

大學叢書

普通物理學

下冊之二

薩本棟著

商務印書館發行

大學叢書

普通物理學

下冊之二

中華民國二十三年七月初版
中華民國二十六年十二月增訂四版

（1934年4月）

大學叢書
（教本）普通物理學 冊下二冊

裝平二冊合售實價國幣貳元捌角

外埠酌加運費匯費

著 作者 薩 本 棟

編 輯 者 中華教育文化基金會
董事會編譯委員會

發 行 人 王 雲 五
長沙南正路

印 刷 所 商務印書館
長沙南正路

發 行 所 商務印書館
各埠

版權所有
翻印必究

（本書校對者余大猷）

第五編 光學

(0.12) 光學總說 光學所討論之現象，乃基於視覺，故其問題頗似聲學中各問題，亦可分之爲生理的，心理的，及物理的三種。在物理學中吾人所注意者，爲光之傳播情形與其本性兩大問題。

光之傳播，其較顯著之定律有三：光之直進，光之反射及光之折射是也。根據此三條實驗的律例而引用幾何學原則，以演繹光線進行之情形，其所得結果已屬不尠。此等論述，實爲最初物理學者對於光學之貢獻。此部之光學常名爲幾何光學 (geometrical optics)。幾何光學僅授吾人以如何應用上述各實驗律例之方法，則未能解釋此等律例何以必如實驗所示。今如欲解釋此等律例。則對於光之本性，必須作深切之探討，明乎光之本性，不但可以解釋幾何光學各原理，且可由之而推得其他爲純粹幾何學方法所不能推導之現象。此部分之光學常名爲物理光學 (physical optics)。由此言之，幾何光學實可視爲物理光學之粗淺部分。

對於光線之直進及其反射現象，人類知之頗早，蓋此等現象極爲常見，吾人稍加考察，無有不洞悉其所遵循之律例者。反射現象在 Euclid 時(西曆前 330-275 年)已有正確之定律。世有傳 Archimedes 用反射鏡以焚毀羅馬艦隊者，其說雖不可信，然亦

足以見反射鏡之應用，已遠在希臘文化全盛之時代也。

折射現象雖亦甚常見，然正確折射定律之制定，反在望遠鏡發明之後。其初研究折射光學(dioptrics)者，僅知將折射角與射入角相當的價值列成一表，以備檢用。至 1621 年時 Snell 氏方發現其關係。至于利用各式透鏡(lens)以作簡單之光學儀器，則在十三世紀時，已有眼鏡之發明，而在十七世紀初葉，Galileo (1609 年) 與 Kepler (1611 年) 等已知如何合併兩個透鏡以作望遠鏡。是則折射現象之應用，為時亦頗早矣。

關於光之本性之論述，在十七世紀時，認光為發自光源之微粒者，有 Newton 及其門徒，而倡光係取波浪方式而傳播者，則有 Huygens 等。依 Newton (1678 年) 之光之微粒說 (corpuscular theory of light)，光之直進與其反射，均易解釋；至于折射定律與光之顏色亦可另用一二假設而說明之(見後第六十五章)。Huygens (1679 年) 所首倡之光之波動說 (wave theory of light)，對於反射及折射兩現象之解釋，雖亦甚簡，惟因波浪常能繞阻碍物之邊沿而傳達於其後，而不為 Newton 等所採納。至 Young (1801 年) 與 Fresnel (1815-1826) 等作實驗以表示光之干涉作用 (interference) 後，波動說方擢得微粒說之地位而代之，此蓋因干涉作用，乃波動之特徵而非微粒說所能解釋者也。

Maxwell 所倡之光之電磁說 (electromagnetic theory of light) 與 Hertz 之實驗，將熱，光，及電磁各現象，悉追溯之於

同一之源泉，是誠十九世紀物理學界最重要貢獻之一。在其時，較樂觀之物理學家，且有認物理學之發展，已達登峯造極之境者。迨十九世紀末葉(1895年)Roentgen發現X光線，與 Becquerel 等發現放射動質，研究物理學者乃復得新途徑。此等現象之研究與 Lummer 及 Pringsheim 兩人(1899年)對於輻射之準確實驗，復表示光之波動說，尚非完璧。爲解釋 Lummer 與 Pringsheim 之實驗結果起見，Planck(1901年)乃創量子說(quantum theory)主張能量之輻射爲不連續的。其後 Einstein(1905年)引用量子說以解釋光電定律(photoelectric law)，Bohr(1911年)及 Sommerfeld(1922年)等藉之以解釋光譜(spectrum)中各線之產生，Debye(1912年)亦根據之以說明比熱與溫度之關係，光之微粒說之外形於以復生；然量子說之假設，與 Newton 所倡之微粒學說不盡相同。光之量子與其波動說所主張者雖大相逕庭，然二者各有實驗基礎，孰取孰去，爲二十世紀初，物理學中最難解決之問題。惟自有 de Broglie(1923年)，Schrödinger(1925年)及 Dirac(1926年)等之理論工作，與 Davidsson 及 Germer(1925年)，G. P. Thomson(1926年)，Dempster 及 Johnson(1926年)等之實驗結果以後，吾人對於光之微粒說與波動說同時並重，而不認其係不能相容之二論，蓋此諸人之結論，不但表示光之傳播，有時類似波浪，而有時則與微粒無異，各種微粒例如電子與質子在適當情形之下，亦可以發生波浪所特具之

干涉作用也。

本篇之論述，先及幾何光學各原理及其應用，次述量測光之速度與光之照度之方法，再次比較 Newton 之微粒說與 Huygens 之波動說，然後略舉數例以明干涉作用之情形及雙折射與光之偏極等現象之意義。光譜之分析，色覺及輻射等問題，雖亦分別討論，惟對於較新之學說，如量子論等，則僅作簡淺之陳述。

第五十九章 光之直進與其反射

(59.1) 光之直進 在均勻之媒介質中，光顯然沿直線而進行。例如置不透明之物體於燈光之下，僅其向光之面，被照明亮，其背光之面幾完全黑暗，即足以表示光係自光源沿直線而傳播於遠近者也。惟如細察阻碍物所生之影，則吾人即將發見光亦能繞過阻碍物之邊沿而進行，蓋物體之影，其明暗區域之分界線，驟視之雖甚明晰，細察之則見分界線旁之暗區內，仍留有多少光之痕跡。此繞射現象(diffraction)，固甚重要，然在幾何光學中，吾人可不計及其事，而認光之直進為一基本定律。

(59.2) 光線及焦點 吾人既承認光自光源沿直線向四方傳播，則討論其傳播情形時，可以直線表示其進行方向。茲為簡便起見，名表示光進行方向之直線為光線(rays of light)。若有少數之光線圍繞一軸線而分布，此組光線常名為光綫錐(pencil)。如此等光線係會聚於一點，則其會聚之點名為光綫錐之焦點(focus)。

(59.3) 影 影之構成，可視為光沿直線進行之結果。物體所生之影，其形式不但由物體邊沿之形式而定，且視光源之大小而異。設發光者為一甚小之物體而可視作一點之光源如圖(421)中之 S ，則自 S 至物體 B 之邊沿之光線如 SB_1P_1, SB_2P_2 等即為

明暗區域之分界線。蓋在 B 之背後，及此等光線所包圍之區域

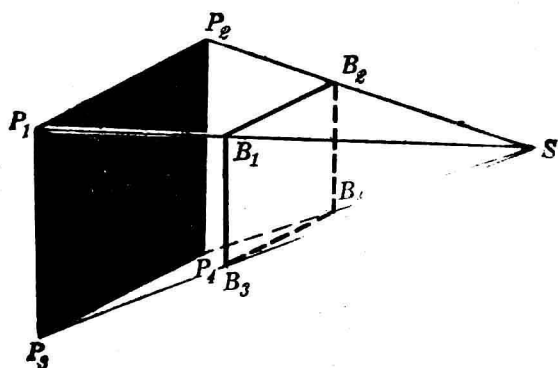


圖 421

內，光線全被 B 所隔斷，故其間乃成完全黑暗之境。此黑暗區域常名爲本影(umbra)。今若在 $P_1P_2P_3P_4$ 處置以幕，則幕上立呈與物體邊界相似而較大之影。

若發光體佔有相當之空間而不能視爲一點之光源，則在全黑暗之本影之周圍，尙有半黑暗之區域，名爲半影(penumbra)者，如圖(422)中虛線所示。欲明半影所以構成之故，可將光體分爲甚多之小點光源，而考究各點所生之影。例如在圖(422)甲中 $B_1B_2P_6P_3B_1$ ， $B_1B_2P_4P_1B_1$ ，及 $B_1B_2P_6P_2B_1$ 各爲自 S_1 ， S_3 及 S_2 三點所發之光線所不能達到之區域；是以此等區域之公同部分，即 $B_1B_2P_4P_3B_1$ ，不能收到自發光體上任何一點所發之光，而爲完全黑暗之本影。至於在此本影周圍外之毗連區域內，

例如 $B_2P_4P_5$ ，其處雖不能收及自發光體上 S_1 至 S_2 各點所生之

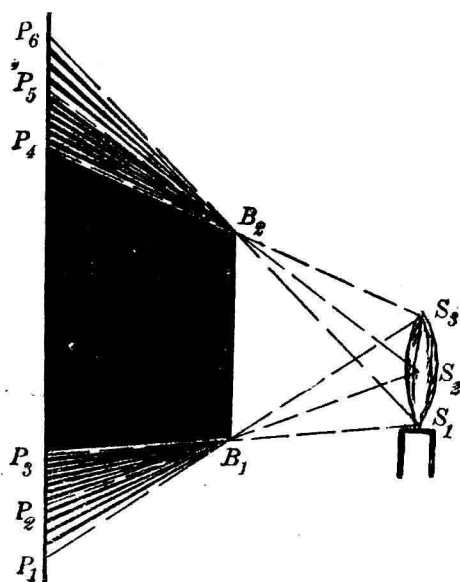


圖 422 甲

光，然仍可收得自 S_2 至 S_3 各點所發者，故此毗連區域之亮度，自本影起漸次增強；至于 B_2P_6 與 B_1P_1 各光線之外，乃為完全光明之境。由是言之，若在 B 之後置一幕，則幕上所顯之影亦為兩部，其中央為完全黑暗之面積，其外周圍則有半黑暗之面積。

若發光體 S 較阻碍物 M 為更大時，如圖(422)乙，則全黑暗之本影並非無限大。遇發光體與阻碍物均為球形時，此本影所佔之區域將為一錐體。若幕距阻碍物之遠度，較此錐體之高度為小，則本影與半影兼備，否則幕上僅有半影。日月之蝕其情形與

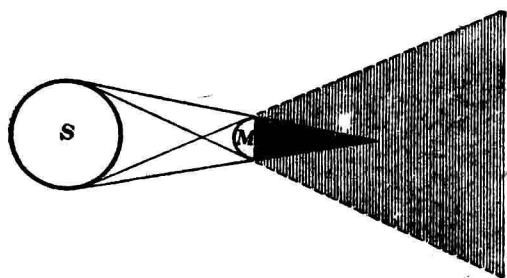


圖 422 乙

本段所述者甚相似，均可依此而說明之。

(59.4) 針孔像 若前節之阻碍物之範圍極大，則其背後為完全黑暗區域，已如上述。今如在此阻碍物 A 中鑿一小孔 H ，使光線可通過此小孔以達到置于物後之幕 B 上，則見幕上呈現光源之像(圖 423)；此像不但上

下倒置，其左右亦調換。此式像之構成蓋亦光之直進之結果，因自光源頂點 C 所生之光綫錐將以 CH 為軸線而射於幕上 F 點

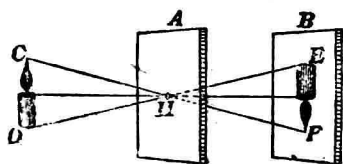


圖 423

之四周，而自其最低點 D 所生之綫維則幾全聚于幕上之 E 點故也。若所鑿之穴 H 愈小，則自光源上各點達到幕上之光綫錐亦愈細，而所得之像之外形遂亦較清楚。惟穴孔愈小，所通過之光量亦愈少，而像之亮度則亦較遜。至孔之半徑約在 5×10^{-6} 厘米之下時，光復四散而像不可得，此乃繞射之結果(見後 67.8

節)，茲不申述。

(59.5) 位視差 除像與影之構成外，因觀者位置之改變而察得物體位置之像似的差異一事，亦係光直進之結果。此效應常簡名為視差(parallax)。例如有遠近兩物體 B 及 A (圖 424)；當觀者自 O_1 處視之時，則見 B 在 A 之左，惟改于 O_2 處視之則 B 係在 A 之右。因此效應，吾人常能辨別兩物之孰遠孰近，(參較後 62.23 節)。測定虛像之位置 (參較 59.12 及 61.7 節) 時，亦多用此理；蓋當一小物與所欲定之虛像之地位完全符合時，無論觀點何在，二者將不呈現相對的位移也。

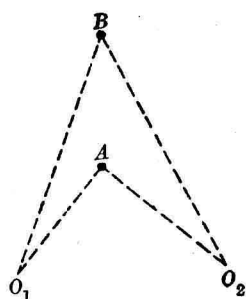


圖 424

(59.6) 光之反射，散射，透射與吸收 當光線在一均一之媒質內進行，而遇另一媒質之界線時，即分為數部，各向不同之方向以進行。在第一媒質中，有一部分之光線，將依一定之方向射回，是為單向反射(regular reflection)或簡稱反射；又有一部分則向各方散發，是為漫射(diffused reflection)；至於第二媒質內，一部分之光線可穿透之而沿一個或二個新方向以進行，是為透射之光(transmitted light)；此外，當光線通過各種物質時，均有一部分為物質所吸收，是即被吸收之光(absorbed light)。討論光之傳播時，此四現象同屬重要，惟媒質之性質與

分界面之情形，常不相同，於是四項之一，有時較其他三項爲顯著。例如在已擦亮的不透明之面處，如鏡之類，漫射之光極極爲微小，可以勿庸討論，而在其前之媒質中，除原有之入射光線 (incident ray) 外，僅有依照一定律例而進行之反射光線 (reflected ray)。茲先敘述入射線與反射線之關係，以作討論反射各現象之根據。

(59.7) 反射定律 試在一平面鏡 M 之前置一小物體 P ，則見鏡中有此物之像 P' 。用簡單之觀察即可顯示四事：(1) 像之位置係固定的，不因觀者 E 所立之地點而稍變；(2) 變換物之位置則像之位置亦隨之而變；(3) 聯物與像之直線係與反射平面作直角；(4) 像在平面後之遠度，與物在平面前之遠度，二者係相等。

細究此四事。(見圖 425)，即知當入射光線 PO 與一反射面相遇之時，其反射線 OE 與 PO ，及通過 O 點而垂直于反射面之法線 ON 三者必均在一平面上，而 OE 與 ON 所作之角度 r 且等於 OP 與 ON 所作之角度 i ；

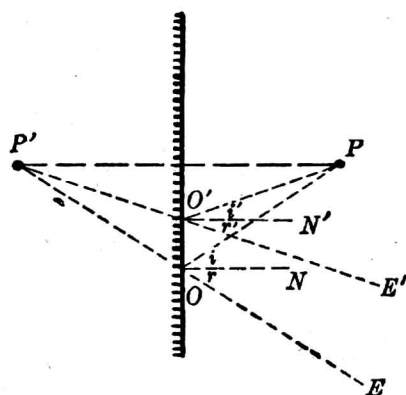


圖 425

角之名爲反射角(angle of reflection), i 角則名爲入射角(angle of incidence)。此反射定律係一極準確之自然律, 其發現雖遠在科學尚未發達之時代, 然即用今日極精細之儀器以作實驗, 亦可證其絲毫不差。

(59.8) 在兩個平面上之多次反射 設有兩個平面鏡, A 與 B , 平行的相對而立, 今在二者中間置一物體 P 如圖(426), 則所覓及之像不只一個, 此蓋因當

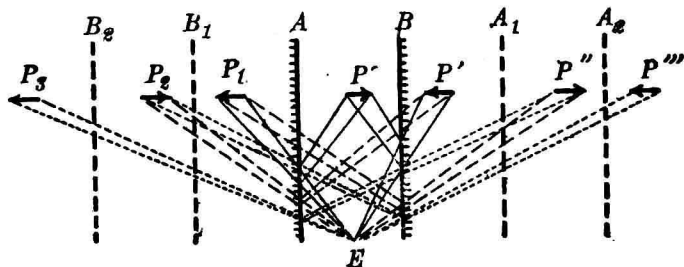


圖 426

吾人向一鏡觀察時, 所見者除 P 之像外尙有其各像之像。例如 P 在 A 中所直接發生之像爲 P_1 ; 其在 B 中所直接發生者爲 P' ; P_1 在 B 中生有一像 P'' , 而 P' 在 A 中亦生有一像 P_2 ; P'' 與 P_2 在 A 及 B 中復各有其像 P_3 與 P''' ; 如是類推乃至於無限多。惟反射多次之後, 各像之亮度大減, 故實際上所能窺見者, 僅有首數個之像而已。

若兩平面鏡係相交而作 ϕ 角, 則所得之像, 其總數有限。求各像之位置時, 可先延長兩鏡, 使其伸出於其交線之後, 如圖(427)中 OA' 及 OB' 所示。 P 各像之位置必均在於以 O 爲中心, OP 爲半徑之圓周上, 故自 P 作二直線分別與 OA 及 OB 垂直, 其與圓周相交之兩點, P_1 與 P' 即爲 P 在 A 及 B 中直接所生之

C 點。聯 O 于 C 之直線則名為鏡之主軸 (principal axis)。各球鏡面視其向光之面為凸或為凹，而有凸鏡 (convex mirror) 與凹鏡 (concave mirror) 之別。凸或凹鏡所造之像之位置及大小均可用同一射鏡公式計算之，惟計算之時，須特別注意公式中所指之距離為正值或為負值，方不致誤。

(59.10) 符號定則 本書言某距離為正或為負，所用之原則與解析幾何學所通用者相同，茲說明之如次。

令光線自鏡之右方射於鏡面。如是，以鏡面頂點 O 為原點，凡自 O 至其右各點之距離均為正，而自 O 至其左各點之距離則均為負。依此定則，故凹面鏡之曲度半徑為正，而凸面鏡之曲度半徑則為負；位在鏡右方之像，其距離之遠度係正號，而在鏡左方之像，其距離之遠度則為負號。

(59.11) 球面鏡公式 欲求球面鏡所造之像之位置時，可引用反射定律。設鏡為凹鏡如圖 (428)，而物係位在主軸上之 P 點。令 PM 表入射線之一。自 M 先作 CM 直線，是即通過 M 點之法線。故按反射定律，反射線 MQ 之方向必使 $i = \angle PMC$ 及 $r = \angle CMQ$ 兩角相等。若所用之各入射線與主

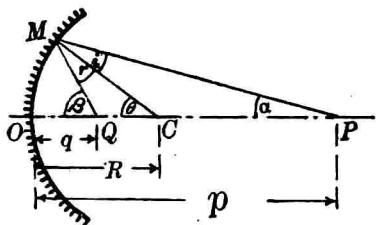


圖 428

軸所作之角度甚為微小，則各反射線均將與主軸相交于 Q 點，

而 Q 即為 P 之像。令 OQ 之距離為 q , OP 之距離為 p , OC 之距離為 R , 至于各角則如圖 (428) 所示。茲求 p , q 及 R 之關係如下:

因 $\angle r = \angle i$, 且自 PMC 及 CMQ 兩三角形而知

$$\theta = i + \alpha \dots\dots\dots (1)$$

及 $\beta = r + \theta \dots\dots\dots (2)$

故有 $\beta - \theta = \theta - \alpha$ 或 $\alpha + \beta = 2\theta \dots\dots\dots (3)$

α, θ, β 各角均甚微小, 故 $\alpha = \frac{OM}{OP} = \frac{OM}{p}$; $\beta = \frac{OM}{OQ} = \frac{OM}{q}$

而 $\theta = \frac{OM}{OC} = \frac{OM}{R}$ 。以此諸值代入方程 (3), 消去 OM , 即得

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \dots\dots\dots (4)$$

此公式雖係假定鏡為凹面而推得者, 實亦可用之于凸鏡。例

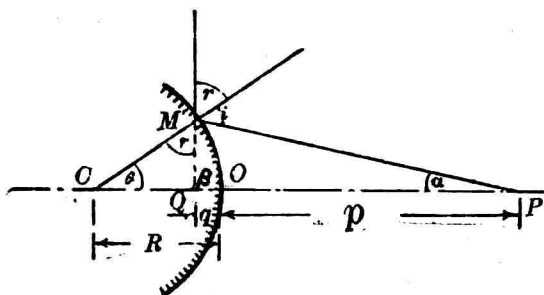


圖 429

如在凸鏡前之物 P , 其像 Q 與曲度中心之位置, 將如圖 (429) 所示。此圖各角之名稱與距離均與圖 (428) 相同。自此圖觀之, $\theta =$