】答：(A)



類 2.厚 15 公分兩邊平行之玻璃板，光以 45° 之入射角射入，部分光線自頂面反射，另一部份光線經折射後，再由底面反射而折出，二次反射光線旁向位移大約若干？(玻璃之折射率爲 $\sqrt{2}$)答：$5\sqrt{6}$ cm

類 3.有一厚度 1 cm 的平面鏡，入射角 60° 的入射光，因爲玻璃厚度的關係，使得反射路徑發生偏移，則圖中偏移的位移 x 爲多少 cm？（玻璃折射率爲 $\frac{\sqrt{7}}{2}$） (A)$\sqrt{2}$ (B)$\sqrt{3}$ (C)$\sqrt{5}$ (D)$\sqrt{7}$。答：B

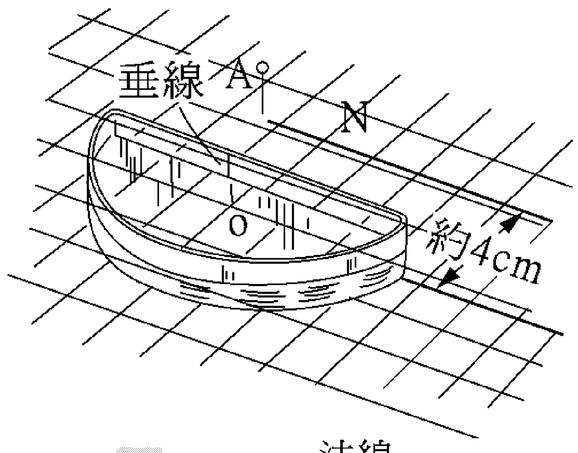


類 4.有一斷腿男，在結婚當夜決定告訴他的妻子，有關他斷腿的事實。
當兩人在房間獨處，斷腿男：「待會兒有一件教妳吃驚的事，請妳不要害怕。」
說完就把燈熄了，並將妻子的手引到自己拆掉義肢的大腿上。
這時妻子說話了：「啊！天… 天啊！這的確讓我大吃一驚，不過… 我想我大概受得了… 來吧！」

吳錫玠物理

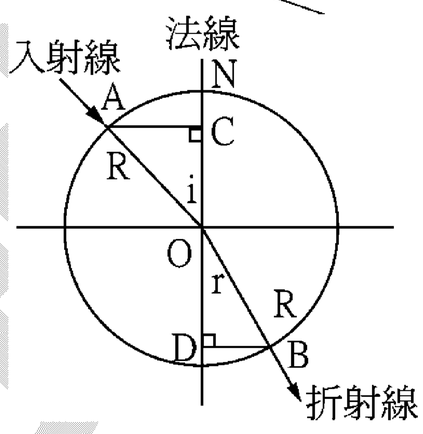
※折射率實驗

例 9.測量水的折射率之實驗裝置如圖所示，若不用三角函數表及電子計算機，要得到水的折射率應測量哪些量？水的折射率如何表示？



答：(1)如圖，作一圓（半徑 R），分別和入射線、折射線相交於 A、B 兩點作 $\overline{AC} \perp \overleftrightarrow{ON}$（法線）；$\overline{BD} \perp \overleftrightarrow{ON}$（法線）

(2)水的折射率 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\overline{AC}/R}{\overline{BD}/R}=\dfrac{\overline{AC}}{\overline{BD}}$



類 1.在「折射率的測量」實驗中，

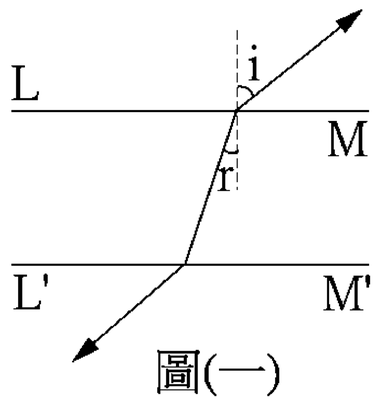
(1)須在半圓形透明塑膠盒的哪個位置標示一垂直線來確定光線的入射點？實驗選此位置爲光線的入射點有何目的？

(2)爲何此部分實驗中的透明盒要使用半圓形的設計，有何作用？

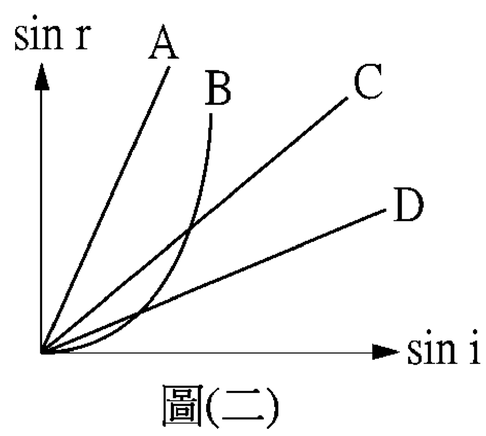
答：(1)應在圓心處標示垂直線。若以圓心處爲入射點，可使光每一次折射後恰沿半徑方向（即垂直曲面之方向）進行。

(2)該設計可使入射光第一次在圓心處折射後，第二次光自待測液體射向空氣時，入射角恰爲零度而不生折射，因此在圓曲面一側觀測之光線恰爲入射光第一次之折射線。

類 2.測量壓克力磚的折射率之實驗裝置如圖(一)中所示，若以入射角 i 和折射角 r 的正弦函數作圖，橫坐標爲 sin i，縱坐標爲 sin r，刻度大小相同，如圖(二)所示，則應爲那一條線？又圖上任一點的切線斜率代表何種意義？答：(1)線 D；(2)切線斜率代表折射率的倒數

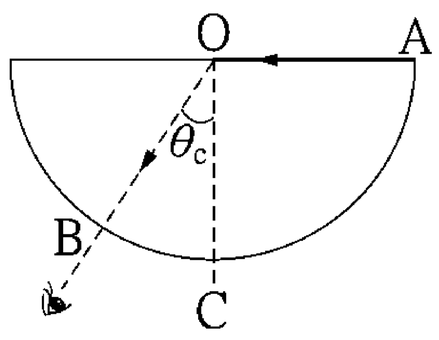


圖(一)



圖(二)

類 3.欲以半圓形透明盒測量一液體的全反射的臨界角。試畫圖表示如何找出豎立插針的位置。



答：(1)如圖，將二針分別插在盒直徑之中心 O 及邊緣 A

(2)在圓弧面移動一針觀察，當 A、O、B 三點共線時，插下 B 針。

(3)作法線 OC，則 $\angle BOC=\theta_c$ 即爲所求之臨界角

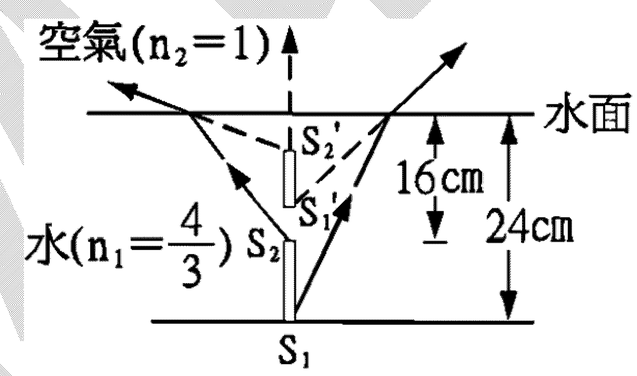
※視深與實深

【觀念&公式】

1. $\frac{n'}{h'}=\frac{n}{h}$　2. $\frac{v'}{n'}=\frac{v}{n}$　3. $\frac{a'}{n'}=\frac{a}{n}$

例 10.一水手站在甲板上覺得水深為 12 公尺，倘若他判斷正確，則水深實際應為_____公尺。(水之折射率為 $\frac{4}{3}$)答：16

類 1.如右圖所示，在空中看水面下 8cm 長的木棒'覺得木棒變成多長？答：6cm



類 2.一物體在水中以 4m/sec 之等速下沉，一人在水面上方垂直下視，則其見物體沉速度爲何？(水的折射率 n=4/3)答：3m/s

類 3.在空中有一隻鳥以速度 2m/s 等速鉛直向下飛行時，其正下方距水面 0.8 公尺，深處有一條靜止的魚，則當時鳥看魚的視深爲_____公尺。(水的折射率爲 $\frac{4}{3}$)答：0.6

類 4.水面下 1 米深的地方有一條魚，在魚的正上方有一隻水鳥，在水面上 2.4 米處盤旋，則魚認爲它與水鳥之間的距離爲_____米。答：4.2

類 5.密度 d_1 的物體，自液面靜止沈入密度 d_2 的液體中，若液體折射率爲 n，則自空中垂直液面下視所見：(1)像的加速度爲若干？(2)又 t 秒末的像速爲何？答：(1) $\frac{d_1-d_2}{d_1}\cdot\frac{g}{n}$；(2) $\frac{d_1-d_2}{d_1}\cdot\frac{gt}{n}$

類 6.比重爲 2.5 之玻璃球自水面自由下沉，若不計水之阻力，一人自水面上向下俯視，見此球之加速度 a' 量值爲_____m/s^2。答：4.41

類 7.夜色降臨南非大草原，一隻獅子正幹勁十足地開始要和牠的情婦——一隻斑馬一交尾。
忽然，他發現家裡那隻母獅正慢慢走來！
「快！」牠急忙獅吼道
「假裝我正要吃你！」

※視深與實深⇨多層視深

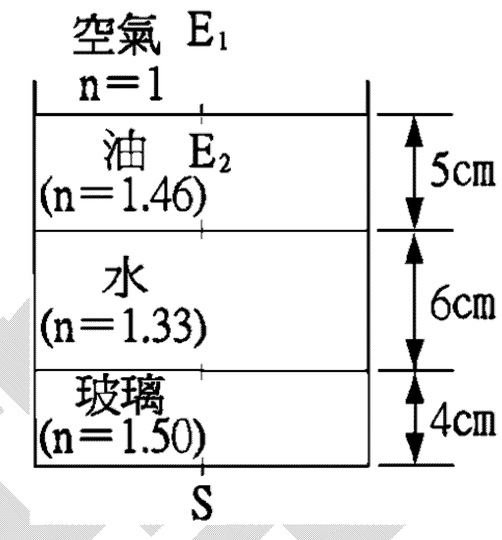
【觀念&公式】

$$\frac{h'}{n'}=\frac{h_1}{n_1}+\frac{h_2}{n_2}+\cdots\cdots$$

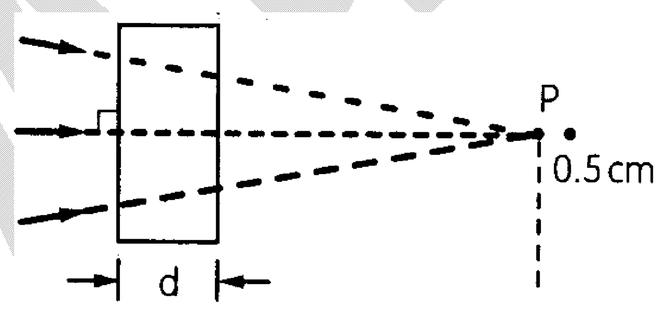
例 11.圖中：

(1)觀察者 E_1，自空中見光點 S，則其視深為若干？答：10.6cm

(2)觀察者 E_2，在油中見光點 S，則其視深為若干？答：10.4cm

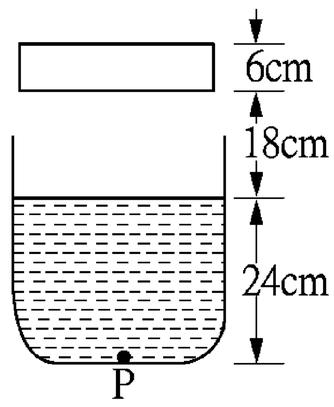


類 4.右圖中所示的入射光束原應會聚於 P 點，若於光束會聚前令其通過一厚度 d，折射率為 1.5 的平行板玻璃，則光束會聚於 P 點右方 0.5cm 處，據此估計該平行板玻璃的厚度 d 應為 (A)0.75 (B)0.9 (C)1.2 (D)1.5 (E)2.0 cm。答：(D)



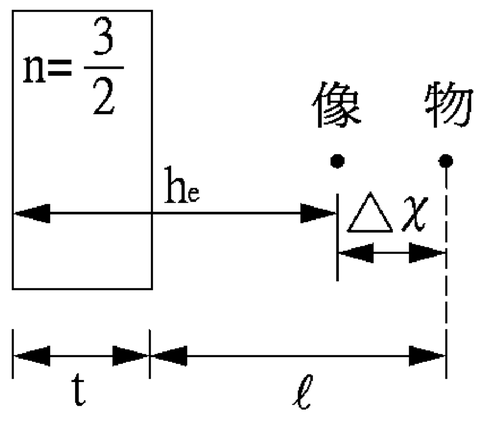
類 1.折射率 1.3 的液體裝入容器後，將折射率 1.5、厚度 15cm 的玻璃板放入液體內，則由空氣中視之，覺得玻璃板厚度為多少？答：10cm

類 2.如圖所示，燒杯裝水 24 公分深，在水面正上方 18 公分處，以厚 6 公分、折射率為 1.5 的玻璃板垂直觀察燒杯底部一點 P，則所見之 P 點距離水面_____公分。(已知水的折射率為 $\frac{4}{3}$)答：18



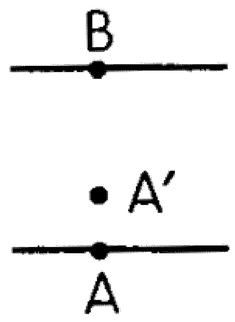
類 3.一玻璃板之厚度為 d，折射率為 n，今隔此板且與板面垂直觀看對面的物體時，覺得物體移近若干？答：$\frac{(n-1)d}{n}$

類.隔著折射率 $\frac{3}{2}$ 的玻璃片觀看窗外景物，若玻璃片的厚度為 t，則所觀看的景物移近了多少？ (A)$\frac{2}{3}$t (B)$\frac{1}{4}$t (C)$\frac{1}{3}$t (D)$\frac{1}{2}$t。答：C



※視深與實深⇨顯微鏡的物距

例 12.放一物 A 於顯微鏡下調整顯微鏡到能看見 A 最清楚為止，然後取一玻璃板蓋住 A。則影像變為模糊，當顯微鏡升高 1.0mm 時又恰可看清楚 A，繼續升高顯微鏡 2.0mm 時則看不見 A，卻可清楚的看見玻璃之頂面 B，求玻璃之折射率。答：1.5

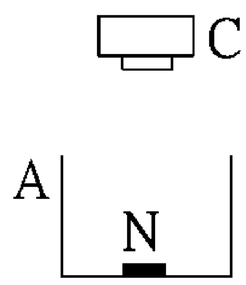


類 1.顯微鏡向一點對光後，在該點覆一玻璃片，再向該點對光，顯微鏡需提上 d 公分，若再提上 d'公分，則恰可明視玻璃片上一點，則此玻璃折射率 n 爲若干？答：$\frac{d+d'}{d'}$

類 2.以顯微鏡向切片上某點對光後，上覆一厚玻璃片，若再對準某點，則需將鏡提高 2 毫米，已知玻璃片之折射率爲 1.5，求其厚度。答：6 毫米

類 3.顯微鏡向杯底一點對光後，在杯內注入某液體，再對杯底對光時鏡必須升上 2cm，若再對液面一點對光時，需再升上 3cm，求：(1)某液體之深度；(2)某液體之折射率。答：(1)5cm (2)$\frac{5}{3}$

類 4.如圖示，開口容器 A 之底面平放一硬幣 N，先調節照相機 C，使其對準硬幣聚焦，再將透明液體 X 倒入容器。當液深爲 15 公分時，若要再對準硬幣聚焦，只需將照相機向上移動 5 公分。若空氣之折射率爲 1，則液體 X 之折射率爲：(A) 5/4 (B)3/2 (C)4/3 (D)5/3 。答：(B)



類 5.兵荒馬亂中，在樹林邊一個騎兵逮住一個正要躲藏的美麗修女，美麗修女經過一番掙扎之後，還是難逃騎兵的魔掌。

後來回到修道院來，就顫驚的對住持說：「那可惡的男人很快的捉住我，並剝光了我的衣服，把我丟進了枯草堆中，接著我就.....住持，你說我該怎麼辦呢？」

住持：「那妳趕快吃檸檬，而且馬上吃。」

修女：「吃檸檬？爲什麼要吃檸檬丫？」

住持：「等一下不是有人要來嗎？如果妳那張喜孜孜的臉被瞧見，那多不好丫！」

※視深與實深⇨面鏡反射

例 13.井口距井中水面 3 米，水面以下 4 米處有一隻青蛙，則：

(1)青蛙看來，井口距它有幾米？答：8 米

(2)從井口看下去，青蛙在井口以下幾米？答：6 米

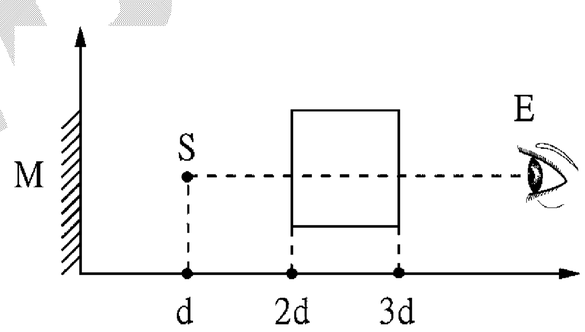
(3)若在井上蓋一平面鏡，反射面向下，則青蛙看到自己的像和自己相距幾米？答：16 米

(4)若在井底青蛙處放一平面鏡，反射面向上，則在井口的人所看到自己之像與自己相距幾米？答：12 米

(5)若在井口放一凹面鏡，反射面向下，焦距 2.4 米，蛙之像距水面下幾米處？答：$\frac{7}{3}$ 米

(6)同(5)，若改用焦距為 6 米的凸面鏡，則青蛙看到它的像和它相距幾米？答：12 米

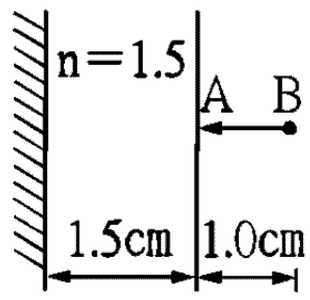
類 1.物體 S 位置如右圖示，左方為平面鏡，觀察者位於 E 處，看向折射率 1.5，厚度 d 的玻璃磚，所見 S 之像，位置分別為 (A)$-d$ (B)$-\frac{2d}{3}$ (C)$\frac{2d}{3}$ (D)$\frac{4d}{3}$ (E)$\frac{5d}{3}$。【83 台北區模擬考】答：(B)(D)



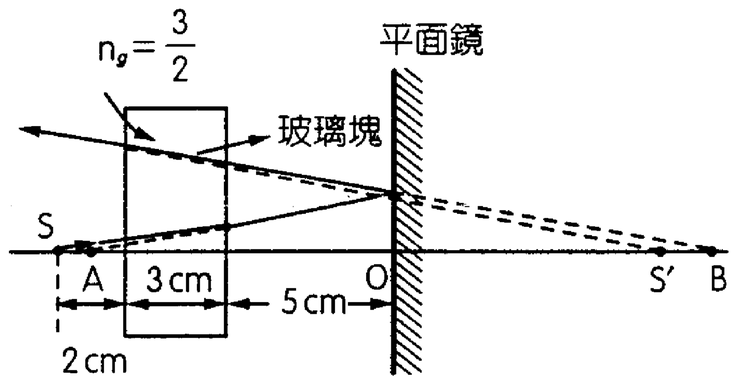
類 2.如圖，長 1cm 的物體 AB 垂直接觸厚 1.5cm 的平面鏡，該鏡是由折射率 1.5 的玻璃鍍銀製成的。則鏡前觀察者覺得

(1)A 點在鏡後的像 A'與 A 點距離為若干？答：2cm

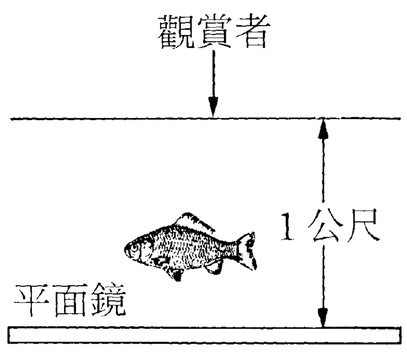
(2)B 點在鏡後的像 B，與 A 點距離為若干？答：3cm



類 3.如右圖，平面鏡前 5 公分處置折射率為 $\frac{3}{2}$，厚度為 3 公分之玻璃塊，前 2 公分處置一光點 S。在玻璃前方見光點虛像 S' 距平面鏡原來位置多遠？答：8 公分



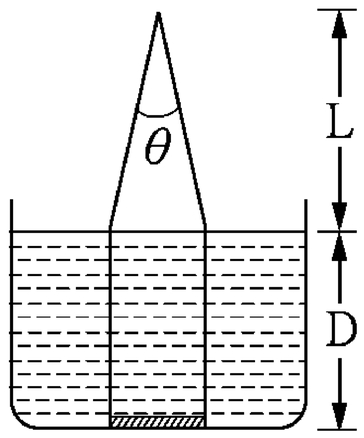
類 4.一條小金魚在一水深為 1 公尺的池中，池底為一片大鏡子，如圖所示。觀賞者幾乎在其正上方時，可看到兩條金魚，某時刻測得兩魚間的垂直距離為 75 公分。若水的折射率為 $\frac{4}{3}$，則當時金魚離池底的實際距離為_____公分。【87 日大】答：50



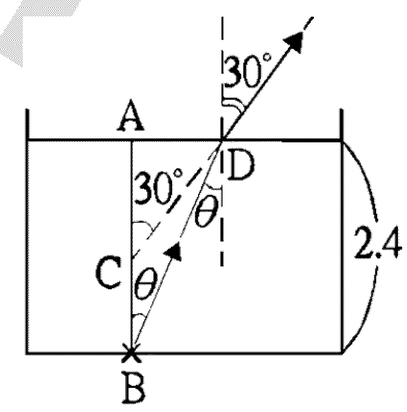
類 5.在水面下 10cm 有一平面鏡，人在水面上方 10cm 處觀察，見自己的像在水面下若干距離（水的折射率為 $\frac{4}{3}$）。答：水面下 25cm

※視深與實深⇨視角&大角度視深

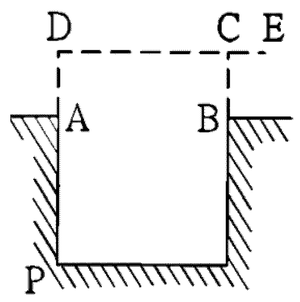
例 14.一水槽深度 D，在其底部置一薄硬幣，槽內充滿折射率為 n 之液體。如在硬幣正上方與液面相距 L 處測得硬幣之視角(硬幣直徑兩端之光線至一瞳孔所張之角)為 θ(如右圖)，設 θ 很小，$\tan\theta \fallingdotseq \sin\theta \fallingdotseq \theta$，則：(1)硬幣之直徑為多少？將答案以 θ、D、L 及 n 表示。(2)如將液體倒出一半(深 D/2)，再於原位置觀測時，硬幣之視角變為多少？將答案以 θ、D、L 及 n 表示。【74.日大】答：(1)$\left(L+\dfrac{D}{n}\right)\theta$ (2)$\dfrac{2(nL+D)\theta}{2nL+nD+D}$



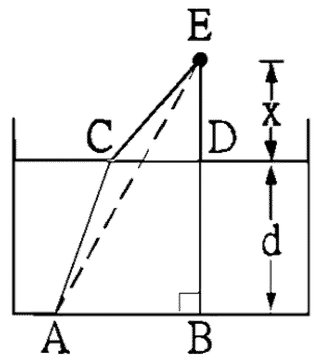
例 15.置一銅板於一充滿水(n=1.33)，水深 2.4m 的游泳池底，若(1)接近垂直水面(平行光軸)，(2)與通過銅板且垂直液面之法線成 30° 角的方向俯視(非平行光軸)，則銅板在水面下的視深是多少？答：(1)1.8m；(2)1.68m



類 1.如右圖所示，容器中盛滿水，一物置於 P 處，若觀察者眼睛 (A)由 B 向 C 移動時，物體視深漸增 (B)由 B 向 C 移動時，物體視深漸減 (C)由 D 向 C 移動時，物體視深漸增 (D)由 D 向 C 移動時，物體視深漸減。答：(A)(D)



類 2.如圖，厚度不計的物體 AB 在尚未盛水的容器底部，眼睛位於固定點 E，$\overline{EB}\perp\overline{AB}$，此時眼睛覺得 AB 之視角為 θ。當注入折射率 n、深度 d 的水後，眼睛覺得 AB 視角成為 θ'，則 $\dfrac{\theta'}{\theta}$ 之值為若干(但角度均甚小)？答：$\dfrac{n(d+x)}{d+nx}$



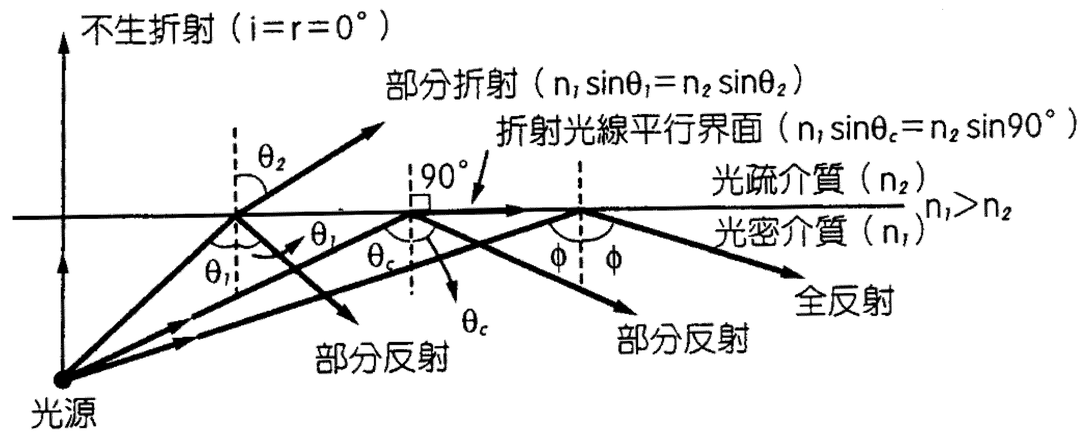
類 3.直桿插入折射率為 n 之液中，其在空氣中一段與液面所成之角為 θ，若從液外向液中觀察，則在液中一段與液面所成之角為何？

(A)θ (B)$\sin^{-1}(\dfrac{\tan\theta}{n})$ (C)$\tan^{-1}(\dfrac{\tan\theta}{n})$ (D)$\cos^{-1}(\dfrac{\tan\theta}{n})$ (E)$\cot^{-1}(\dfrac{\tan\theta}{n})$。答：C

類 4.一條細直的鋼絲斜插在某液體中，其在空氣中的一段與液面夾 53°，自空氣中向下俯視時，發現在液體中的一段與液面夾 37°，液體的折射率為_____。答：$\dfrac{16}{9}$

吳錫玠物理

16-2 全反射



(1)全反射**(total internal reflection)**之意義：

①如右圖，光自光密介質**(**折射率大**)**斜向射入光疏介質**(**折射率小**)**時，折射線偏離法線。且入射角愈大，折射角亦愈大。當入射角增至臨界角 θ_c 時，折射角等於 **90°**，此時折射線恰平行界面。

②當入射角大於臨界角 θ_c 時，則光線將不再折射，且依反射定律全部由界面反射回到光密介質中，此現象叫做全反射。

(2)臨界角 θ_c：

①定義：產生全反射的最小入射角，即當折射角為 **90°** 時之入射角。

②公式：光自折射率 $\mathbf{n_1}$ 介質進入折射率 $\mathbf{n_2}$ 介質

$$n_1\sin\theta_C=n_2\sin90°\Rightarrow\sin\theta_C=\frac{n_2}{n_1}=n_{12}$$

㊟ $\sin\theta_C=\dfrac{n_2}{n_1}<1\Rightarrow n_1>n_2$ **(**即光由光密介質進入光疏介質時 θ_c 才存在**)**

(3)產生全反射的條件：

①光自光密介質進入光疏介質。

②入射角大於臨界角。㊟入射角等於臨界角時仍有折射線，故尚非全反射。

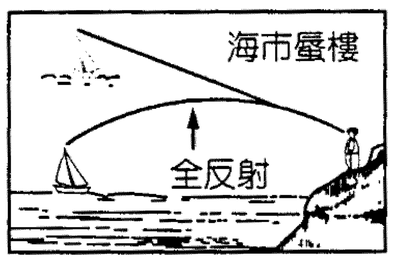
(4)全反射的特性：

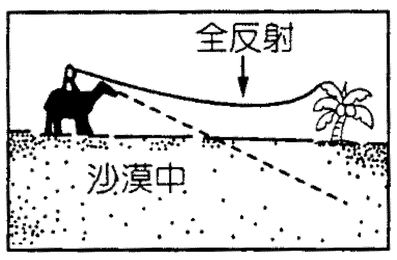
①全反射現象並不是突然發生的，在光密介質對光疏介質的界面，當入射角增大時，反射光的強度增加，而折射光的強度減少，在入射角超過臨界角後，所有的入射光線全部反射而回，不生折射。

②全反射時亦遵守反射定律。

③密介質對疏介質之相對折射率愈大，則光自密介質射入疏介質時，θ_c 愈小，愈易產生全反射。

(6)實例與應用：

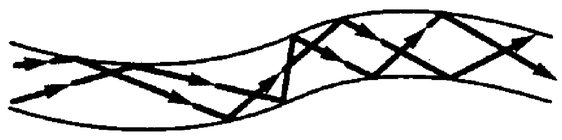




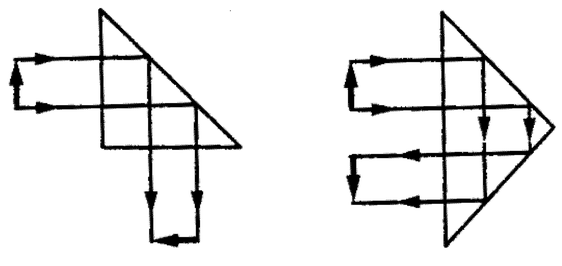
①海市蜃樓：

②沙漠幻像：

③光纖管：如右圖，光纖管係一透明細絲管，直徑約為 **0.001~0.002mm**，其對外界介質的相對折射率大於 **1**，光從一端射入，在管的內壁經連續的全反射，，而由他端射出。光纖管應用於醫學上診斷用的內視鏡的光導管及光纖通訊等。裝飾燈**(**星星光**)**也用到了光纖管。

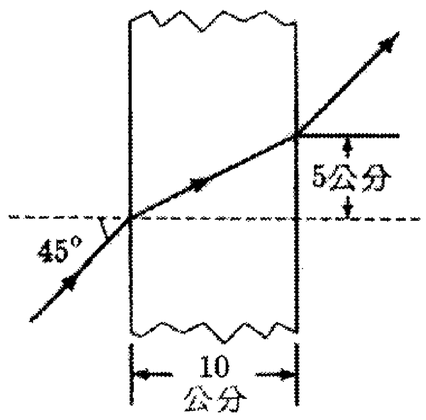


④全反射三稜鏡：玻璃對空氣的臨界角約為 **42°**，我們常用 **45°-45°-90°** 玻璃稜鏡來改變光的行進方向，光在其內部反射時是全反射而非部分反射、部分折射，因此用稜鏡改變光行進方向比用平面鏡效果好，也可避免光經平面鏡之玻璃表面及金屬反射面多次反射所形成的複像問題。



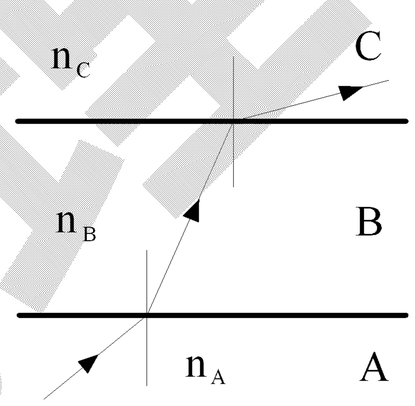
※臨界角θ_C

例 16.空氣中有一透明平行板，一單色光由空氣入射此透明平行板時，測得光徑如圖所示，若將此單色光由透明平行板射向空氣時，其臨界為θ_c，則θ_c的正弦值為 $\sin\theta_c$＝_____。【90 日大】答：$\frac{\sqrt{10}}{5}$

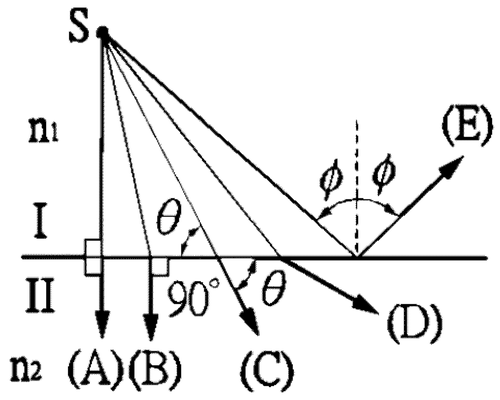


類 1.(1)在折射率為 n_1 和 $n_2(n_2>n_1)$的兩介質界面上，光線在何情況下會產生全反射？其臨界角為若干？答：光線由 n_2 進入 n_1 且入射角大於臨界角時會發生全反射，$\theta_c=\sin^{-1}\frac{n_1}{n_2}$

(2)如右圖，有三介質 A、B 和 C，折射率分別為 n_A、n_B 和 n_C，其中介質 B 介於 A 和 C 之間。設 $n_A<n_C$，則由 A 射入的光線，不管 n_B 多少，絕不會在 B 和 C 的界面上產生全反射，試證明之。【76.夜大】



類 2.右圖中 I、II 為兩種折射率不同的介質，令(A)、(B)、(C)、(D)、(E)代表由光源 S 發出之五條射線在交界平面折射或全反射之情形，這五條光線中有哪幾條是不可能的？答：(B)(C)



類 3. 一光線從水中入射到水與空氣的界面上。已知此光線由水中進入空氣的臨界角為 48.5°，下列敘述何者正確？ (A)如果入射角大於 48.5°，光線不會全部反射回水中 (B)如果入射角大於 48.5°，光線不會折射進入空氣中 (C)如果入射角大於 48.5°，光線會部份折射進入空氣中 (D)如果入射角小於 48.5°，光線會全部反射回水中 (E)如果入射角小於 48.5°，光線會全部折射進入空氣中。答：(B)

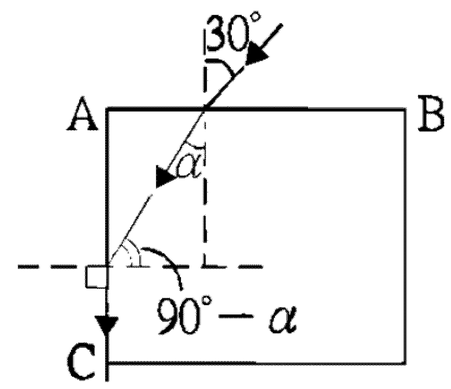
類 4.一光線由 A 介質射向 B 介質而能產生全反射時，下列哪些物理量，A 介質的必小於 B 介質的？ (A)折射率 (B)在介質中的光速 (C)在介質中的波長 (D)介質密度 (E)在介質中的頻率。答：BC

類 5.自某液體上方空氣中俯視液面下 10 厘米處之物體，看起來似乎只有 6 厘米之深度，則此液體對空氣之臨界角_____。答：37°

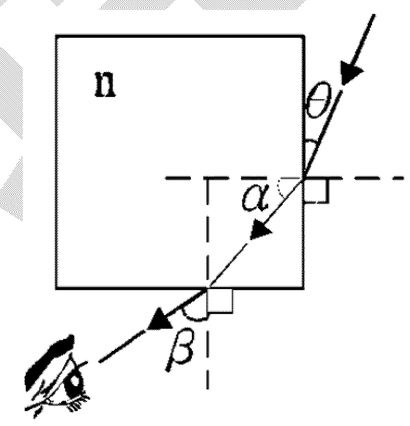
類 6.介質 A 對介質 B 的折射率為 n_1，介質 C 對介質 B 的折射率為 n_2，若光線由 C 介質進入 A 介質而能產生全反射，則臨界角的正弦值為_____。答：$\frac{n_1}{n_2}$

※方形物體的臨界角

例 18.一光束以θ之入射角射入一透明立方體之水平表面 AB(如右圖)，若θ為30°時，此光束在垂直表面 AC 上剛好能產生全反射，則此一立方透明體之折射率 n 為 (A)$\frac{5}{4}$ (B)$\frac{4}{3}$(C)$\frac{2}{\sqrt{3}}$ (D)$\frac{\sqrt{5}}{2}$ (E)$\frac{\sqrt{5}}{3}$。【70 日大】答：(D)



類 1.有一正方透明體，欲從其一面經此透明體看到相鄰一面外之物體，則其折射率 n 應為 (A)$1<n<\sqrt{2}$ (B)$n>\sqrt{2}$ (C)$\sqrt{3}>n>\sqrt{2}$ (D)n=1.5 (E)根本不可能看到。【83 台北區模擬考】答：(A)

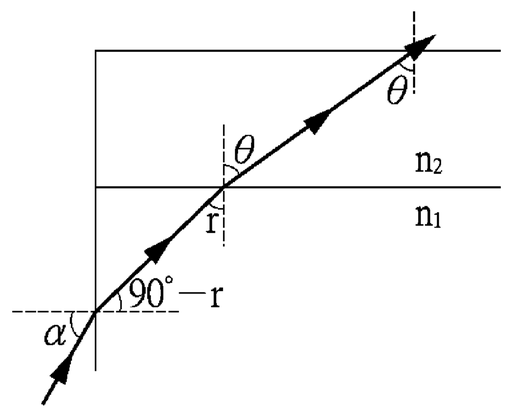


類 2.欲自一正立方透明體之一邊見到相鄰之一邊外的物體，則透明體的折射率可為下列哪些？ (A)1.2 (B)1.3 (C)1.4 (D)1.6 (E)1.8。答：ABC

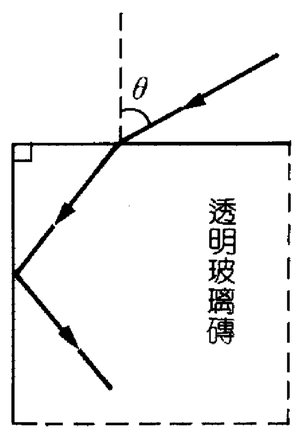
類 3.介質 A 對介質 B 的折射率為 n_1，介質 C 對介質 B 的折射率為 n_2，若光線由 C 介質進入 A 介質而能產生全反射，則臨界角的正弦值為_____。答：$\frac{n_1}{n_2}$

類 4.光線由空氣射入一物體中(如圖)。設物體內介質 1 之折射率為 n_1，介質 2 之折射率為 n_2，而且 $n_1>n_2>1$。若光在介質 2 與空氣的界面上發生全反射，則入射角α的正弦值 sinα最大可等於_____。

答：$\sqrt{n_1^2-1}$



類 5.光由空氣(折射率=1)以入射角θ射入方形透明玻璃磚內，且希望光線在玻璃的垂直面作全反射(如右圖)，則此玻璃磚之折射率最少應為_____。【82.日大】答：$\sqrt{1+\sin^2\theta}<n$



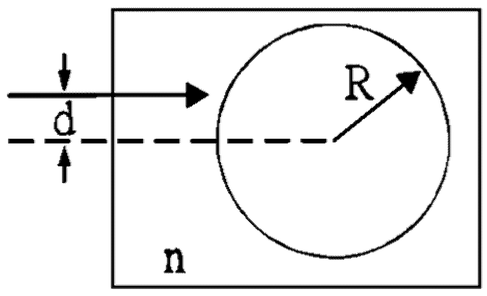
類 6.卡拉 OK 中一群男人在為小姐們爭風吃醋.....

此時上海男人很自信的說:「嫁上海男人最幸福了，我們甚麼都幹！買菜、煮飯、洗衣、拖地、接送小孩...」

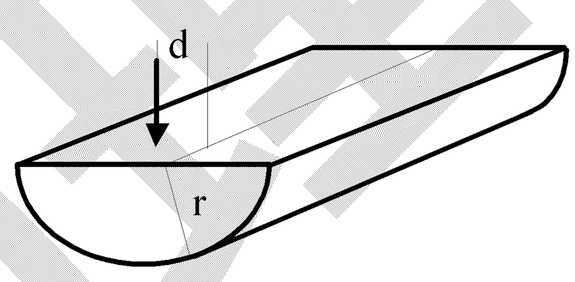
另一位臺商不甘示弱的說：「是嗎？我們也是甚麼都幹!四川的、湖南的，湖北的、海南的、江西的...你要不要」

※圓形物體的臨界角

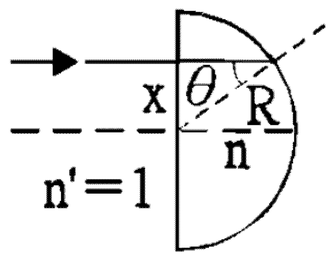
例 20.在一折射率為 n 的介質中，有半徑為 R 的圓洞，洞內為真空。今有一光束自介質射向圓洞，如右圖所示。如果不讓光束射入洞內，則距離 d 的最小值為：(A)R/ (B)R/n (C)R/n^2 (D)R(n^2-1)/n^2 (E)R/n。【86 日大】答：(E)



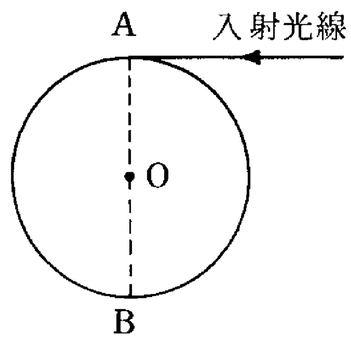
類 1.半徑為 r 的透明半圓柱體，置於空氣中。今有一光束從此半圓柱體之平面部份垂直射入(如右圖所示)，射入點距離圓柱體對稱軸之距離為 d，d=$\sqrt{3}$ r/2。若半圓柱體的折射率為$\sqrt{2}$，則從半圓柱體射出的光線對原入射方向之偏向角為_____。【85 日大】答：180°



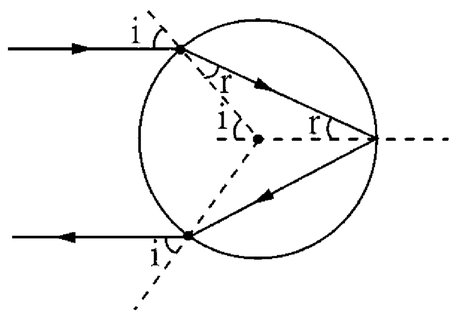
類 2.半徑 R 之半球形玻璃其折射率為 n，若平行光從左方射入，當入射光線距中心軸線 x 小於何值時可穿透到球面右方去？ (A)nR (B)(n+l)R (C)R (D)R/n (E)R/(n－1) 。答：(D)



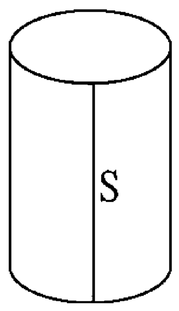
類 3.有一透明球，球心為 O，折射率為$\sqrt{2}$(如右圖)。假設一光線垂直於一直徑 AB，由空氣中入射於 A 點，並能折射進入球內，再由球內出射。(1)求在 A 點的折射角(2)求入射光線和折射光線夾角。【78.夜大】答：(1) θ=45° (2)90°



類 4.一光線以入射角 i 射入一玻璃球，經二次折射和一次反射後的光線，與入射光線反方向，若此玻璃球的折射率為 a $\cos\frac{i}{2}$，則 a 之值為_____。答：2

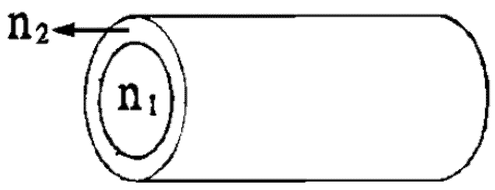


類 5.一圓柱形玻璃杯內盛滿某種液體，假設玻璃與液體折射率皆為$\sqrt{2}$，一線形鉛直光源 S，緊貼杯的內壁而與杯等高，如圖所示，則此杯圓柱面可透光部分的面積，占其圓柱面積的百分比為_____%。答：50



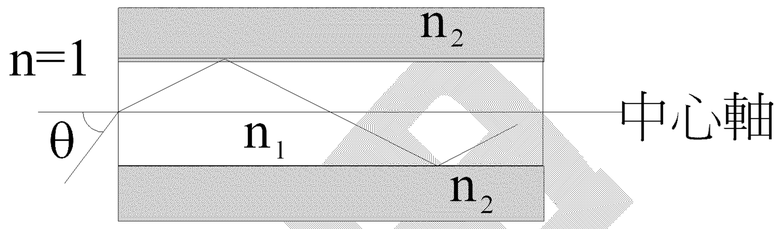
※光纖

例 22.右圖為一光纖之側面剖面圖，其中 n_1 及 n_2 分別代表不同物質之折射率，n_1 之部分稱為核心。若要使光在核心中靠全反射傳遞(不穿透 n_2 介質而產生漏失)，sinθ 必須小於下列那一個值？

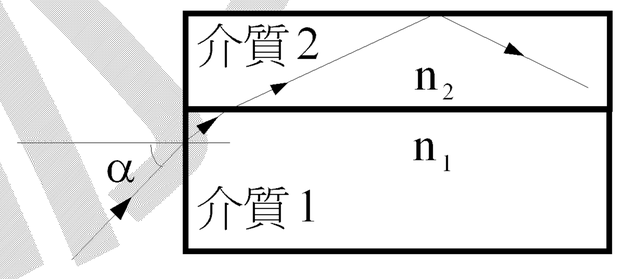


(A)$n_2\sqrt{1-(n_2/n_1)^2}$ (B)$n_2\sqrt{1-(n_2/n_1)}$ (C)$n_1\sqrt{1-(n_2/n_1)}$ (D)$n_1\sqrt{1-(n_2/n_1)^2}$

(E)$\sqrt{n_1n_2[1-(n_2/n_1)]}$。【75 日大】答：(D)

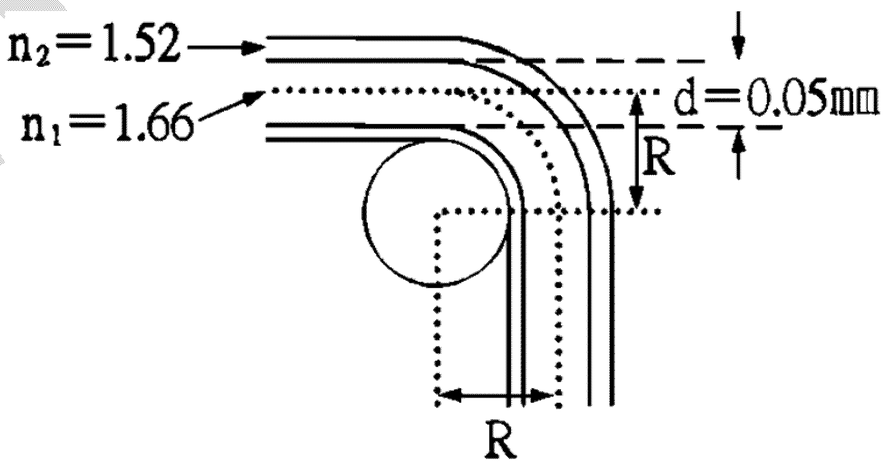


類 1.光線由空氣射入一物體中(如右圖)。設物體內介質 1 之折射率為 n_1，介質 2 之折射率為 n_2，而且 $n_1>n_2>1$。若光在介質 2 與空氣的界面上發生全反射，則入射角 α 的正弦值 $\sin\alpha$ 最大可等於_____。【83 日大】答：$\sqrt{n_1^2-1}$

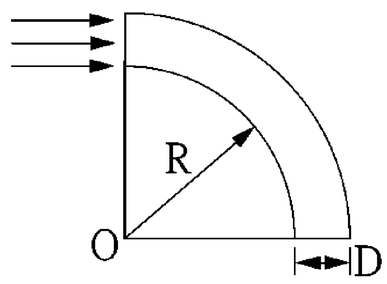


類 2.光纖彎曲時的曲率半徑 R 定義如圖，雙層光纖的內層折射率為 $n_1=1.66$，直徑為 0.05mm，外層折射率為 $n_2=1.52$。保持所有光線都以全反射方式在光纖管內前進的最小彎曲半徑 R 是多少？

答：$R>\dfrac{d}{2}\cdot\dfrac{n_1+n_2}{n_1-n_2}=0.57$



類 3.如圖所示，直徑 D 之小圓柱形光纖維材料彎成內徑 R 之圓弧形光導管，則一小束平行光自一側垂直截面入射，欲使其在內部產生全反射，則此材料之折射率最小應為：



(A)$\dfrac{R+D}{R}$ (B)$\dfrac{R+D}{D}$ (C)$\dfrac{R+D}{\sqrt{R^2+D^2}}$ (D)$\dfrac{\sqrt{R^2+D^2}}{R}$ (E)$\dfrac{\sqrt{R^2+D^2}}{D}$。答：A

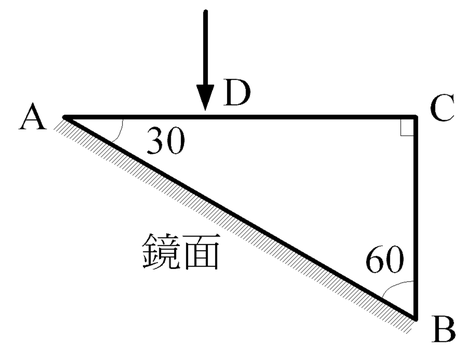
英文有點破在美國的台灣留學男，一日到書攤前看 A 書，結果一時太過專心，不小心碰到隔壁一起看的女人……

女人：「what's up ,man?」

台灣留學男不好意思的說：「sorry……it's my bird…」

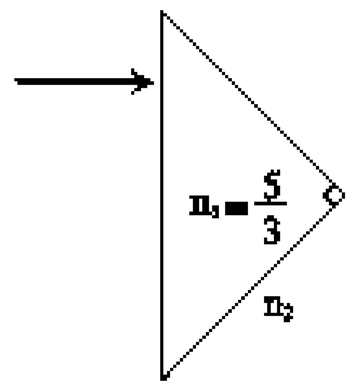
※三角形物體的臨界角

例 19.一個三稜鏡，其截面為直角三角形(如右圖)，AC 面呈水平。今將其斜面鍍以金屬使成一鏡面。稜鏡與空氣之相對折射率為 $\sqrt{3}$ 。一光線自 D 點垂直射入稜鏡($2\overline{AD}=\overline{DC}$)，則光線射出稜鏡時是:(A)在 DC 間射出，且射出光線與水平夾角 60° (B)在 DC 間射出，且射出光線與水平夾角 30° (C)在 BC 間水平射出 (D)在 BC 間射出，且射出光線與水平夾角 60° (E)在 BC 間射出，且射出光線與水平夾角 30°。【79 日大】答：(D)



類 1.在某一液體內有一折射率 n_1 爲 $\frac{5}{3}$ 之等腰直角三稜鏡。今自此液體內以一光線正射於此稜鏡(如圖所示)，若欲此光線經稜鏡全反射後循原入射方向之相反方向折返，則此液體的折射率 n_2 最大不能超過何值？

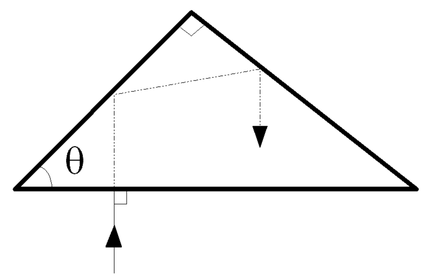
(A) $\frac{5}{\sqrt{2}}$ (B) $\frac{5}{\sqrt{3}}$ (C) $\frac{5}{2\sqrt{2}}$ (D) $\frac{5}{3\sqrt{2}}$ (E) $\frac{5}{3\sqrt{3}}$ 。【89 日大】答：(D)



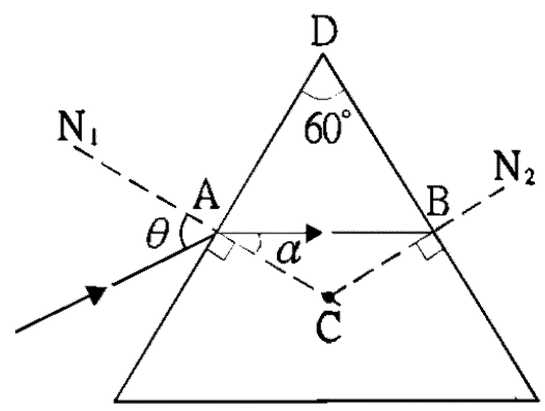
類 2.一直角三角形稜鏡(如右圖)，由折射率爲 2.0 之透明物質構成。入射光垂直於最長邊由一端射入。

(1)問 θ 角在什麼範圍內，入射光才會經兩次全反射而由稜鏡之最長邊射出。答：$30° < \theta < 60°$

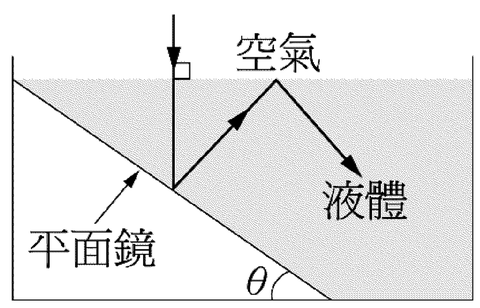
(2)若整個稜鏡浸入折射率爲 1.5 的透明液體中，則問題(1)之答案有何改變？【73.日大】答：不可能在兩面同時發生全反射



類 3.三稜鏡的主截面爲正三角形，即每角均爲 60°，稜鏡之折射率爲 $\frac{2}{3}$ ，今光線由一邊射入，另一邊射出，則最小入射角之正弦值爲何？($\sin 41.8° = \frac{2}{3}$ ，$\sin 18.2° = 0.31$)



類 4.盛某透明液體的容器內有一平面鏡，鏡面與水平面夾角 θ 的正切值爲 $\tan\theta = \frac{5}{12}$ ，令光線自空氣中垂直射向液面，如圖中所示。若平面鏡的反射光線不再折射至空氣中，則該透明液體的折射率最小值爲_____（記錄到小數點以下一位）答：1.4



吳錫玠物理

※透光面積

例 21.在厚 10cm 折射率 2 的透明介質下有一光點，其上方為折射率 4/3 之水，求

(1)潛水人在水中見光源照射之界面面積？答：$80\pi\ cm^2$

(2)光線在介質中最大傳播路程？答：$6\sqrt{5}\ cm$

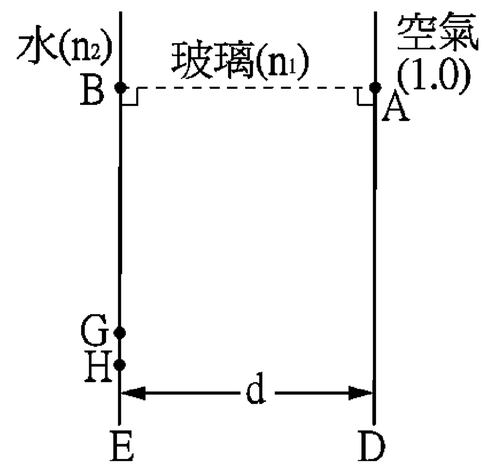
類 1.在一折射率爲$\sqrt{3}$之液面上另有一層厚度爲 0.5 厘米、折射率$\sqrt{2}$之油層，油層上面爲空氣，今在液面下 1.5 厘米處置一點光源，則在油層面上所能看到的透光面積約爲：(A)7.7 厘米^2 (B)9.8 厘米^2 (C)11.8 厘米^2 (D)13.4 厘米^2 (E)15.2 厘米^2。【69 日大】答：(A)

類 2.在折射率 1.4 的液面下某處，放置一點光源，測得其透光面積爲 a，今將液體改爲折射率 1.8 的另一種液體，點光源的位置不變，則透光面積變爲多少？(A)$\frac{3}{7}$a　(B)$\frac{7}{9}$a　(C)$\frac{1}{3}$a　(D)$\frac{1}{9}$a。答：(A)

類 3.水深$\sqrt{7}$ cm 的水槽底部，有一半徑 1.2cm 的金幣，若恰有一圓形木板浮於水面上，正好使水面上的觀察者，不管從那一個角度皆看不到金幣，則此圖板半徑至少爲 cm。(金幣與木板厚度可忽略，水的折射率 4/3)答：4.2

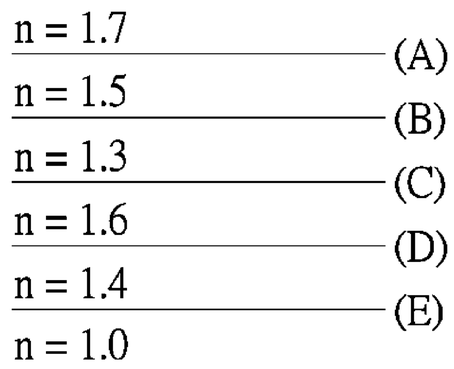
類 4.在液面下 h 深處置一點光源，由實驗得知其透出空氣中之透光面積 A 與 h^2 成正比，即 A ＝ah^2，其中 a 爲比例常數。則據此可知液體之折射率爲____。答：$\sqrt{\frac{\pi}{a}+1}$

類 5.如圖所示爲厚度 d、兩面平行之玻璃，其右側爲空氣、左側爲水。玻璃兩側表面 A、B 各置一點光源，且 A 與 B 連線垂直玻璃表面。空氣、玻璃與水之折射率分別爲 1.0、n_1、n_2（$n_1>n_2>1.0$）。今眼睛在水中自 B 點沿玻璃表面向 E 移動，通過 G 點後即無法再看到點光源 A，在 H 點以外不能見到點光源 B 自玻璃內射出，則$\overline{BG}$之距離爲_____，$\overline{BH}$之距離須大於_____。答：$\frac{n_2 d}{\sqrt{n_1^2-n_2^2}}$，$\frac{2n_2 d}{\sqrt{n_1^2-n_2^2}}$

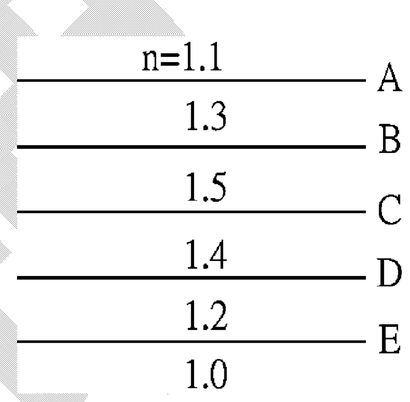


※多層界面的全反射

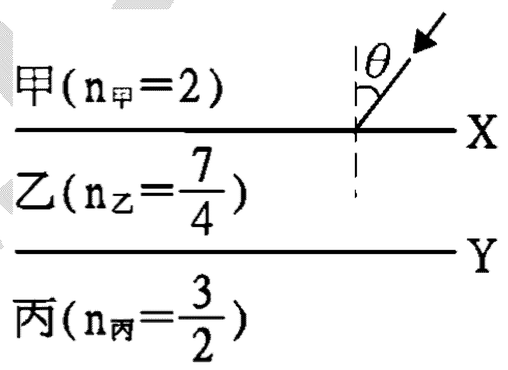
例 17.圖中各平行介質之折射率均為已知，光由最上層入射時，哪些介面可能產生全反射？答：(A)(B)(E)



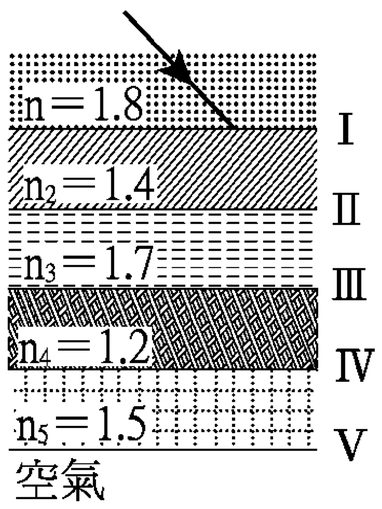
類 1.如圖中有六種折射率不同的液體，其界面分別以 A、B、C、D、E 表示，當光線以任何角度由折射率 1.1 的液內入射，則下列界面何者必不可能發生全反射(設各液皆為平行透明者)？ (A)A (B)B (C)C (D)D (E)E 。答：(A)(B)(C)(D)



類 2.甲、乙、丙三介質折射率如右圖中所示，已知甲、乙介質間界面 X 與乙、丙間界面 Y 彼此平行。一束光線由甲介質入射 X 界面，如入射角 θ 逐漸增大，則第一次全反射將在何種情況下於何界面發生？ (A) $\sin\theta > \frac{7}{8}$ 時，於 X 界面 (B) $\sin\theta > \frac{6}{7}$ 時，於 X 界面 (C) $\sin\theta > \frac{6}{7}$ 時，於 Y 界面 (D) $\sin\theta > \frac{3}{4}$ 時，於 X 界面 (E) $\sin\theta > \frac{3}{4}$ 時，於 Y 介面。答：(E)



類 3.介面互相平行之六種介質，排列如圖所示，若光線自 n_1 射入，則可能發生全反射之介面有哪些？ (A)Ⅰ (B)Ⅱ (C)Ⅲ (D)Ⅳ (E)Ⅴ。答：ACE



類 4.一位已婚男人決定和性感女秘書一起加班，好伺機一親芳澤，於是他打電話回家，編了個藉口騙老婆。

工作做完後，他邀請女秘書共進晚餐兩人不斷眉來眼去，言語間也互相挑逗，最後終於相偕到女秘書家中共赴雲雨。

狂歡作樂兩小時後，男人到浴室整理儀容準備回家，這才發現到脖子上有一大塊吻痕。男人嚇出一身冷汗，一面苦思如何瞞過老婆。

回到家門口，他剛剛轉動鑰匙把門打開，他的狗就熱切地跳上前迎接。

「啊哈！有了！」男人心生一計，假裝跌倒在地毯上，和狗狗打鬧，好不容易掙脫狗狗的熱情纏，男人抓著脖子對太太說：「親愛的，你看看我們的狗做的好事！」

「對啊，真是的，」太太一邊說，一邊把上衣掀開，「你看看牠在我的乳頭旁留下的痕跡！」

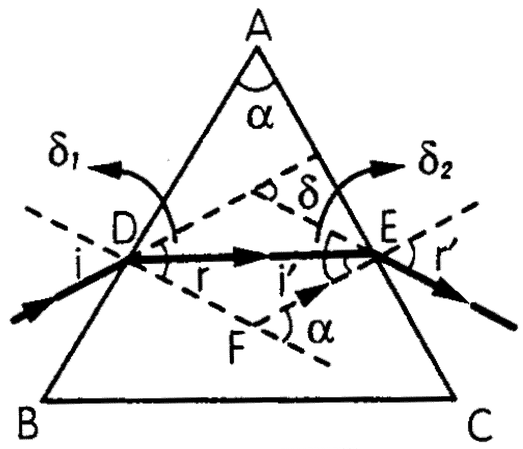
16-3 色散現象

三稜鏡的折射與偏向角：

(1)偏向角(angle of deviation)

①定義：光線出射方向與原入射方向之夾角以 δ 表之，如右圖。

②光經三稜鏡二次折射後之偏向角 $\delta = i + r' - \alpha$ ：



(2)最小偏向角(angle of minimum deviation)　：

①由實驗與理論可證明當射入與射出之光線對稱於三稜鏡之頂角 α 時，所生之偏向角最小，通常以 δ_{min} 表之。

②在射入與射出光線對稱時，

$$i = r' \Rightarrow \delta_{min} = 2i - \alpha \Rightarrow i = \frac{\delta_{min} + \alpha}{2}, r = i' \Rightarrow \alpha = r + i' \Rightarrow r = i' = \frac{\alpha}{2}$$

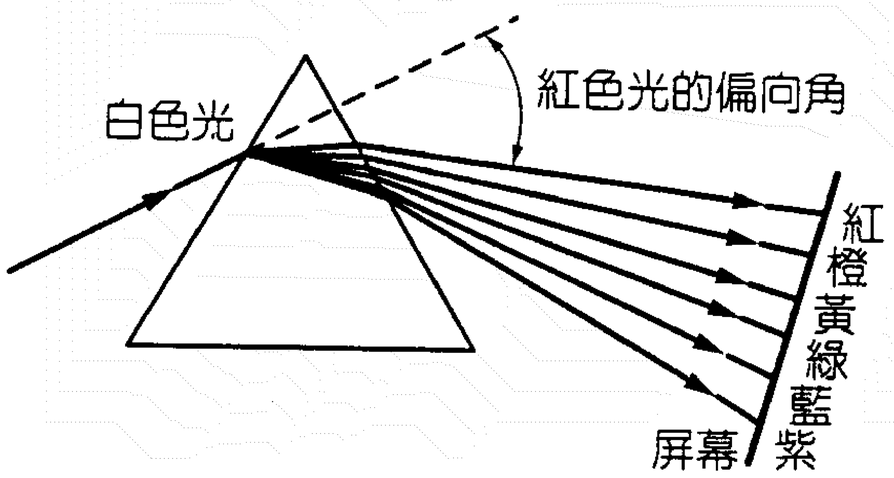
將上式帶入，則三稜鏡之折射率 $n = \dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\sin\left(\dfrac{\delta_{min} + \alpha}{2}\right)}{\sin\dfrac{\alpha}{2}}$

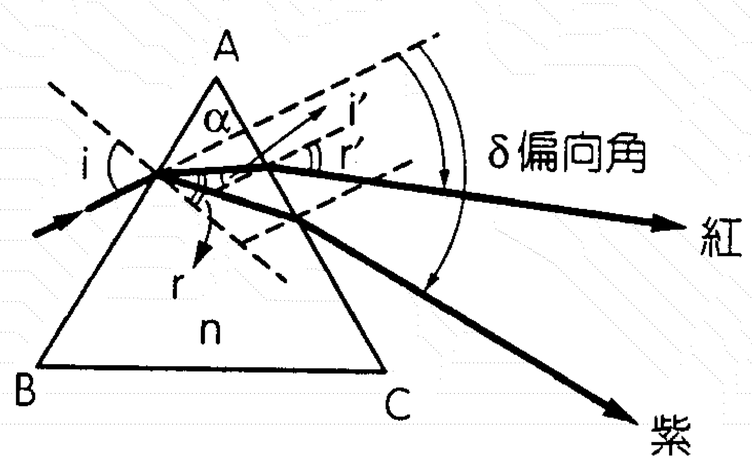
(3)影響偏向角的因素：

①入射角 i；②稜鏡角 α；③稜鏡之折射率 n。

色散現象：

(1)色散：白光經三稜鏡折射後，分散成各種色光的現象。此現象由牛頓於西元 1666 年發現，如下圖。





(2)色散的結果：光經三稜鏡二次折射後，射出光的路徑皆不相同，各色光之偏向角依次為紅<橙<黃<綠<藍<紫，以紅光最小，紫光最大。

(3)色散的原因：

①由前面之討論可知光經稜鏡所生偏向角 δ 之大小恆隨：①入射角 i；②稜鏡角 α；③稜鏡之折射率 n，三者而變。

②各色光以相同之入射角 i，進入同一稜鏡(稜鏡角 α 一定)。

③由①②可知各色光偏向角 δ 之不同乃因稜鏡對各色光之折射率不同所致。

④結論：

$\boxed{1}$由實驗結果知白光經三稜鏡折射後，各色光之偏向角 δ 為：

$\delta_{紫} > \delta_{藍} > \delta_{綠} > \delta_{黃} > \delta_{橙} > \delta_{紅}$

2 因折射率 n 愈大則偏向角愈大，故折射率 n 為：

$n_{紫} > n_{藍} > n_{綠} > n_{黃} > n_{橙} > n_{紅}$

3 各種物質對不同頻率之色光有不同之折射率，如下表。

顏　　色	紫	藍	綠	黃	橙	紅
光的波長（Å）	3610	4340	4860	5890	6560	7680
玻璃折射率 n_2	1.539	1.528	1.523	1.517	1.514	1.511

4 鑽石對各色光之折射率差異較明顯，故較易生色散現象。此亦可解釋何以形狀相同的玻璃與鑽石，而鑽石看起來卻較玻璃亮麗、光彩。

5 單色光在同一介質中之速率：

$v_{紅} > v_{橙} > v_{黃} > v_{綠} > v_{藍} > v_{紫}$（在真空中皆為 c）

6 單色光由同種介質射向空氣時，臨界角 $\sin\theta_C = \dfrac{1}{n}$

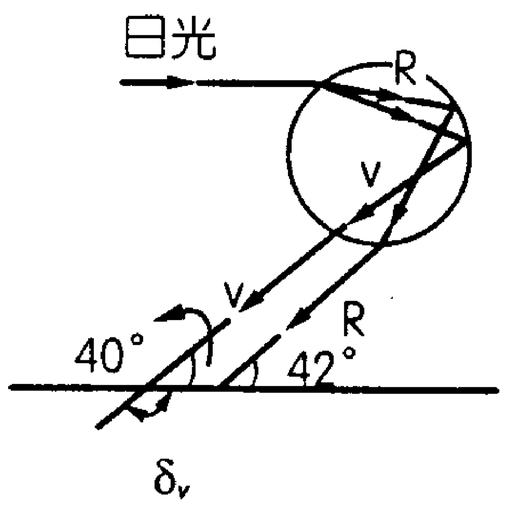
$\theta_C(紅) > \theta_C(橙) > \theta_C(黃) > \theta_C(綠) > \theta_C(藍) > \theta_C(紫)$

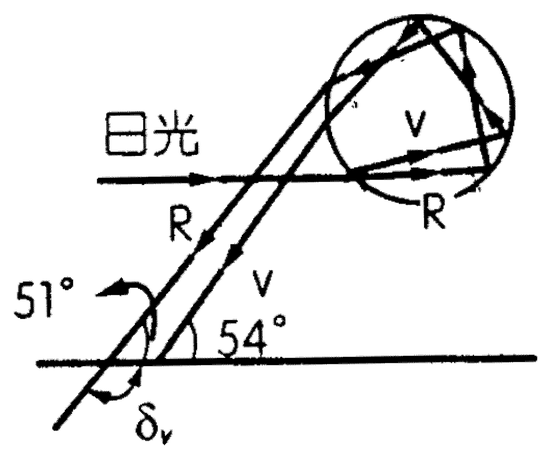
7 自空氣中垂直下視水中同深度之各單色點光源時，視深 $h' = \dfrac{h}{n}$

㊟單色光乃經三稜鏡折射後不生色散之光，並非單一頻率。

自然界中色散的實例

(1)虹：平行日光在懸浮於空中之小水珠中經一次反射、二次折射所生之色散現象;折射出之光線其偏向角之補角在 40°（紫)~ 42°（紅)之間，故紫光在內，紅光在外，如圖左。





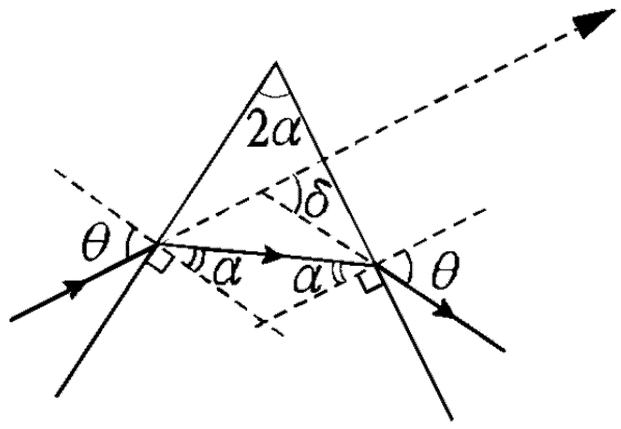
(2)霓：平行日光在懸浮於空中之小水珠中經二次反射、二次折射所生之色散現象，折射出之光線其偏向角之補角在 51(紅)° ~ 54°（紫)之間，故紅光在內，紫光在外，如圖右。

㊟1. 虹、霓同時出現時，虹在內，霓在外;虹較深，霓較淡。
2. 所見到的各種色光並非由同一水珠色散的結果。
3. 同一時刻，每人所見到的虹、霓並非同一條，但仰角相同。
4. 背向陽光才可能見到虹、霓，中午由高空向下俯視可能見到整圓之虹、霓。
5. 虹、霓中心點位於觀察者影子的方向，其位置隨太陽位置升高而降低而愈短，隨觀察者位置升高而上升而愈長。

吳錫玠物理

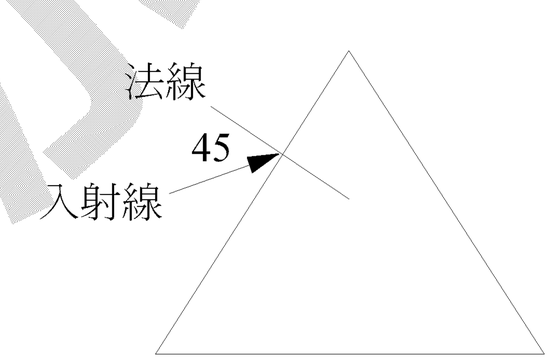
※三稜鏡的偏向角

例 23.有一等角三稜鏡，其折射率為$\sqrt{2}$，求其 (1)最小偏向角為若干？(2)此時入射角？答：30°；45°

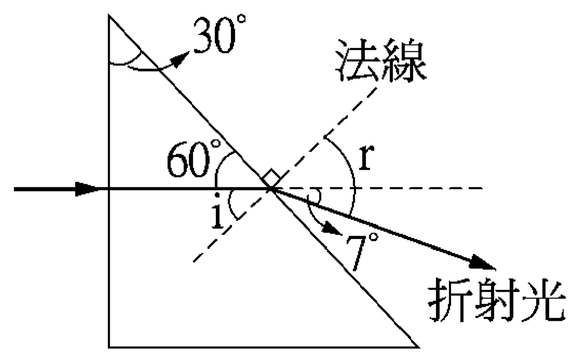


類 1.若已知三稜鏡頂角 74°，最小偏向角 46°，則此三稜鏡的折射率爲多少？ (A)$\sqrt{3}$ (B)$\frac{5\sqrt{3}}{6}$ (C)$\sqrt{2}$ (D)$\sqrt{\frac{3}{2}}$。答：B

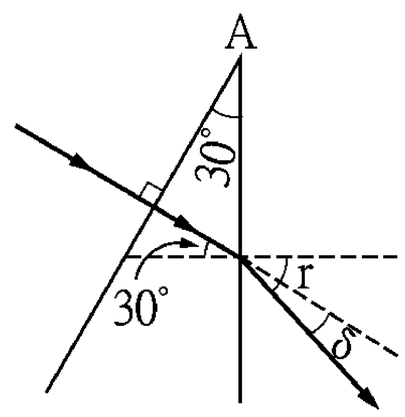
類 2.將折射率爲$\sqrt{2}$、主截面爲正三角形的三稜鏡置於空氣中。設一入射光與入射面之法線成 45°角射入此稜鏡(如右圖)，則射出稜鏡光線之方向對原入射方向之偏向角爲：(A) 0° (B) 30° (C) 45° (D) 60° (E) 90° 。【78 日大】答：(B)



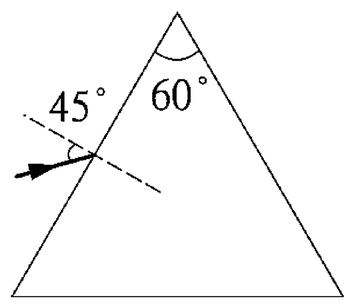
類 3.如圖所示，一束波長爲 6000Å 之單色光，由空氣中垂直三稜鏡的 AB 面入射，而由 AC 面射出空氣，假若射出光線與入射光線之夾角爲 7° ，則
(1)三稜鏡對此單色光的折射率爲何？
(2)單色光在稜鏡中的波長爲何？
(3)傳播速率爲何？答：(1)n＝1.2；(2)λ＝5000 (Å)；(3)v＝2.5×10^{8}(m/s)



類 4.折射率爲$\sqrt{3}$之三稜鏡，其頂角爲 30°，光線自一側面垂直射入，則
(1)出射線之偏向角爲何？
(2)若把該三稜鏡置入水中，則偏向角有何變化？答：(1) 30° (2)偏向角必變小。



類 5.一單色光以 45° 的入射角入射於頂角爲 60° 的三稜鏡，如右圖所示，若光可以順利進出相鄰兩面，則最小偏向角爲_____度。答：30°

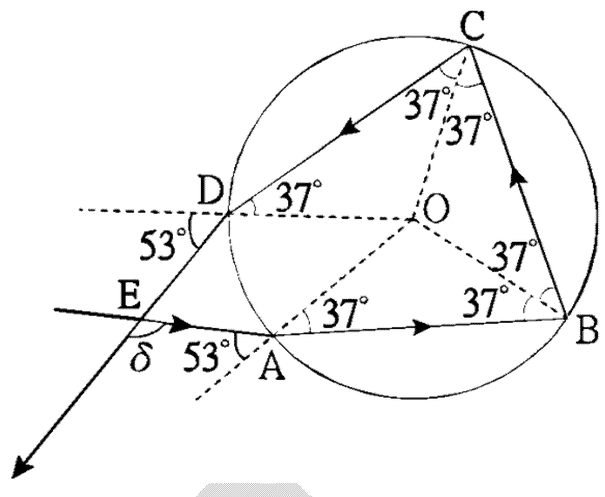


類 6.一光線經鏡頂角爲 90° 的三稜鏡一邊射入，入射角爲 53°，從他邊射出的出射角（射出光線與法線的夾角）爲 60°，則此三稜鏡的折射率爲： (A)1.05 (B)1.18 (C)1.29 (D)1.54 (E)1.67。答：B

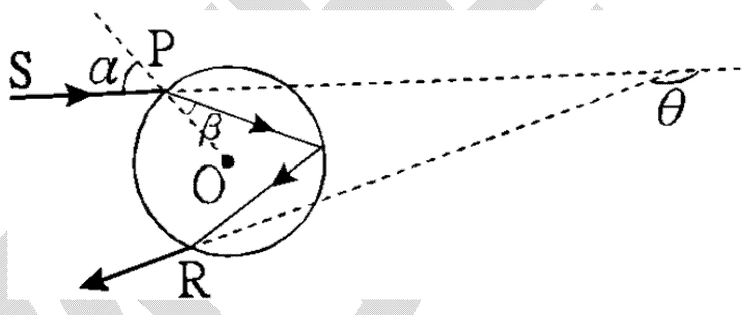
吳錫玠物理

※水滴的偏向角

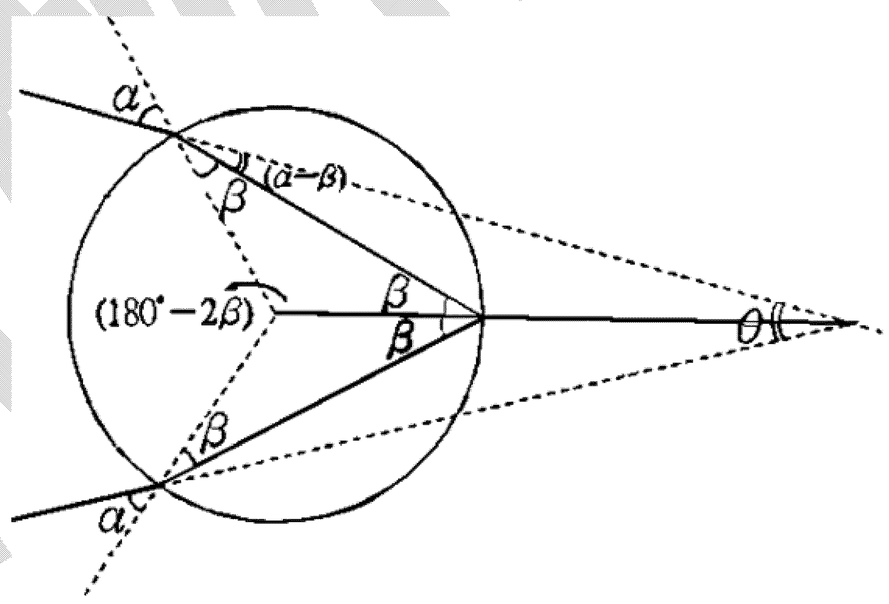
例 24.一光線以 $53°$ 之入射角射入折射率為 $\frac{4}{3}$ 的透明水滴內，求經兩次反射後再折射而出的光線其偏向角為若干？答：$116°$



類 1.右圖為一光線 S 經由 P 點射入水珠由 R 點射出之光路圖，則偏向角 θ 與 α 、 β 之關係為 (A) $\pi-4\beta+2\alpha$ (B) $\pi-2\beta+4\alpha$ (C) $\pi-2\beta-\alpha$ (D) $\pi-\beta-2\alpha$ (E) $\pi-2\beta-2\alpha$ 。答：(A)



類 2.右圖為一與地面平行的光線 S 經由 P 點射入水珠由 R 點射出之光路圖，則出射光線與地面的夾角為？答：$4\beta-2\alpha$



類 3.有兩位畫家，一男一女，各開間畫室於對面，而女畫家的畫室每天生意奇佳，特別的是女畫家都只畫蝴蝶，且蝴蝶的大小都一樣，好像是同一個模子印出的，而男畫家這邊的畫卻沒人理采，

因此男畫家決定一探究竟.....

這天男畫家趁女畫家打烊後偷偷跟蹤女畫家.....

女畫家回家後就進浴室準備洗澡，但沒想到，女畫家竟然在浴缸內放滿了墨汁，然後脫去衣物，接著.....屁股在浴缸裡沾一下後便往畫紙上一坐，然後再用毛筆畫上兩畫，如此蝴蝶就畫好了；男畫家一看心想：哈~原來如此. 回去後就依樣畫，結果，隔天就把畫給掛上，並且馬上來了位客人....

但 ...客人看了後卻不願買，男畫家就問其原因，沒想到，客人說話了.....

客人說：我要買的是蝴蝶，不是 " 蜻蜓 ".....

※色散⇨折射率

例 25.色散產生的原因是光由甲介質進入乙介質時：(A)其相對折射率為光波波長的函數 (B)光在其中一介質的速率為波長的函數 (C)光的頻率發生變化 (D)其波長與頻率的比值不變 (E)其速率與頻率的比值不變。【72 日大】答：(A)(B)

類 1.下列有關光的性質中正確的有 (A)光在真空中傳播的速率與波長無關 (B)頻率不同，強度一樣的光射在同一種物質上可以打出一樣多的電子 (C)在玻璃中紅光比藍光傳播的慢 (D)光從空氣射向水面不會發生全反射 (E)光透過透明玻璃時完全沒有反射。答：(A)(D)

類 2.陽光由空氣中斜向射入水內，在水內下列敘述中何者正確？ (A)紅光與藍光波長均變長 (B)紅光與藍光頻率均變高 (C)在水中的波長與在空氣中的波長之比，紅、藍光兩者完全相同(D)紅光的速率變成比藍光的速率快。答：(D)

類 3.三稜鏡可以分光的原理主要是由於 (A)不同色光在三稜鏡中所經之路程長度不同 (B)不同色光在三稜鏡中所行走之速率各不相同 (C)三稜鏡有干涉現象 (D)三稜鏡有反射和折射現象同時產生 (E)三稜鏡呈多邊之緣故 (F)三稜鏡繞射及折射同時產生。答：(A)(B)

類 4.三稜鏡可以分光的原理，下列哪二項敘述可以說明？ (甲)不同的色光對三稜鏡有不同的折射率 (乙)不同的色光在三稜鏡中行走的速率不相同 (丙)光在三稜鏡中有全反射現象 (丁)三稜鏡的折射率比空氣小 (A)甲乙 (B)甲丙 (C)乙丙 (D)丙丁 (E)乙丁答：(A)

類 5.下列有關「虹與霓」的敘述，何者正確？ (A)這是屬於光的色散現象 (B)這是因爲各色光在水滴中的速率不同所致 (C)這是因爲各色光在水滴中的折射率不同所致 (D)虹的成因是光在水滴內進行一次全反射 (E)霓的成因是光在水滴內進行二次全反射。答：ABC

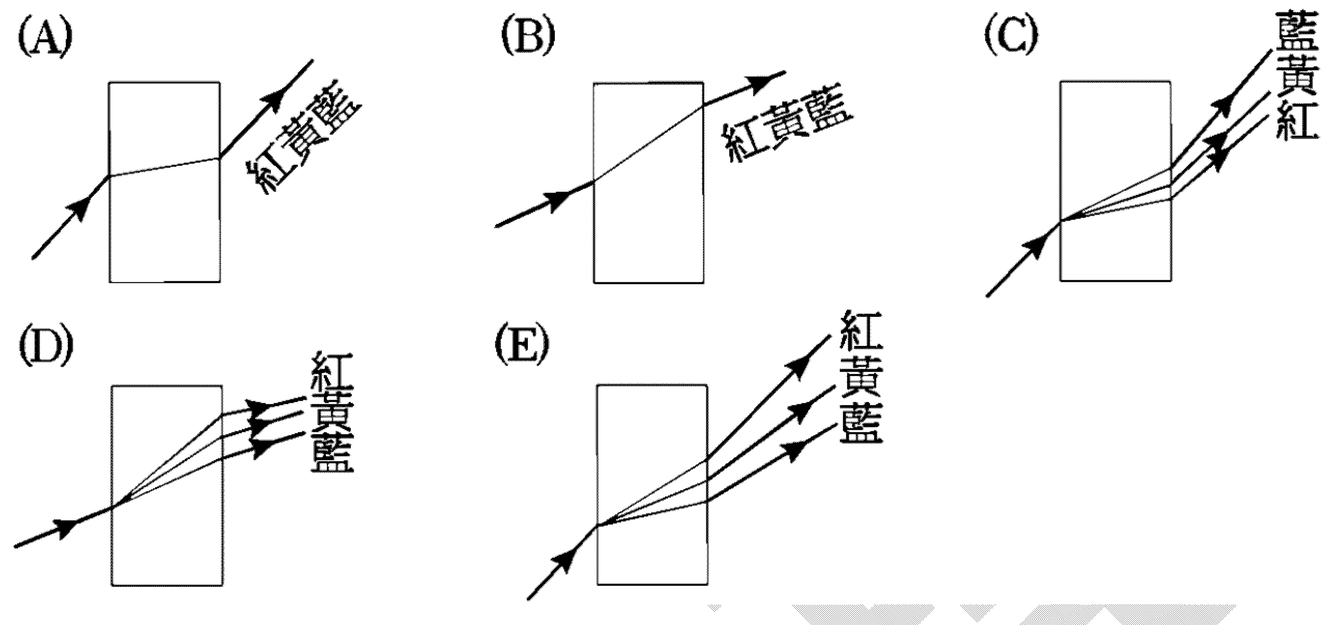
類 6.下列關於光的性質中正確的有 (A)光在真空中傳播之速率與波長無關 (B)在稜鏡中，頻率較大色光之折射率較小 (C)在玻璃中紅光比藍光傳播得慢 (D)光從空氣射向水面不會發生全反射 (E)光透過透明玻璃時完全沒有反射。答：AD

類 7.將紫光和紅光加以比較 (A)紫光頻率較低 (B)紫光波長較短 (C)玻璃對紫光的折射率較小 (D)紫光在玻璃中之波速最慢。【72 夜大】答：(B)(D)

※色散⇨折射率

例 26.已知三種色光對玻璃之折射率如表一，現有一道白光射入均勻厚度之長方形玻璃塊，以下為紅黃藍色光的行進路徑，哪一個圖是可能的？【86 大考中心題庫】答：(E)

色光	紅	黃	藍
對玻璃的折射率	1.513	1.517	1.528



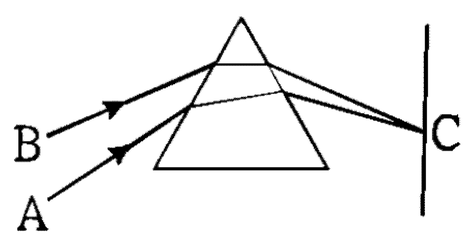
例 27.雨過天晴，在與太陽位置相對的天空處，有時會出現虹及霓。下列有關虹及霓的敘述何者正確？ (A)虹及霓都是日光經過水珠所產生的色散現象 (B)霓的光度較弱，因為霓的形成過程中，光在水珠內多經歷一次折射及一次反射 (C)虹的色彩中，紅色的仰角比紫色的仰角大 (D)霓的色彩中，紫色的仰角比紅色的仰角小 (E)水珠對紫光的折射率比對紅光的折射率大。【81 日大】答：(A)(C)(E)

類 1.太陽光照在水滴上產生彩虹是由於光在水滴中的 (A)反射 (B)反射及折射 (C)反射及干涉 (D)反射及繞射。【71.日大】答：(B)

類 2.有關於虹與霓的敘述，下列何者正確？(A)光在雨滴中兩次折射與一次反射，經色散後形成虹 (B)虹的顏色較霓濃 (C)有虹一定有霓 (D)虹在低處，霓在高處 (E)每個人所見虹的位置不同。答：(A)(B)(D)(E)

類 3.在水中同一深處排列五種色球。由水面上方鉛直俯視下去，覺得置於最淺處者為 (A)綠 (B)紫 (C)藍 (D)黃 (E)紅　球。【64.日大】答：(B)

類 4.如圖示，A、B 兩道單色光，經玻璃三稜鏡折射後，於 C 會合。已知其中一道光為藍光，而 A 光進出三稜鏡所產 B 生之偏折大於 B 光，則 (A)A 為藍光，B 為黃光 (B)A 為黃光，B 為藍光 (C)A 為藍光，B 為紅光 (D)A 為紅光，B 為藍光。答：(A)(C)



16-4 薄透鏡

一、透鏡的意義：

利用折射作用以達到控制光線與引導光線目的之儀器。

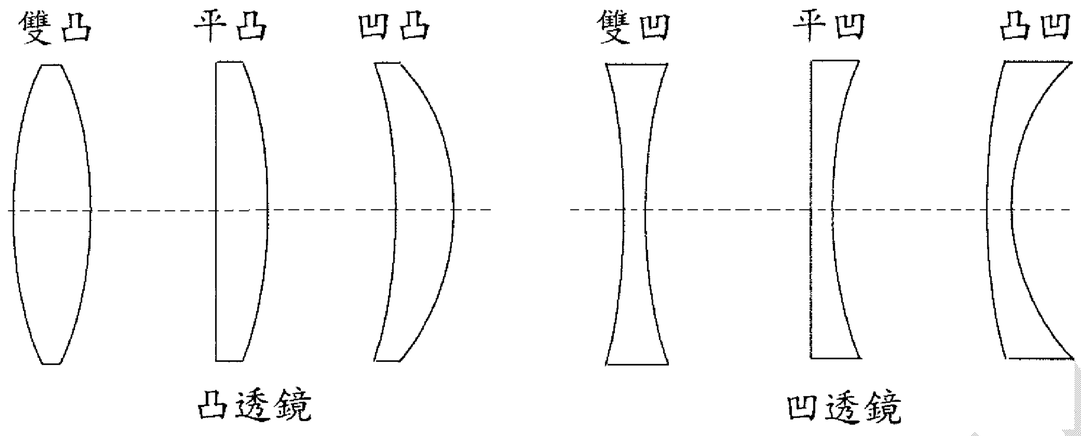
二、透鏡的種類：

1.柱面透鏡：由兩柱面相交而成，能將平行光線折射後，會聚成一直線。

2.球面透鏡：由兩球面相交而成，能將平行光線折射後，會聚成一點。

(1)凸透鏡**(Convex lens)**～～中心部分之厚度比周緣為厚。

(2)凹透鏡**(Concave lens)**～～中心部分之厚度較周緣為薄。



三、透鏡各部份名稱：

主軸：聯結兩球面曲率中心的連線。

主焦點 **F**～～平行於透鏡軸的入射光柱經透鏡折射後焦聚或延長交於軸上的一點。

光心**(**或鏡心**)**：光線透過之後不生偏向之點**(**如下圖之 **O** 點**)**。

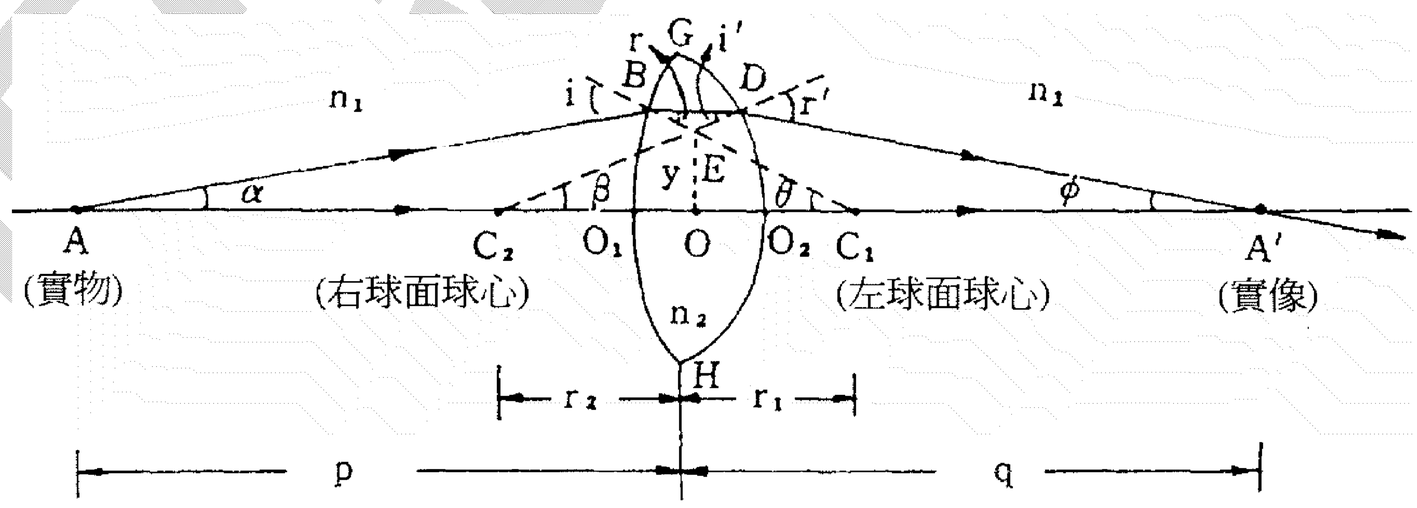
焦點面：當一組平行光線射入透鏡，並不與主軸平行時，光經透鏡折射，亦會聚於一點，此等交會點所組成之面，稱為焦點面。※焦點面與主軸垂直，其與主軸之交點即為主焦點。

孔徑：透鏡面之直徑**(**如上圖中之 **GH)**。

曲率半徑 **r**：透鏡面至球心 **C** 的距離。

※透鏡兩面的曲率半徑不一定相等。※薄透鏡兩面的曲率半徑視為相等。

焦距 **f**：從透鏡的中心到主焦點的距離。※如果透鏡的厚度遠小於焦距時**(**薄透鏡**)**，則不管光線是從透鏡的那一面入射，其焦距常是相等的。



四、薄透鏡的成像公式：

設薄透鏡之兩球面的曲率半徑分別為 $\mathbf{r_1}$ 與 $\mathbf{r_2}$，折射率為 $\mathbf{n_2}$，而透鏡周圍介質之折射率為 $\mathbf{n_1}$，則一物體置於 $\mathbf{n_1}$ 介質中經透鏡折射成像，可視為由兩個球界面折射成像之組合。

1.造鏡者公式**(Lens maker's formula)**：$\dfrac{1}{f}=(n_{12}-1)(\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2})$

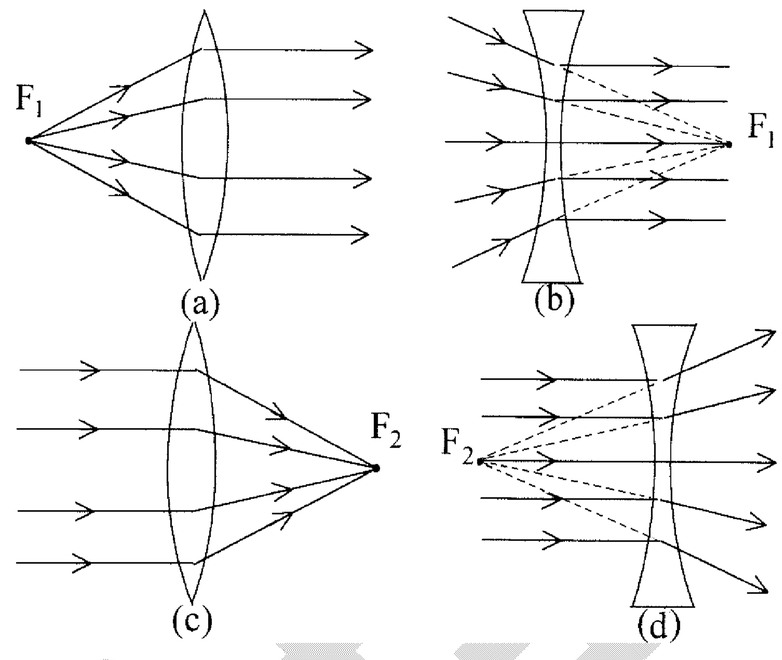
註：**(1)**計算所得 **f** 為正，則為能將平行光線會聚的會聚透鏡；若 **f** 為負，則為能將

平行光線發散的發散透鏡。

(2)對凸透鏡而言：$\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}>0$ 且 對凹透鏡而言：$\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}<0$

當透鏡$(n_2>1)$周圍介質為空氣$(n_1=1)$時，則因 $n_{12}>1$，

故凸透鏡的焦距 $f>0$ 為會聚透鏡；凹透鏡的焦距 $f<0$ 為發散透鏡。



2.薄透鏡的焦距 **f**～～可由下述二法之一定義之：

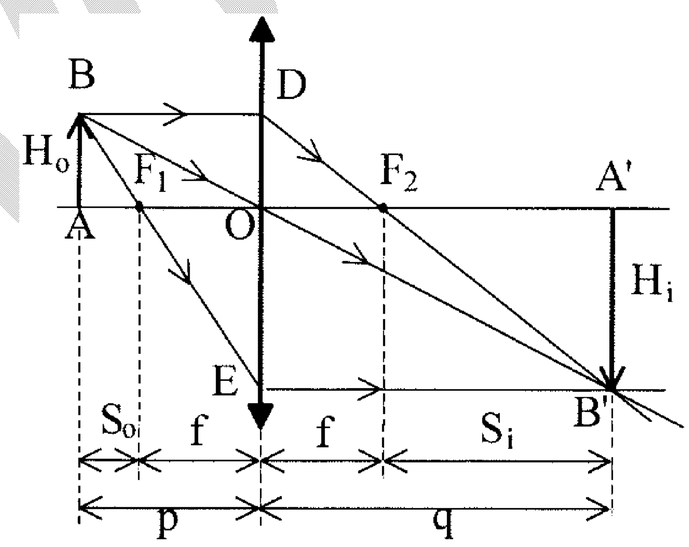
(1)f 為像距無限遠時的物距，即 $q\to\infty$ 時，$p=f$。此時物體在主軸上的位置，稱為第一焦點 F_1(亦稱物焦點)，見圖**(a)**及**(b)**。

(2)f 為物距無限大時的像距，即 $p\to\infty$ 時，$q=f$。此時像在主軸上的位置稱為第二焦點 F_2(亦稱像焦點)，見圖**(c)**及圖**(d)**。

3.高斯型的透鏡成像公式：$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$　(推導過程僅供參考)

※推導：右圖所示，令物體 **A** 至物焦 點 F_1 之距離為 $AF_1=S_o$

且像 **A'**至像焦點 **F2** 之距離為 $A'F_2=S_i$



$$\because \frac{H_i}{H_o}=\frac{f}{S_o}\ \&\ \frac{H_i}{H_o}=\frac{S_i}{f}$$

$$\therefore \frac{H_i}{H_o}=\frac{f}{S_o}=\frac{S_i}{f}=\frac{S_i+f}{f+S_o}=\frac{q}{p}$$

又 $S_oS_i=f^2$ (此式稱為牛頓式)

$$\Rightarrow (p-f)(q-f)=f^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

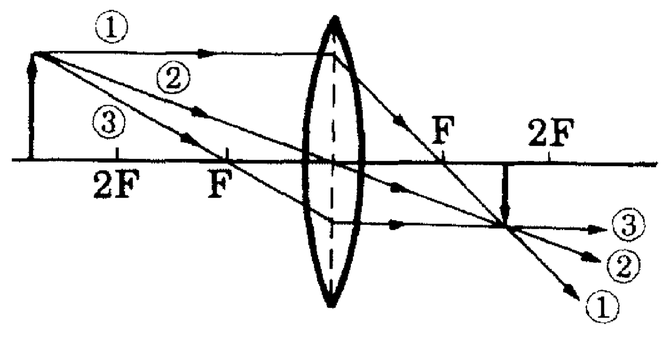
橫向放大率：$m=\frac{像長H_i}{物長H_o}=\frac{像距q}{物距p}$

※推導：在右上圖中△**ABO**～△**A'B'O**$\Rightarrow \frac{H_i}{H_o}=\frac{q}{p}$　∴橫向放大率 $m=\frac{像長H_i}{物長H_o}=\frac{q}{p}$

※作圖法

一、成像作圖～～由以下三條光線任選兩條便可決定像的位置。

1.凸透鏡：如圖所示



(1)平行主軸入射光線，經透鏡折射後必通過異側焦點(像焦點)。

(2)通過光心之入射線，經透鏡折射後其方向不變(即側位移＝**0**)。

(3)通過焦點(物焦點)之入射線，經透鏡折射後，其折射線必平行主軸。

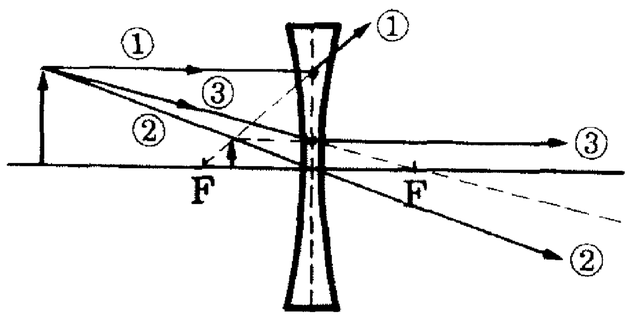
吳錫玠

2.凹透鏡：如圖所示

(1)平行主軸入射光線，經折射後，似由同側虛焦點**(**即像焦點**)**射出。

(2)通過光心的入射光線，經透鏡後，其方向不變。

(3)射向鏡後焦點**(**物焦點**)**的入射光線，經折射後必平行主軸。

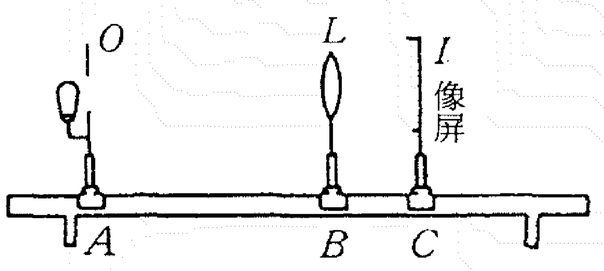


註：利用薄透鏡成像，通常以↕表薄凸透鏡，而以表薄凹透鏡。

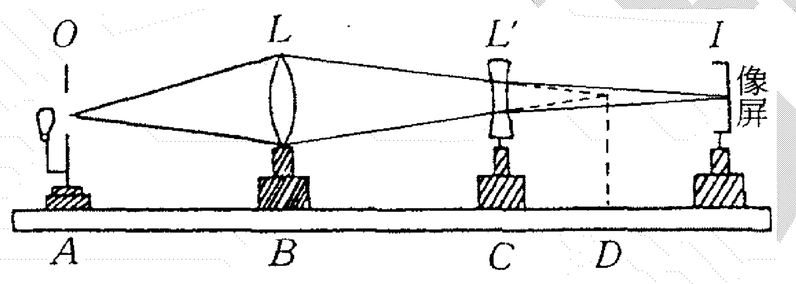
二、測定成像的位置：

1.凸透鏡的成像：裝置如圖**(**一**)**，利用紙屏成實像及視差法測虛像位置。

2.凹透鏡的成像：可直接使用視差法測虛像位置。或裝置如圖**(**二**)**，利用虛物成實像之二次成像法以紙屏承接實像。



(一) 凸透鏡成像裝置圖



(二) 凹透鏡成像裝置圖
(虛物成實法)

三、共軛成像：

凸透鏡與凹面鏡所成實像位置與物互換，其成像位置亦互換。

其放大率互為倒數。**(**令 **p'**＝**q** 且 **q'**＝**p**⇒ $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{q'}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$**)**

共軛點：實物與實像可以互換之兩點。

一堆當兵的人沒事閒聊比床上的持久度**…**

有個老兵：「我可以持續 **15** 分鐘。」

另一老兵：「那算啥？我半個小時咧！」

還有老兵：「小 **Case** 啦！這邊一個鐘頭的啦！」

這時，三個老兵看旁邊有個新兵沒說話，就問：

「ㄟ，新來的，你哩？你可以『棟』(持續) 多久？」

「六分鐘**…**」新兵說

老兵嘲笑著：

「六分鐘？哈哈哈**…**　你嘛咧笑死人了～」

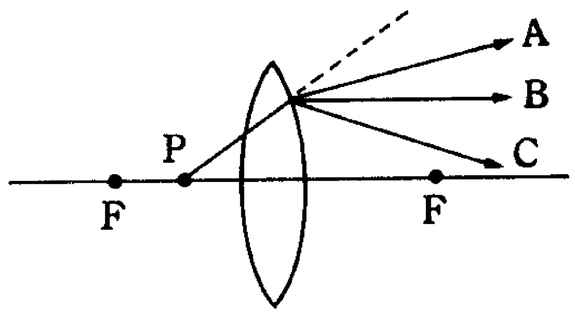
「對啊，六分鐘**…**」新兵又說了

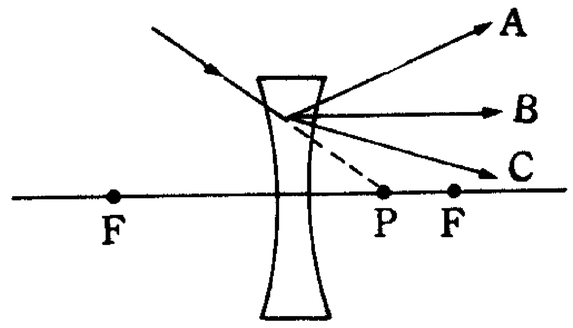
「先是噴**…**　」

吳錫玠

※透鏡的折射

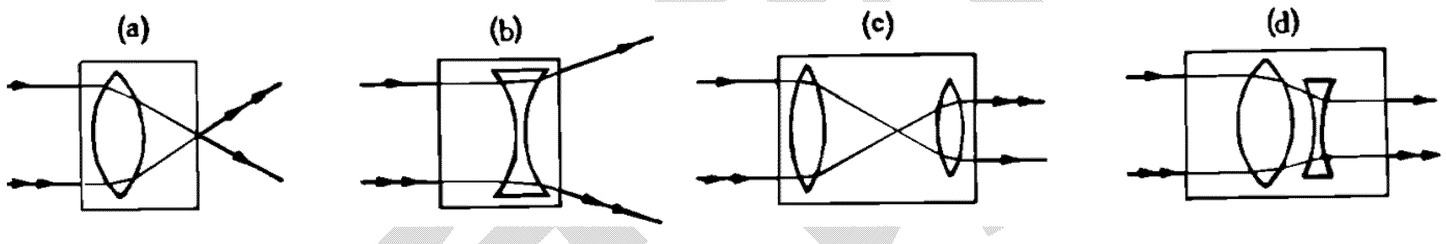
例 28..下左圖中 P 點發出的光經凸透鏡折射後折射光線之路徑應為_____，下右圖中入射光延長線通過凹透鏡後焦點內某點，折射光線之路徑應為_____。(填 A、B 或 C) 答：A；C



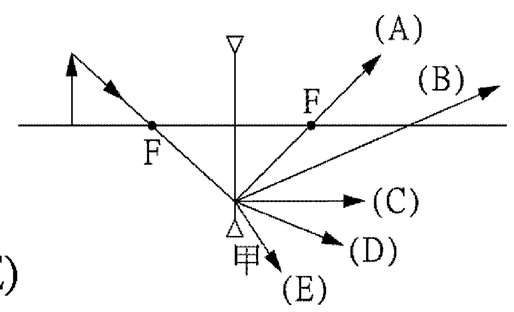


類 1.下圖中，單色光之平行光束自左端進入各箱，試以圖表示各箱中應有何種裝置，始可產生各圖所示之結果。(圖中射出光束之單箭頭與雙箭頭表示入射光束之對應邊緣)

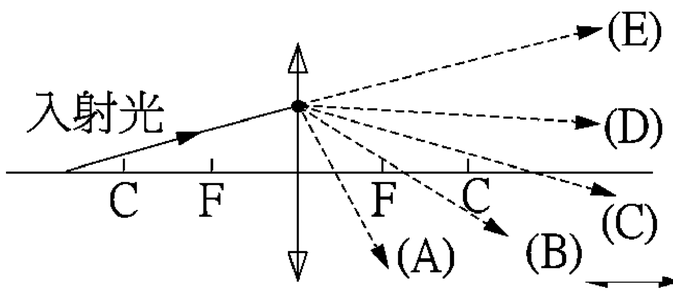
答：



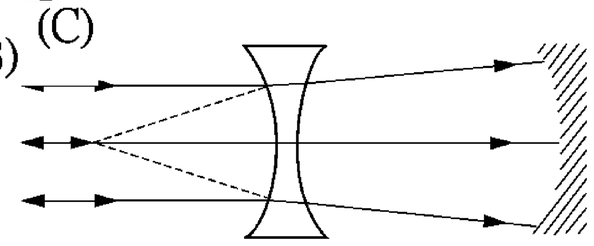
類 2.如圖 F 為焦點，凹透鏡置於空氣中，通過左焦點的入射光經透鏡折射後之行進路線為哪一條？答：E



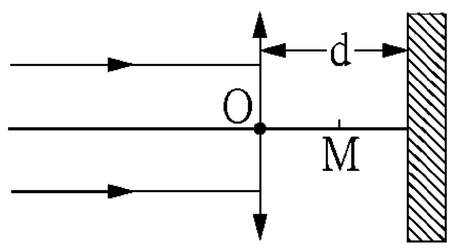
類 3.如圖，入射光經凸透鏡折射後所走的路徑為哪一條？答：B



類 4.如圖，焦距分別為 F 與 f 的凹透鏡和凹面鏡，同軸對立相距 L，今以平行光自凹透鏡前射入，最後又沿原路徑返回凹透鏡，往反方向以平行光離開，則：(A)2F＋f＝L (B)2f－F＝L (C)f＋F＝L (D)F－f＝L (E)2（E＋f）＝L。答：B



類 5.平面鏡和凸透鏡相距為 d，且鏡面和凸透鏡主光軸垂直，如圖所示。如有一束平行於主光軸的光線射向透鏡，經平面鏡反射後會聚於兩鏡中點 M，則這個凸透鏡焦距為_____d。答：$\frac{3}{2}$



※透鏡的成像性質

例 29.一物體位於凸透鏡一側，物距為 p，透鏡焦距為 f，像距為 q。下列敘述何者正確？ (A)把一點光源放在焦點，則其光線經折射後會聚於透鏡另一側的焦點 (B)若 p=2q，則放大率為 2 (C)若 p=2f，則物與像大小相同 (D)若 p>2f，則 q<p (E)若 p>3f，則在透鏡另一側產生一倒立縮小之實像。答：(C)(D)(E)

類 1.有關單一面鏡或單一透鏡之成像，下列何者爲正確？ (A)物體於平面鏡前，不論物距爲何，所成之像均爲虛像 (B)物體於凹面鏡前，不論物距爲何，所成之像均爲實像 (C)物體於凸面鏡前，不論物距爲何，所成之像均爲虛像 (D)物體位於凹透鏡一側，不論物距爲何，所求之像均爲虛像 (E)物體位於凸透鏡一側，不論物距爲何，所成之像均爲實像。答：(A)(C)(D)

類 2.下列有關透鏡的敘述，何者正確？ (A)以不同色光對同一透鏡折射後所得之焦點位置相同 (B)愈偏離主軸的平行入射光線，經凸透鏡折射後，與主軸的交點愈遠離透鏡 (C)透鏡材質的折射率會影響透鏡焦距的長短 (D)透鏡兩面的曲率半徑會影響透鏡焦距的長短 (E)同一透鏡放在空氣中和放在水中時，焦距不變。答：CD

類 3.一凸透鏡之焦距爲 24cm，將一物體置於透鏡前 29cm 處，則所成之像爲 (A)正立虛像 (B)倒立虛像 (C)正立實像 (D)倒立實像 (E)不能成像。答：(D)

類 4.有一薄凸透鏡焦距爲 f，實物置於鏡前 2f 處，則像生於： (A)透鏡後 2f 處 (B)透鏡後 f 與 2f 之間 (C)透鏡後 2f 之外 (D)透鏡前 2f 處 (E)以上皆非。答：A

類 5.焦距爲 f 之凸透鏡，欲得倒立實像，且放大率爲 1，則物體須置於 (A)離透鏡 2f 處 (B)離透鏡 f 處 (C)離透鏡 f/2 處 (D)離透鏡 f/4 處 (E)離透鏡無窮遠處。答：(A)

類 6.一物體置於透鏡前，而在另一側成實像。若將透鏡上半部遮住，則 (A)僅成物體下一半的像 (B)僅成物體上一半的像 (C)不能成像 (D)仍成全部的實像，但亮度減低 (E)仍成全部的實像，亮度和不遮住時完全一樣。答：(D)

類 7.凸透鏡前一物在鏡後屏幕上成一實像，將凸透鏡主軸下方半部邀去，則 (A)不成像 (B)成半身像 (C)仍成全部實像 (D)所成像亮度減小 (E)所成像大小與原來相同。答:(C)(D)(E)

※透鏡的成像性質

例 30.下列有關「凸透鏡」的敘述，何者正確？ (A)單一凸透鏡成像時，物體愈靠近焦點，其像愈大 (B)物體沿凸透鏡主軸移向透鏡時，像卻遠離透鏡 (C)物體置於凸透鏡主軸上，當透鏡焦距變大時，其像亦變大 (D)物體置於凸透鏡主軸上，當透鏡焦距變大時，其像必變小 (E)將凸透鏡遮去一半的面積，則所得之像仍然完整。答：AE

類 1.設凸透鏡位置爲 O，焦距爲 f，在主軸上之一物體由無窮遠處慢慢接近此透鏡之焦點，則物體實像位置的移動情形爲： (A)O→f→∞ (B)∞→O (C)f→2f→∞ (D)f→2f→f (E)∞→f。答：(C)

類 2.一物在凸透鏡之主軸上，從鏡面向外經過焦點等速移動，問其像如何運動？答：
(1)物由鏡面移近焦點，則虛像從鏡面移到無窮遠，故像爲不等速度運動且比物速度快。
(2)物由焦點向外移動 f，則實像自無窮速向鏡面接近到 2f，故像也不爲等速度運動，而且速度比物快。(f 爲焦距大小)
(3)物距鏡 2f 向外至無窮遠移動，則像從 2f 移到焦點，故像仍不爲等速度運動，但速度比物慢。

類 3.將一根蠟燭置於凸透鏡的主軸上，由 2 倍焦距外開始移向凸透鏡，則下列敘述何者正確？ (A)在通過焦點前，像是逐漸變大的 (B)在通過焦點前，像的移動速度是大於物的移動速度 (C)在通過焦點前，像是一直倒立的 (D)在移動過程中，物像的最短距離爲 4 倍焦距 (E)通過焦點後，像是逐漸變小的。答：全

類 4.凹透鏡前一物作等速率運動，接近鏡面，像的變化：(A)逐漸變大 (B)變速率接近鏡面 (C)像的平均速率小於物體速率 (D)像恆不大於物的大小 (E)像的速率逐漸增加。答：(A)(B)(C)(D)(E)

類 5.下列有關「凹透鏡」成像的敘述，何者正確？ (A)單一凹透鏡成像時，物體愈靠近焦點，其像愈大 (B)物體沿凹透鏡主軸移向透鏡時，像亦移向透鏡 (C)承(B)，此時像亦變大 (D)承(B)，此時放大率小於 1 (E)將凹透鏡遮去一半的面積，則所得之像仍然完整。答：BCDE

類 6.有關「凹透鏡」與「凸透鏡」共同的成像性質，下列敘述何者正確？ (A)物速恆大於像速 (B)像的運動方向恆與物體同向 (C)物距不變，當焦距變大時，虛像皆變大 (D)在焦距內皆沒有像的存在 (E)所得的虛像皆與原物上下不顛倒、左右相反。答：BE

※透鏡成像公式⇨凸透鏡

例 31.將一支 6cm 長的筆平放在焦距為 12cm 的凸透鏡之主軸上。其筆尖指向透鏡而筆底在離透鏡 24cm 處，所得之像為 (A)長 6cm，筆尖指向透鏡 (B)長 6cm，筆尖背向透鏡 (C)長 12cm，筆尖指向透鏡 (D)長 12cm，筆尖背向透鏡 (E)長 24cm，筆尖指向透鏡。答：(D)

例 32.自液面上鉛直看液中深度為 d 的物體時，該物似在深度為 $\frac{d}{n}$ 之處(n 為液體的折射率)。今在水面上 12cm 高處置一透鏡，觀察水(n=4/3)中 24cm 深處一光點時，覺得該點似乎恰在原位置。此透鏡的種類為 (A)焦距 180cm 的凹鏡 (B)焦距 164cm 的凹鏡 (C)焦距 180cm 的凸鏡 (D)焦距 16.4cm 的凸鏡。答：(C)

類 1.一小物體置於焦距爲 20 cm 之凸透鏡主軸上，若物體和透鏡之距離爲：(1)40 cm；(2)30 cm；(3)15 cm，求像的位置和性質。答：(1)像在鏡後 40cm 處爲大小相等之倒立實像 (2)像在鏡後 60cm 處爲放大 2 倍之倒立實像 (3)像在鏡前 60cm 處爲放大 4 倍之正立虛像

類 2.一透鏡之焦距大小爲 15cm，若於鏡前之一光點經折射後成像於鏡後，且物與像間的距離爲 80cm，則下列敘述何者可能爲真？ (A)此透鏡爲一會聚透鏡 (B)物距爲 20cm (C)像距爲 20cm (D)放大率爲 3 (E)放大率爲 1/3。答：(A)(B)(C)(D)(E)

類 3.一光源距凸透鏡 24(cm)，在離凸透鏡 24(cm)的屏上得到和光源一樣大小的像，則這凸透鏡的焦距爲_____cm。答：12

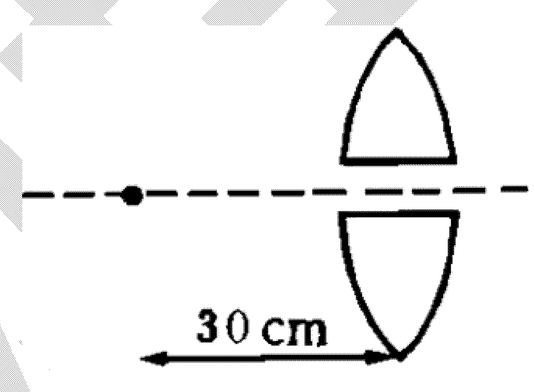
類 4.一小物體直立在焦距爲 24.0cm 的凸透鏡的主軸上，若欲經由透鏡折射，形成 3 倍大的像，則物體應置於鏡前_____cm 或_____cm 處。答：32；16

類 5.水面下 12 cm 處有一物體，在此物體正上方的水面上 11 cm 處置一凸透鏡，焦距爲 10 cm，此透鏡所造成該物體之像在水面上方何處？(水的折射率爲 $\frac{4}{3}$) (A)20cm (B)17.7cm (C)28.7cm (D)31cm (E)15cm。答：D

※透鏡成像公式⇨凸透鏡

例 33.將一點光源置於一孔徑為 4cm，焦距為 20cm 的薄凸透鏡之主軸上離透鏡 30cm 處，
(1)在透鏡右方離透鏡 50cm 處，置一與鏡軸垂直之紙屏，求紙屏受光部份之面積？
(2)今將紙屏移動至另一位置，使受光部份之形狀及其大小與前相同，求此時紙屏與透鏡之距離？答：(1) $\frac{\pi}{9}cm^2$ (2)70cm

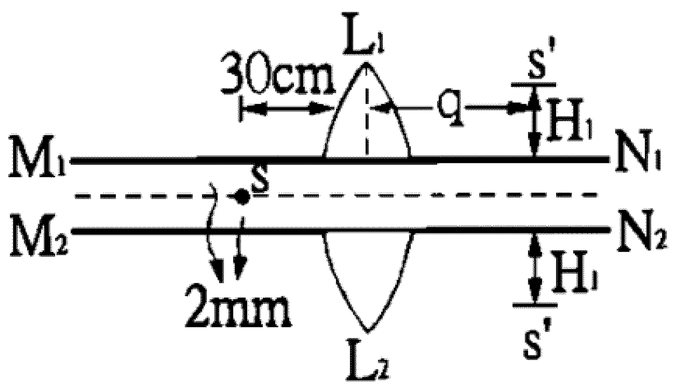
例 34.如右圖，將焦距為 20cm 之凸透鏡切為兩半，各移離主軸 2mm，將一光點置於鏡前 30cm 之主軸上，經折射後將產生兩像，此二像之距離為若干？答：12mm



類 1.一凸透鏡之半徑爲 10cm，焦距爲 20cm，置一 2 燭光之點光源在透鏡前 30cm 處，則在透鏡後 10cm 處之屏幕上亮區之面積爲_____cm^2。答：$\frac{625}{9}\pi$

類 2.一圓形薄凸透鏡，面積爲 A，焦距爲 f，一光點置於鏡前 $\frac{3}{2}$f 處，則在鏡後焦點處之光屏上，圓形明亮區域之面積爲_____A。答：$\frac{4}{9}$

類 3.如右圖，將焦距爲 20cm 之凸透鏡切爲兩半，各移離主軸 2mm，將一光點置於鏡前 30cm 之主軸上，經折射後將產生兩像，此二像之距離爲若干？答：8mm



類 4.一物體立於凸透鏡前 30 公分，恰在凸透鏡之後 60 公分處生一實像，若此物體以 5 公分/秒之速度離透鏡移遠 2 秒，則其像在此 2 秒內移動平均速度爲 _____公分/秒。答：10

※共軛成像

例 35.發光體與牆相距為 D，將一個焦距為 f 的會聚透鏡放在牆與發光體之間，欲在牆上生一發光體的實像。則

(1)試證透鏡可有兩個位置可以達到此一目的，而此兩個位置相距 $d=\sqrt{D(D-4f)}$

(2)試證實物與實像間距離最小值(即共軛距)為 4f。

類 1.光源與屏相距 S，今置焦距 f 之透鏡於其間得一放大倒立實像，今移動透鏡_____可在屏上得一倒立縮小實像？答：$\sqrt{S^2-4fS}$

類 2.焦距為 f 之凸透鏡所生實像與物之間的最短距離為多少？ (A)f (B)0.5f (C)2f (D)4f。答：D

類 3.對於凸透鏡而言，物與實像之間的最距離為凸透鏡焦距的_____倍。答：4

類 4.一物體與一屏相距 150cm，如在其間某處置一凸透鏡，恰可生成一實像於屏上，像長 h_1，若將凸透鏡向屏移動 50cm，又可生像於屏上，像長 h_2，則 h_1：h_2為 _____。答：4：1

類 5.一光源與一屏幕相距一固定距離 40cm，焦距為 5cm 之會聚透鏡在兩者之間移動可找到兩個實像，則此二實像之距離為_____cm。答：$20\sqrt{2}$

類 6.物與屏幕之距離為 90 公分，其間置一凸透鏡，在物距為 60 公分及 30 公分時分別在屏幕上形成實像，則透鏡之焦距為 (A)10 公分 (B)15 公分 (C)20 公分 (D)25 公分。答：(C)

類 7.一物體與一屏相距 100cm，如在其間某處置一凸透鏡，恰可成一實像於屏上，像長為 h_1 cm。又如將凸透鏡向屏移動 50cm，又可成像於屏上，像長變為 h_2 cm。則 h_1 ： h_2= (A)1 (B)3 (C)6 (D)8 (E)9 。答：(E)

類 8.物體與紙屏相距 100 公分，在其間置一凸透鏡，可生一清晰的實像於紙屏上，今將凸透鏡向紙屏移近 20 公分，再一次生清晰實像於紙屏上，則下列何者正確？ (A)第一次的物距為 40 公分 (B)第二次的放大率為 1.5 倍 (C)第二次的像高是第一次的 3 倍 (D)此凸透鏡的焦距為 24 公分 (E)若物體與紙屏間的距離減為 80 公分，則凸透鏡置於其間任何位置皆無法生像於紙屏。答：ADE

※透鏡成像公式⇨凹透鏡

例 36.一小物體置於焦距為 20 cm 的凹透鏡主軸上距透鏡 30 cm，求像的位置和性質？答：在鏡前 12cm 處為正立縮小之虛像

類 1.一物體置於焦距 20cm 之凹透鏡之焦點外 20cm 處，則其所成之像？ (A)正立 (B)虛像 (C)比原物小 (D)放大率爲 1 (E)在透鏡異側距鏡 40cm 處。答：(A)(B)(C)

類 2.一蠟燭長 10cm，直立置於焦距爲 20cm 的凹透鏡主軸上，與透鏡之間的距離爲 30cm，則像的長度爲多少 cm？ (A)4cm (B)5cm (C)6cm (D)8cm。答：A

有一天，一隻小浣熊跑到"妓"藝中心...
然後就偷偷潛入一間"暗索索"的房間~~
看到了一個妓女躺在床上..就偷跑過去舔她的下體!!
過了不久，小熊要開溜了...卻被妓女叫住~~~~
妓女說："ㄟ!!小浣熊，你還沒付錢喲~~"
小浣熊說："我爲什麼要付錢錢呀???"
妓女於是搬出"辭海"..查閱"妓女"一詞給小熊看!!
妓女："小浣熊，你看..字典上寫著....."妓女"...以性行爲交易金錢爲職業的人!!所以你要付錢錢...了解嗎??"
小浣熊也迅速的將辭海翻到有"小浣熊"的那一面...指給妓女看!!
只見字典上寫著"小浣熊"...."天生喜好吃雜草的動物"

吳錫玠物理

※造鏡者公式

例 37.以折射率 1.5 的玻璃製成的凹凸透鏡，其凹面的曲率半徑為 15 公分，凸面的曲率半徑為 12 公分。
(1)求此透鏡在空氣中的焦距與在水中的焦距之比？答：1：4
(2)將此透鏡置入折射率為 1.6 的液體中，則焦距為何？答：-960cm

類 1.欲造成一平凸透鏡，其焦距恰好等於曲面半徑、則透鏡的折射率應等於(A)1/2 (B)3/4 (C)3/2 (D)2 (E)1。答：(D)

類 2.一會聚透鏡置於某液中時，光心到實焦點或虛焦點的距離變爲原來的 2 倍，(設透鏡折射率爲$\frac{3}{2}$)，則該液體之折射率可能爲何？答：$\frac{6}{5}$或 2

類 3.A、B 二色光在透鏡內的速率爲v_1、v_2，若 A、B 在空氣中之速率均爲 C，求 A、B 兩不同色光對同一透鏡所行程之焦距比$\frac{f_1}{f_2}=$？答：$\frac{v_1(c-v_2)}{v_2(c-v_1)}$

類 4.一物體正立於焦距 120cm 的凸透鏡之前 240 公分處，設物長 2 公分，求像的位置及大小，如(1)將物體及透鏡置於空氣中；(2)將物體及透鏡置於折射率爲 1.6 的液體中。答：(1)與物體在透鏡之異側距鏡 240cm 處，爲一長 2cm 之倒立實像。(2)與物體在透鏡之同側距鏡 192cm 處，爲一長 1.6cm 之正立虛像。

類 5.雙凹透鏡折射率爲 n，兩面曲率半徑均爲 R，物置一側曲率中心處，求像的位置與性質？答：成像在與物同側距鏡$\frac{R}{2n-1}$處，正立虛像，$M=\frac{1}{2n-1}$

類 6.一兩面曲率半徑相同之雙凹透鏡，其折射率爲 1.2，置於折射率爲 1.8 之介質中。今將一物置於其一側之曲率中心處，則所成之像其大小爲實物的若干倍？答：3 倍

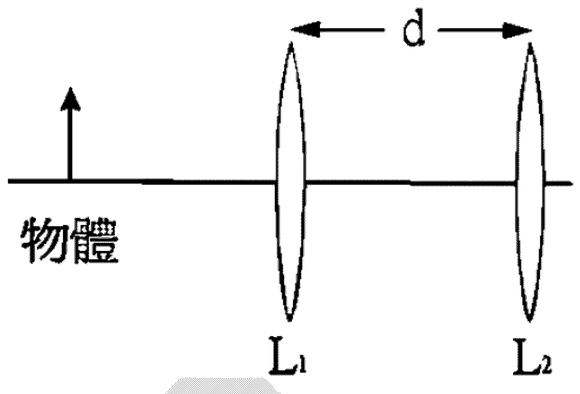
類 7.在外界介質的折射率較透鏡物質的折射率爲大，則下列透鏡中何者屬於會聚透鏡 (A)平凸透鏡 (B)平凹透鏡 (C)雙凸透鏡 (D)雙凹透鏡 (E)凹凸透鏡。答：(B)(D)

類 8.若以折射率爲 n 之玻璃製成下列透鏡後，浸入折射率大於 n 的液體內，則屬於發散透鏡的是： (A)雙凸透鏡 (B)平凸透鏡 (C)凸凹透鏡 (D)雙凹透鏡 (E)平凹透鏡。答：AB

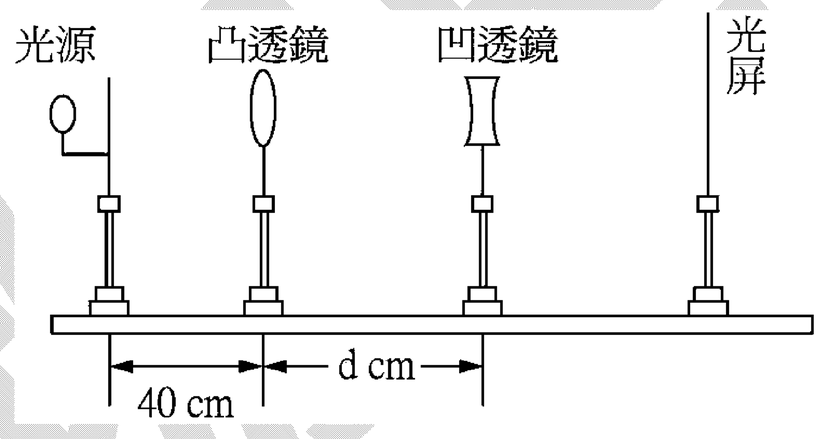
吳錫玠物理

※組合透鏡(參考教材)

例 38.如右圖所示，相距 15 公分約兩凸透鏡 L_1、L_2，焦距分別為 f_1=10 公分、f_2=30 公分。在 L_1 左側 15 公分的物體，其射出的光線經 L_1 和 L_2 折射後，成像於 (A) L_2 左方 10 公分處 (B) L_2 右方 10 公分處 (C) L_2 左方 30 公分處 (D) L_2 右方 30 公分處 (E) L_2 右方 15 公分處。答：(B)

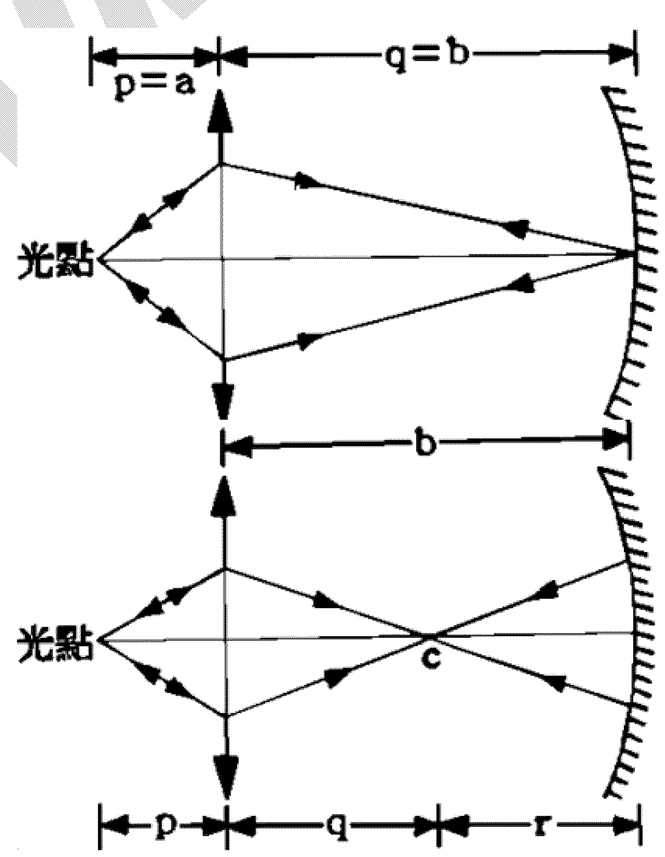


類 1.在凹透鏡的「虛物實像法」求凹透鏡的焦距實驗中，裝置如附圖所示，凸透鏡的焦距 20 cm，凹透鏡焦距 10 cm，物與凸透鏡相距 40 cm，今移動凹透鏡及光屏，若欲在光屏上成像，則距離 d 的範圍為_____。答：30 cm＜d＜40 cm



類 2.有一凸透鏡前方 a 厘米處有一光點，在透鏡後方 b 厘米與透鏡同軸，有一曲率半經為 r 厘米之凹面線，光點發出的光線，經透鏡折射再經凹面鏡反射，又經透鏡折射恰生像於光點處，則透鏡焦距可能為何？(提示：由光點發出之光通過透鏡後若通過凹面鏡之球心或凹面鏡之鏡頂則由光路之可逆性經凹面鏡反射再經透鏡折射後之光線可回至原光點處。)

答：$\dfrac{a(b-r)}{a+b-r}$；$\dfrac{ab}{a+b}$



類 3.設一焦距為 4cm 之凸透鏡和一焦距為 5cm 之凹透鏡相距 5cm，若於凸透鏡前 6cm 處置一物體，(l)求像之位置？(2)求像之放大倍數？(3)像為實像或虛像？(4)像為倒立或正立？答：(1)凹透鏡前 17.5cm；(2)5 倍；(3)虛像；(4)正立

類 4.一位電台主持人接到一通電話，一位男同性戀者的 CALL-IN

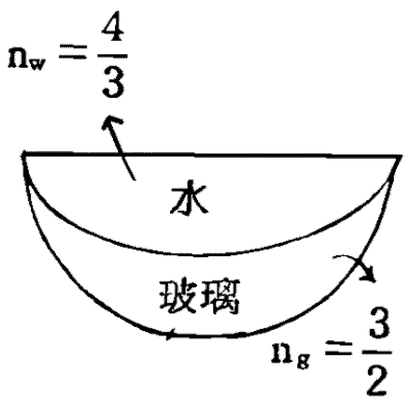
男同性戀：我的男朋友好久都不跟我聯絡了，我好想他，想要點一首歌給他！讓他知道我真的很想他

主持人：好的！請為你要點哪一首歌？

男同性戀：我要點周華建的 ”寂寞的眼 ”

※密接透鏡組合(參考教材)

例 39.曲率半徑 10cm 及 20cm 之凹凸透鏡係以折射率為 1.5 的玻璃製成，今使凹面向上，並充以清水，此水與玻璃組合之焦距為何？答：24cm



例 40.兩面曲率半徑均為 18cm，而折射率為 1.6 之雙凸透鏡，一面鍍以水銀，使成反射面，在凸透鏡前 30cm 處，置一長 10cm 之物體，求所生像之大小性質及位置。答：成像在與物同側距鏡 $\frac{90}{19}$，倒立實像，大小為 $\frac{30}{19}$ cm

類 1.設有 A、B 二透鏡，其折射率分別爲 2.0 及 1.5，A 透鏡爲曲率半徑 5cm 之對稱凸透鏡，B 透鏡爲曲率半徑 5cm 之對稱凹透鏡。今將 A、B 密接成一組合薄透鏡，並於鏡前 2cm 處置一物，則下列敘述中正確的有 (A)組合透鏡爲一會聚透鏡 (B)其焦距大於 A 透鏡之焦距 (C)像爲實像 (D)像爲倒立 (E)放大率等於 1。答：(A)(B)

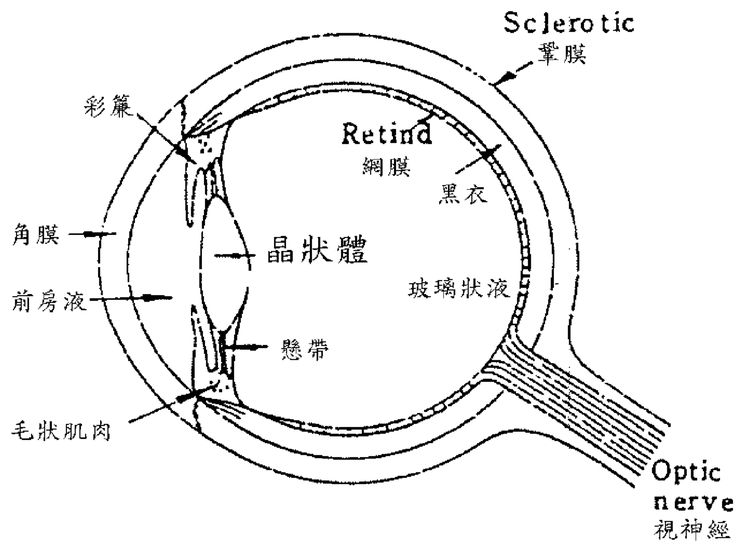
類 2.一平行光線透過一凸透鏡 L_1 之後，在距離 20 公分處會聚成一點。今另取一凹透鏡 L_2 與 L_1 同軸密接成一組透鏡，則上述平行光線透過後仍爲平行光線。L_1 和 L_2 的焦距分別爲(A)10 公分和－20 公分 (B)20 公分和－20 公分 (C)20 公分和－10 公分 (D)20 公分和無限大 (E)無限大和－20 公分。答：(B)

類 3.一焦距 8cm 之凸透鏡與焦距 6cm 之凹透鏡同軸而立且互相密接，今在距此組合透鏡前 36cm 處置一物體，則其所成之像之位置及性質爲何？答：與物同側，距透鏡 14.4cm，正立虛像，M=0.4

類 4.男：父母生我一支槍　總是打在老地方
　　如今改革又開放　可惜子彈全用光
　女：父母生我一塊田　白白荒廢二十年
　　如今承包責任制　誰來耕田誰付錢

16-5 光學儀器

※眼睛



1.眼：

(1)主要構造：晶狀體(相當於凸透鏡)，網膜(相當於底片)，睫狀肌(可調整晶狀體之曲度)，如圖所示。

(2)成像：成縮小倒立實像於網膜上。

(3)明視距離：

物與實像對凸透鏡而言，其移動方向相同，物體很遠時，成像很近而在網膜之前，必須調節晶狀體使成像於網膜上。以一般人之網膜離晶狀體距離而言，物距 **25cm** 時容易成像在網膜上而不必調節晶狀體，即不但可以看得清楚而且不費力，久看也不易疲勞，這段距離稱為明視距離。

註：**a.**眼睛之晶狀體至網膜之距離(即像距)無法改變，但焦距可藉著晶狀體的彈性與周圍睫狀肌肉的動作調節晶狀體的焦距，使物體的像均能落在網膜上。

b.由 $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ 知若像距 **q** 固定，則物距 **p** 增加時，焦距 **f** 亦增加，欲看清楚較遠之物體，晶狀體之焦距須放大，又即其曲率半徑 **R** 要較大，或曲度要較小。

(4)遠點與近點：

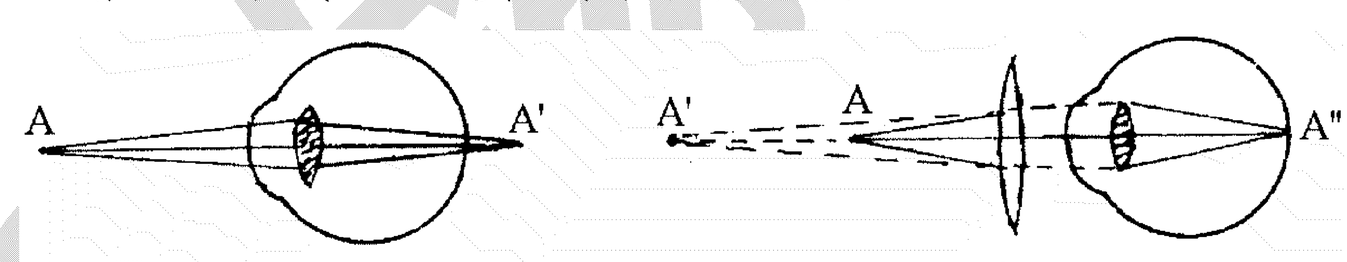
遠點：眼睛可以明視之最遠處。　近點：眼睛可以明視之最近處。

註：正常人的遠點是在無限遠處，近點是依水晶體能調節作用的程度而定，它隨著年齡而漸增，如右表所示，即越老近點越遠。

2.視覺缺陷及其矯正：

(1)遠視：因眼球曲度過小或與網膜間之距離太短而使近處物體成像在網膜後方。

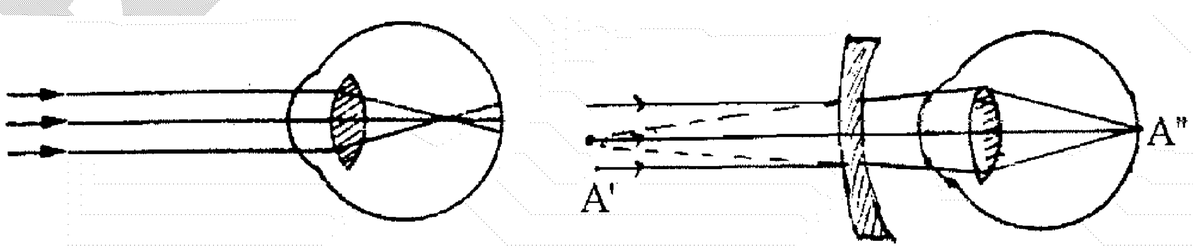
※矯正：需戴凸透鏡製成的眼鏡補救。



遠視眼　　遠視眼之矯正

(2)近視：因眼球的曲度過大或與網膜間之距離太長，遠處物體成像於網膜前方。

※矯正：需戴凹透鏡製成的眼鏡補救。



近視眼　　近視眼之矯正

(3)老花眼：老年人的睛珠失去靈敏的調節作用，當其注視近物時常不能增加睛珠的曲率，故與遠視眼睛相似。※矯正：需戴凸透鏡製成的眼鏡補救。

(4)像散眼(線視眼或散光)：

因角膜各截面的曲率半徑不等，對於一點之物體所生的像將作線形。

※矯正：需戴柱形透鏡製成的眼鏡補救。

3.透鏡度：透鏡焦距之倒數稱為透鏡度：**D(**焦度**)**$=\dfrac{1}{f(\text{公尺})}$

註：**(1)**透鏡焦度的百倍稱為眼鏡度。

(2)公式：$\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{-p_o}=\dfrac{1}{f}$

f：所戴眼鏡之焦距

p：戴上眼鏡後**(**或正常者**)**所能看清楚之距離。

$\mathbf{p_o}$：未戴眼鏡前**(**或缺陷者**)**所能看清楚之距離。

例 41.明視距離為 10cm 之近視眼，需戴何種眼鏡？若眼睛與眼鏡相距為 1cm，則需戴何種眼鏡？答：焦距 16.7cm 之凹透鏡；焦距為 14.4cm 之凹透鏡。

類 1.某遠視眼的明視距離爲 150cm，需配戴若干焦度的透鏡？答：$\dfrac{10}{3}$焦度之凸透鏡

類 2.A 君之明視距離 50cm，B 君明視距離 25cm，問 (l)A 君應戴何種眼鏡，才能明視眼前 25cm 處之物？ (2)A、B 兩人所見之像何者爲大？答：(1)焦距 50cm 之凸透鏡；(2)A

類 3.某近視眼的遠點爲 100cm，則需配戴若干焦度的透鏡？答：－1 焦度

類 4.某人爲遠視眼，戴焦距爲 30cm 之眼鏡可明視之最短距離爲 15cm，若此人不戴眼鏡則可明視之最短距離爲若干？答：30cm

類 5.阿德和小美是一對情侶，而阿德是一個煙不離手的怪胎，連和小美辦事時煙都叼在嘴上，小美對他也莫可奈何。

有一次阿德和小美上賓館爲了避免偷拍，小美堅持買了兩只面具進去，從到了房間門口辦事到離開房間，小美都督促著要帶著面具～

大戰開始，阿德一直吵著要抽煙，小美則很火大的說：「難得到賓館享受一下。你正常點好不好！」於是阿德狠心不甘情不願的完事。

數月後，網路上出現一只轟動 ftp 站的偷拍～"米老鼠大戰太空超人"，

小美一看眼都花了：「弄巧成拙～」回去跟阿德報告緊急狀況。

小美說：「還好有戴面具！」阿德卻才開始掉眼淚....只見太空戰士去浴室洗澡時，米老鼠偷偷摸摸的點了一跟煙，慢慢的掀開面具說了一句：「終於能抽煙了」

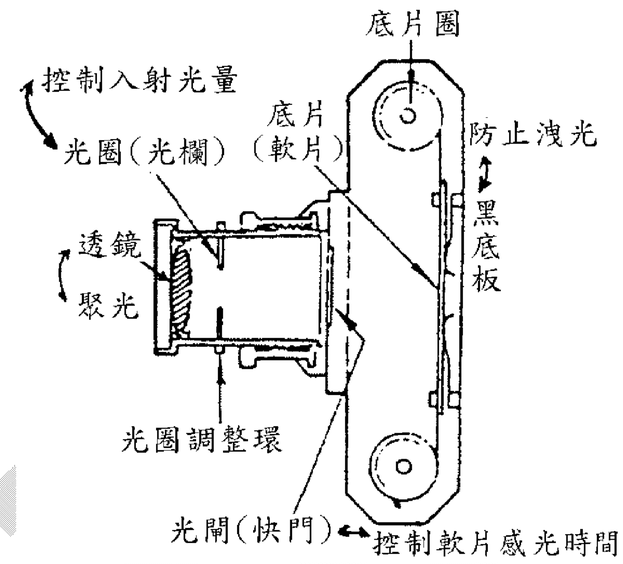
※照相機

1.構造：如圖所示

(1)鏡頭**(**凸透鏡**)**：有聚光作用，故調節透鏡組距離與暗箱長度，使位於鏡頭前兩倍焦距外的物體，成一倒立、縮小實像於鏡頭後焦點與兩倍焦距**(**近焦點處**)**之底片上。

(2)暗箱：調節距離，使像點正聚於軟片。

註：一般所謂調焦距，事實上是在調節鏡頭與底片的距離，使物剛好可在底片上成一清晰的像，而非照相機的焦距真的可以調整，其它光學儀器亦同。



(3)底片**(**軟片**)**：成像於其上。

(4)黑底板：防止洩光。

(5)快門：用以控制軟片感光的時間。

(6)光圈：用以控制光線進入透鏡的多少。

2.成像：物體置於鏡頭之二倍焦距外而成縮小倒立實像於底片上。

註：**(1)**照相機之焦距固定但像距大小可調整。

(2)由 $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$ 知若焦距 **f** 固定，則物距 **p** 增加時，像距 **q** 必減小，故拍攝遠物時，鏡頭須向後縮，即鏡頭與底片間距離**(**像距 **q)**減小；而拍攝近物時，鏡頭須向前伸，以增加鏡頭與底片間之距離。

3.曝光時間：

(1)在照相機中，底片每單位面積所接受的光通量 **E**，是與透鏡開孔直徑 **D** 的平方成正比，而與透鏡的焦距 **f** 的平方成反比，即 $E \propto (D/f)^2$。

(2)因底片曝光時單位面積所接受的總能量須保持一定

$$\Rightarrow \text{曝光時間 } t \propto \frac{1}{\text{照度}} \propto \frac{\text{像面積}}{\text{透過之光通量}} \propto \frac{f^2}{D^2} \propto \text{光圈值}^2$$

(3)通常 **D** 是以焦距的分數來表示，例如 **D＝f/11**，表開孔直徑為焦距的十一分之一。若一照相機，**D** 值為 **f/4** 時曝光時間需為 **1** 單位時間， 則其他開孔直徑的曝光時間如下表所示：

開孔直徑	f/4	f/5.65	f/8	f/11.3	f/16
曝光時間比例	1	2	4	8	16

※平常照相機鏡頭前所刻的數字 **4**，**5.6**，**8**…**11**，**16** 等，即為第一行的分母部分，故數字愈大，表 **D** 愈小，所需曝光時間愈長。例：快門速率 **8** 之曝光時間為 **1/8** 秒，**60** 為 **1/60** 秒。

例 42.光圈數 2.8 與 5.6 其 (1)曝光孔徑比為若干？ (2)光通量比為若干？ (3)曝光所須時間比為若干？(若須相同光通量) (4)何者可得較清晰的像？答：(1)2：1；(2)4：1；(3)1：4；(4)光圈 5.6

類 1.某景色以焦距 $f=50\text{mm}$ 之透鏡攝影時，透鏡開孔直徑 D=$\frac{f}{8}$，曝光時間是 $\frac{1}{60}$ 秒，若改用 D=$\frac{f}{4}$ 來拍攝，曝光時間應為 (A)$\frac{1}{30}$ (B)$\frac{1}{45}$ (C)$\frac{1}{90}$ (D)$\frac{1}{125}$ (E)$\frac{1}{240}$ 秒。答：(E)

類 2.對某模特兒攝影，還用光圈 5.6，時間 1/500 秒之相機鏡頭，恰可使曝光正常，今改用 11.2 之光圈，其曝光時間為_____秒。答：1/125

類 3.相機光圈定於 4 時，曝光時間為 0.005 秒，若光圈改定於 5.65，則曝光時間為_____秒。答：0.01

類 4.某景色以焦距為 50 毫米之透鏡攝影時，適當攝影條件係光圈之 F 數為 8，快門速率為 60。今將欲改光圈之 F 數為 4，則快門速率改為若干？答：240

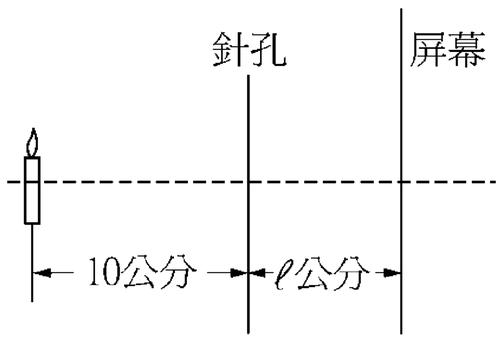
例 43.一照相機對準甚遠物體拍得清晰之照片，若鏡頭與底片相距 16cm，現欲拍得 5m 外物體之清晰照片，鏡頭應如何移動？答：向外移動 0.53cm

類 1.某人手持一鏡頭焦距為 15cm 的照相機，首先對焦拍攝甚遠處的風景，然後拍攝相距 240cm 遠處的人物，第二次拍攝人物時，鏡頭應該向前移動_____cm。答：1

類 2.下列關於照相機透鏡的敘述中，正確者為 (A)底片上所形成的像呈倒立，但若物體太靠近透鏡，則像變成正立於底片上 (B)底片上所形成的像必為實像 (C)底片上所接收的光量，只與透鏡的孔徑有關 (D)孔徑一定時，透鏡的焦距大，則曝光時間可以縮短 (E)焦距一定時，透鏡的孔徑減半，則曝光時間須增為 4 倍。答：(B)(E)

類 3.以照相機照遠處物體之像時，較照近處物體時： (A)鏡頭曲率小 (B)鏡頭焦距大 (C)鏡頭向後退 (D)鏡頭向前推 (E)鏡頭與底片距離短。答：(C)(E)

類 4.在「針孔照相機」實驗中，將一蠟燭點燃後，置於針孔前方 10 公分處，屏幕在針孔後方 ℓ 公分處，則下列敘述何者正確？ (A)在屏幕上可看到蠟燭倒立的像 (B)ℓ 值愈大則像愈大 (C)在針孔處，放置任何薄凸透鏡，均可經由改變 ℓ 值，使蠟燭在屏幕上成像 (D)在針孔處，放置任何薄凹透鏡，均無法使蠟燭在屏幕上成像 (E)當針孔的直徑縮小至可見光波長範圍時，蠟燭的成像會因繞射效應變為模糊。答：ABDE

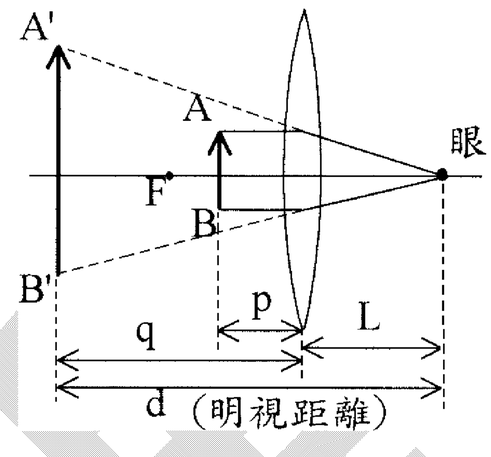


※放大鏡

1.構造：放大鏡為一焦距較短的凸透鏡製成。因其可將近物的像成於眼睛可清楚看到的距離，並使物體所生的像比實物大，故稱為放大鏡。

2.成像：物體置於凸透鏡的焦點內，而在同側明視距離處生正立的放大虛像。

3.放大率：$\mathbf{m}=\dfrac{d-L}{f}+\mathbf{1}$ ；**(d**：明視距離；**L**：眼睛與放大鏡距離**)**



※推導：由 $\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{q}=\dfrac{1}{f}\Rightarrow\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{-(d-L)}=\dfrac{1}{f}\Rightarrow\mathbf{p}=\dfrac{f(d-L)}{f+d-L}$

∴放大率 $\mathbf{m}=\left|\dfrac{q}{p}\right|=\dfrac{d-L}{f(d-L)/(f+d-L)}=\dfrac{d-L}{f}+\mathbf{1}$

註：若眼睛與放大鏡密接(即 $\mathbf{L=0}$)，則 $\mathbf{m}=\dfrac{d}{f}+\mathbf{1}$

例 44.以放大鏡見眼前 9cm 之小物體，其像成於眼前 25cm 處。
(1)若觀察者眼睛與放大鏡接觸見小物體，所用放大鏡之焦距為若干？又放大率為若干？
答：14cm；2.8 倍
(2)若觀察者眼睛在放大鏡焦點處見小物體，所用放大鏡之焦距為若干？又放大率為若干？
答：5cm；5 倍

類 1.用單放大鏡觀看一郵票上之圖案之像恰在明視距離處，如在郵票上面覆放一厚為 d cm 之玻璃板(設玻璃之折射率為 3/2)，欲使觀看圖案清晰如前，應將透鏡 (A)上移 (B)下移 (C)鏡頭口徑加大 (D)鏡頭口徑減小。答：(A)

類 2.以焦距為 5.0cm 的凸透鏡作放大鏡，觀看郵票上的圖案，若眼睛距離放大鏡 2.0cm，所成的像距離眼睛 25.0cm，則圖案的大小被放大了約_____倍。答：5.6

類 3.某人明視距離 25 cm，使用焦距為 5 cm 的放大鏡看報紙時，眼睛與放大鏡相距 10 cm，則此時放大鏡之放大倍數為多少倍？ (A)2 (B)4 (C)8 (D)5。答：B

類 4.焦距 20 公分的放大鏡，其放大倍數為多少？(A)1.25 (B)1.75 (C)2 (D)2.25。答：D

類 5.放大率各為 M_1 及 M_2 之二薄放大鏡密接後之組合透鏡的放大率為若干？答：M_1+M_2-1

類 6.用放大凸透鏡觀察微小物體時應放在透鏡之： (A)焦點上 (B)兩倍焦距上 (C)焦距外 (D)焦距內 (E)資料不足。答：D

吳錫玠物理

※顯微鏡

顯微鏡～～**1610** 年加利略所發明

1.主要構造：

(1)鏡筒：直立的金屬圓筒**(**如圖**)**。

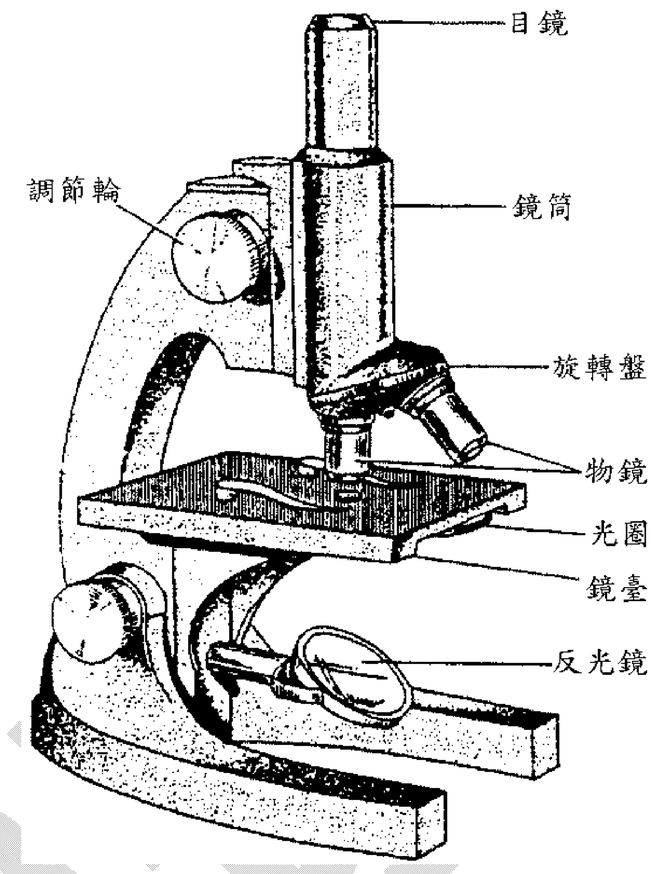
(2)物鏡：鏡筒下端接近實物的凸透鏡。

(3)目鏡：鏡筒上端接近眼睛的凸透鏡。

※物鏡的焦距甚短，目鏡的焦距較長。

(4)鏡台：可放置欲觀察的微小物體。

(5)凹面鏡：在鏡台下方，可使外來的光反射並集中射過鏡台上的小孔照明被觀察的物體，以得顯明的影像。



2.成像原理：

調整鏡筒的高低位置，使物體於物鏡焦點稍外，經物鏡折射後形成一倒立放大實像於目鏡焦點內，再經目鏡折射而形成一對原物為倒立放大的虛像於明視距離處。**(**如右圖**)**

3.橫向放大率：$\mathbf{m=m_o\times m_e=\frac{q_o}{p_o}(\frac{d}{f_e}+1)\approx\frac{dL}{f_of_e}}$　$\mathbf{(f_o<f_e<<L)}$

※推導：

(1)物鏡放大率 **mo**：

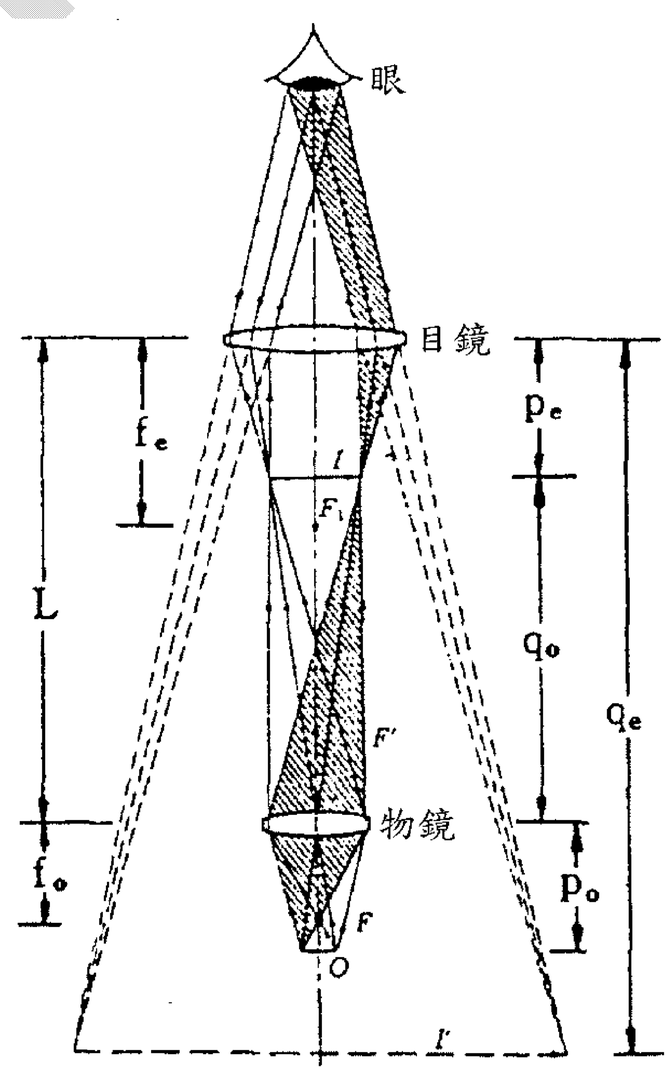
因物體置於物鏡焦點外但非常靠近焦點處

⇒物距 $\mathbf{p_p\fallingdotseq}$物鏡焦距 $\mathbf{f_o}$

而經物鏡折射所成之像落在目鏡焦點內但非常靠近目鏡的焦點

⇒像距 $\mathbf{q_o\fallingdotseq L-f_e}$　但因鏡筒長 **L>>**目鏡焦距 **fe** ⇒ $\mathbf{q_o\fallingdotseq L}$

⇒放大率 $\mathbf{m_o}=\frac{q_o}{p_o}\approx\frac{L}{f_o}$



(2)目鏡**(**可視為一放大鏡**)**放大率 $\mathbf{m_e}$：

$\mathbf{m_e}=\frac{d}{f_e}+\mathbf{1}$　；　**d**：明視距離

但因 **d>>fe** 即 $\frac{d}{f_e}$**>>1**　$\mathbf{m_e\fallingdotseq}\frac{d}{f_e}$

(3)由**(1)(2)** ⇒$\mathbf{m=m_o\times m_e}=\frac{q_o}{p_o}(\frac{d}{f_e}+\mathbf{1})\approx\frac{dL}{f_of_e}$

註：**a.**一般光學顯微鏡的放大倍數為 **100** 倍至 **1000** 倍。

b.電子顯微鏡的放大能力可達百萬倍之多

吳錫玠物理

例 45.一顯微鏡之物鏡焦距為 2cm，目鏡焦距為 6cm，若鏡筒長為 25cm，則明視距離 30cm 之人恰可明視樣品之像，則 (1)樣品與物鏡之距離若干？ (2)放大率為何？答：(1)$\frac{20}{9}$cm；(2)54 倍

類 1.設有一顯微鏡，其目鏡與物鏡之焦距分別爲 5cm 及 1.5cm，若在物鏡下方 1.6cm 處放一微物，則由目鏡看去，見其像在通常明視距離處，求此顯微鏡之放大率？答：90 倍

類 2.一顯微鏡之物鏡焦距爲 2.5cm，目鏡焦距爲 5cm，二透鏡相距 18cm。設觀察者之明視距離爲 20cm，則 (1)物體須置於物鏡前多少 cm？ (2)放大率是多少倍？答：(1)3cm；(2)23.3 倍

類 3.在顯微鏡之成像過程中，下列何項敘述正確？ (A)物置於物鏡之焦距內 (B)經物鏡折射生一實像 (C)目鏡折射生一實像 (D)物鏡所生之像位於目鏡之焦距內 (E)最後所生之像對物而言爲正立放大之虛像。答：(B)(D)

類 4.對顯微鏡而言，下列敘述何者正確？ (A)所成之像爲上下顛倒，左右對調之虛像 (B)物鏡與目鏡之焦距愈大其放大率愈大 (C)目鏡之作用與放大鏡之作用相同 (D)物鏡及目鏡皆爲會聚透鏡 (E)對光完成時，鏡筒愈長，放大率愈大。答：(A)(C)(D)(E)

類 5.有個牧師開車在路上見到路旁有個修女，便停車主動載她一程。
她進車後便翹起腳來，讓她可愛的美腿從長袍中露了出來，牧師看了一眼高興的差點讓車子出了意外。
在控制車子後，他偷偷摸摸的將他的手往美腿上移動，修女看了看他便說：「神父，記得聖詩 129 嗎？」
神父臉紅連忙道歉，他被迫移開他的手。但是他的視線卻離不開他的美腿！
在幾次換檔之後，他的手又再次滑向美腿，修女又說：「神父，記得聖詩 129 嗎？」
神父又再一次道歉：「對不起，姊妹！肉體是虛弱的」。
到達修道院後，修女下車給了他一個寓意深長一眼就走了。
當神父回到教堂他急忙拿出聖經想找出聖詩 129 是什麼，
發現，聖詩 129 節：『走向前並尋求，再更深入一點，你會找到榮耀的！』

※望遠鏡

望遠鏡～～**1609** 年加利略首先製成

1.天文望遠鏡～～用來觀察天體的望遠鏡

(1)折射式望遠鏡：

a.構造：**(a)**物鏡(凸透鏡)　**(b)**鏡筒　**(c)**目鏡(凸透鏡)

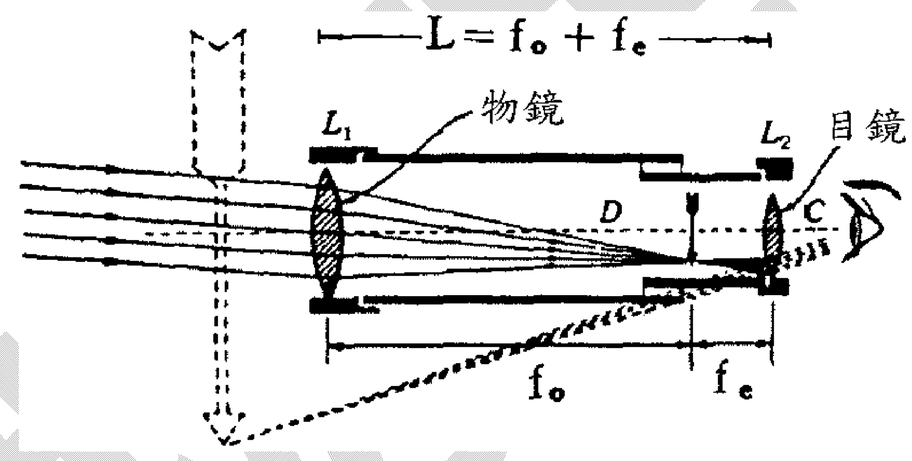
註：**a.**物鏡的焦距(f_o)較目鏡的焦距(f_e)為大。

b.物鏡的焦距甚長，且物鏡的第二焦點 F_o 與目鏡的第一焦點 F_e 幾乎重合，故鏡筒的長度約等於物鏡及目鏡焦距之和 $\Rightarrow L \fallingdotseq f_o + f_e$

c.加利略式望遠鏡的物鏡是凸透鏡，而目鏡為凹透鏡。

b.成像原理：

如圖遠處物體射來的光線經過物鏡，折射後成倒立實像於物鏡的焦點附近，調整目鏡的位置，使此實像落在目鏡的焦點內，又經過目鏡的折射形成一放大倒立虛像於明視距離之處。



註：像對原物而言，上下顛倒，左右相反，但較原物小，僅視角放大而已。

c.視角放大率：

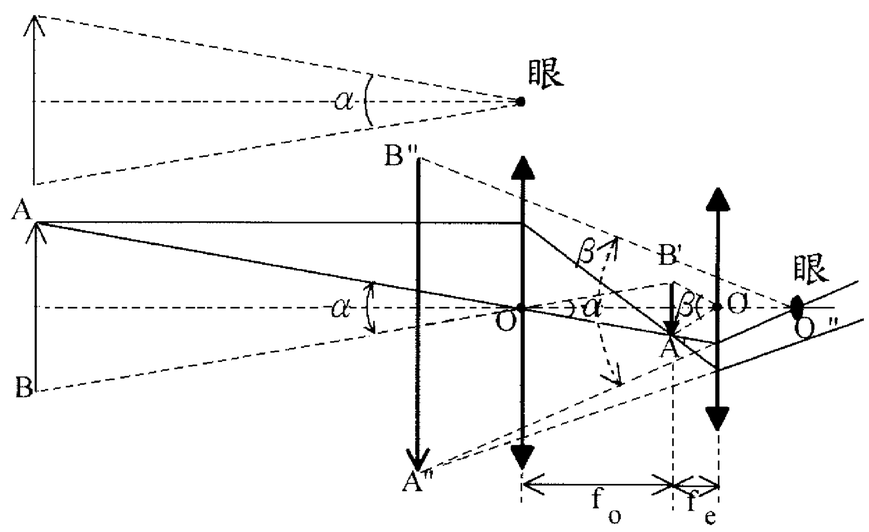
定義為最後放大的虛像對目鏡所張的角度 β，與物體(通常在很遠處)對物鏡所張的角度 α 的比值，

即 $$\mathbf{m} = \frac{\text{使用儀器時虛像對眼睛所張的視角}}{\text{不用儀器時實像對眼睛所張的視角}} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_o}{f_e}$$

※證明：

由下圖知，若 α，β 甚小則 $\alpha = \dfrac{B'A'}{f_o}$ 且 $\beta = \dfrac{A'B'}{f_e}$

$\Rightarrow$ 視角放大率為 $$\mathbf{m} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{A'B'/f_e}{B'A'/f_o} = \frac{f_o}{f_e}$$



α：未用望遠鏡時遠方物體之視角

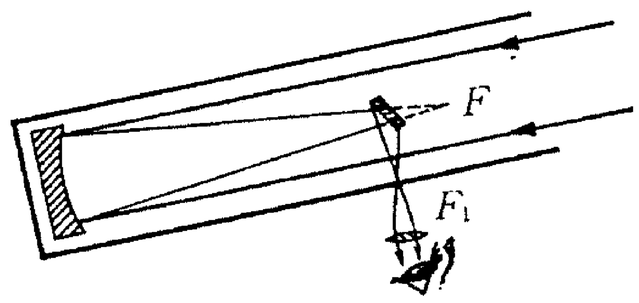
β：使用望遠鏡後見像之視角

(2)反射式望遠鏡：參考「拋物面鏡之應用**(1)**」

a.構造：如圖所示，主要包括一個凹拋物面鏡及一個平面鏡。

b.成像原理：遠處物體經凹面鏡反射後，生一實像於 **F** 處，但在成像前被一斜置的平面鏡反射成像於 **F'**，再由側面的目鏡看到。

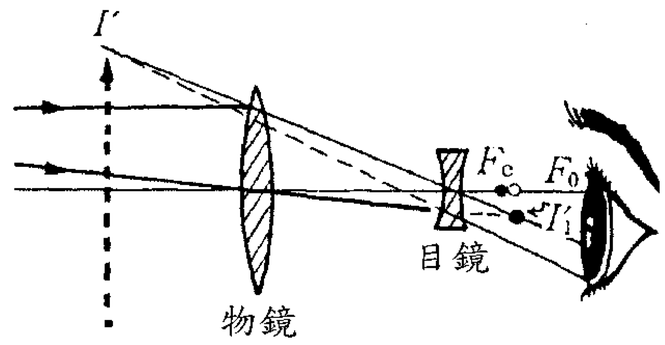
c.優點：可作面積很大的面鏡，藉以增加射入的光量，增大望遠鏡可能觀測讀距離。



2.常見的地上望遠鏡：

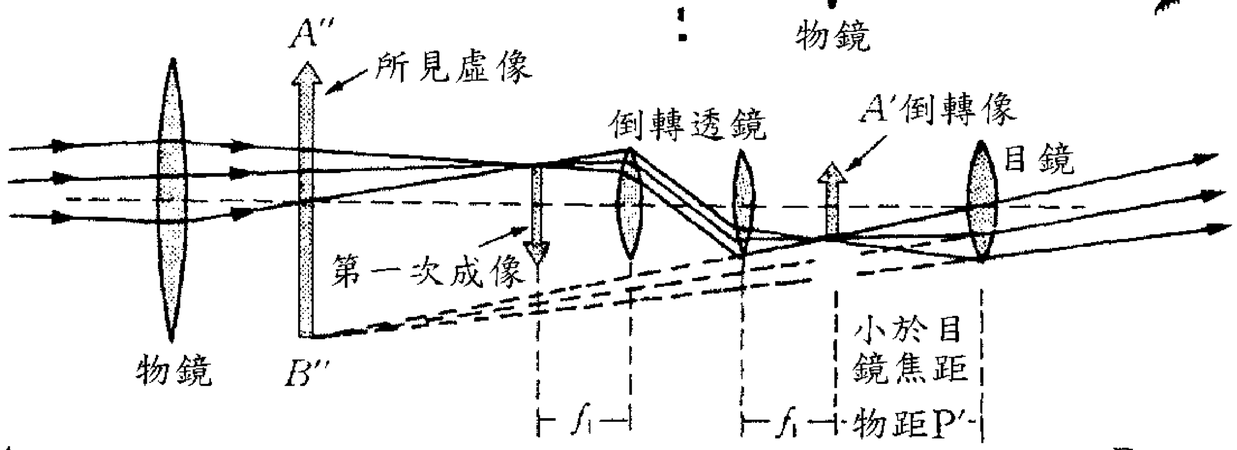
(1)加利略式望遠鏡：

若物鏡為凸透鏡，目鏡為凹透鏡，如右圖所示，則物經凸透鏡後成一實像於凹透鏡後方，成為凹透鏡的虛物，在經凹透鏡成一正立虛像於明視距離。



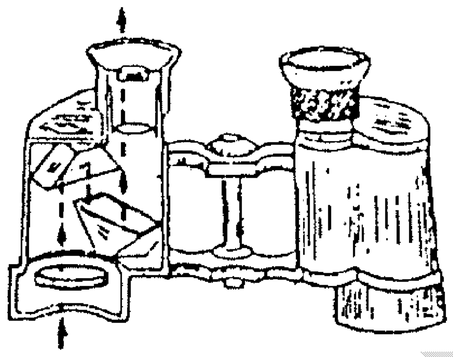
(2)單筒式望遠鏡：

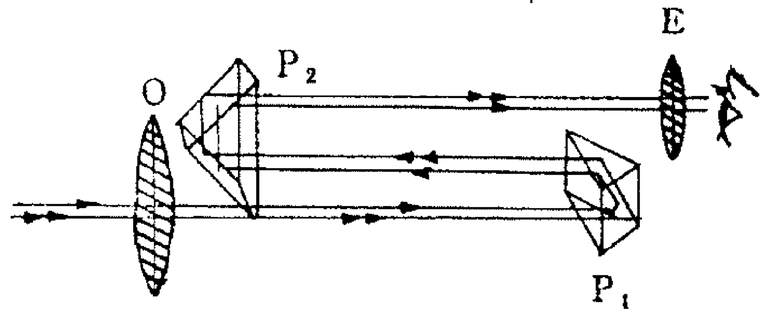
其構造如下圖所示，經由一組倒轉透鏡，將物鏡所成之倒立實像正立過來，再經目鏡一成一正立虛像。



(3)稜鏡式雙筒望遠鏡：

物鏡與目鏡皆為凸透鏡，但不在同一主軸上，兩鏡之間置兩個互成直角排列之直角三稜鏡。如下圖，光自物鏡射入，經第一稜鏡作兩次全反射，(可將由物鏡所成之倒立像左右對調)；再經第二稜鏡作兩次全反射，(可將像再上下顛倒)，最後經目鏡折射成正立的虛像於明視距離處。





例 46.折射式天文望遠鏡之物鏡及目鏡焦距各為 500cm 及 25cm，調節目鏡，恰可在明視距離 25cm 見一清晰之像，則此鏡之鏡筒長為何？答：512.5cm

類 1.下列有關光學器材之敘述，何者正確？ (A)放大鏡之焦距愈長，可得到愈高的放大倍數 (B)一照相機先對焦於近處物體，若欲改對焦於遠處物體時，則其鏡頭需縮短 (C)某人不戴眼鏡時，閱讀書報的距離為 10cm，戴眼鏡後閱讀書報的距離為 25cm，則此人配戴的眼鏡為凹透鏡 (D)顯微鏡之放大原理是將物體放在物鏡焦點內一些，成像於目鏡焦點外一些，再成一放大虛像 (E)一折射式天文望遠鏡之物鏡焦距長為 20cm，目鏡焦距長為 4cm，則此望遠鏡之$\frac{\text{像長}}{\text{物長}}$約＝5。答：BC

類 2.折射式望遠鏡中物鏡焦距 20 厘米，目鏡焦距 5.0 厘米，以之觀看遠處物體。則物鏡與目鏡相距約為 25cm，此折射式望遠鏡之放大率為若干倍？答：4 倍

類 3.一折射式天文望遠鏡的物鏡焦點距為 480cm，目鏡的焦距為 4cm，此望遠鏡的角度放大倍數為_____倍。答：120

類 4.選出正確的敘述 (A)折射式望遠鏡比反射式效果好 (B)任何望遠鏡的成像原理均為光的折射 (C)折射式望遠鏡內含二面凸透鏡，兩面平面鏡 (D)反射式望遠鏡主要由一面凹面鏡，一面平面構成。答：(D)

類 5.用來觀看一標尺上刻度的讀數望遠鏡，物鏡焦距 f_o=25cm，調整目鏡，恰可明視鏡前 1 米處之物。若用以觀察另一物體，需將目鏡移近物鏡 1cm，求第 2 物的物距？答：110cm

類 6.放大率為 25 倍的天文望遠鏡，物鏡焦距為 1 米，伸縮鏡筒長度 l，最近可看清 10 米遠處之物，則： (A)目鏡焦距為 4cm (B)鏡筒最小長度 104cm (C)鏡筒最大長度 115cm (D)看較近物體應增大 l (E)看較遠物體應減小 l。答：(A)(B)(C)(D)(E)

類 7.下列何者可生虛像？ (A)顯微鏡 (B)望遠鏡 (C)凹面鏡 (D)平面鏡 (E)三稜鏡。答：全

類 8.下列有關「光學儀器」的敘述，何者正確？ (A)針孔相機是利用光直線前進的性質 (B)照相機底片曝光的時間與光圈的開孔直徑有關，與鏡頭焦距無關 (C)一般光學儀器的設計，都是讓像落在觀察者的明視距離內 (D)光學顯微鏡最後所得之像是放大的正立虛像 (E)天文望遠鏡最後所得之像是放大的正立虛像。答：ACD

類 9.下列有關「光學儀器」的敘述，何者正確？ (A)單眼相機上的光圈數是表示光圈的開孔直徑 (B)放大鏡的放大率是指視角的放大倍數 (C)顯微鏡最後得到的像，對樣本而言是倒立的放大虛像 (D)折射式天文望遠鏡是將遠處物體形成視角放大的倒立虛像 (E)承(C)、(D)，兩者的目鏡都是當放大鏡使用。答：BCDE

吳錫玠