

高等学校教学用书

光 学

上 册

Г. С. 蘭斯别尔格著

高等教育出版社

高等学校教学用书



光 学

上 册

I. C. 蘭斯别尔格著
王 鼎 昌 譯

高等教育出版社



本書根據蘇聯國立科學技術理論書籍出版社 (Государственное издательство технико-теоретической литературы) 出版蘭斯別爾格 (Г. С. Ландсберг) 著“光學”(Оптика) 1952 年第三版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為綜合性大學物理系光學教科書。

中譯本分為上、下兩冊出版。上冊內容包括緒論、光的干涉、光的衍射、幾何光學(光線光學)與光的偏振等四編。書末並附有相應各編的習題。

光 學

上 冊

Г. С. 蘭斯別爾格著

王鼎昌譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 号)

商務印書館上海厂印刷 新华書店發行

統一書号 13010·65 开本 850×1168 1/32 印張 11 5/16 字數 30,000 印數 15,501—16,500

1956 年 3 月第 1 版 1958 年 4 月上海第 5 次印刷 定价(8) 1.30

謹以本書紀念我的母親

三版序言

在這個新版本裏，我基本上保存了本書底總的性質和材料底編排次序，還作了某些改動和修正。

由於我想在描述各種干涉現象時就能夠利用正確的術語，我把關於基本的光度學概念的那一章移到緒論裏去了，在光線光學底一編裏只留下和光學儀器在改造光通量上的作用有關的一些問題。關於干涉的許多篇幅都重新寫過了，這些部分底敘述，即使在修訂過的第二版中也還留下了許多不能令人滿意的地方。我極力把晶體光學底問題匯集在第八編中去講，雖然我並不以為在第四編中完全不談在雙折射時所產生的偏振底某些問題是可能的，因為在敘述光通過兩種媒質底分界面的各種問題時，關於偏振的一些基本事實的知識對我是必須用到的，而開始把光和物質底相互作用提到首要地位的那一部分教程，要從這些問題着手敘述，我以為是很自然的。我修改了測定光速的各種天文學方法的敘述，並且補充了關於光速底最近實驗測定的某些新知識。我對光底像差給予了比以前大得多的注意。本書研究了各種反射望遠鏡和 Д. Д. 馬克蘇托夫 (Максутов) 底彎月形系統。關於顯微鏡底分辨本領問題底敘述有很大的改變：我力圖更清楚地提出關於自己發光的目的是物和被照明的目的物的問題。正是這樣，近年來有很大迫切性的貌顯微術底問題，比以前說明得詳細得多了。

最後，爲了達到上面所表示的願望，我認為必須寫一長節來談談複雜原子底光譜學底問題。在篇幅許可的範圍內，光譜學問題底敘述和原子理論底各種問題糾纏得太緊密了，因此超出了這本光學教程底範

圍。當然，完全不談光譜學是不可能的。所以我試圖找一個折衷的解決辦法，當然這跟任何折衷的辦法一樣，是遠遠不能令人滿意的。我編寫了許多新的習題；刪去了一部分舊有的習題。

在準備這個新版本時，我作了相當多的比較零碎的改動，並改正了許多已經發覺的缺點。在這一工作中，А. Н. 查哈列夫斯基 (Захаревский)，Л. П. 莫羅斯 (Мороз)，Д. В. 西伍興 (Сивухин) 和 В. М. 朱拉諾夫斯基 (Чулановский) 盛情的指正給了我很大的幫助。對於這幾位，我都表示衷心的感謝。

Г. С. 蘭斯別爾格院士

一九五一年九月於魯齊諾

再版序言摘錄

在我著的“光學”教程底這個再版本中，本書總的編排和性質仍然沒有改變。本書曾經博得我的同事們和在各高等學校任教的專家們底許多好評，這些好評鼓勵我保持了本書總的風格。但爲了改正本書過去存在的缺點，我還是把這部教程修訂了與更動了許多地方。

關於干涉的許多節都經過改寫或重寫；費馬原理底敘述有很大的修改；我還增加了電子光學底好些問題，並且在書尾再寫了一章，這一章底目的是想簡明地敘述一下光底現代量子統計觀念。蘇聯科學院通訊院士 Т. П. 克拉維茨(Кравец), В. А. 法卜利康特(Фабрикант)教授和 Б. Ф. 錯馬基昂(Цомакион)教授提醒我注意的某些缺點，我也都加以改正了。我借這個機會在這裏向他們致謝。我還要向我的同事們——Г. П. 馬杜列維奇(Матюлевич), М. В. 蘇興斯基(Сущинский)和 X. E. 斯傑林(Стерин)致謝，因爲他們擔任了校閱習題並爲習題編製答案的工作；向 А. Е. 沙洛莫諾維奇(Саломонович)致謝，因爲他在最後校訂本書時做了很多工作。

當我動手準備這部“光學”底再版本時，Л. И. 曼傑爾希達姆(Мандельштам)已經逝世，我不能受到他的教益了。但對於 Л. И. 曼傑爾希達姆的回憶却永遠活在我的心中，在寫作本書的時候也陪伴着我；在改善本書的意圖中也反映了我的熱烈的願望，願這本書能給他們帶來某些好處的人們會感覺到，Л. И. 曼傑爾希達姆無論對於我們的科學和我們的教學工作都有着多麼重大的意義。

Гр. 蘭斯別爾格

一九四六年六月二十一日於莫斯科

初版序言

本書是根據多年來我在國立莫斯科大學講授普通物理學所用的講義寫成的。

正像在莫斯科大學編寫的其他許多基礎教程一樣，這部教程也受到科學院院士 Л. И. 曼傑爾希達姆的強烈的影響，多年來我曾經廣泛地領受過他的教益和指示，這期間，共同的工作和真摯的友誼把我們聯結在一起。我特別高興地願意指出這一情況，並向 Л. И. 曼傑爾希達姆表示我的深深的謝意。

現時大學物理教學擁有物理示教這種有力的輔助工具。我在講課的時候非常注意這方面的情形。在本書中，我盡力用對於實在的實驗的具體描寫來彌補不能用示教實驗來顯示所討論的問題這一缺陷。我依靠 М. В. 卡爾巴諾夫 (Колбанов) 領導下的國立莫斯科大學物理系的同事們提出了許多示教實驗，這些示教實驗在本書正文底有關描述方面給我提供了許多寶貴的材料。

最後，我認為我有責任指出我的許多助教們的工作，他們幫助我把這部講義稿變成了一本書。我懷着特別感激的心情回憶起他們當中的一位，已經去世的 А. Г. 拉依斯基 (Райский)，他在我編寫當年根據手稿權出版的本書初稿時，給了我很大的幫助。

Гр. 蘭斯別爾格

一九四〇年十月於莫斯科

目 錄

三版序言	
再版序言摘錄	
初版序言	

緒 論

第一章 簡短的歷史性的導言	1
§ 1. 光學底幾個基本定律	1
§ 2. 光學理論發展底幾個最主要的階段	4
第二章 波動	14
§ 3. 波底形成，波動方程式	14
§ 4. 單色振動與單色波，關於傅立葉展開式的概念	18
§ 5. 電磁波所傳遞的能量	25
§ 6. 波底分類，關於偏振的概念	28
第三章 光度學底概念與單位	31
§ 7. 幾個基本概念	31
§ 8. 從能量的物理量過渡到光的物理量	38
§ 9. 光測量底單位	40
§ 10. 光測量(光度學)	44

第一編 光底干涉

第四章 相干性	53
§ 11. 導言	53
§ 12. 關於相干性的概念，數個振動底干涉	53
§ 13. 波底干涉	56
§ 14. 光學中相干波底產生	58
§ 15. 幾種干涉裝置底基本性能	60
§ 16. 各種干涉裝置	66
§ 17. 光源底線度底意義	71

§ 18. 干涉波底偏振底意義	75
§ 19. 干涉現象中似是而非的伴謬	77
§ 20. 光程。光具組底等光程性	78
§ 21. 非單色光線底干涉	80
第五章 駐波	81
§ 22. 駐波底形成	81
§ 23. 光駐波。維納底實驗	84
§ 24. 天然彩色照相	87
第六章 干涉條紋底定域	89
§ 25. 薄膜底顏色	89
§ 26. 干涉花樣底定域(等厚度條紋)	92
§ 27. 薄膜底許可的厚度	94
§ 28. 牛頓環	94
§ 29. 平面平行板上的干涉現象。等傾角線	97
第七章 幾種干涉儀和干涉底應用	101
§ 30. 雅明干涉儀	101
§ 31. 邁克爾遜干涉儀	104
§ 32. 應用多次被分割的光波的幾種干涉儀	106
§ 33. 光程差很大的干涉	112
§ 34. 干涉研究方法底某些應用	115

第二編 光底衍射

第八章 惠更斯原理及其應用	121
§ 35. 惠更斯-費涅耳原理	121
§ 36. 波帶片	127
§ 37. 合振幅底圖解計算	128
§ 38. 幾個最簡單的衍射問題	130
§ 39. 科紐維線及其在衍射問題底圖解法上的應用	134
§ 40. 關於惠更斯-費涅耳原理的幾個注意之點	136
第九章 平行光線底衍射(夫琅和費衍射)	139
§ 41. 夫琅和費單縫衍射	139
§ 42. 縫寬對衍射花樣的影響	146
§ 43. 光源線度底影響	147
§ 44. 矩孔衍射與圓孔衍射	148
§ 45. 雙縫衍射	151
§ 46. 星底角直徑底測量。瑞利干涉儀	153

§ 47. 衍射光柵	157
§ 48. 光線傾斜地射在光柵上	164
§ 49. 貌光柵	166
§ 50. 邁克爾遜階梯光柵	167
§ 51. 各種光譜儀器底性能及其相互比較	170
§ 52. 光譜儀器在分析光脈動時的作用	176
第十章 多維結構上的衍射現象	181
§ 53. 當作一維結構看的衍射光柵	181
§ 54. 二維結構上的衍射	182
§ 55. 三維結構上的衍射現象	184
§ 56. X射線底衍射	188
§ 57. 光波在超聲波上的衍射	189

第三編 幾何光學(光線光學)

第十一章 光線光學底幾個基本原理	193
§ 58. 導言	193
§ 59. 費馬原理	195
§ 60. 幾個基本的定義, 折射定律和反射定律, 相互性原理	198
§ 61. 球面上的折射(和反射)	202
§ 62. 球面底焦點	204
§ 63. 球面折射情形下的小物底像	206
§ 64. 放大率, 拉格朗日-亥姆霍茲定理	207
§ 65. 共軸光具組	209
§ 66. 透鏡中的折射, 透鏡底普遍公式	210
§ 67. 薄透鏡底焦距	212
§ 68. 薄透鏡中的像, 放大率	214
§ 69. 幾種理想光具組	216
第十二章 光具組底誤差或像差	222
§ 70. 導言	222
§ 71. 焦散面, 焦散面底對稱性	223
§ 72. 寬闊光線束所引起的各種像差	224
§ 73. 細窄的軸外傾斜光線束所引起的各種像差	227
§ 74. 光具組底不對稱性所引起的像散性	230
§ 75. 等光程性, 正弦條件	232
§ 76. 折射率隨波長而變所引起的各種像差(色像差)	234
第十三章 光學儀器	240

§ 77. 光闌底作用	240
§ 78. 孔徑光闌, 入射光瞳與出射光瞳	241
§ 79. 視場光闌, 窗	244
§ 80. 照相機	245
§ 81. 作為光具組的眼睛	246
§ 82. 配備眼睛的幾種光學儀器	250
§ 83. 映畫器	258
§ 84. 攝譜儀	260
§ 85. 光的感覺, 羅蒙諾索夫底“夜間望遠鏡”	263
第十四章 光學儀器底衍射理論	269
§ 86. 物鏡底分辨本領	269
§ 87. 顯微鏡底分辨本領	271
§ 88. 電子顯微鏡	280
§ 89. 暗視場方法(超顯微術), 相差襯托法	285
§ 90. 攝譜儀中的衍射現象(色分辨本領)	289
第四編 光底偏振	
第十五章 自然光和偏振光	293
§ 91. 光波底橫波性	293
§ 92. 光通過電氣石	295
§ 93. 光在兩種電介質底界面上反射和折射時所產生的偏振	297
§ 94. 偏振光中電矢量底方位	300
§ 95. 馬呂定律	301
§ 96. 自然光	302
第十六章 雙折射時所產生的偏振	304
§ 97. 光通過冰洲石晶體時所產生的雙折射和偏振	304
§ 98. 幾種偏振裝置	307
第十七章 偏振光線底干涉	312
§ 99. 費涅耳和阿喇果底實驗及其對光底彈性理論的意義	312
§ 100. 光底橢圓偏振與圓偏振	313
§ 101. 自然光底內部結構	317
§ 102. 橢圓偏振光和循環偏振光底發現與分析	319
習 題	324

緒 論

第一章 簡短的歷史性的導言

§ 1. 光學底幾個基本定律

早在光學研究底最初幾個時期中，就已經根據實驗建立了下列四個關於光學現象的基本定律：

1. 光底直線傳播定律。
2. 諸光束底獨立性定律。
3. 光從鏡面上反射的定律。
4. 光在兩種透明媒質底界面上折射的定律。

對於這些定律的進一步的研究表明，第一，這些定律具有遠比乍一看來要深刻得多的意義，第二，這些定律底應用是有限制的，它們祇不過是近似的定律而已。諸基本光學定律底應用條件和範圍底確定，表示對光底本性的研究底重大進步。

這些定律底要點可以歸結如下。

1. 光底直線傳播定律 光在均勻媒質中是沿着直線傳播的。

有一篇光學著作，有人附會為歐幾里德（公元前 300 年）所寫的，其中載着光底直線傳播定律，並且也許人們知道和應用這一定律的時代還要早得多。

觀察點光源所產生的清晰的暗影，或用小孔成像，可以當作這一定律底實驗證明。在點光源（即其線度和它到物的距離相比很小的光源）底照明下，物底輪廓和它的影子之間的關係，相當於用直線所做的幾何

投影(圖 1)。類似地,圖 2 顯示出用一個小孔成像的情形,並且像底形狀與大小表明,投影是藉助於直線光線產生的。

光底直線傳播定律,可以看作是牢固地建立在實驗基礎之上的定

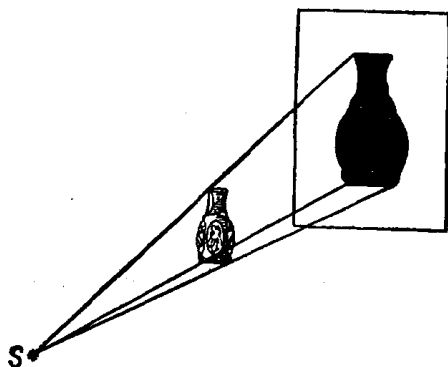


圖 1. 光底直線傳播: 在點光源照明下影子底形成。

律。它有很深刻的意義,因為直線這一概念本身,顯然也是由光學底觀察而產生的。作為兩點間的最短距離的直線底幾何概念,也就是光在均勻媒質中沿着它傳播的那條線底概念。所以自古以來,在實驗上檢查曲線板和產品底平直程度,都以視線為準。

對於上述現象的較詳細的研究表明,如果我們改用很小的孔,光底直線傳播定律便失去效力。例如,在圖 2 所示的實驗中,如果孔底直徑

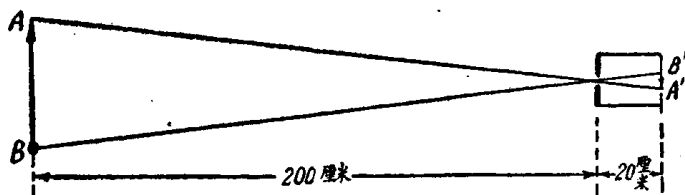


圖 2. 光底直線傳播: 用一個小孔成像。

約 $\frac{1}{100}$ 毫米左右,我們祇能得到一個很不完全地類似像的東西。當孔底線度約為 $\frac{1}{2000}$ 毫米時,我們就完全得不到像,並且實際上幕是被均勻地照明着的。

違反光底直線傳播定律的各種現象,將在衍射理論中加以研究。

2. 諸光束底獨立性定律 例如,利用光闌,可以把一個光通量分成許多個別的光束。這些被分出的光束底作用是互相獨立的,即個別光束所產生的效應,和是否有其他光束同時發生作用無關。例如,如果

光從一大片景物射到照相機底鏡頭上，則儘管擋住了一部分光束底通路，我們並沒有改變其餘光束所給出的像。

這一定律底更為深刻的內容，將在光底干涉現象（疊加原理，參看 § 4 與 § 12）中予以說明。

3. 光底反射定律 入射光線、反射面底法線和反射光線在同一平面上（圖 3），並且入射光線和法線的夾角與反射光線和法線底夾角相等：入射角 i 等於反射角 r 。這一定律在歐幾里德底“光學”中也被提到過。它的建立是和人們在遠古時代就已經知道的磨光的金屬面（鏡子）底使用分不開的。

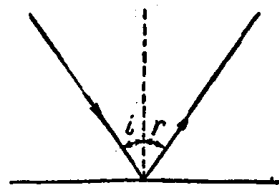


圖 3. 反射定律底示意圖。

4. 光底折射定律 入射光線、折射光線與分界面底法線在同一平面上。入射角 i 與折射角 r （圖 4）有下面的關係式：

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \quad (1.1)$$

式中， n 是和角度底大小無關的常數。物理量 n 是折射率，取決於光所通過的界面側的兩種媒質底特性，並且也隨着光線底顏色而變。

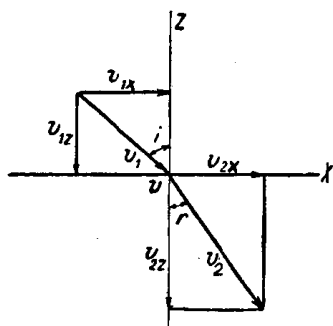


圖 4. 折射定律底示意圖。

很早以前（公元前 350 年），亞里士多德就已經知道光底折射現象了。著名的天文學家托勒密（公元 120 年）企圖建立一個數量的定律，着手測量了入射角和折射角。他所列舉的測量數據是很準確的。托勒密已經考慮到大氣折射對星體底目視位置的影響（大氣折射），甚至還編製了一些折射表。然而托勒密底測量都是對較小的角度的測量，所以托勒密得出了折射角正比於入射角這一不正確的結論。過了很久（約 1000 年）以後，阿剌伯的光學家阿立卡生

(Альгазен) 才發現，入射角與折射角之比不是常數，但却不能給出折射定律底正確的表達式。斯奈耳 (W. Snell, 1591—1626) 和笛卡兒求出了折射定律底正確的公式，斯奈耳在他的一篇未發表的文章中指出，入射角底餘割和折射角底餘割之比是常數，而笛卡兒則在自己的“屈光學”(1637 年出版) 中給出了折射定律底現代的公式。笛卡兒約在 1630 年建立了自己的公式；當時他是否知道斯奈耳底研究，我們不清楚。

反射定律和折射定律也祇在遵守某些條件的情形下才是正確的。在反射鏡或兩種媒質底分界面底線度很小的情形下，我們能夠觀察到顯然違反上述兩個定律的現象(參看衍射編)。

但對於在普通的光學儀器中所觀察到的許多現象來說，上列一切定律都是充分嚴格地被遵守着的。所以在光學底一個實用上很重要的部門——關於光學儀器的學問——中，這些定律可以看作是完全適用的。關於光的研究底整個第一階段，就在於研究如何建立和應用這些定律，即爲幾何光學或光線光學打基礎。

§ 2. 光學理論發展底幾個最主要的階段

我們知道，光學底幾個基本定律早就已經建立起來了。但是在後來的幾個時代，對於這幾個基本定律的觀念却在改變着。

顯然，光底基本特性——直線傳播，使牛頓(十七世紀末)持着光微粒流動底理論，而這些光微粒是按照力學定律(慣性定律)沿着直線飛行的。牛頓在力學中獲得的巨大成就，給了他對光學現象的觀點以根本性的影響。按照他的理解，光底反射和一個彈性小球在遵守定律 $\angle i = \angle r$ 的條件下撞擊一個平面時的反跳相類似。和笛卡兒一樣，牛頓用折射媒質對光微粒的吸力來解釋折射，由於這種吸力，當光微粒從第一種媒質進入第二種媒質時，它們的速度就發生改變。

我們把光微粒在第一種媒質中的速度 v_1 分解成兩個分速度 v_{1x} 與 v_{1z} (參看圖 4)；則在光微粒與媒質底質點之間的吸力底影響下，從第一

種媒質進入第二種媒質的光微粒底速度就發生改變。這些吸力底方向是沿着兩種媒質底分界面底法線的，因此相應地改變了速度底法向分量 ($v_{1z} \neq v_{2z}$)，却使切向分量保持不變 ($v_{1x} = v_{2x}$)。如果第二種媒質是較密的媒質，則 $v_{2z} > v_{1z}$ ，因而 $v_2 > v_1$ 。由於 $v_{1x} = v_1 \sin i$ 和 $v_{2x} = v_2 \sin r$ ，則由等式 $v_{1x} = v_{2x}$ 得出，比值

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_2}{v_1} = n$$

是一個不隨入射角而變的常數，因為速度 v_1 與 v_2 不依賴於光底傳播方向（各向同性媒質），但這個比值却隨着光底顏色而變。

上面指出的理論賦予折射率以一定的物理意義： n 是光微粒在第二種媒質中的速度與在第一種媒質中的速度之比，並且光底速度在較密的第二種媒質中比在第一種媒質中要大。

在牛頓底時代，還沒有人直接測量過各種不同的媒質中的光速。所以他所得到的結論無法直接地加以檢驗。後來傅科(L. Foucault)在 1850 年做了這樣的測量，結果表明，密媒質（例如水）中的光速小於空氣中的光速，而光從空氣射入水中時的折射率等於 1.33，即大於 1。因此，牛頓對折射率的解釋是不正確的。但是，對於光在物質中的傳播機構底更深刻的分析表明，這個問題還不是這樣簡單的（參看結論）。

在牛頓底時代，有人測定過光在星際空間中的傳播速度 [羅麥 (Römer) 在 1676 年的工作]。這一測定給出 300000 公里/秒左右的數值。光底傳播速度有這樣巨大的數值，使得和牛頓同時代的許多人不能接受他的關於光的觀念，因為很難設想會有以這樣大的速度飛行着的微粒存在。

也許指出下面的事實並不是多餘的：在我們的時代，這一反駁已經失去意義了。我們知道有幾種微粒 (β 射線和宇宙線的粒子)，其飛行速度是很接近於光速的。

正是這樣，歐勒在稍晚的時代 (1746 年) 所提出的另一反駁，對於

我們也沒有說服力。按照歐勒底意見，牛頓底流動理論底觀念“該是既大胆又古怪的，因為如果太陽不斷地向周圍放出光物質底通量，並且這種光物質底通量又有這樣大的速度，那末就可以預料，太陽應該很快地耗盡，或至少應在這樣多的世紀之中發生顯著的變化”。現代關於質量與能量底相互連系的觀念，迫使我們承認太陽底質量在輻射過程中會不斷地減小。牛頓對於光底本性的觀念底許多特點，都可以在現代的觀念中碰到，但後者在本質上完全是新的觀念，並且是建築在完全不同的實驗基礎之上的。

和牛頓同時代的人惠更斯(C. Huyghens)提出了另一個光底理論(見“論光”，1678年寫成，1690年出版)。他從許多聲學現象與光學現象底類似出發，以為光擾動必須看作是在特殊媒質——以太——中傳播的彈性脈動，而無論在物體內部或是在物體之間，以太是充滿全部空間的。光底巨大的傳播速度是由以太底各種特性(它的彈性和密度)所引起的，也無須假定以太微粒迅速地移動。從觀察波在水面上的傳播已經知道，質點底較慢的上下運動，能夠產生在水面上迅速傳播的波。

必須指出，雖然惠更斯曾經說到過光波，但他却没有給予這個概念以它後來所推得的並且為我們現在正採用着的內容。他說，光是以球面形狀傳播的，並且補充說，“我管這些球面叫波，是因為它們和投石於水時在水面上能夠觀察到的波相似。”惠更斯不但不假設光現象底週期性，而且甚至還直截了當地指出：“……用不着假設這些波是以同樣的距離一個跟着一個的”。與此相應，不論在什麼地方，他都沒有利用波長底概念，並且以為，無論光所通過的孔是多麼小，光總是直線傳播的，因為“這孔永遠是足夠大的，以致能夠包含為數極多的小到不可思議的以太物質底微粒”。因此，他沒有注意到格利馬爾第(F. Grimaldi)在1665年和虎克(R. Hooke)在1672—1675年間所指出的衍射現象。正是這樣，他在自己的論文中就沒有提到牛頓環這一現象，而牛頓本人