

高等学校教学用书

普通物理学

第三卷 第一分册

C. Д. 福里斯 著
A. B. 季莫列娃

高等教育出版社

高等學校教學用書

普通物理學

第三卷 第一分冊

C. 9. 福里斯, A. B. 季莫列娃著
東北人民大學物理系譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立技術理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版的福里斯 (С. Э. Фриш) 和季莫列娃 (А. В. Тиморева) 合著“普通物理學” (Курс общей физики) 第三卷 1951 年版譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為國立大學物理系及應用物理系教學參考書。

本書第三卷中譯本分兩冊出版。

本書原由商務印書館出版,自一九五五年二月起改由本社出版。

普 通 物 理 學

第三卷 第一分冊

福 里 斯, 季莫列娃著

東北人民大學物理系譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四號)

上海毅華印刷廠印刷 新華書店總經售

書號13010·132 開本850×1168 1/32 印張13 1/16 字數356,000

一九五五年二月北京新一版

一九五六年十一月上海第七次印刷

印數24,000—32,000 定價(8)¥1.33

第一分冊 目錄

第七篇 光學

第二十二章 光底基本性質	1
§ 238 導言	1
§ 239 光的反射和折射定律	7
§ 240 全反射	12
§ 241 費爾馬原理	15
§ 242 光速的測定	18
§ 243 光的波動說・惠更斯原理	26
§ 244 光的干涉	20
§ 245 觀察光干涉的方法	33
§ 246 從透明板上反射時的干涉現象	58
§ 247 駐波的形成	47
§ 248 惠更斯及夫累涅爾原理	49
§ 249 振幅的圖解加法	56
§ 250 不透明障礙物所引起的衍射	59
§ 251 平行光的衍射	67
§ 252 光的偏振	75
§ 253 光的電磁理論	77
§ 254 光流底動量和能量・光底壓力	82
第二十三章 光通過各向同性物質及其邊界時的現象	86
§ 255 光與物質的相互作用	86
§ 256 光底吸收	87
§ 257 光通過兩種透明物質底分界面時發生的現象	90
§ 257。夫累涅爾公式的推導	97
§ 258 全反射	101
§ 259 光在金屬上的反射	107
§ 260 光底色散	110

§ 261 色散的觀察	117
§ 262 光底羣速度	122
§ 263 在光學性質不均勻的物質中光的傳播	124
§ 264 光通過渾濁物質時發生的現象	127
第二十四章 在各向異性物質中光的傳播	133
§ 265 在異向性的物質中光底傳播	133
§ 266 單軸晶體內的波面	137
§ 267 在單軸晶體內尋常光線及非常光線的求法	140
§ 268 法線面	144
§ 269 雙軸晶體	147
§ 270 偏振光儀器	151
§ 271 偏振光線底干涉・橢圓偏振與圓偏振	154
§ 272 尼科爾岡的晶體薄片	159
§ 273 人爲雙折射現象	162
§ 274 電場中的雙折射	164
§ 275 偏振平面底旋轉	166
§ 276 偏振平面磁旋轉	170
第二十五章 運動物體中光的傳播	173
§ 277 關於運動物體的實驗	173
§ 278 相對論	179
§ 279 由相對論轉換式所得的結果	185
§ 280 運動物體的光學與相對論	188
§ 281 相對論的力學	194
第二十六章 光流與輻射熱力學	200
§ 282 視見函數・光流	200
§ 283 發光強度・面發光度與照度	203
§ 284 亮度	207
§ 285 光束	211
§ 286 光度學數量底度量單位	213
§ 287 光底感覺	218
§ 288 光度學數量底測量	221

§ 289 積分光度計	227
§ 290 溫度輻射	229
§ 291 絕對黑體	232
§ 292 絕對黑體底輻射定律	236
§ 293 絕對黑體輻射底密度和溫度	244
§ 294 光源	246
§ 295 光測高溫學	250
第二十七章 應用幾何光學	257
§ 296 導言	257
§ 297 平面上的反射和折射	260
§ 298 在一個球面上的折射	263
§ 299 一個折射球面所產生的放大率	267
§ 300 共軸球面系統・主平面	271
§ 301 系統的主焦點和主平面的位置	277
§ 302 望遠系統	286
§ 303 光學系統的誤差及其改正方法	288
§ 304 色差	293
§ 305 經過光學系統的光流	297
§ 306 入射光瞳與出射光瞳	301
§ 307 眼睛的光學系統	304
§ 308 主觀亮度	308
§ 309 助視光學儀器	309
§ 310 雙筒望遠鏡與測遠器	315
§ 311 投影與照明儀器	317
§ 312 光學儀器的鑑別率	321
§ 313 稜鏡攝譜儀	325
第二十八章 光的干涉與衍射現象底應用	330
§ 314 長度和角度小量改變的干涉測量法	330
§ 315 干涉儀及其應用	334
§ 316 多光束的干涉	340
§ 317 獲得多光束干涉的方法	344

§ 318 干涉光譜學.....	348
§ 319 干涉度量學.....	351
§ 320 衍射光柵.....	355
§ 321 衍射光柵的色散率和鑑別率.....	361
§ 322 顯微鏡內的衍射現象.....	362
§ 323 空間光柵產生的衍射.....	365
§ 324 倫琴射線底衍射.....	371
§ 325 倫琴射線光譜學及倫琴結構分析.....	373
第二十九章 光子	377
§ 326 從經典電動力學的觀點解釋電子輻射.....	377
§ 327 經典輻射理論的應用範圍.....	380
§ 328 光電效應.....	383
§ 329 愛因斯坦公式及其實驗證明.....	387
§ 330 光底微粒性.....	391
§ 331 光電效應的實際應用.....	397
§ 332 倫琴射線底散射.....	399
§ 333 光化學.....	405
附錄	408

第七篇 光學

第二十二章 光的基本性質

§ 238. 導言 光學或研究光的學問，最早是試圖回答為什麼人能够看見周圍物體這樣一個問題而發生的。例如古希臘的一些哲學家認為眼睛之識別物體，在某種程度上類似於手對物體的觸摸，照這些哲學家的意見，從人的眼睛向着被觀察的物體伸展着某種好像觸鬚的東西。顯然，這種觀念是所有天真意識所常有的，一些流行的隱喻表明這一點，例如：“視線探索”“視線透入”等。但在古希臘，當時已有了光是從物體發出的這種意見，某些物體在一定條件下是光源，光射入我們的眼內而引起視覺。另一些物體則由於吸收光或改變光的傳播方向（反射、散射）而成為可見的。這樣，“光”這個字就開始被用來表示發生於我們之外，作用於眼睛而引起主觀視覺的這種客觀現象。後來物理學概括了這個概念，並且在談到“光”的時候開始表示本性為一致的一些客觀現象的更廣泛的總合，這些客觀現象歸結為短電磁波的傳播，而不論它們能否引起人的主觀視覺。在本書中我們將在這個意義上使用“光”字。

古希臘的科學家發現光的基本性質，是光在均勻物質裏是直線傳播的。在光源很小的情形下，不透明物體投出清楚的影子，由此事實就可以看出光的直線傳播。屏上影子的形狀與從位於光源的投射中心發出的直線所成的幾何射影的形狀一致。同時幾何的直線可藉助於拉緊

的線用物理方法複製出來。在遠距離情形下，當線不能利用時，便用反過來的討論：認為直線與光在均勻物質裏的傳播方向一致。因此，關於用物理方法複製的幾何直線和光的直線傳播二問題之間有密切的關係。

表明光的直線傳播的第二個事實，是用針孔的方法有可能得到物體底像。這種像是用“暗箱”來觀察的，這種暗箱在十六世紀即有了最初的記載。暗箱是一個箱子，在它的一個壁上有一針孔 a （圖1）。從物體上的一點 A 發出的光線直線地傳播，在暗箱後壁的一點 A' 上產生一個小的亮點。由物體 AB 上不同的地方發出的光線所形成的這些亮點底總體即產生物體底倒像 $A'B'$ 。

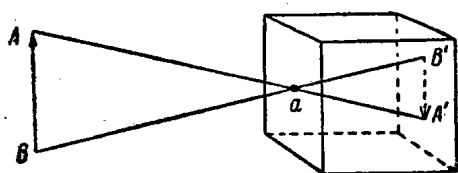


圖1 暗箱內像的產生。

光的次一種必須注意到的性質，是當光線相交時有互不擾亂的本領。在一般情況下，從各物體發出的光線屢屢相交。

這種相交並不擾亂每一光線的獨立傳播，由位於觀察者側面的物體所發出的光線與由位於前面的物體射來的光線是相交的。但是這種情況並不妨礙我們清楚地看到我們前面的物體。

直到十九世紀初，光學的發展基本上是以光線是直線傳播的觀念作基礎的。但是從十七世紀開始，就已知實際上有與光的直線傳播相反的事實發生，例如曾發現：如果小孔 a 做得過於細小，則暗箱內的像便模糊了。這種模糊現象可以這樣解釋，即假定當孔的大小甚小時，孔後面的光線有顯著的曲折。同樣也曾發現當光經過不透明的屏上的極狹的縫時，在光屏後面將看到有明暗交替的條紋發生。由小光源所得到的影子的邊界上也可以看到明暗交替的條紋。這些現象稱作光的干涉和衍射，現在已被研究得很好。若將小光源與觀察影子用的光屏拿到離物體相當遠的地方，則影子邊界上的條紋變得更寬。照片1中（參

看附錄)引用的是 B. K. 阿爾卡第耶夫 (Аркадьев) 所攝的一張持有圓盤的人手影子底照相, 照片 1a 所表示的, 是當手放在相互距離為 2 米點光源與光屏之間時的情形; 照片 1b 所表示的, 是當光源和光屏相距 7 千米時的情況。顯然, 在後一種情況下, 影子和物體底幾何投影不符合; 應當注意, 在圓盤影子的中心上有一亮點。這些照片十分清楚地說明, 有顯然違反光的直線傳播的現象存在。但在許多情況下, 認為光是直線傳播的是足夠準確的。

光傳播底直線性自然引起了認為光是微粒流的思想, 這些微粒是從光源飛出來的, 並且在均勻物質內作等速直線運動。但是這種假說不僅難以符合已為我們所指出的光在障礙物之後彎曲這事實, 而且也不符合光線在相交時互不擾亂的性質。在十七世紀末葉惠更斯寫道: “假如注意到……光線交錯經過時互不妨礙, 那就十分明顯, 當我們看到發光體時, 這件事底發生不可能是由於物質底移動, 如同穿過空氣的擴彈或箭那樣從物體達到我們面前。”惠更斯否認光的微粒說, 他認為光是在以太中傳播的波, 而以太則是一種彈性介質, 充滿整個我們觀察所及的空間。因此在十七世紀末就產生了兩種關於光的學說, 其中一種稱做流出論或微粒說, 認為光是直線飛行的微粒流, 這種微粒是從光源發出的。第二種學說認為光是以太(假定的一種連續介質)內波動傳播。

通常認為牛頓是微粒說的創立人和庇護者, 雖然在他自己著名的、於 1704 年首次出版的“光學”一書中, 他不僅應用了微粒的觀念, 而且也用了波的觀念。牛頓認為光之直線傳播是有利於微粒說的主要論據。當時, 他也發現了微粒說在企圖解釋陰影邊界處明暗交替的條紋時所遇到的困難。牛頓只好假定光線能夠“發生容易的反射和容易的透過”。牛頓曾嘗試將兩種學說——波動說及微粒說——統一起來。他曾寫道: “難道不可能是這種情形嗎? 當光線落在某種透明物體表面上時, 並且在表面上發生折射與反射, 從而激起波浪或振蕩, ……並且難道波浪或

振蕩不能超過光線嗎？當波浪或振蕩超過光線時，即能使“容易的折射”與“容易的反射”發生”。^①

惠更斯是微粒說底反對者。在其 1690 年出版的“論光”一書中，他曾寫道：“光一如聲音一樣，是以球形的面和波來傳播的；我把這些表面稱為波，因為它們和把石子投在水面上所觀察到的波相似。”

羅蒙諾索夫是光的波動說底一貫擁護者，他曾試圖將光的振動和物質微粒底運動聯繫起來。1753 年他曾通知科學院說他想做弦在真空中振動的實驗，以便闡明弦底振動是否伴隨着光底發生。不久之後就作了這一實驗。雖然實驗的結果是否定的，但作為直接證明光底波動說的第一個嘗試，這實驗是具有很大歷史價值的。1756 年，在科學院隆重的會議上，M. B. 羅蒙諾索夫發表了“關於光底起源的講話，提供關於顏色的新理論”。批評了微粒說（按羅蒙諾索夫的說法，“微粒說”是以太微粒底流動），他說：“所以，當以太不能有流動運動，而轉動是在沒有光時發熱的原因，因而剩下一個以太的第三種振動運動，就應當是光的原因。”

雖然惠更斯和羅蒙諾索夫的學說正確地確定了光的波動性質，但它們還沒有足夠明確地將波動過程底基本特性（即波動過程底雙重的、空間和時間的週期性）和由此得出說明光的干涉和衍射現象的可能性包括進去。惠更斯甚至否認光波底週期性，曾寫道：“……不需認為波是以相同距離一個跟着一個的。”光過程底時空週期性（這種週期性是可以作為傳播着的振動底特徵的）是第一次由彼得堡科學院院士 A. 歐拉（Эйлер）以顯明的形式發表出來的。但是根據波動概念來解釋光的干涉和衍射現象的可能性，直到十九世紀初才確定。那時候曾指出光是波長極小的波；可見光，即對人眼發生作用的光，其波長是從 0.76μ 到 0.4μ （依顏色而不同）， μ 即一萬分之一厘米的長度。由於波長這樣小，所以在通常情況下，光在障礙物後面曲折甚小，這也說明了光底

① 譯者註：牛頓的意思是想用波浪超過光線（微粒）來解釋干涉及衍射現象。

表觀的直線傳播(見 § 248)。

十九世紀前半期,光底波動理論把光振動看作是一種連續介質(以太)底機械彈性振動。在發現了電磁波之後(第二卷, § 233)①,已證明光波是波長短的電磁波。因此產生了光的電磁理論,這個理論在十九世紀末葉和二十世紀初葉在整個物理學底發展中都起了很重要的作用。光的電磁理論指出光和電磁現象底一致性,並且再一次證明一切自然現象都密切聯系着這一辯證唯物論的基本原理。

我們在本書以下各節中,首先由光的直線傳播的觀點研究光底基本性質,然後我們再講那些確定光底波動性和表明光波底電磁性質的事實。

俄國和蘇聯的許多物理學家對於發展光的學說有過很大的貢獻。十九世紀初,В. В. 彼得洛夫(Петров)比他以前任何人都更完善地研究了固體和液體底發光現象(§ 357)。1888年,А. Г. 斯托列托夫(Столетов)發現了一種他稱為“輻射電”的現象。這個現象,現今稱為光電現象,即電子在光底作用下從物體中逸出的現象。這現象對於進一步發展我們關於光的性質的知識曾起過巨大的作用。十九世紀末葉 В. В. 戈里存(Голицын)和 В. А. 米亥爾孫(Михельсон)對輻射熱力學有很大的貢獻,輻射熱力學是光學的一部分,是從熱力學的觀點來研究光的現象。А. А. 白洛保里斯基(Белопольский)和 В. В. 戈里存首先用實驗證實了光底波長依光源運動底速度而不同(都卜勒現象,見第一卷 § 104)。1901年,П. Н. 列別迭夫(Лебедев)用其光輝的、特別精細的實驗證實了光底電磁理論所預言的光壓力底存在。在1910—1912年間,Д. С. 羅日捷次文斯基(Рождественский)完成了現今已成為經典的、關於光底反常色散的研究。

在十九世紀與二十世紀之交所做的研究指出,由於波長底改變,光底性質發生質的不同。詳細研究 А. Г. 斯托列托夫所發現的光電效應

① 第一卷和第二卷上所有的引證都是根據 1952 年版。

時，發現具有短波長的輻射（可見光線和波長更短的光線）所表現的特性不屬於經典的波動概念底範圍。如我們在 § 330 將講到的，一系列事實表明光是一份一份地被發射和被吸收，這一份份底大小與光振動底頻率有關係。光流具有不連續的結構。這種情況重新引導到光的微粒概念，這種微粒稱為光子。每個光子具有一定的能量與動量。光子底能量等於 $h\nu$ ，此處 ν 是光底頻率， h 則是一常數（所謂蒲朗克常數），等於 6.624×10^{-27} 爾格·秒。由此可見，頻率 ν 愈高，光子底能量亦愈大。對於頻率小的輻射（不可見的紅外線）而言，光子底能量小到如此程度，以致很難發現這些光線底不連續結構；實際上他們只表現出波動的特性。對可見光而言，光子底能量較大，因而可見光同時表現出波動的和微粒的特性。對於波長極短的光線（倫琴射線與放射性元素發出的射線），光子底能量相對地來講是很大的，所以它們的微粒特性很容易觀察出來。

光同時具有微粒與波動二種特性。物理學底進一步發展指出這個二重性——微粒性與波動性底並存——不僅是光所固有的，也是任何其他基本粒子（個別的原子，電子等）所固有的。從局限於機械觀的科學來看，這種二重性是不可理解的。許多資產階級物理學家以光的二重性作為否定唯物論觀點的理由，企圖使“光”與“物質”對立起來而拋棄因果關係等。

所有這些結論顯然是無根據的。否定經典物理學底機械論的觀念，決不等於否定唯物論的世界觀。列寧在“唯物論與經驗批判論”中寫道：①“認為唯物論主張意識底“更少”實在性，或者唯物論一定要堅持那作為運動着的物質的世界之“力學的”圖畫，而不是電磁的或某種不可測量地更加複雜的圖畫，這當然完全是荒謬的廢話。”波動與微粒特性的綜合只是在辨證唯物論的基礎上才能得出的，辨證唯物論主張對

① В. И. 列寧：唯物論與經驗批判論，1948，263 頁（俄文版）。見解放社版曹葆華譯本 311 頁。

立性表現於自然界底每一個現象中，同時它們又是辨證的統一。

在光底近代理論底發展中蘇聯物理學家起了重大的作用。

A. Ф. 約非 (Иоффе) 與 Н. И. 多布倫拉沃夫 (Добронравов) 一起作了許多關於基本光效應的實驗，這些實驗直接表明光能量底吸收是一份一份地，份底大小是由蒲朗克常數 h 與光頻率 ν 的乘積所決定。

C. И. 瓦維洛夫 (Вавилов) 研究出一種方法，這方法使我們能夠由視覺察知微弱光流底起伏，而這些起伏是由於光流底不連續結構。

Д. С. 羅日捷次文斯基以自己在反常色散和原子理論方面的研究對光譜學底發展提供了巨大的貢獻。

莫斯科的兩位物理學家 Л. И. 曼迭利斯塔姆 (Мандельштам) 和 Г. С. 蘭得斯柏格 (Ландсберг) 發現光散射底新的型式，稱作並合散射；這個現象對於瞭解光與物質的相互作用過程有重大意義。

蘇維埃的物理學家們從來不使理論脫離實際。以最新科學資料作基礎的蘇聯光學工業，獲得了異乎尋常的成績，並在我國（指蘇聯——譯者，以下同）國民經濟中起了很大作用。用最精細的光學現象來為社會主義的建設事業服務；可以用光波測量精細的長度，並可用以檢查最精巧的物品；光電現象在各種技術方面得到廣泛的應用；分析各種材料成份的近代方法中利用着原子光譜、分子光譜、光底並合散射以及其他的光學現象。光學現象底應用範圍一天天地在擴大着。

§ 239. 光的反射和折射定律 最初的一些光學現象底定律是根據光線為直線這概念而建立起來的。這些定律是關於反射時和由一種透明物質進入第二種透明物質時光底傳播方向底

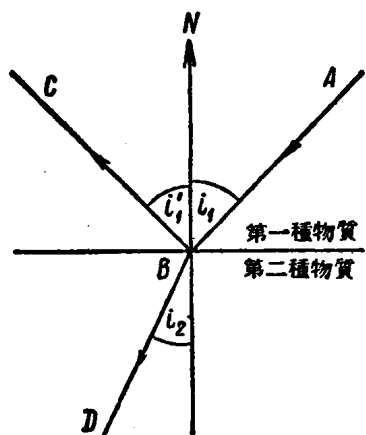


圖 2 兩透明物質境界面上光線的反射與折射。

改變的。

光方向改變的最簡單情形可在光通過兩種透明物質底勻而平的分界面時觀察到，例如這兩種透明物質是空氣和玻璃，或玻璃和水等。在這種情況下，入射線 AB (圖 2) 分成兩條新的光線；反射線 BC 和折射线 BD 。

確定反射光線方向的定律，歐幾里德早已 (公元前三世紀時) 熟悉。反射線 BC 位於入射線 AB 和由入射點所引的法線 BN 所決定的平面內，同時反射線在法線另一方面；反射角 i_1' 在數值上等於入射角 i_1 ：

$$i_1' = i_1. \quad (1)$$

至於折射定律，它的正確陳述要比反射定律遲得多，十七世紀初才確立。按照折射定律，折射线 BD (圖 2) 是在入射線 AB 和由入射點所引的法線 BN 所決定的平面內；入射角 i_1 底正弦與折射角 i_2 底正弦之比，對於給定的兩種物質而言為一常數：

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}. \quad (2)$$

數值 n_{21} 稱為第二種物質對於第一種物質的相對折射係數。

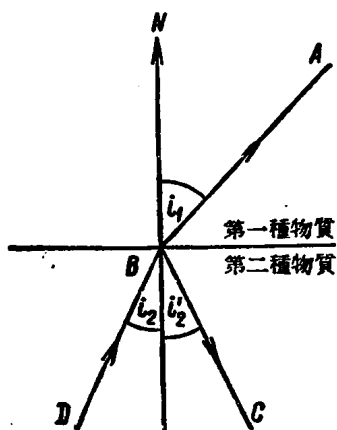


圖 2 在兩個透明物質境界面上光線的反射和折射。

其次，實驗證明，如果光線從第二種物質以角度 i_2 射到分界面上，則它將以角度 i_1 在第一種物質內進行 (圖 3)，角 i_1 與角 i_2 之間的關係仍為關係式 (2)：

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}.$$

但是，從另一方面顯然可以設：

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = n_{12}, \quad (2a)$$

式中 n_{12} 是第一種物質對於第二種物質的相對折射係數。比較公式 (2) 和公式 (2a)，我們發現這兩個係數 n_{21} 和 n_{12} 間

的關係為：

$$n_{12} = \frac{1}{n_{21}}; \quad (3)$$

所以，第一種物質對於第二種物質的折射係數和第二種物質對於第一種物質的折射係數互為倒數。

任何物質對真空的折射係數叫做該物質底絕對折射係數 n 。通常省去“絕對”兩字而簡稱該物質底折射係數。

現在讓我們來研究由兩種不同透明物質製成的兩個互相接觸的平面平行板 A 和 B (圖 4)。光線以角度 i 從真空射至第一板。通過兩種物質後光線以折射角 i' 重新進入真空，實驗證明， $i' = i$ ，即光線射出的方向與原來方向平行。

對於所有的三個境界面依次應用折射定律，得到：

$$\frac{\sin i}{\sin i_1} = n_1; \quad \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}; \quad \frac{\sin i_2}{\sin i'} = \frac{1}{n_2}.$$

式中 n_1 和 n_2 分別為第一種和第二種物質底折射係數，而 n_{21} 是第二種物質對於第一種物質的相對折射係數。由前兩個等式得出：

$$n_{21} = \frac{1}{n_1} \cdot \frac{\sin i}{\sin i_2},$$

由最末的等式得出：

$$\frac{\sin i'}{\sin i_2} = n_2,$$

由此及條件 $i' = i$ ，得出：

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (4)$$

所以，我們得出結論，兩種物質底相對折射係數等於它們底絕對折射係數之比。

於是光在兩種透明物質界面上的折射定律可以寫作：

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (5)$$

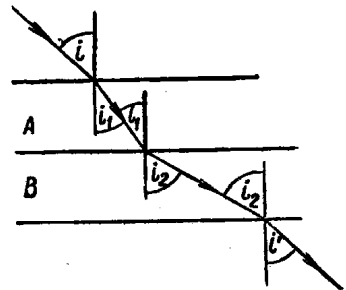


圖 4 通過二平面平行透明板時，光線的折射。

或者寫作比較對稱的形式：

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2. \quad (5a)$$

光底反射不僅在兩種透明物質底分界面上觀察到。在任何物質上，光都要或多或少地反射。磨光的物體對光的反射所遵從的反射定律，與在兩種透明物質底分界面上反射時的反射定律相同：反射角 i' 等於入射角 i 。這樣的反射叫作鏡反射。同時反射光底強度由於反射面底性質不同，可以極不相同：銀製成的磨光鏡面對入射光的反射能達到 96%；黑色的磨光面所反射的入射光不到 1%。此外反射光底強度也和入射角有關係。

除了鏡反射以外，還存在有漫反射。當漫反射時，光或多或少地向各方面反射。一個能將入射光十分均勻地向各方向散射的表面，叫做絕對粗糙面。真正的絕對粗糙面是不存在的。近似的絕對粗糙面，如不光的瓷器表面，製圖的紙面，雪的表面等。與此完全一樣，僅有鏡反射的表面也是不存在的。在大多數的情況下，在鏡反射角底方向上具有最大的反射。如果由光的入射點作許多向量，並使這些向量底長度等於反射光在這些方向上的相對強度，則可用圖示法表示出漫反射光中強度底分佈與反射角間的關係。這些向量末端底聯線就表示反射光強度底分佈。關於某一個反射面的這種圖解，如圖 5 所示，在鏡反射方

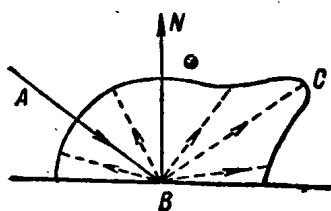


圖 5 光漫反射時強度的分佈。

向上〔即反射角等於入射角的方向（譯者）〕的最大值 C 表示這個物體不是絕對粗糙的：在一定方向上它“發亮”。

改變光線方向和產生像的光學儀器底構造，都是根據光底折射定律和反射定律。例如，使光線錐會聚或發散因而可得到物體底像的透鏡底構造就是根據光底折射定律。用折射系統和反射系統來產生像的方法，我們將在第二十七章中討論。

我們看幾個應用光底反射定律和折射定律的例子。