

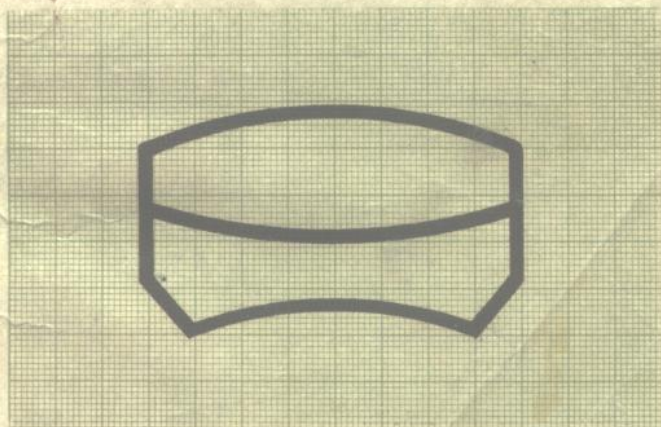
⑧ 8-116

工程与軍用光学儀器

基 礎 篇

(上 冊)

董 太 蘇 編 著



• 科 学 技 術 出 版 社

工程与軍用光学儀器

基 礎 篇

(上 冊)

董太酥編著

科学技術出版社

內 容 提 要

本書系一綜合性的關於機械工程的與軍事應用的光學儀器，在原理、設計和應用技術方面的專論。分為上、中、下三冊：上冊系光學原理及設計理論部分，計三章，由成像條件，反射、折射定律和繞射與干擾等光學原理上的問題，以及照明和光學材料介紹等等作為先導；從而列出各類透鏡與稜鏡之組織原理，其中亦包括有各型攝影機透鏡在組織上之不同點。再就像差發生的原因作分類的敘述和其修正方法，最後則是各類透鏡之設計和計算部分。俾讀者可自行設計光學儀器上之光學組織。中冊系專門敘述和介紹機械製造工程上所用的測量及檢查幾何形體的各種光學儀器在設計上的原理和特點，以及使用上的技術。這些光學儀器是提高產品質量所不可或缺的作精密測量和檢驗的工具。下冊系專門敘述和介紹軍用光學儀器在設計原理、操作方法和維護上的要點。由於事實上的困難，故本冊內容是偏重於原理方面的說明，俾讀者遇到具體問題時，能根據原理而能自求解答。

本書宜作為大專、技術學校有關科系的課本或主要參考書；光學儀器機械設計者和製造者必備的工具書；機械製造工廠設計和檢驗部門的日常手冊；軍事學校和部隊研讀光學儀器之必要用書。

工程與軍用光學儀器

基 礎 篇

(上 冊)

編 著 者 董 太 蘇

*

科 學 技 術 出 版 社 出 社

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九號

上海新華印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書號：13119·23

(原大東版印3,000冊)

開本 860×1188 1/32 · 印張 9 1/2 · 字數 214,000

一九五六年十月新一版

一九五六年十月第一次印刷 · 印數 1~1,000

定價：(10)一元六角

自序

光學儀器，廣義地講，是包括一切利用光線和玻璃效應的器具，所以簡單的放大鏡和眼鏡，也是這一定義下的代表物。一切動物的眼睛也是一種生理官能性的光學儀器。但嚴格的來講，光學儀器是指：利用光學和機械互相結合成的實驗性和工具性的儀器，所以有時亦直稱為“光學機械”。由這些儀器的效應——光學部分主要是透鏡的折射和稜鏡的反射；機械部分主要是精確的角度和直線的位移運動——造成了顯微、望遠和留影，使人們（眼睛）對一定事物有了清晰的視覺和分辨，來定出受檢物體的幾何形態、相對位置或光澤比較等等的關係。用光學儀器來對這一切事物作檢定，是實現我們偉大的社會主義工業化在科學上和技術上的必要前提。

光學是物理學中發達比較早的一門學科。在我國，基本光學概念，亦已有了悠久的歷史，成為口語的聚焦取火這一物理定律，就是我國古代科學家們在光學方面成就的一個明證；墨經的某些章節簡直就是一部簡化了的幾何光學；他如水晶的利用，眼鏡的配製，在我國歷史上就比其他國家早得多。當然，我們祖先在光學事業上的成就是遠不止於此，還有待科學史家的發掘和考證。但是世界光學儀器工業的發展，則還是近百年來的事。因為光學儀器的光學和機械二部分，在功能上都必須要有相等高度的精確性，而二者又都是精密機械工業的產品。光學儀器又用來幫助科學研究工作的展開，經濟建設事業的發展，工業產品（尤其是精密機械工業的產品）質量的提高。如此相互促進，奠定了今日世界

精密機械工業的基礎，造成了光學儀器在設計和製造上的重大成就。

因為只有在有了高度優良品質的儀器之後，方才能有高度優良品質的機器（連同儀器本身在內）和科學研究工作的成績產生。不僅一般產品要受儀器的檢驗，來定出它們的標準，就是作為生產資料的機器，在製造過程中，也是毫無例外地要受儀器來檢定其品質，在科學研究工作上當然尤更無論了！所以儀器製造工業可說是標誌着一個國家的科學和技術二方面的水平。而光學儀器則又是一切儀器的基礎。只有在有了顯微鏡之後，才能使長度標準原器（公尺或碼）被劃分成任何細小而又準確的微長等分的可能，而準確的微長等分則又是一切度量衡制度的最後表示手段；如果在今天還沒有產生出可靠準確性的微長等分，亦就不可能有像今天這樣發達的精密機械製造工業和與它有關的一切事業了。光學儀器不僅劃分了長度標準的原器到了最微小的等分，而且已可利用光學儀器放射出來的一定光波長度來作為物質的長度原器的對證副本。亦只有在有了光波干涉儀之後，機械製造工業才有製造出標準塊和測定平行率的可能。十萬分之一公厘或百萬分之一吋，在今日精密機械工業產品裏已是成了日常性的測驗工作，如果用機電性儀器來作測量，則不僅不能達到如此高的靈敏度，而且機構複雜，使用困難；但用了光學比較儀之後，則如此微小的測定工作，已經易如反掌。一切樣板的製作，如果沒有光學投影儀，則就沒法做出合乎理想要求的幾何形體或輪廓。

光學儀器，不僅在提高工業製造技術上有其無上的作用，而在工業研究工作上亦是不可或缺的利器。近四十年來，由於金相學的發展，從而促進了金屬材料的非凡進步，其成績就是來自光學儀器裏的金顯微鏡和光譜儀的製造成功和幫助。

近二十年來，航空測量技術的發展，那更是光學理論和光學儀器設

計上的輝煌成就。六分儀，雖然已有悠久的歷史而將成為光學儀器裏的老前輩，但迄今為止，它仍是在航海工作中起着極重要作用的一個定時和定位用的光學儀器。

光學儀器又是保障人類健康與病菌作鬥爭的有力武器！至於將活動的事績和美麗的景物拍攝成為教育、紀念、欣賞以及對科學研究工作等作重要貢獻的電影機和攝影機，則更是光學儀器的特長。

光學儀器在今日一切科學研究工作上已是決不可少的工具了。

除此而外，更重要的是，光學儀器是在擔負着保衛祖國和人民的安全，捍衛着和平建設的偉大任務。我們英勇的人民解放軍的望遠鏡時刻在搜索着偵察着企圖來侵略祖國領土、領海、領空的敵人；我們的測距儀和砲鏡，時刻在瞄準着給予企圖侵入祖國的敵人以沉重的打擊。

本上所述，可見光學儀器重要性的一斑，不論在建設事業上、科學研究工作上、保護人類健康上、捍衛祖國安全上，均有其獨特無比的作用和幫助。照理講，這樣一門重要的科學——光學儀器，應在一個國家的教育、研究和工業部門裏佔有其一定的重要地位；可是在舊中國腐朽反動統治的政權之下，它是少人理會的，連得最起碼的眼鏡鏡片亦得由外國進口，其他尤更無論了！

在人民掌握了政權之後，光學儀器事業受到了極度的重視，國家在短短的幾年內創辦了光學儀器工廠，成立了光學儀器專業，來進行光學儀器的研究、教學和製造等方面的工作，並且已在積累的經驗中獲得重大的成就。我們要為新中國的光學儀器科學事業的光輝前途而歡呼。這一門在資本主義國家視為最賺錢亦最守密的科學，已被新中國的人民，在優越的社會制度中與技術和勞動相結合的基礎上，打開了它的大門，奠定了整個事業多方面的基礎！這些成功是與黨和政府的英明領導及我們的盟邦蘇聯無私的幫助分不開的。現在我們已經可用自造的顯微

鏡來與病菌作鬥爭，用自造的工程光學儀器來建設我們偉大的社會主義工業化的工程和進行科學研究，用自造的軍用光學儀器來保衛我們的祖國和鞏固世界的和平，用自造的電影機和即將有自造的來記載和映現我們幸福的社會主義生活的絢爛美景！

本書計分三卷：第一卷為基礎篇，是幾何光學的簡篇，使未曾學幾何光學的讀者能得知有關的學識，和基本光學設計的方法及條件；第二卷為工程光學儀器篇，主要是偏重於機械工程所用的光學（測量及視觀）儀器的構造原理、設計要點、使用方法等項目；第三卷則為軍用光學儀器篇，闡述有關儀器在設計上的要點和結構上的特點。光學儀器的應用範圍原不止工程及軍用二部分，但由於作者學力及篇幅的限制，只能對醫理化和攝影放映等方面的光學儀器暫時割愛，俟將來機會許可時，當再續編之。軍用光學儀器部分更因事實上的困難（如作者能力有限，對大部分讀者用處不大，搜集材料不易等等）對若干特殊儀器如飛機投彈瞄準儀、艦炮射擊指揮儀等的光學部分毫無論述，一方面作者是要表示歉意，一方面當努力設法於將來補充之。本書可供大學光儀專業及機械製造專業採作為部分課本，亦可作為物理系及物理工作者、機械工作者及部隊人員等作為光學儀器上的主要參考書。

本書之編著工作完成於1951年以前，因工作關係延至最近方始整理付梓。本書不僅因寫作時間關係未及參考先進的蘇聯光學和光學儀器的出版物，就是現有的一些內容及寫作技術方面亦一定有很多缺點，重寫又限於時間及精力，只得容將來修訂之。同時深盼各方讀者、專家學者提示寶貴意見，俾得修正和充實，尤所感企！

董太穌 一九五四年十二月於杭州

目 錄

(上 冊)

第一卷 基礎篇

第一章 光學原理	1
一 光學組織之基礎	1
1. 形像之構成	1
2. 倒像之成因	2
3. 物像之重疊	4
4. 光之強度變化	4
5. 光線照射於一平面上 的作為	6
6. 反射定律	8
7. 單鏡反射之應用	10
8. 相對雙鏡反射之應用	13
9. 曲面反射	13
10. 折射定律	18
11. 折射定律之結果	22
12. 繞射現象	25
13. 光譜	27
14. 光之本質	28
15. 干擾和繞射	32
16. 光學儀器之作用	37
17. 瑞利氏限度及焦點深度	41
18. 分辨本領	43
二 人目之光學作用	46
19. 人的眼睛及其功能	46
20. 視差集焦	53
三 光、照明與放大	54
21. 發光體及效率	55
22. 強度	57
23. 光源之亮度	58
24. 光源之選擇	59
25. 照明(度)	62
26. 表面亮度	64
27. 物像之亮度	65
28. 熒光	68
29. 磷光	69
30. 閃光測頻器	70

31. 光匣	71	33. 雙眼放大鏡	76
32. 放大鏡	72		
四 偏振光	78		
34. 綜說	78		
五 光學材料	84		
35. 玻璃總說	84	40. 石英(水晶)	97
36. 光學玻璃之特性及成分	85	41. 螢石(螢石)	99
37. 光學玻璃之若干斑點	89	42. 方解石	99
38. 濾光鏡	92	43. 加拿大樹膠	100
39. 塑料	96	44. 透鏡的低反射加膜	100
第二章 透鏡與稜鏡	110		
一 透鏡之性質及作為	110		
1. 總說	110	4. 厚透鏡	125
2. 映像之位置	119	5. 透鏡之組合	134
3. 放大率	120	6. 柱面透鏡	137
二 透鏡之像差	140		
7. 透鏡之像差概述	140	13. 縱向色像差	157
8. 球面像差	142	14. 側向色像差	158
9. 彗形像差	146	15. 因映像位置而造成的像差變異	159
10. 像散現象及像場彎曲	148	16. 因映像高度及光圈而造成的像差變異	160
11. 畸變	153		
12. 因光色不同而發生的像差(色像差)	156		
三 稜鏡	161		
17. 折射稜鏡	161	20. 映像與原物的方位及視觀位置關係	174
18. 反射稜鏡	162		
19. 反射稜鏡之形式及作為	166		

第三章 透鏡設計及其他光學原件	176
一 光線之投射	176
1. 概述	176
2. 透鏡之計算	180
二 光闌原理	183
3. 共軛原理	183
4. 光闌之作用	184
5. 入射及出射光瞳	187
6. 場光闌	189
7. 進光及出光窗	190
8. 光闌之佈置	190
9. 其他用途的光闌	193
10. 光闌阻問題	193
11. 焦闌	194
三 球面像差計算	195
12. 綜述	195
四 色像差	206
13. 綜述	206
14. 縱向色差對於工程光學儀器之影響	214
15. 消除縱向色差之方法	216
16. 因不同單色光而發生的色像差之變異	220
五 彗形像差	221
17. 綜說	221
六 消球差性物鏡之設計	227
18. 綜說	227
19. 設計要點	228
20. 設計之步驟	235
七 目鏡設計	242
21. 綜說	242
22. 惠更斯型目鏡	244
23. 冉斯登型目鏡	251
24. 開爾納型目鏡	253
25. 無畸變型目鏡	254
26. 對稱型目鏡	254
八 攝影用透鏡組織	258
27. 綜述	258
28. 攝影用透鏡組織	260
29. 攝取遠景之透鏡組織 ①	269
30. 未來之發展	277

九 光學公差279

31. 綜述279

十 若干原件在製作上之要求284

32. 玻璃原件284 34. 標線片286

33. 金屬原件285

附錄 公厘—吋、吋—公厘對照表

三角法 (光綫投射) 之單透鏡計算舉例

主 要 參 考 書 目

葉蘊理譯述：光學，中華書局出版

清華大學物理系譯：幾何光學，商務印書館出版

清華大學物理系譯：物理光學，商務印書館出版

薛楨著：常用的光學儀器，商務印書館出版

K. J. Habell 及 A. Cox: Engineering Optics

D. H. Jacobs: Fundamentals of optical Engineering

F. A. Jenkins 及 H. E. White: Fundamentals of optics

L. C. Martin: Technical optics

E. T. Whittaker: Theory of optical Instruments

謹藉本書出版之際，向以上各書作者致以謝忱。

——本書作者——

第一章 光學原理

一 光學組織^①之基礎

1. 形像之構成

光學儀器之利用有二：即放大和望遠。將微小的遠處的物像，通過光學組織而顯現出清晰可辨的形像（和它的位置）於眼前，此即是我人應用光學儀器的最終目的。

光線在進行中的形態是直線的。但嚴格言之，它不是絕對的沿直線進行，而是稍成圓折形的；然此項圓度是小得不值得去作計算，故除非是在特殊要求之下，我人常不計算其圓度，而視作為完全平直形態和直線的進行傳播。

為證明光線是沿直線進行傳播的理論，來作為認識光學作用的初步的和基本的事物，我人可用針孔照像機作為實驗，同時亦可獲知物像是如何構成的。它的結構如圖 1.1.1，在方形匣的前面開一微小的針孔，背面則用一毛玻璃作匣板，因之，我人可在毛玻璃之背面得見由前面針孔投射於毛玻璃面上之物像；自圖 1.1.1 所示，映於毛玻璃上的物像是與物體原來的位位置顛倒和相反的。

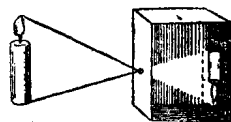


圖 1.1.1 針孔照像機之結構

映射和位置顛倒相反之原理如下：圖 1.1.2 中之 B 是一直立的硬

① Optics system, 本書內亦簡稱之為光具組，指一切具有光學作用之器具、裝置、系統及組織等而言。

板,中有一小孔, B 前置一發光的蠟燭 X , 燭形經小孔而成倒像 x 映於 B 後的 C 面, 除上下顛倒而外, 它還是左右相反的; 但由於 X 的外形是對稱的, 不易立刻看出其相反的關係。今再在 X 之傍邊開亮一支平立的電燈 Y , 則燈形亦經小孔而倒立於 C 面成 y 像; 但它與 x 的位置卻是與它們的原物 XY 相反的。由此可見光自發光體每一點射出後, 必是順直線進行的, 否則便不能發生上述行為。

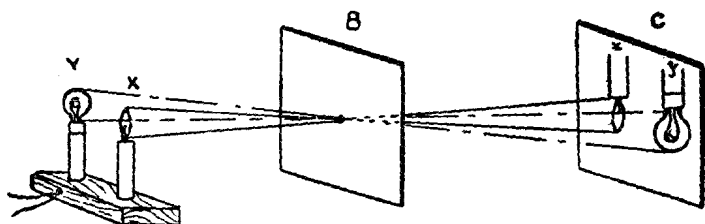


圖 1.1.2 針孔照像機之映射原理

如 B 板上的針孔愈小 則映在 C 面上的物像亦愈清晰, 雖然像的光亮度是相對地減小; 其原因乃是孔徑較小而通過的光線亦較少之故。但將針孔縮至非常之小如 $\frac{1}{100}$ 公厘時, 則映得者僅是一團光斑而無法分出物像的輪廓。實際上, 用針孔照像機映得的物像, 無論如何其輪廓是並不十分清晰的, 因之在工程光學中並無實用的價值。但它在光學理論中卻有兩點關於物像構成方面的特性, 是值得我人加以認識和研究的: 即光線的直線傳播和繞射^①。二者在光學上同居於非常重要的地位。

2. 倒像之成因

從圖 1.1.2 之所示, 我人已知通過針孔照像機所得的物像, 是與原體的位置上下顛倒和左右相反的; 同樣的, 凡通過小孔而映得的物像均

① Diffraction, 或作衍射。

是這樣的，我人在術語上稱之爲倒像。倒像的成因是由於光線的直線傳播和繞射的結果。

圖 1·2·1 之 H 是一針孔照像機的小孔， A 及 B 是蠟燭的上下兩點，光線自蠟燭發光部分的任何一點向外作全部方向的投射，此即稱爲繞射。但來自任何一點的全部光線例如 A ，僅能在 AH 的方向上才能通過小孔映於底板而得 A' ， A' 是全像中的一個構成點；相同地， B 的全部光線亦僅能對準 BH 方向的一點方能穿過小孔而映於底板得 B' 點。來自蠟燭任何有光部分的任何方向、任何一點的光線，凡能通過 H 者，均成直線的繞射於底板上；集合無數來自任何方向、任何一點的光線聚成一個與原體上下顛倒、左右相反的物像，這是所以產生倒像的基本原因。亦是光的直線傳播和繞射的最好證明。

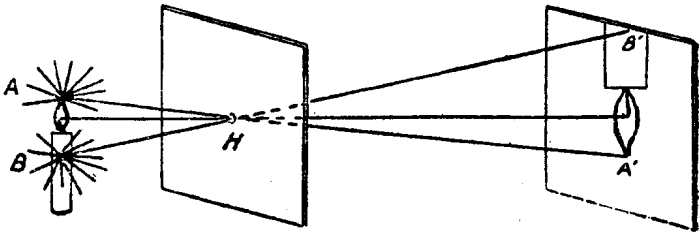


圖 1·2·1 倒像之成因

物體與物像之間的大小比率，是決定自它們二者與針孔板之間的距離的比率：

$$\frac{\text{物體的高度}}{\text{物像的高度}} = \frac{\text{物體與針孔板之間的距離}}{\text{物像與針孔板之間的距離}}$$

在理論上，針孔板應是無厚度的，但實際上這是無法辦到的，故一般是以板厚的中分線作爲測距的起點。物像愈大，則光線亦愈暗，因少量的光線通過針孔映於底板上的較大面積而要得放大的物像，其光亮度自因之而降低。

3. 物像之重疊

如在圖 1·2·1 針孔板的旁邊另開一不限定位置和大小之針孔，則底板上即可映得第二個物像；若同時在 H 孔的周圍開了若干小孔，則由此所造成的物像即成為互相重疊模糊不清的狀態，無法分清單獨的清晰物像，故此，增加孔數並不能解決物像所需要的光亮問題，而須用漫射光^①來補救針孔透光的不足。各種透鏡正是造成漫射光的基本組織。自光線的傳播作用言，透鏡是集合無數針孔和底板於一處的特殊器具。但透鏡與針孔照像機的不同點，是在前者可得相當光亮、清晰、而又不發生重疊的物像；而這三點是後者絕對無法具備的。

4. 光之強度變化

在上段已經講過，來自一個光源的光線是四散地分射向任何方向的，因此，每一光線雖然保持其原有的強度，但照射於一指定面積的光束亮度，則是決定於光源與映面之間的距離遠近。

茲在圖 1·4·1 光源 L 之前一呎距離的地方置一面板，即產生一定面積的映面 AB ；如將面板移至二呎距離處，則同一的光束將更分散的產生較多光線而映滿 CD 的面積，它較 AB 者大四倍，但其光芒的

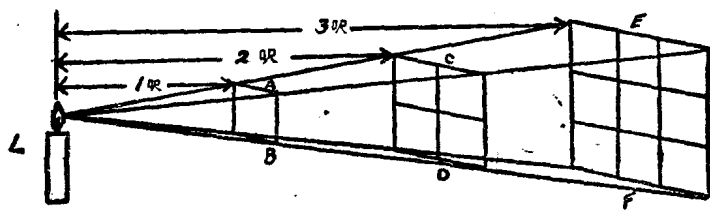


圖 1·4·1 光之強度與映面間之關係

① Diffused light.

強度僅是 AB 的 $\frac{1}{4}$ ；如將面板更向前移至三呎距離處，同一的光束仍能映於 EF 面積，但其原有的光芒強度亦僅是 AB 的 $\frac{1}{9}$ ，餘則依此類推。故就距離與面積而言，它是正比率地遞加的，但光的最後強度卻是反比率地遞減，如 1 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{9}$ 、 $\frac{1}{16}$ 等等；或者亦可說，光強變異率是距離平方數的倒數，亦是光之入射角的餘弦，可用下列說明證實之。

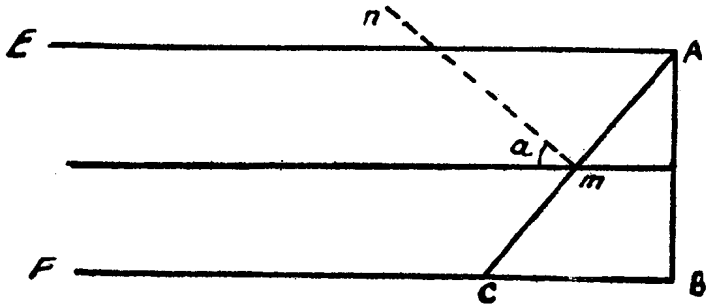


圖 1.4.2 傾斜面上之光強度

令圖 1.4.2 的光柱 EF 投射於 AB 面，假定其強度為 I ，今將原與 EF 成垂直的 AB 面改為傾斜的 AC 面，因此而使原來的光線映照較大的面積，強度自必比率地減低，今稱此一強度為 I' ，則：

$$\frac{I'}{I} = \frac{AB}{AC}$$

畫 AC 的中分法線 mn ，法線與入射線中間的角度為 α ，即是所稱的入射角。

由於 $AB = AC \cos CAB = AC \cos \alpha$

故此 $\frac{I'}{I} = \frac{AC \cos \alpha}{AC} = \cos \alpha$

及 $I' = I \times \cos \alpha$

或 I' 是隨 $\cos \alpha$ 而變異的

綜合以上二項證明而言，光的映射強度是隨距離和面積的擴大而

比率地變弱的。

5. 光線照射於一平面上的作為

爲求得能有較用針孔照像機所得的更可靠的物像，不祇明亮而且要倍數高和輪廓清，則須用使光線發生轉折的方法來達成此一目的，亦即是在如此佈置情況下之光線，例如由一照明點再與另一點（即物像點）重遇，因無論如何，在任何同類介質的光線必是沿直線進行照射的，但如果方向有所變動，則光線亦隨之而變化，而且是突然的轉折，而不是漸漸的變異；僅在分成二個介質的平面上，才需注意它的轉折細則和其物像所在的構成面形。

當一光線與一由介質 A 及 B 所分界的平面相遇時，共有四種不同形式的作為。今假定光線原來是沿 A 介質進行的，則它的作為是：

(1) 在 A 及 B 二個介質分界面上的吸收 例如當 A 是空氣及 B 是塗於平面上的深黑漆，或 A 是玻璃及 B 是塗於玻璃背面的黑漆等二種情形，光線遇到黑色，即被完全吸收而不再反射出來，本作用常用於光學儀器玻璃的周邊，或金屬部件的表面，使原有反射性的介質因塗黑漆之後而失去其反射作用，使光線受到限制而不再發生不必要的干涉作用。

(2) 散射^① 在本情形下之光線是可能自各種方向重行回射至 A ，當它是在漫反射之時。亦可在各種方向下傳送至 B ，當它是在漫傳播之時。當發生散射時，部分光線是作漫散射和部分光線是作漫傳播的。散射一詞含有二重意義：第一種是作為一總的名稱，兼具漫散射及漫傳播；第二種是專門用來形容漫傳播的。光線的漫射在透明與不透明映面上作投影的光學儀器中是頗關重要的一個問題，將在第六章中詳述。

① Scatter.