

物理第十冊目錄

第二部份第三講

頁數

第二講 (E) 習題解答	1—4
--------------------	-----

第八章 光之折射

A. 課程	5—15
B. 教材問答	15—16
C. 內容摘要	16—17
D. 複習題	17—17
E. 習題	18—18
F. 簡易實驗	18—18

第九章 光之全反射

A. 課程	19—23
B. 教材問答	23—24
C. 內容摘要	24—24
D. 複習題	24—25
E. 習題	25—25
F. 簡易實驗	25—25

第十章 透鏡

A. 課程	26—34
B. 教材問答	35—36
C. 內容摘要	36—37
D. 複習題	37—38
E. 習題	38—38

第十一章 眼與眼鏡

A. 課程	39—43
-------------	-------

第三講內容摘要	43—44
---------------	-------

第三講內容測驗	44—45
---------------	-------

光學測驗題	45—45
-------------	-------

第三講內容測驗解答	45—47
光學測驗題解答	47—47

第二部份第四講

第三講 (E) 習題解答	49—51
--------------	-------

第十一章 (續) 電影、實體感、測距儀、透視、光幻視

A. 課程	52—58
B. 教材問答	58—60
C. 內容摘要	60—62
D. 複習題	62—63
E. 習題	63—63
F. 簡易實驗	63—63

第十二章 光學儀器

A. 課程	64—73
B. 教材問答	73—75
C. 內容摘要	75—76
D. 複習題	76—76
E. 習題	76—77
F. 簡易實驗	77—77

第十三章 光譜、光譜色、物體之色

A. 課程	78—87
B. 教材問答	87—89
C. 內容摘要	89—90
D. 複習題	90—90
E. 習題	90—90
F. 簡易實驗	91—91

第四講內容摘要	91—93
---------	-------

第四講內容測驗(一)	93—93
------------	-------

第四講內容測驗(二)	93—94
------------	-------

第二講 (I) 習題解答

第 五 章

1. 必須能使一根細而直的桿，或一根拉直的線，毫無彎曲地通過此管才行。

2. 隔着一張錫箔還可以看見太陽的輪廓，或在晚間看見一盞放光的電燈。

3. 由幾何學定理可知，圓板及其影的直徑之比，等於二者與光源距離之比；相應的兩面積之比，則等於距離平方之比。即圓板及其影直徑之比為 $20:80=1:4$ ，相應的面積之比為 $1:16$ ；故影之直徑為 $4 \times 10 = 40$ 厘米，影之面積為 $16 \times \pi \times \frac{10^2}{4} = 4 \times 3 \frac{1}{7} \times 100 \approx 1,257$ 平方厘米。

4. 板之本影穿過球體，故球之本影稍稍寬些。

5. 即為各個影區所共有之空間。

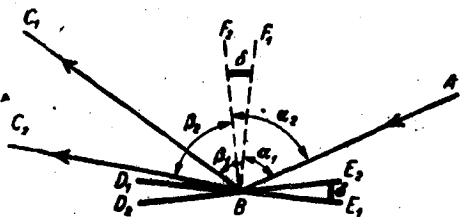
6. 當太陽之方位與此街之方位一致時。

7. 已知光速為 300,000 公里 / 秒，故信號光傳送 1,500 公里需時 $1,500/300,000 = \frac{1}{200}$ 秒。

8. 因聲速約為每秒 $\frac{1}{3}$ 公里，故聲速與光速之比約為 $\frac{1}{3}$ ：
 $300,000 = 1:900,000$ 。

第 六 章

1. 如將第 71 圖之平面鏡，自其原來位置 D_1E_1 ，轉動一 δ 角，而至位置 D_2E_2 ；則法線 BF_1 亦將轉動同一 δ 角，而至新的位置 BF_2 。設 BC_1 為在 D_1E_1 而 BC_2 為在 D_2E_2 上之反射線，則根據反射定律： $\angle \beta_1 = \angle \alpha_1$ 及 $\angle \beta_2 = \angle \alpha_2$ 。由圖上可以看出，反射線轉動的角 $\angle C_1BC_2$ 為：

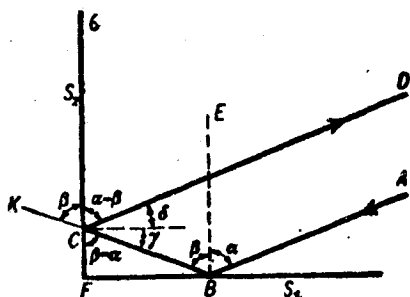


第71圖 平面鏡自 D_1E_1 位置轉動 δ 角而至 D_2E_2 ，使反射光線自 BC_1 位置轉動 2δ 角以至 BC_2 。

$$\begin{aligned}\angle C_2BC &= \angle B_2 + \angle \delta - \angle \beta = \alpha_2 + \angle \delta - \angle \beta \\ &= \angle \alpha_1 + \angle \delta + \angle \delta - \angle \beta_1 = 2\delta.\end{aligned}$$

2. 在第72圖中，入射線AB在B點被平面鏡 S_1 向C反射，而在C點又被平面鏡 S_2 向D反射，故 $\angle \alpha = \angle \beta$ ； $\angle \gamma = \angle \delta$ 。因 $\angle CFB$ 爲一直角，故 $CF \parallel EB$ 。因 $\angle FCB$ 及 $\angle EBC$ 爲平行線之內錯角，故二者相等，且兩角都等於 $\angle \beta$ ，由是兩角也都等於 $\angle \alpha$ 。由反射定律： $\angle FCB = \angle GCD = \angle \beta = \angle \alpha$ 。但 $\angle GCK$ 與 $\angle \beta$ 互爲對頂角，故二者相等。由是得：

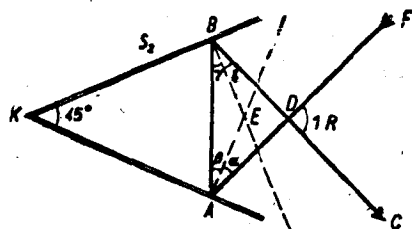
$\angle DCK = \angle ABC$ 。直線AB、BC與BK夾等角，故兩直線平行。



第72圖 兩平面鏡 S_1 及 S_2 互成直角，故反射線CD平行於入射線AB。

3. 由第73圖：因 $\angle BKA = 45^\circ$ ，而A角及B角均爲直角，故在四邊形AEBK中， $\angle BEA = 4R - (45^\circ + 2R) = 2R - 45^\circ = 135^\circ$ 。由三角形BEA得 $\angle \beta + \angle \gamma = 2R - 135^\circ = 45^\circ$ ，因 $\angle B = \angle \alpha$ ， $\angle \gamma = \angle \delta$ ，故得： $(\angle \alpha + \angle \beta) + (\angle \gamma + \angle \delta) = 2 \times 45^\circ = 1R$ 。是以在三角形BDA中， α 、 β 、 γ 、 δ 四角之和爲一直角； $\angle BDA = 1R$ ，也即FA

與BC互相垂直。



第73圖 在夾角等於 45° 的兩平面鏡中，反射線BC垂直於入射線FA。

4. 自平面鏡反射而同之光束，定可射到要照明的地方。

5. 光滑的桌面對光能作有規則反射，即單向反射；白桌布則可使光線向各方漫射。

6. 藍光使嘴唇和兩頰上的紅色消失。

7. 如距離 s 以米計，則視角可由 $\tan \alpha = \frac{1.8}{s}$ 之關係求得。當 $s_1 = 10$ ， $s_2 = 20$ 及 $s_3 = 50$ 米時， $\tan \alpha_1 = \frac{1.8}{10}$ ， $\tan \alpha_2 = \frac{1.8}{20}$ 及 $\tan \alpha_3 = \frac{1.8}{50}$ 。

由是得下列各近似值： $\alpha_1 = 10^\circ 10'$ ； $\alpha_2 = 5^\circ 10'$ ； $\alpha_3 = 2^\circ 10'$ 。

如果讀者尚無三角學的知識，可由比例作圖法求得視角之值，結果當然與此相同。

第七章

1. 乾柏油馬路具粗糙表面，故光線僅能作無規則的漫射。濕馬路之光滑表面，則使光作有規則反射。

2. 波谷中對光之反射表面為凹面。

3. 噴一口烟氣，並從中尋到平行射來的太陽光經反射後之會交點，即可量得凹面鏡之焦距。

4. 反光鏡不是完美的拋物面，或光源並不剛好位於焦點上。

5. 像距 b 為物 a 之半，即 $b = \frac{a}{2}$ 。故 $\frac{1}{a} + \frac{1}{a/2} = \frac{1}{f}$ 或 $\frac{3}{a} = \frac{1}{f}$ ，亦即 $a = 3f$ 。故物距應為焦距之三倍。

6. 馬路在縱的方向並不彎曲，故其作用一如平面鏡。但在橫的方向則是彎的，故其作用如凸面鏡。

7. 由公式 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 得 $\frac{1}{12} + \frac{1}{4.5} = \frac{1}{f}$ 或 $4.5f + 12f = 12 \times 4.5$ ； $16.5f = 54$ ； $f = \frac{54}{16.5} \approx 3.3$ 厘米。

8. 將已知數值代入公式： $\frac{1}{a} + \frac{1}{24} = \frac{1}{15}$ ， $15 \times 24 + 15a = 24a$ ， $9a = 15 \times 24$ ；故 $a = 40$ 厘米。

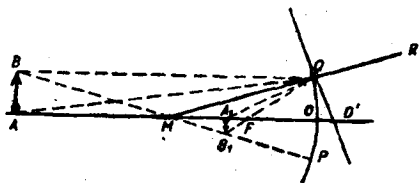
9. 此時： $\frac{1}{400} + \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$ ， $20b + 20 \times 400 = 400b$ ， $380b = 20 \times 400$ ；故 $b = 21.1$ 厘米。

10. 先求像距 b ：

$\frac{1}{20} + \frac{1}{b} = \frac{1}{12}$ ， $12b + 12 \times 20 = 20b$ ， $8b = 12 \times 20$ ， $b = 30$ 厘米。故知像距：物距 $= 30 : 20 = 3 : 2$ 。

11 第 74 圖中實物 AB 之像 A_1B_1 ，係利用自 B 發出之平行光線 BQ ，與自 B 發出而通過曲率中心之直線 BP 所構成。每一條自 A 發出之光線（例如 AQR ）均向 A_1 反射。於是根據反射定律： $\angle AQM =$

△ A_1QM 。今作三角形 AQA_1 的外角 A_1QR 之分角線。在此三角形上利用幾何定理：三角形一角（在此爲角 AQA_1 ）之分角線，內分其對邊與其他二邊成比例，而其外角（在此



第74圖 誘導凹面鏡定律 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

爲 A_1QR) 之分角線，外分對邊與其他二邊成比例。故得 $AM : A_1M = AO' : A_1O'$ 。如凹面鏡之孔徑甚小，則可假設 O 點與 O' 點重合，由此即得： $AM : A_1M = AO : A_1O$ 。因 $AO = a$ ， $A_1O = b$ ， $MQ = r$ ，故

$\frac{a-r}{r-b} = \frac{a}{b}$ 。由是得： $ab - rb = ra - ab$ 或： $2ab = ra + rb$ ，或：

$2ab = 2fa + 2fb$ 。以 $2abf$ 除上式之兩邊，即得 $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{a}$ ；

移項得： $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 。

第八章

光之折射

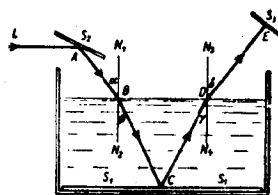
A. 課程

〔96〕**折射現象** 在上一講中，我們曾將直線傳播認定為光之重要特點。但利用反射定律，我們可使光線改變其方向。現在我們要來研究第二種使光之傳播方向改變的方法了，是即**光之折射**。如將筷子或鉛筆斜着插入水中，則自上方看去，筷子好像在水面處折成兩段。其在水面下的一部份，看來似乎稍向上升。自筷子在水中的各點上發出之光線，很明顯地在自水進入空氣的過程中，或用物理學的術語說，由一種介質進入另一種介質時，其直線傳播遭受到一種阻擾，一次曲折。附帶提一句，入水筷子之外觀上的曲折，與自水中傳出光線之實在的曲折大不相同。我們在下文中馬上就會看到，這兩種曲折的方向是剛好相反的。

我們現在試作幾個實驗，俾對光的折射現象，作進一步的研究。第75圖所示，為一充滿了水的容器，器底置有平面鏡 S_1 。利用容器上方之平面鏡 S_2 ，將來自光源 L 之光線（光束）的方向變更，使其在 A 處由平面鏡 S_2 反射於水面上的 B 點。由於事先已經將水稍稍着色（最好用螢光黃 *Fluoreszëin*），所以我們可以很方便地追蹤入水後的光線。我們可以看到，光線一旦入水後，其進行方向更接近垂直方向，因而在 B 處會現出明顯的曲折。光線在 B 處（即自空氣進入水中之交界處），遭受一次方向變更後，即投射到位於器底之平面鏡的 C 點上。 AB 為入射線， BC 為折射线。在 B 點作垂直於空氣與水之境界面的法線 N_1N_2 ，於是 $\angle ABN_1 = \angle \alpha$ 為入射角，而 $\angle CBN_2 = \angle \beta$ 為折射角。如稍稍轉動平面鏡 S_2 ，即可使入射角 α 發生變化。當入射角 α 增大時，折射角 β 亦隨之增大。惟 β 總是比 α 小些，因此我們可以說：

光線自空氣進入水中時，會向法線的一邊彎曲。

我們的實驗現在還要繼續下去。光線 BC 在平面鏡 S_1 的一點 C 反射後，復以入射角 $\angle CDN_1 = \gamma$ 遇水及空氣之鄰界面於 D 點，此角很明顯地等於角 β 。在由水進入空氣之中時，光線於 D 處亦同樣折射， N_3N_4 為法線。惟此次折射角 $\angle N_3DE = \delta$ ，則大於入射角 γ ，而與第一次的入射角 α 相等。由此可知：

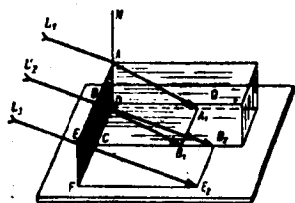


第75圖 光線自空氣進入水中及其逆行時的折射情形

光線自水進入空氣之中時，會向離開法線的一邊彎曲。

今如再加裝另一平面鏡 S_2 ，使其垂直於光線方向 DE，則光線將循原路重行折回，且在 D 及 B 處經兩次折射，在 C 處經一次反射後，而返達平面鏡 S_2 上之 A 處。我們為光的反射所定之結論，對折射現象亦同樣適合，即光路之可逆性。

我們再作第二次補充的實驗：光線自空氣進入玻璃之中時的折射情形。如第 76 圖所示，在桌面上平放一塊玻璃磚 Q，並將其左側面 ABCD 用一塊等高的小木板 AEFD 蓋上，後者係自玻璃磚之側面延伸至 EF。自斜上方入射之光線 L_1 、 L_2 、 L_3 ，由於不透明木板之遮擋，而在桌上生成陰影。此影在玻璃磚外面可達 B_2F_2 ，而在玻璃磚之下則僅達 A_1B_1 。從 E 及 B 之間抹過木板稜邊之光線，是沿直線前進的；而在 B 及 A 之間稜邊上射入玻璃磚的光線，則發生曲折或折射。試就光線 L_1 比較入射角 $\angle L_1AN$ 及折射角 $\angle DAA_1$ (NAD 為法線)，則可得結論如下：光線自空氣進入玻璃之中時，也會向法線的一邊折射。



第76圖 光線由空氣進入玻璃中時之折射情形

設將印有文字的紙舖在桌面上，且使字的排行和木板邊 FD 平行，然後由光線 L_1 、 L_2 、 L_3 的方向來看紙上的字，則觀察者的視線在玻璃磚之下可達到與 A_1B_1 相當的位置，而在玻璃磚外面則僅可看到 B_2F_2 。

在此情形之下，光線係自桌面抵達觀

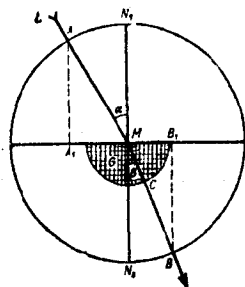
察者的眼中，亦即與剛才所述的光路相反；同時並證明了：**光線自玻璃進入空氣之中時，會向離開法線的一邊折射。**

〔97〕**光密介質與光疏介質** 當光線自第一種介質進入第二種介質時，如係向法線的一邊折射者，我們就稱**第二種介質為光密介質，第一種介質為光疏介質**。反之，如光線在穿越境界面後係向離開法線的一邊折射，則第二種介質為光疏介質，而第一種介質為光密介質。由前述實驗中得知，水與玻璃對空氣而言均為光密介質；其中玻璃較水折射尤強。故如使光線自水進入玻璃時，必係向法線的一邊折射。易言之，對玻璃而言，水即為光疏介質。此處所謂“光密或光疏”，僅係“對光線”而言，跟質素之密度或比重並無直接關係。輕而稀疏的質素可能具有大的光密度；而密度不同的質素，其光密度也許會完全相等。

〔98〕**折射率** 根據第96節中的實驗結果，光線折射時，折射角隨入射角而增加。此一定性的知識對我們尚嫌不足，必須再進一步求出折射角與入射角間的量的關係才行。最近便的方法，是利用一連串的實驗量出入射角與折射角的對應值，再將這些實驗數據列成表格，即可從而歸納出折射的法則。遠在西元一百年左右，定居埃及的希臘天文學家托雷密氏 (Claudius Ptolemaeus)，就曾循此途徑推求折射定律。例如，他發現光線自空氣進入水中時，折射角 β 等於入射角 α 的0.76倍，自空氣進入玻璃時， $\beta=0.67\alpha$ ，而自水進入玻璃時，則 $\beta=0.88\alpha$ 。可惜托雷密氏的這些數值，僅於入射角較小時才大致相符；而當入射角增大時，則其誤差就可觀了。它們之所以不能相符，是由於折射時折射角與入射角間根本沒有固定的數字關係所致。不過托雷密氏至少有一點是對的：**光線之折射，與構成境界面之兩種介質的性質有關。**

讀者試一審視第77圖中兩等長之入射及折射線在境界面上的投影，則真正的折射定律就不難得到了。有一點我們須事先說明，即光線之折射僅當入射角不等於零時方能出現；如光線係垂直投射於兩種物質之境界面，則無折射現象發生。此點將用在第77圖所示之實驗中。實驗用之主要儀器為一玻璃的半圓短柱。凡垂直於半圓柱表面之光

線，均能在該位置上毫不彎曲地透過玻璃與空氣之境界面。例如光線 MC 在 C 點自玻璃進入空氣中時，即係如此。今將此玻璃半圓柱放在一張毫米方格紙上，且以任意半徑 MA 繞 M 點作一圓。使光束 AM 自光源 L 經一狹縫，恰好投射到半圓柱之軸 M 上；半圓柱之平面最好加以遮蓋，僅在軸 M 處留一狹縫，以便光束通過。折射光線 MC 成條狀落在毫米方格紙上，因而使我們能清楚地看到它行經的途徑。折射线交圓於 B 點。自 A 與 B 點引 AA₁ 及 BB₁ 兩線垂直於兩種介質之境界面，即得入射線段 AM 之射影 A₁M 及等長的折射线段 BM 之投影 B₁M。量度兩投影之長並求其比值，則得：



第 77 圖 折射定律

得： $\frac{A_1M}{B_1M} = \frac{3}{2}$ 。重復此一實驗及量度，且多次變更入射線 AM 之方向，以得入射角 $\angle AMN_1 = \alpha$ 及折射角 $\angle BMN_2 = \beta$ 之不同值。圖中之 N_1N_2 仍為法線。不論入射角與折射角如何變動，結果總是：等長之入射線及折射线，在兩種介質境界面上的投影之比（即 $\frac{A_1M}{B_1M}$ ）恒為一不變之值。光線自空氣進入玻璃時的方向變化，即由此一不變的投影比值決定，後者在物理學上稱為折光率或折光比（也稱為折光商或折光指數），通常係以字母 n 表之。

折光率 n 與兩介質的性質有關。光線自空氣進入玻璃之中時， $n = \frac{3}{2} = 1.5$ 。

在第 77 圖所示之實驗中，光線之行程也可循相反的方向進行，即使光線自 B 經 C 射向 M。此時，折射线為 MA，而折射角 $\angle AMN_1$ 乃大於入射角 $\angle BMN_2$ ；光線將向離開法線的一邊折射，也就是說光線進入光疏介質（空氣）之中了。入射線段 BM 及等長折射线段 MA，在兩種介質境界面上的投影之比，應為 $\frac{3}{2}$ 之倒數，即 $\frac{B_1M}{A_1M} = \frac{2}{3}$ ，故光線自玻璃進入空氣時之折光率 $n = \frac{2}{3}$ 。

如用其他介質，則得不同的折光率。自空氣進入水中之折光率 $n = \frac{4}{3} = 1.3$ ，而逆行時（即自水入空氣），則為 $\frac{3}{4}$ 。鑽石折光光線

極爲強烈。鑽石對空氣之折射率 $n = \frac{5}{2} = 2.5$ 。二硫化碳亦有甚高之折射率，即 $n = 1.62$ 。

如果我們只說某質素的折射率而不及其他，則其含義係指在常溫時，自空氣進入該質素的折射率而言。嚴格地說來，某質素的折射率，應指自真空進入該質素的折射率；惟其值與該質素對空氣之折射率相差甚微，故可假設空氣之折射率爲 1，而無大錯誤。實際上空氣之折射率係隨溫度而略有變化。根據實驗，熱空氣的光密度，較冷空氣的光密度稍小。

玻璃之折射率取爲 $n = \frac{3}{2}$ 或 1.5。此爲一平均值。從下表可以看出，玻璃的折射率是隨其種類而變的：

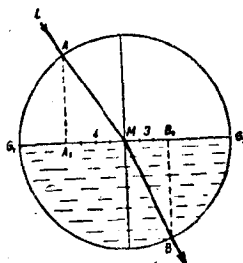
玻璃種類	折射率
石英玻璃.....	1.46
輕皇冠玻璃.....	1.51
輕火石玻璃.....	1.60
重火石玻璃.....	1.74

〔99〕**折射定律** 托雷密氏並未成功地發現光之折射定律。刻卜勒的努力亦失敗了。第一個成功的是荷蘭萊頓城的青年學者斯涅爾氏 (Willebrord Snell 或 Snellius van Royen) (1591—1626)。故折射定律又常稱爲斯涅爾氏定律。此定律是在發現者逝世之後，才由法國人笛卡兒 (Descartes) 於 1637 年公佈。笛氏爲著名的數學家同時也是一位偉大的哲學家。又折射定律可用另一方式很簡單的表示出來，事實上只要用一點點三角學上的名詞就行了（參見本物理學第五部分）。光線折射時，入射線、折射線及法線也是位於同一平面上，跟反射時的情形相同。現在，我們可將關於折射的實驗結果綜述如下：

1. 入射線、折射線與法線位於同一平面上。
2. 光線進入光密介質時，會向法線的一邊折射；而進入光疏介質時，則向離開法線的一邊折射。
3. 等長之入射線與折射線，在兩介質境界面上的投影之比（即折射率），與該兩種介質之性質有關。對於任意兩種選定的介質而言，無論入射方位如何變化，此一比值均一定不變（

斯達爾氏折射定律)。

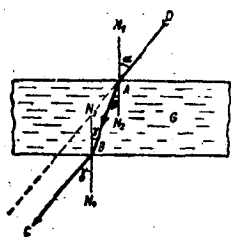
[100] 由已知入射線求作折射線 設自光源 L 來的光線，交空氣與水之境界面 G_1G_2 於 M 點 (第 78 圖)。根據折射定律，等長入射線與折射線，在空氣及水之境界面上的射影之比，必為 $n=1.3$ 或為 $4:3$ ；故入射線 LM 之折射線甚易用作圖法求得。在入射面與境界面之交線 G_1G_2 上，自入射線與 G_1G_2 之交點 M ，以任意單位長向入射線一面截取四倍，再向相反方向截取三倍，即得點 A_1 及 B_1 。由 A_1 作垂直於境界面之垂線，交入射線於 A 點。以 MA 為半徑繞 M 作圓。此圓交 B_1 對境界面之垂線於 B 點，則 MB 即為所求入射線 MA 之折射線。



第78圖 由已知入射線求作折射線

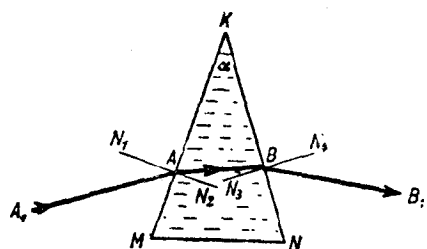
當折射率不同時，折射線所取之方向同樣可用此法求得。

[101] 光線經過平行玻璃板時之折射情形 第 79 圖中，光線在 A 點遇平行玻璃板之一面，即在此向法線的一邊折射，且遇玻璃板之下一境界面於 B 點。光線在 B 點之折射，與在 A 點之情形正好相反，即自玻璃進入空氣。 N_1N_2 以及 N_3N_4 為法線。在 A 點之折射角 β ，變為在 B 點之入射角 γ ；而在 A 點之入射角 α ，至 B 點則變為折射角 δ ，且其大小與原來的入射角相等。故自玻璃射出的光線 BC 與入射線 DA 平行；易言之，平行玻璃板之影響，不過是使光線發生橫向位移而已。我們很容易證明，玻璃板愈厚，射入玻璃之光線愈傾斜時，則此種橫向位移愈大。故經過薄的玻璃窗斜着觀察某物時，其橫向位移並不顯著。僅當玻璃之製型或磨工不正確，也即玻璃板之厚度不均時，才會使視界裡的东西發生歪扭現象。



第79圖 經過平行玻璃板之光程

[102] 光學儀器 如玻璃板之兩面 KM 及 KN 並不平行，而係斜交於稜邊 K ，如第80圖所示，則光之路線立即發生變化。如將此玻



第 80 圖 稜鏡

玻璃再加一面 MN，即得三稜鏡。K 稱為稜鏡之折射稜。讓我們試來追跡光線經過這種稜鏡時的途徑。當光線自空氣進入玻璃時，在 A 點向法線 N_1N_2 的一邊折射，其在稜鏡中的方向為 AB。光在 B 點反過來自玻璃進入空氣，且向離開法線

N_3N_4 的一邊折射，其方向遂變為 BB_1 ，令人感到驚奇的是，這兩次折射並不像在平行玻璃板中那樣，相互抵消了它的作用，而是相反地，在 B 點更使其在 A 點業已發生過的方向變化加甚。現在，我們將得到的結論綜述如下：

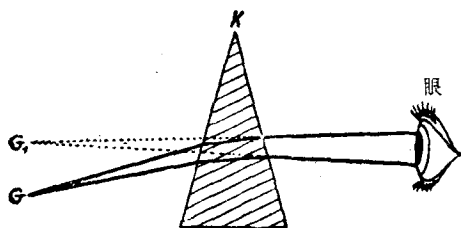
光在透過稜鏡時，會離開折射稜而偏向。

形成折射稜之兩面所夾的角 α ，即所謂稜鏡角；此角愈大者，光線之偏向亦愈大。

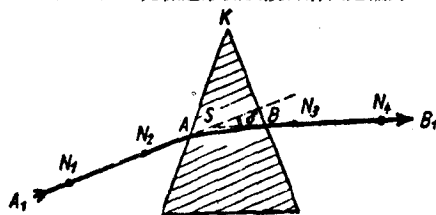
如透過一個折射稜在上的稜鏡，看一件實物 G，則後者好像上升到 G_1 了，這是很容易從第 81 圖看出來的。實際上 G_1 為一虛像，因 G_1 只是假想光線的交點之故。

〔103〕稜鏡之最小偏向角

角 在第 82 圖中射入稜鏡之光線 A_1A 上，釘以兩枚插針 N_1 及 N_2 。如從射出光線 BB_1 的方向看去，我們便會在這個方向內看到針 N_1 及 N_2 。再用兩枚插針 N_3 及 N_4 ，就可定出射出光線 BB_1 的方向了。將入射線及射出線延長使之交於 S 點，二者在 S 點所生成之角 δ ，稱為光線通過稜鏡之總偏向角。

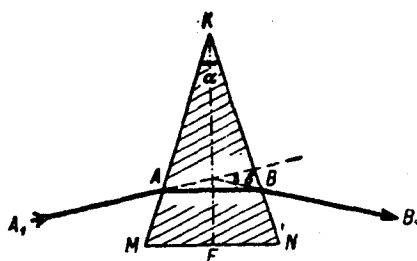


第 81 圖 光線遠離稜鏡折射稜之偏向



第 82 圖 光線經過稜鏡之總偏向角

以不同的入射方向作實驗，即得不同的總偏向角 δ 。當入射線 AA_1 與出射線 BB_1 ，對於等分稜鏡角之平面 KE 為對稱時，偏向角 δ 之值最小，稱為最小偏向角（第83圖）。如稜鏡之兩側面 KM 及 KN 相等，則該稜鏡為一規則稜鏡。在此情形下，進入玻璃之光線 AB ，在發生最小偏向時，係平行於稜鏡之底面 MN 。

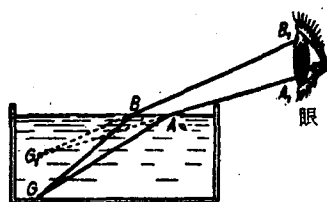


第83圖 光線通過稜鏡之最小偏向角

[104] 由光線折射造成的幾種自然現象

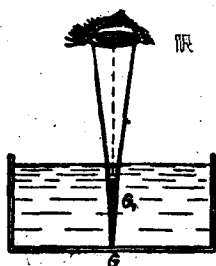
現象 若干現象可由光之折射得到解釋

；最常見的就是置於水中之物體，看起來似乎略向上昇。在第84圖中，物體 G 發出之光線在傳入我們的眼中以前，在其自水進入空氣的過程中，會先於 A 及 B 處分別發生折射。但眼睛將物體的位置看作是在 AA_1 及 BB_1 之交點 G_1 處。故在 G_1 處者為一虛像。



第84圖 放在水中的物體，似自 G 點升至 G_1 。

視線的方向愈斜向水面，物體好似上昇愈高。倘若我們是在一隻小船上，則四處等深之水底，我們看來好像都在上昇似的。即使垂直地下望水深之處，我們還是會覺得水底似較其實際距離要近些。第85圖就是用來說明此一現象。故光之折射為使我們低估水深的原因。

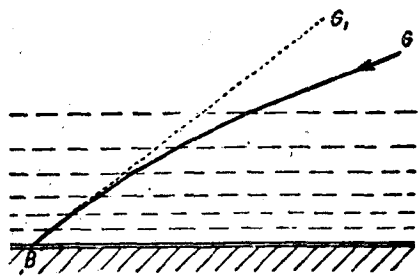


第85圖 即使垂直下看水面，還是會覺得器底似乎有些升高。

從火光或太陽照射的屋頂上且平視物體時，每覺有閃動現象，這也是因為光之折射造成的。這是由於熱空氣與冷空氣混和不均勻且隨時變動，光線通過時會往復折射，所以物體之位置看起來才會閃動不定。

再其次，就是日光或星光穿過地球大氣層

的折射了。光線自外太空進入地球的空氣層，就等於是進入了一種光密介質。又因為空氣層之光密度愈近地面愈增加，故在地球之空氣層內部光線才會一層一層的折射。因而造成一條彎向地球的光路(第86圖)。



第 86 圖 光於近地球空氣層的折射

。所以對觀察者 B 說來，恒星 G 總是顯得較其實際位置高些（在 BG_1 方向）。

當星球（例如太陽）位於地平線附近時，光之折射作用尤大（第 87 圖）。在地平線下的太陽 S，因平射至光密的空氣層而生之強烈折射，將光線傳達至觀察者 B。我們知道，太陽與地球間之距離遙遠，日光約須 $8\frac{1}{3}$ 分鐘始可傳到地球，故日出日落時所見的陽光，實際上是在 $8\frac{1}{3}$ 分鐘之前從太陽出發的。因為光之折射關係，太陽看上去就



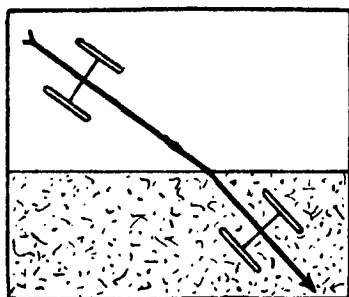
第 87 圖 地平線附近光之折射

如同剛剛接觸到地平線的下緣似的，其實它業已落至地平線下了。同理，當太陽剛剛還在地平線下的時候，看上去它已升起來了。所以我們可以這樣

說，太陽實際上比我們肉眼所見的要落得早些而起得遲些；這等於說，光之折射將我們的白天稍稍加長了一點。

〔105〕光之折射的說明 以後（本物理學第五部分）我們將更詳盡地用事實來說明，光之所以發生折射，是由於光在光密介質中之傳播速度，比在光疏介質中要小的緣故。實際上，光由一種介質進入另一種介質時之折射率 n ，就是其在該兩介質中的速度之比。故知空氣中之光速 c ，與玻璃中光速 c_1 之比為 $3:2$ ；而空氣中光速 c 與水中光速 c_2 之比則為 $4:3$ ，即 n_1 （空氣/玻璃） $= \frac{3}{2} = \frac{c}{c_1}$ ， n_2 （空氣/水） $= \frac{4}{3} = \frac{c}{c_2}$ 。

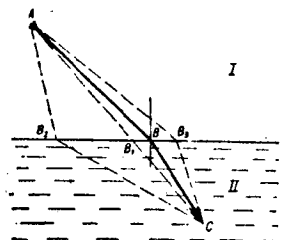
我們可以在室內作一個簡單實驗，來說明此一關係。實驗時，先在桌上沿着一條直線，將桌子的一半撒上沙。再使一個兩輪的玩具車，斜朝着那條界線滾過來（第 88 圖）。首先遇到沙的輪子先減低其速度。因此軸的方向改變了，於是小車的運動方向也就跟着變了。此一實驗結果好有一比，比作光在進入光密度較大的介質時，會向法線的一邊曲折。



第 88 圖 折射定律的說明

[106] 最短時間定律 第 89 圖

中的一條光線，係自 A 發出、在 B 折射後，抵達較密介質中的 C 點。我們知道，在較密的第 II 種介質中，光速比在較疏的第 I 種介質中者要小。光線好像是經過深長的考慮似的，因為它選定的自 A 至



第 89 圖 最短時間定律的說明

C 的途徑，要使它能在最短時間內自 A 到達

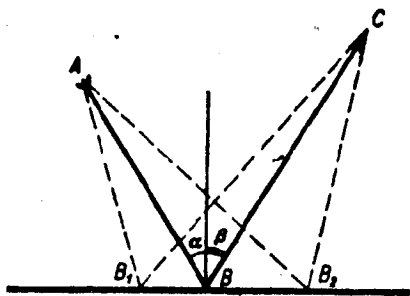
C。由 A 經 B_1 至 C 的直線雖路程最短，然所需時間則可能較長，因其在較密介質中的一段途徑 B_1C ，可能由於其較小之速度而耗時較多也。其他任何光路，如經過 B_2 或 B_3 者，均較為耗時。關於這一點，十七世紀的法國數學家費馬 (Fermat) 已經證明過了。

一般言之，光線自一種介質中的一點 A，至另一介質中之一點 C，其所取之路徑，是一切可能的

路途中耗時最短者；而此一路徑正好能適合折射定律。

由於此種理由，折射定律又常稱為“最短時間定律”或費馬法則。

光線在鏡上反射時(第 90 圖)，根據反射定律，光路自 A 點經 B 點至 C 點，其入射角 α 等於



第 90 圖 最短時間定律亦適用於光之反射