

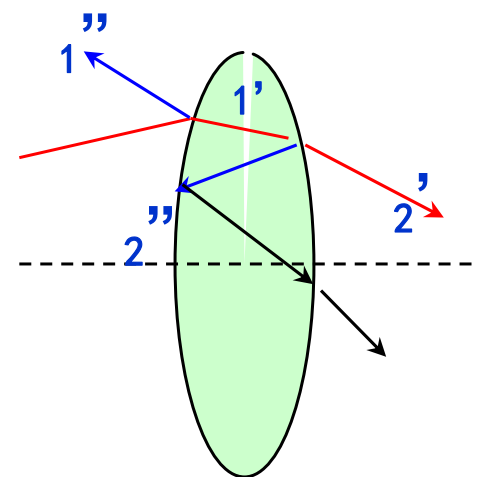
第6章

辐射度学与光度学基础

6-12 光学系统中光能损失的计算

1. 光能损失的原因

- (1). 光束在光学零件表面的反射；
- (2). 光束通过介质时的吸收。



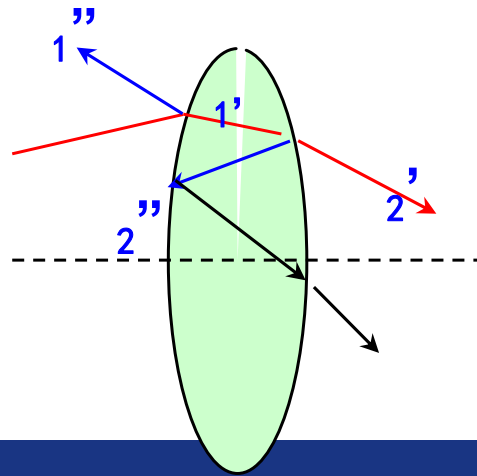
影响：光学系统成像光亮度降低
像的清晰度下降
形成寄生像

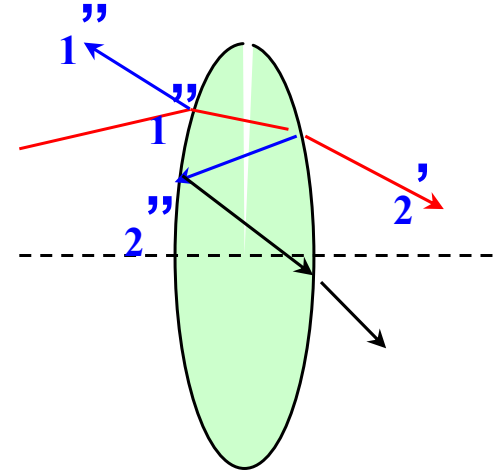
2. 反射损失计算

反射系数 ρ ：介质分界面反射光通量和入射光通量之比。

假定入射光通量为 Φ ，折射光通量为 Φ' ，反射光通量为 Φ'' ，由能量守恒，有： $\Phi = \Phi' + \Phi''$

$$\because \rho = \frac{\Phi''}{\Phi} \therefore \Phi = \Phi' + \rho\Phi \longrightarrow \Phi' = \Phi (1 - \rho)$$





对光学系统第一表面， $\Phi_1' = \Phi_1(1 - \rho_1)$

若不考虑介质吸收损失，从第一表面折射的光通量即第二表面的入射光通量，

$$\Phi_2 = \Phi_1'$$

$$\therefore \text{第二表面} \Phi_2' = \Phi_2(1 - \rho_2) = \Phi_1(1 - \rho_1)(1 - \rho_2)$$

对具有K个折射面的系统，

$$\Phi_k' = \Phi_1(1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_k)$$

3. 吸收损失计算

实验表明：入射光通量越大，吸收越大，光线所走路程越长，吸收越大。

假定进入 dl 的光通量为 Φ ，通过 dl 后变化了 $d\Phi$ ($d\Phi < 0$)，

$$d\Phi = -K\Phi dl \longrightarrow \frac{d\Phi}{\Phi} = -Kdl$$

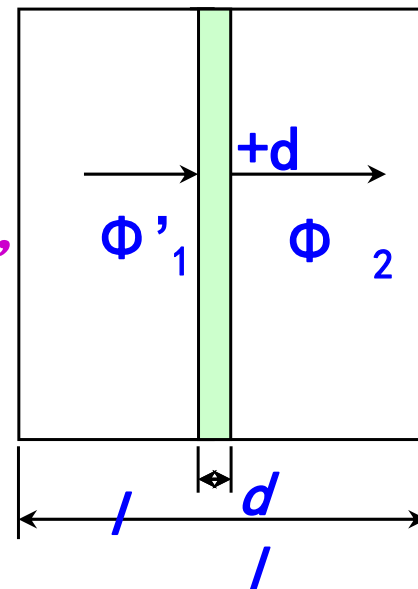
积分得到
$$\int_{\Phi_1'}^{\Phi_2} \frac{d\Phi}{\Phi} = -K \int_0^l dl$$

由此得
$$\ln \Phi_2 - \ln \Phi_1' = -Kl = \ln e^{-Kl}$$

$$\therefore \ln \Phi_2 = \ln \Phi_1' + \ln e^{-Kl} \text{ 或者 } \Phi_2 = \Phi_1' e^{-Kl}$$

令 $e^{-K} = P$ 则

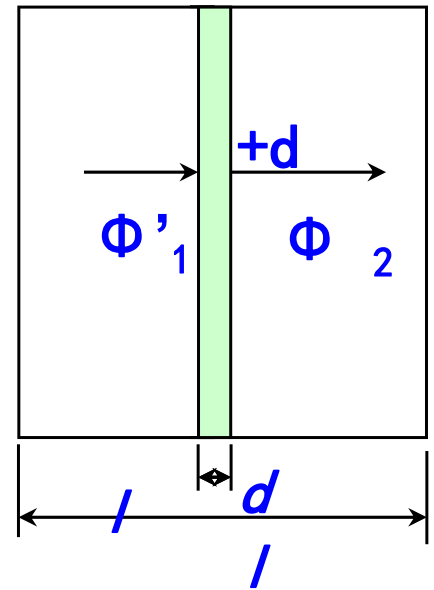
$$\Phi_2 = \Phi_1' P^l$$



$$l = 1 \text{ 时, } P = \frac{\Phi_2}{\Phi_1}$$

P 代表光束通过单位长度介质时，出射和入射光通量之比，称为介质的透明系数。

l -----单位为 cm



如果同时考虑光能的反射和吸收损失，则有

$$\Phi_2' = \Phi_2(1 - \rho_2)$$

$$\Phi_2 = \Phi_1' P_1^{l_1}$$

$$\Phi_1' = \Phi_1(1 - \rho_1)$$

将上三式合并得 $\Phi_2' = \Phi_1(1 - \rho_1)(1 - \rho_2)P_1^{l_1}$

当系统中有 m 个折射表面和 n 种介质时，则有

$$\Phi_m' = \Phi_1(1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \cdots (1 - \rho_m) P_1^{l_1} P_2^{l_2} \cdots P_n^{l_n}$$

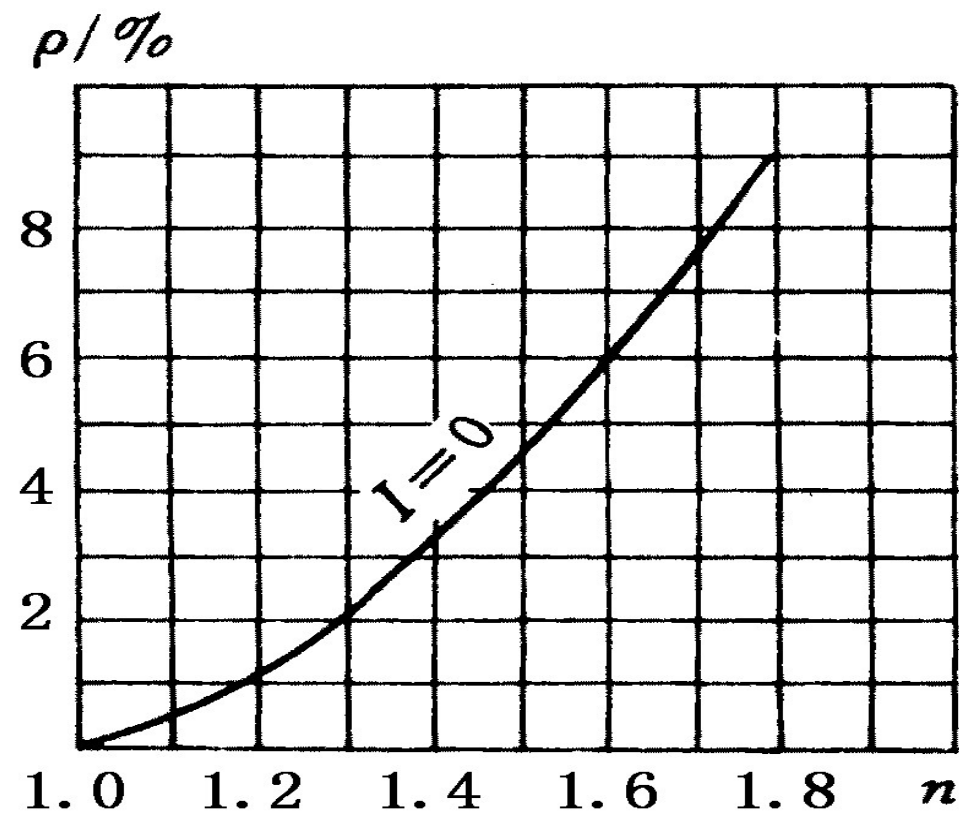
或写成 $\tau = \frac{\Phi_m'}{\Phi_1} = (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \cdots (1 - \rho_m) P_1^{l_1} P_2^{l_2} \cdots P_n^{l_n}$

τ — — — 光学系统透过率

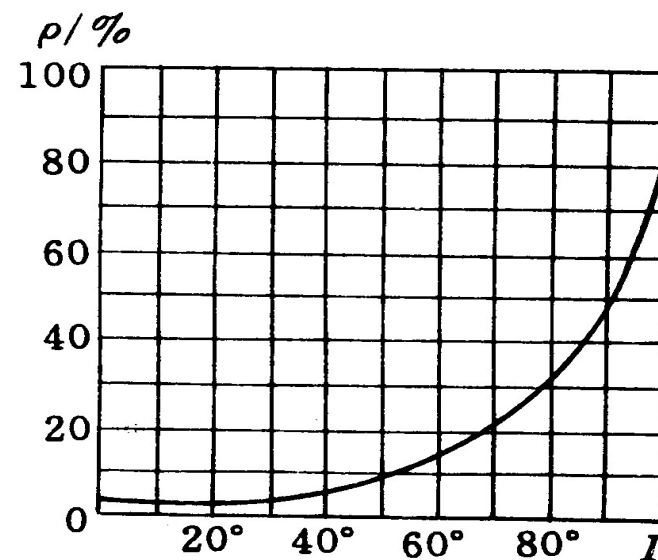
实际情况：

ρ ：是分界面两边介质 n, n' 和光束入射角 I 的函数。

介质折射率变化变化曲线



光束入射角 I 改变时的变化曲线



$I < 40^\circ$ 时，反射系数基本不变，可以不考虑由于入射角的变化而引起的变化。

冕牌玻璃：0.04

火石牌玻璃：0.05

对于具有金属镀层的反射镜，由于反射层的吸收和散射，也要产生光能损失。光能损失的大小与所镀物质有关。

●镀铝 0.85

●镀银 0.90

P : 透明系数平均值 0.99

综合考虑，代入公式

$$\tau = (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \cdots (1 - \rho_m) P_1^{l_1} P_2^{l_2} \cdots P_n^{l_n}$$

透过率公式

$$\tau = (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \cdots (1 - \rho_m) P_1^{l_1} P_2^{l_2} \cdots P_n^{l_n}$$

$$\tau = (0.85)^{N_1} (0.90)^{N_2} (0.96)^{N_3} (0.95)^{N_4} (0.99)^l$$

其中：

N_1 ：镀铝面数

N_2 ：镀银面数

N_3 ：冕牌玻璃和空气接触面数

N_4 ：火石玻璃和空气接触面数

l ：沿光轴计算的玻璃总厚度（以厘米为单位）

为了减少光学零件表面的反射损失，可以在光学零件表面镀增透膜。

最常见的化学镀增透膜使反射损失降到0.01，此时，公式变为

$$\tau = (0.85)^{N_1} (0.90)^{N_2} (0.99)^{l + N_3 + N_4}$$

同样：

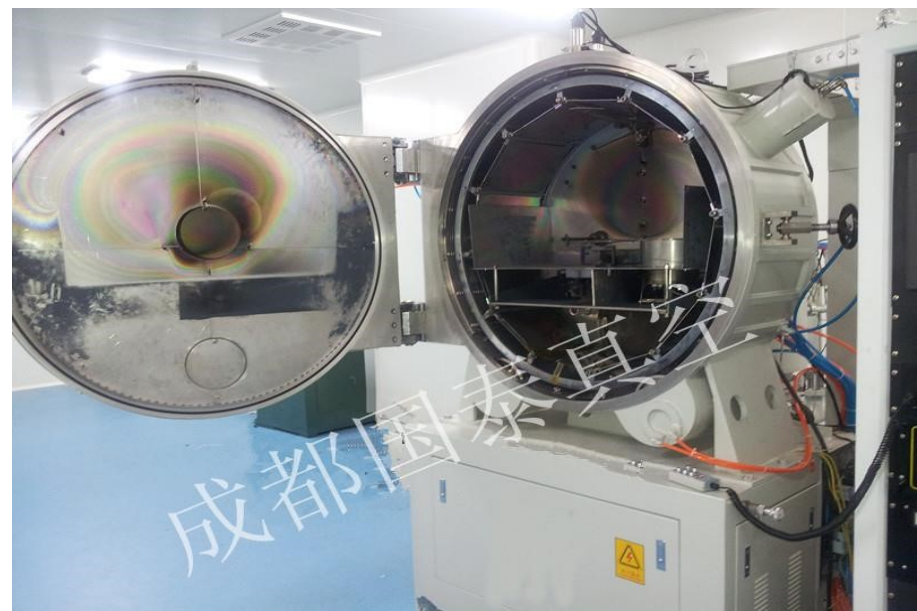
N_1 ：镀铝面数

N_2 ：镀银面数

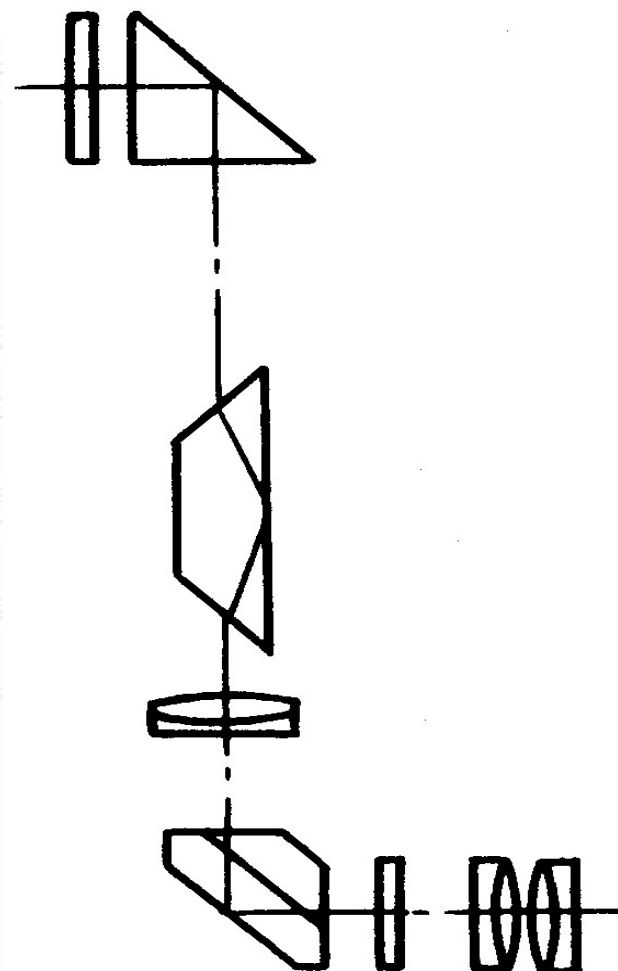
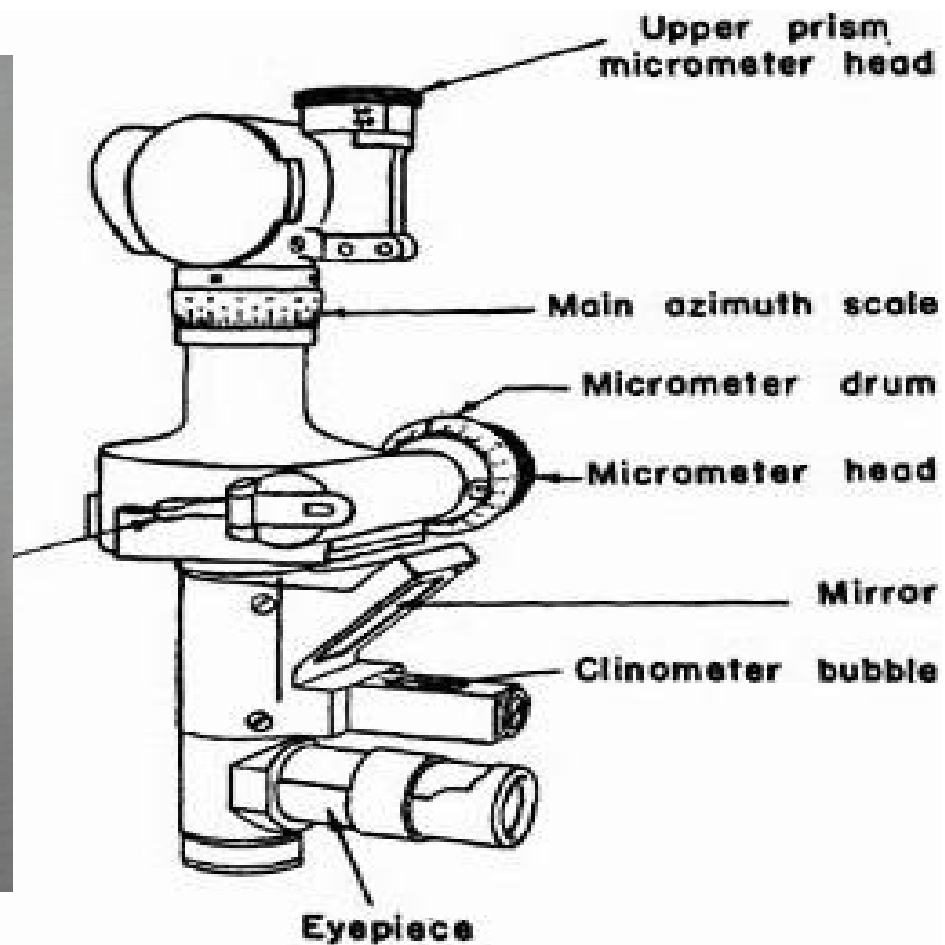
N_3 ：冕牌玻璃和空气接触面数

N_4 ：火石玻璃和空气接触面数

l ：沿光轴计算的玻璃总厚度（以厘米为单位）

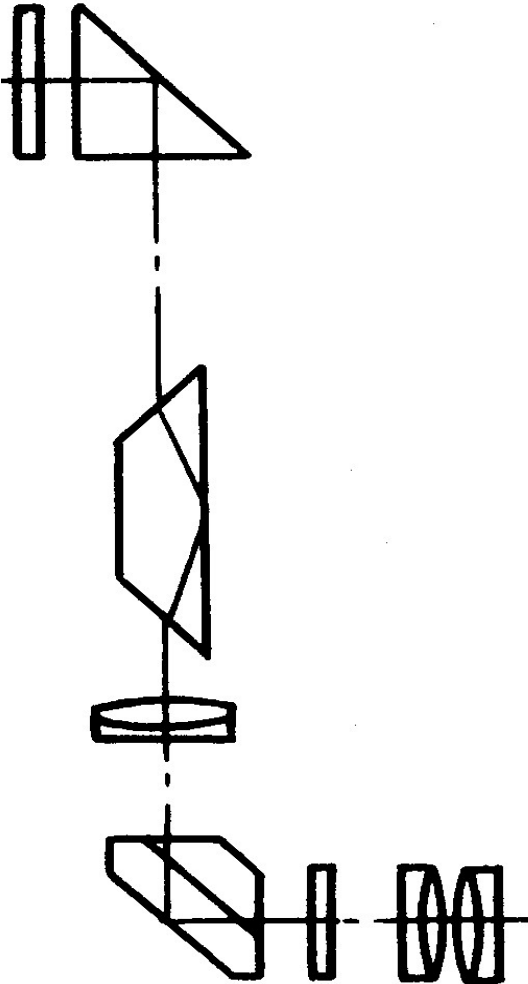


例：计算周视瞄准镜的透过系数



周视瞄准镜

零件号	名称	材料	透镜厚度或棱镜展开厚度 (cm)	与空气接触的表面数	镀银面数
1	保护玻璃	冕	0.3	2	1
2	直角棱镜	冕	2.6	2	
3	道威棱镜	冕	5.28	2	
4	物镜正透镜	冕	0.35	1	
	物镜负透镜	火石	0.2	1	
5	屋脊棱镜	冕	2.9	2	
6	分划板	冕	0.3	2	
7	目镜第一透镜	火石	0.1	1	
	目镜第二透镜	冕	0.52	1	
	目镜第三透镜	冕	0.52	1	
	目镜第四透镜	火石	0.1	1	



如果不镀膜，透过率为

$$\tau = (0.91)^1 (0.96)^{13} (0.95)^3 (0.99)^{13.17} = 0.39$$

由此可见，光能损失非常大，镀膜以后，透过率为

$$\tau = (0.90)^1 (0.99)^{29.17} = 0.67$$

镀膜以后，透过率大大提高。