

应用光学习题集

Б. Б. 费菲洛夫著



机械工业出版社

应用光学习题集

(几何光学)

Б. В. 费菲洛夫 著

龙槐生、董大年译



机械工业出版社

1959

苏联 Б. В. Фефилов 著 'Задачи по прикладной оптике'
(Редбюро гугск нквд СССР 1938年第一版)

* * *

NO. 3011

1959年6月第一版 1959年10月第一版第三次印刷

787×1092 1/32 字数 145 千字 印张 6 13/16 3,051—4,550 册

机械工业出版社(北京阜成门外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业许可証出字第 008 号 定价(11) 1.00 元

前 言

本書适用于學習几何光学的大学和高等工业学校的学生。本書的材料是以給莫斯科測繪航測制圖学院光学机械仪器系学生用的几何光学習題为基础而逐步地收集起来的。

書中的材料分成几个部分和習題类别。每个習題有附圖，在圖上尽可能按比例注出必要的部分。書中材料的次序是按光学机械仪器几何光学課程的教学大綱排列的。A. И. 杜德罗夫斯基著“光学仪器理論”（苏联科学院出版，1937年）是本書的主要参考材料，部分習題的条件与解答取自該書。

在本書中，几何光学各部分的各个問題都有1~2習題。为了培养学生的独立工作，教师可以改变其条件和給以其他数值。教学經驗証明，要想巩固地掌握光学知識，必須大大地增加比本書还多的習題份量，同时認真地作圖，在圖上根据題意注出所有部分并計算其結果。

因为書中的習題比較簡單，所以也可以把本書作为自学几何光学者的輔導材料。

目 录

前言	4
----------	---

角度和綫段所用的符号和規則	5
---------------------	---

第 一 部 分

几何光学的基本定律。折射率。反射定律和折射定律。

光学玻璃及其特性。(習題 1~51)	8
--------------------------	---

第 二 部 分

平面鏡和球面鏡的反射。球面和球面光組的折射。共軸球面光組的三角計算。零光綫的光路計算。(習題 52~75) 58

第 三 部 分

理想光組理論 (高斯光学)。放大率公式。共軛点和共軛綫的基本方程式。二个共軸光組的合成。望远鏡光組。透鏡。透鏡組。复杂光組基点的計算。(習題 76~151)	93
--	----

第 四 部 分

光組中光束的限制。光瞳和光窗的計算。光量。焦深。放大鏡、照相鏡頭和望远鏡中光束的限制。(習題 152~170)	173
---	-----

第 五 部 分

光学仪器犹如光能傳遞器。光流。照度。折射和吸收时亮度的損失。仪器的光强度。肉眼的主觀亮度。(習題 171~194)	197
---	-----

光学玻璃一覽表	214
---------------	-----

角度和綫段所用的符号和規則

在本書中除了特別的注明外，采用下列符号和規則：

1. 物方空間介質的折射率以字母 n 表示，像方空間介質的折射率以 n' 表示。

2. 物方空間的入射光綫与折射球面法綫間的夾角称为入射角，以字母 φ 表示。如入射光綫自法綫开始按順时針方向轉动而形成入射角，則角度作为正值；如按反时針方向轉动，則角度为負值。

3. 像方空間的折射光綫与折射球面法綫間的夾角称为折射角，以字母 φ' 表示。如折射光綫自法綫开始按順时針方向轉动而形成折射角，則 φ' 角作为正值；如按反时針方向轉动，則为負值。

4. 反射光綫与反射球面法綫間的夾角称为反射角，也用字母 φ' 表示。反射角 φ' 仍用上述的符号規則。

5. 反射面和折射面的曲率半徑以字母 r 表示。如果球面中心在球面頂点的右边，則曲率半徑作为正值；如球面中心在左边，則曲率半徑为負值（如果曲率半徑为正值，則沿法綫自球面到球心运动的方向与光綫进行的方向重合。如曲率半徑为負值，則二者的方向相反）。

通常假定光綫进行的方向为自左边到右边。

6. 在物方空間光軸上的物点 P 的位置以离开折射面頂点的距离 s 决定。如果点 P 在折射面頂点的右边，則 s 作为正值；如果点 P 在左边，則为負值。如 s 为正值，則由折射

面頂点向光綫进行方向移动而得出綫段 s ；如 s 为負值，則与光綫进行方向相反。

7. 在像方空間光軸上的像点 P' 的位置以离开折射面頂点的距离 s' 决定。如果点 P' 在折射面頂点的右边，則 s' 作为正值；如这一点在左边，則为負值。如 s 为正值，則由折射頂点向光綫进行方向移动而得出綫段 s' ；如 s 为負值，則与光綫进行方向相反。

8. 以物点为頂点光軸与入射光綫間的夹角以 u 表示。如果入射光綫自光軸开始沿順时針方向轉动而得出角 u ，則角值为正；如果沿逆时針方向轉动，則角值为負。

9. 以像点 P' 为頂点，光軸与折射光綫間的夹角以 u' 表示。如果折射光綫自光軸开始沿順时針方向轉动而得出角 u' ，則角值为正；如果沿逆时針方向轉动，則角值为負。

10. 折射面法綫与光軸間的夹角以 α 表示。如果法綫自光軸开始沿順时針方向轉动而得出角 α ，則角值为正；如果沿逆时針方向轉动，則角值为負。

11. 光綫与折射球面交点离光軸的高度以 h 表示。如交点在光軸上面，則为正值；如該点在光軸下面，則为負值。

12. 物体的大小以 y 表示，像的大小以 y' 表示。如果 y, y' 在光軸的上面，則为正值；如果在光軸的下面，則为負值。

13. 相对于光組前焦点 F 物点 P 的位置以距离 x 决定，相对于后焦点 F' 像点 P' 的位置以 x' 决定。如果物点或像点在焦点的右边，則其值为正；如果在左边，則其值为負。

14. 物方空間的視場角以字母 W 表示，像方空間的視場角以字母 W' 表示。这些角度的符号規則如同決定角 u, u' 。

和 α 的符号規則一样。

15. 物体相对于前主面 H 的位置以字母 s 表示，像相对于后主面 H' 的位置以字母 s' 表示。

如果物点和像点在面 H 和 H' 的右边，則 s 和 s' 为正值；如果物点和像点在主面的左边，則为負值。

16. 物体相对于入射光瞳平面的位置为 p ；像相对于出射光瞳平面的位置为 p' 。如果物体或像在入射光瞳或出射光瞳平面的右边，則 p 和 p' 为正值；如在左边，則为負值。

17. 光組的前焦距以 f 表示，后焦距以 f' 表示。如果焦点在主面的右边，則焦距 f 和 f' 为正值；如在左边，則为負值。在空气中的光組，其前后焦距相等，但符号相反。

第一部分

几何光学的基本定律。折射率。

反射定律和折射定律。光学

玻璃及其特性

1. 如已知相对于空气的折射率 $n_B^A = 1.35$ 和 $n_C^A = 1.65$, 求介质 C 对于介质 B 的相对折射率。

解: 二介质相对折射率的公式:

$$n_C^B = \frac{n_C^A}{n_B^A}, \quad (1)$$

式中

$$n_C^A = 1.65,$$

$$n_B^A = 1.35。$$

则

$$n_C^B = \frac{1.65}{1.35} = 1.22。$$

2. 如某介质在标准压力和温度 $+20^\circ\text{C}$ 时相对于空气的折射率为 1.63, 求该介质的绝对折射率。

解: 相对折射率变换到绝对折射率的公式:

$$n_C^0 = n_C^B \cdot n_B^0 = n_C^B + n_C^B(n_B^0 - 1), \quad (2)$$

$$n_B^0 - 1 = 0.000294 \frac{H}{760} \cdot \frac{1}{1 + \frac{t}{273}}。 \quad (3)$$

将数值代入 (3) 式得

$$n_B^0 - 1 = 0.000294 \frac{760}{760 \left(1 + \frac{20}{273} \right)} = 0.000275。$$

由 (2) 式, 绝对折射率等于:

$$n_C^0 = 1.63 + 1.63 \times 0.000275 = 1.63045。$$

3. 如介質 A 和 B 的絕對折射率為 $n_B = 1.64$, 和 $n_A = 1.55$, 求介質 B 對於介質 A 的相對折射率。

解: 以 (2) 式解本題

$$n_B^A = \frac{1.64}{1.55} = 1.058.$$

4. 溫度 $t = 0^\circ$ 和大气压 $H = 760$ 公厘時空氣的折射率為 1.000294 , 求在溫度 $t = 30^\circ$ 和大气压 $H = 800$ 公厘時空氣的折射率。

解: 以 (3) 式解本題

$$n_B = 1 + 0.000294 \frac{800}{760} \cdot \frac{1}{1 + \frac{30}{273}} = 1.000299.$$

5. 如已知 $n_F - n_C = 0.00800$ 和 $n_D = 1.5456$, 求平均色散系数。

解: 平均色散系数由下式求得

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}, \quad (4)$$

因此

$$v = \frac{0.5456}{0.0080} = 68.2.$$

計算平均色散時必須以 F 綫的折射率減去 C 綫的折射率, 而不是以 C 綫折射率減去 F 綫的折射率。

6. 如已知玻璃對 D 綫折射率為 $n_D = 1.550$ 和平均色散系数 $v = 64.00$, 求平均色散。

解: 根據平均色散系数的公式 (4)

$$n_F - n_C = \frac{n_D - 1}{v} = 0.00860.$$

7. 如已知

$$n_D = 1.5159;$$

$$n_F - n_C = 0.00737;$$

$$n_D - n_A' = 0.00485;$$

$$n_F - n_D = 0.00515;$$

$$n_G' - n_F = 0.00407。$$

求玻璃的部分色散系数。

解：部分色散系数由下式計算：

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{n_D - n_A'}{n_F - n_C} = \frac{0.00485}{0.00737} = 0.658, \\ \beta &= \frac{n_F - n_D}{n_F - n_C} = \frac{0.00515}{0.00737} = 0.700, \\ \gamma &= \frac{n_G' - n_F}{n_F - n_C} = \frac{0.00407}{0.00737} = 0.552. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

如果一种玻璃的部分色散系数等于另一种玻璃相应光谱段内的部分色散系数，则这一对玻璃称为“等比例色散玻璃”。

8. 由耶納的蕭特公司光学玻璃产品目录中选择色散成比例的玻璃。

解：如果一种玻璃的部分色散系数等于另一种玻璃相应的部分色散系数，则这一对玻璃称为“等比例色散玻璃”。查閱蕭特公司的光学玻璃产品目录（載于 H. M. 克依斯洛夫教授的“光学仪器理論”一書中第 254~260 頁，莫斯科版，1915 年）得 11 頁左表的玻璃。

由表可見，就每一对玻璃言，系数 α 、 β 和 γ 几乎是相等的；但表中所示每对玻璃的平均色散系数并不相等。

9. 折射率 $n = 1.5400$ 和 $n' = 1.6200$ 的二个透明介質被一个光滑的平面所分开，如入射光綫与折射面法綫的角 φ 等于 $20^\circ 10' 30''$ ，求折射角。

解：根据折射定律的基本公式

序 号	工 厂 编 号	名 称	n_D	$n_F - n_C$	v	部 分 色 散					
						$n_D - n_A'$	α	$n_F - n_D$	β	$n_G' - n_F$	γ
63	O. 376	普通輕火石玻璃	1.5660	0.01319	42.9	0.00814	0.617	0.00939	0.712	0.00787	0.597
33	S. 10	重硼硅酸火石玻璃	1.6797	0.01787	38.0	0.01097	0.614	0.01271	0.711	0.01062	0.594
25	O. 164	硼硅酸火石玻璃	1.5503	0.01114	49.4	0.00710	0.637	0.00786	0.706	0.00644	0.578
71	O. 1209	重銀王冕玻璃	1.6112	0.01068	57.2	0.00680	0.636	0.00753	0.705	0.00610	0.571

$$n \sin \varphi = n' \sin \varphi'. \quad (6)$$

将已知数代入，得到一个未知数 φ' 的方程式。

应用 5 位或 6 位的对数表解此方程式计算列成下表：

$\lg n$	0.18752
$\lg \sin \varphi$	9.53768
$\partial \partial n. \lg n'$	9.79048
$\lg \sin \varphi'$	9.51568
φ'	$+19^\circ 8' 18.3''$

应用符号規則，試以圖解法表示出光綫相对于法綫的位置。

10. 一球面将折射率为 1.6234 和 1.5483 的透明介質分开，如射到球面光綫的入射角 $\varphi = +10^\circ 15'$ ，求其折 射 角，并以圖表示光綫与法綫的相互位置。

解：以已知数代入 (6) 式，得到一个未知数的方程式。

用 5 位对数表計算，并列出表：

$\lg n$	0.21043
$\lg \sin \varphi$	9.25028
$\partial \partial n. \lg n'$	9.81015
$\lg \sin \varphi'$	9.27086
φ'	$+10^\circ 45' 11.6''$

11. 与軸成 $u = -5^{\circ}16'10''$ 的光綫自 $n = 1.0000$ 的介質射到曲率半徑 $r = +100$ 公厘的球面上，光綫与球面交点的高度 $h = 10$ 公厘，玻璃的折射率 $n' = 1.6248$ ，求折射角。

解：圖 1 中表示出各已知要素的相互位置，并以規定的符号規則在字母前注出符号。

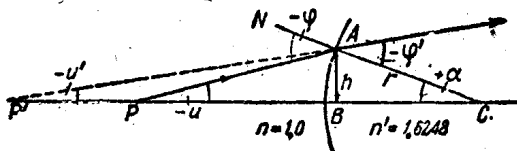


圖 1

由三角形 ABC 知

$$\sin \alpha = \frac{h}{r}. \quad (7)$$

由此可以求出法綫 AC 与光軸的夹角 α 。

由三角形 APC ，角 PAN 是外角，根据几何学的定律可得

$$-\varphi = -u + \alpha \text{ 或 } \varphi = u - \alpha. \quad (8)$$

由上式求出角 φ ，与題 9，10 相似，用折射定律求出未知角 φ' ，其計算可列成下表（見 13 頁）。

12. 根据上圖的数据，求折射光綫与球面光軸的夹角 u' 。

解：由圖 1 中的三角形 ACP'

$$-\varphi' = \alpha - u',$$

由此

$$u' = \alpha + \varphi'. \quad (9)$$

將題 11 中所求出的值 $\varphi' = -6^{\circ}44'58''$ 代入 (9) 式得

$$u' = +5^{\circ}44'21'' - 6^{\circ}44'58'' = -1^{\circ}00'37''.$$

13. 如果折射率 $n = 1$ 和 $n' = 1.60$ 的二个介質被一平

$\lg n$	1.00000
$\partial \text{on. } \lg r$	8.00000
$\lg \sin \alpha$	9.00000
α	$+5^{\circ}44'21''$
"	$-5^{\circ}16'10''$
φ	$-11^{\circ}0'31''$
$\lg n$	0.00000
$\lg \sin \varphi$	9.28094 _n
$\partial \text{on. } \lg n'$	9.78920
$\lg \sin \varphi'$	9.07014 _n
φ'	$-6^{\circ}44'58''$

面所隔开，已知入射角 $\varphi = -30^{\circ}$ ，以圖解法求折射光綫的方向。

解：按已知角 φ 作入射光綫 SA （圖 2）。

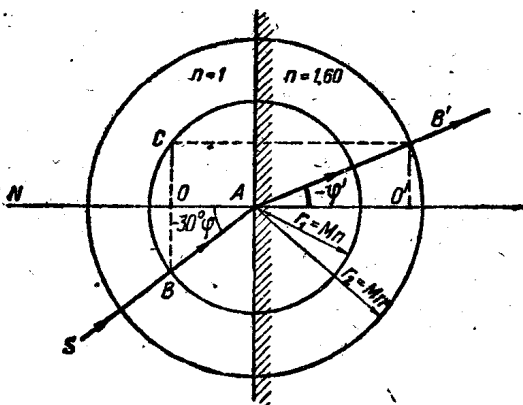


圖 2

以点 A 为圓心， $r_1 = Mn$ 和 $r_2 = Mn'$ 为半径作同心圓， M ——与圖的要求尺寸有关的任意乘数。

从点 B 作法綫 AN 的垂綫 BO ，并将其延長使与 Mn 的圓周交于点 C 。通过点 C 作一与法綫 AN 平行直綫。該直綫与 Mn' 的圓周交于点 B' ，并連接点 B' 和点 A 。直綫 AB' 即是折射光綫，角 $B'AO'$ 即是折射角 φ' 。

証明：从三角形 ABO 和 $AB'O'$ ，写出：

$$OB = AB \sin \varphi \text{ 和 } O'B' = -AB' \sin \varphi'.$$

按圖 $OB = -O'B'$ ，因此 $AB \sin \varphi = AB' \sin \varphi'$ 。 $AB = r_1 = Mn$ ； $AB' = r_2 = Mn'$ 。将这些值代入上面等式并化簡为常数 M ，得折射定律公式

$$Mn \sin \varphi = Mn' \sin \varphi'$$

或

$$n \sin \varphi = n' \sin \varphi'.$$

14. 如果已知入射角 $\varphi = 20^\circ$ ， $n = 1.0$ 和 $n' = 1.5$ ，并且設折射是發生在半徑 $r = -200$ 公厘的球面上，以圖解法求折射光綫的方向。

解：画出半徑 $r = -200$ 公厘的球面（圖 3），在折射点 A 作入射角 φ ，与球面法綫 AC 成 $+20^\circ$ ，以点 A 为圓心，作二个半徑为 $r_1 = Mn$ 和 $r_2 = Mn'$ 的同心圓。

自入射光綫 AS 与圓周 Mn 的交点 B 作 A 点切綫的垂直綫。

垂直綫 BD 与圓周 Mn' 交于点 B' ，連接 B' 与入射点 A 即为折射光綫 AS' 。

証明：由三角形 BEA 和 $B'E'A$ 得

$$BE = AB \sin \varphi$$

和

$$B'E' = B'A \sin \varphi'.$$

因为

$$BE = B'E',$$

則

$$AB \sin \varphi = AB' \sin \varphi'.$$

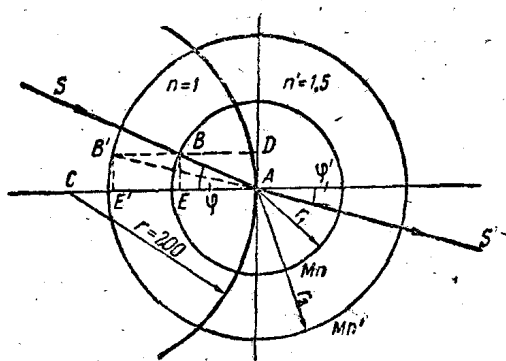


圖 3

將數值 $AB=Mn$ 和 $AB'=Mn'$ 代入，消去方程式中的 M ，得

$$n \sin \varphi = n' \sin \varphi',$$

此即折射定律公式。

15. 如果稜鏡的頂角 $\alpha = 60^\circ 7.8'$ ，由實驗方法求出紅光 C 的最小偏角 $\delta_{\min} = 45^\circ 28.3'$ ，求稜鏡玻璃的折射率 n 。如果 α 和 $\delta_{\min}$ 的均方誤差 $m_\alpha = \pm 0.34'$ 和 $m_{\delta} = \pm 0.25'$ ，求折射率 n_c 的均方誤差（圖 4）。

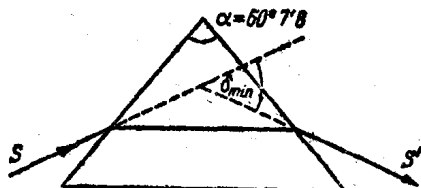


圖 4

解：以夫拉翁格費爾方法測定折射率，當稜鏡在最小偏角時的公式為

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (10)$$

在此式中, n 为未知数; 用 5 位对数表计算, 并列成下表:

$\delta_{\min}$	$45^{\circ}28.3'$
α	$60^{\circ}07.8'$
$\alpha + \delta_{\min}$	$105^{\circ}36.1'$
$\frac{1}{2}(\alpha + \delta_{\min})$	$52^{\circ}48.05'$
$\sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta_{\min})$	9.90120
$\partial \alpha n. \lg \sin \frac{\alpha}{2}$	0.30018
$\lg n_c$	0.20138
n_c	1.5899

要求折射率的均方误差 m , 将 (10) 式对变数 δ 和 α 微分; 以均方误差代替微分值 $d\delta_{\min}$ 和 $d\alpha$, 然后求其误差的平方。为了简化起见, 求 (10) 式的对数

$$\lg n = \lg \sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta_{\min}) - \lg \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (11)$$

微分 (11) 式得

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{2} \frac{\cos \frac{1}{2}(\alpha + \delta_{\min})}{\sin \frac{1}{2}(\alpha + \delta_{\min})} (d\delta_{\min} + d\alpha) - \frac{1}{2} \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} d\alpha. \quad (12)$$

(12) 式经演算后, 得

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2} (d\delta_{\min} + d\alpha) - \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} d\alpha.$$

以均方误差代替微分, 求其平方, 得

$$M_n = \pm \frac{n}{2} \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2} (m_{\delta_m}^2 + m_{\alpha}^2) + \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} m_{\alpha_0}^2} \quad (13)$$

因为角 $\delta_{\min}$ 和 α 是用同一仪器量度, 可以认为有相同的