第七节

光通量和光亮度
在光学系统中的传递

一、透过率、反射率

如果传递过程中光能有损失，则把出射光能量和入射光能量的比值称为光学系统的透过率。

$$\tau = \frac{\Phi_{出}}{\Phi_{入}}$$

反射率：反射光通量与入射光通量之比

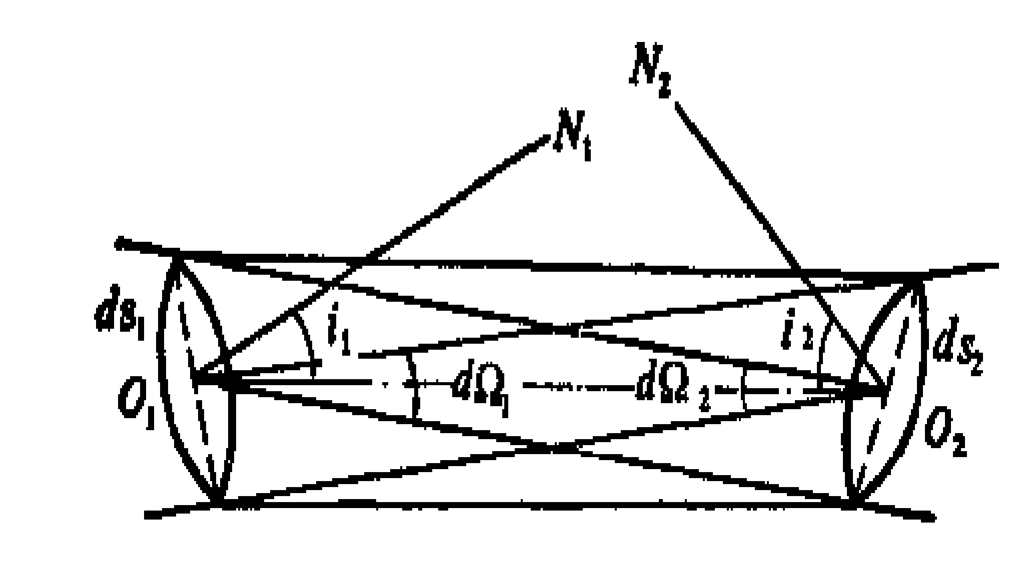
$$\rho = \frac{\Phi_{反}}{\Phi_{入}}$$

如果忽略吸收等损耗 $\tau + \rho = 1$

二、在均匀介质中，光通量和光亮度的传递

1．均匀透明介质元光管：

光源与被照表面确定的光管在中由中各点发出的射向的光束，不会越出元光管的范围。



$$d\Phi_1 = L_1 ds_1 \cos i_1 \frac{ds_2 \cos i_2}{l^2}$$

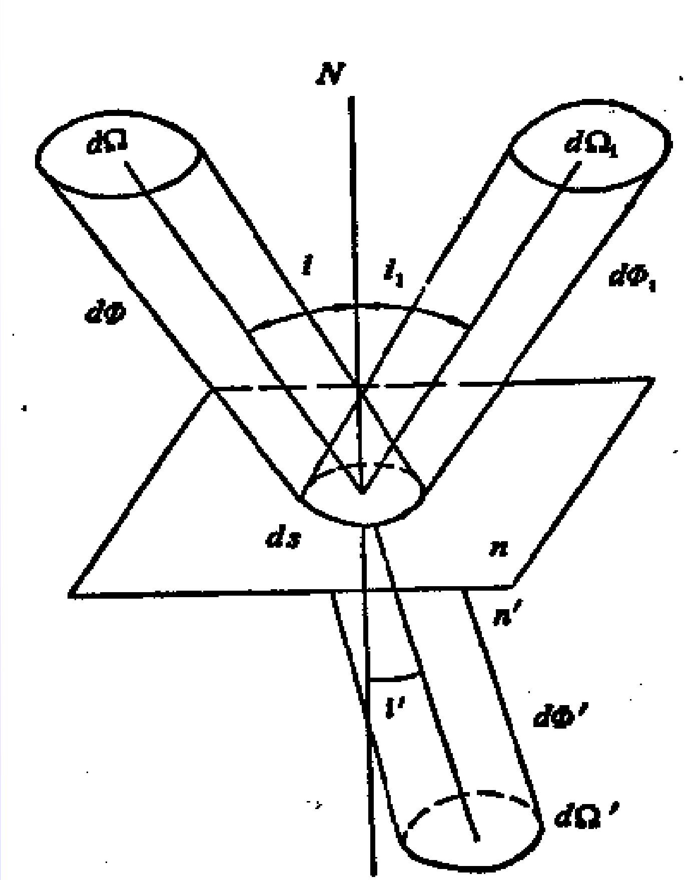
$$d\Phi_2 = L_2 ds_2 \cos i_2 \frac{ds_1 \cos i_1}{l^2}$$

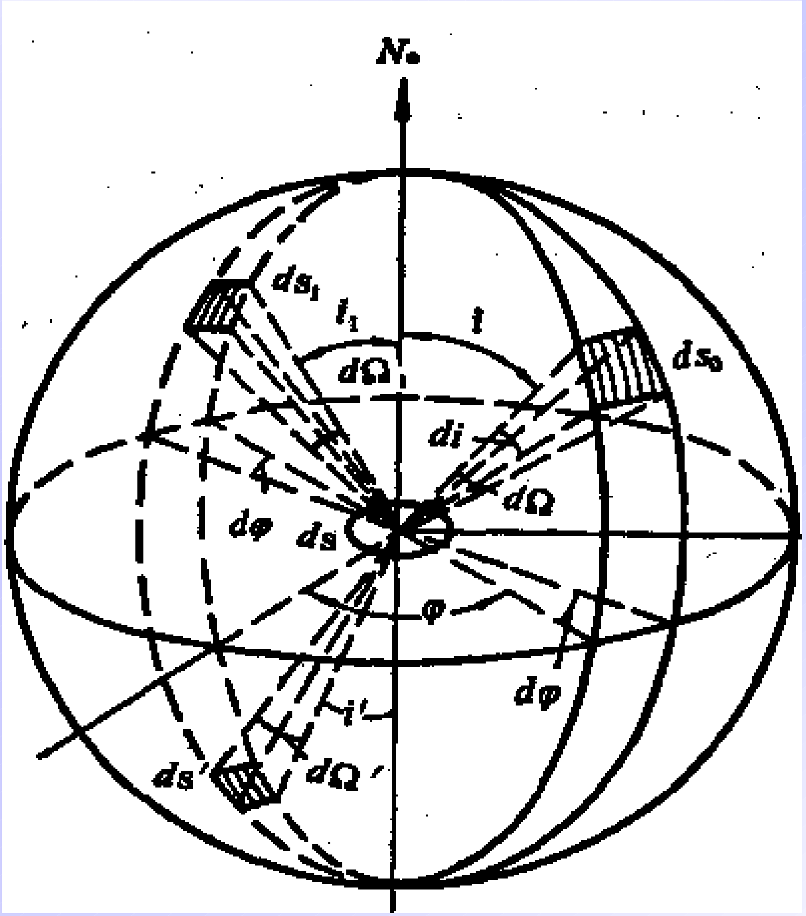
$$d\Phi_1 = d\Phi_2$$

$$\therefore L_1 = L_2$$

结论：在均匀透明介质中，如果不考虑光能损失则在传播方向上任一截面上光通量的传递不变，光亮度的传递也不变，任一截面上光亮度相等。

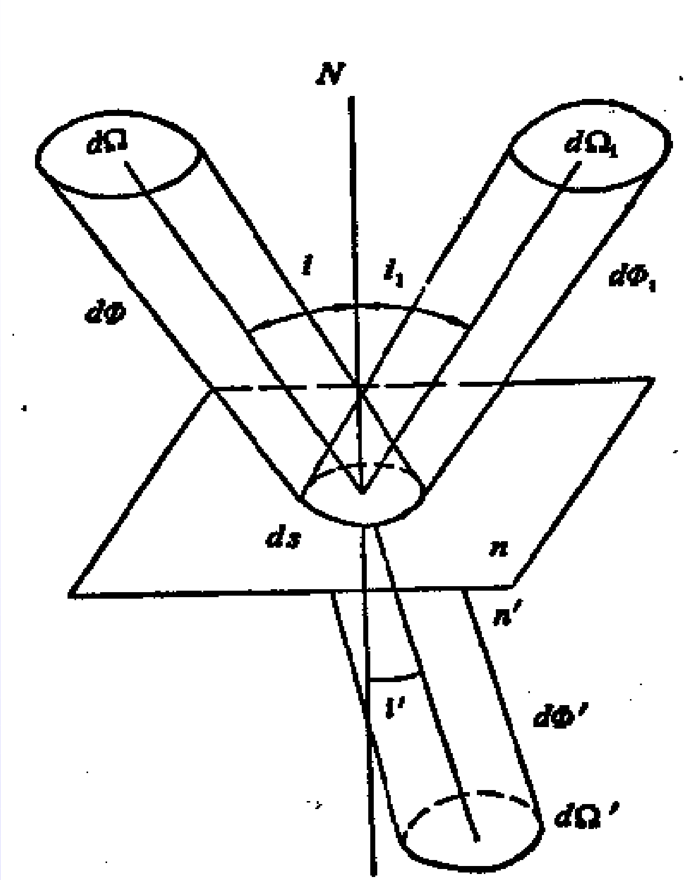
二、在两透明介质分界面上，光通量和光亮度的传递。

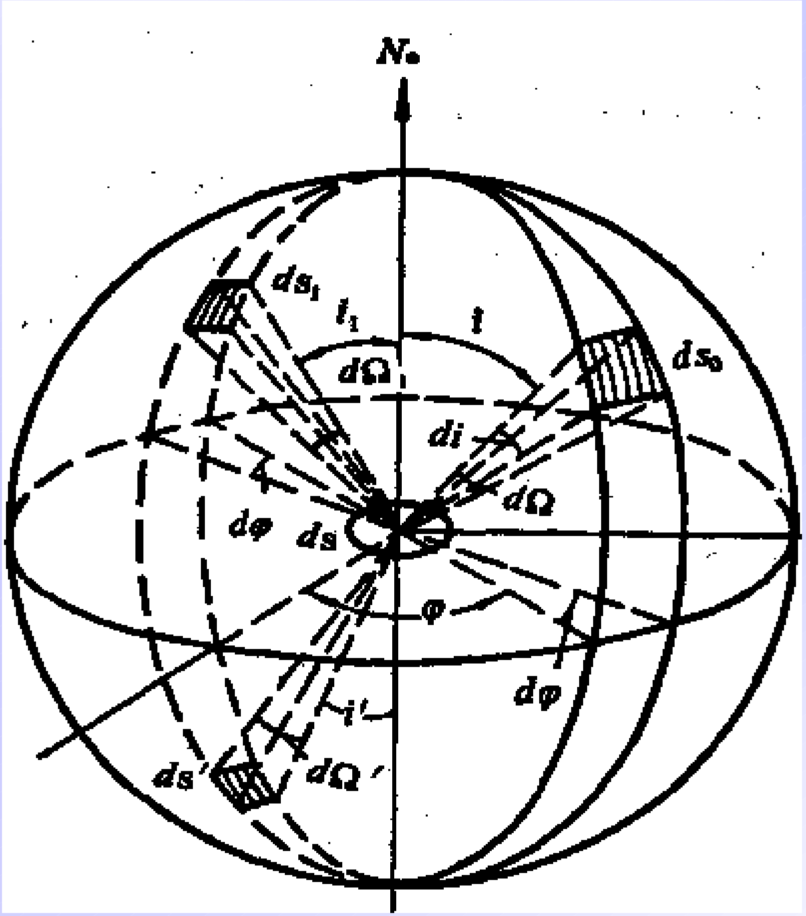




$$\begin{cases} d\Phi_{入} = L\cos i\, ds\, d\Omega \\ d\Phi_{反} = L_1 \cos i_1 ds\, d\Omega_1 \\ d\Phi_{折} = L'\cos i'\, ds\, d\Omega' \end{cases}$$

二、在两透明介质分界面上，光通量和光亮度的传递。





$$
\begin{cases}
d\Omega = \sin i di d\varphi \\
d\Omega = \sin i_1 di_1 d\varphi \\
d\Omega' = \sin i' di' d\varphi
\end{cases}
$$

反射、入射、折射及法线位于同一平面上，故折射前的 φ 角等于折射后的 φ'

$$\therefore d\varphi = d\varphi'$$

$$i_1 = i$$ （反射定律）

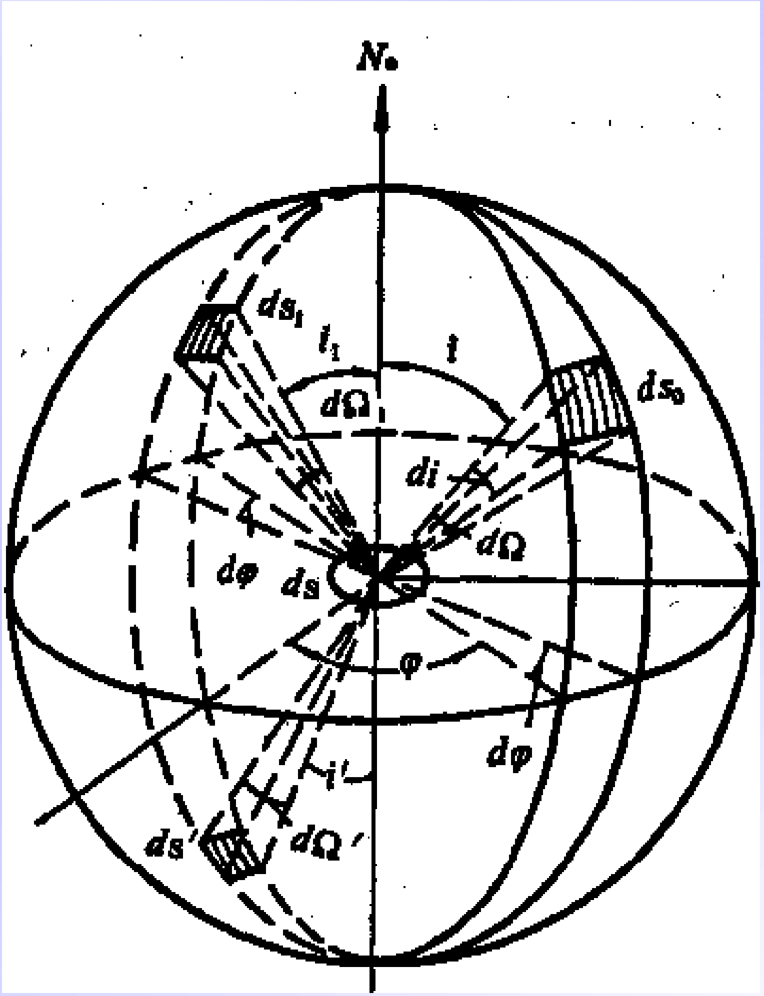
$$\therefore d\Omega = d\Omega_1$$

$$n \sin i = n' \sin i'$$ （折射定律）

$$\therefore n \cos i di = n' \cos i' di'$$

$$\therefore d\Omega' = \sin i' di' d\varphi = \frac{n^2 \sin i \cos i}{(n')^2 \cos i'} di d\varphi$$

$$\therefore \quad = \frac{n^2 \cos i}{(n')^2 \cos i'} d\Omega$$



1．反射情形

$$d\Phi'_{反} = \rho d\Phi$$

$$\therefore L = \frac{d\Phi}{\cos i ds d\Omega}$$

$$L_1 = \frac{d\Phi_1}{\cos i_1 ds d\Omega_1}$$

根据反射定律　$i_1 = i$　$d\Omega_1 = d\Omega$

$$\therefore \frac{L_1}{L} = \frac{d\Phi_1}{d\Phi} = \rho$$

$$\therefore L_1 = \rho L$$

2．折射情形

由能量守恒　$d\Phi = d\Phi_1 + d\Phi'$

$$\therefore d\Phi' = (1-\rho)d\Phi$$

$$n\sin i = n'\sin i'$$

$$\therefore n\cos i di = n'\cos i' di'$$

两边乘折射定律的对应端

$$n^2 \sin i \cos i di d\varphi = n'^2 \sin i' \cos i' di' d\varphi$$

$$n^2 \sin i \cos i di d\varphi = n'^2 \sin i' \cos i' di' d\varphi$$

$$又 \because d\Omega = \sin i di d\varphi$$

$$d\Omega' = \sin i' di' d\varphi$$

$$\therefore n^2 \cos i d\Omega = n^2 \cos i' d\Omega'$$

$$\because d\Phi' = L' \cos i' ds d\Omega' \qquad d\Phi = L \cos ds d\Omega$$

$$\therefore L' \cos i' ds d\Omega' = (1-\rho) L \cos i ds d\Omega$$

$$\therefore \frac{L'}{L} = \frac{(1-\rho)\cos i ds d\Omega}{\cos i' ds d\Omega'}$$

$$d\Omega' = \frac{n^2 \cos i}{(n')^2 \cos i'} d\Omega$$

$$= (1\text{-}\rho)\frac{n'^2}{n^2}$$

$$L' = L(1-\rho)\frac{n'^2}{n^2} = \tau L \frac{n'^2}{n^2}$$

例：一个功率（辐射通量）为60W的钨丝充气灯泡，假定它在各个方向上均匀发光，求它的发光强度。

解：灯泡的光视效能K=9.2～21流明/瓦，若取它的平均值为15流明/瓦，则该灯泡所发出的光通量为

$$K=\frac{\Phi}{\Phi_e} \qquad \Phi = K\Phi_e = 15\times 60 = 900 \quad \text{流明}$$

$$\therefore I=\frac{\Phi}{\Omega}=\frac{\Phi}{4\pi}=\frac{900}{4\pi}=71.62 \quad \text{坎德拉}$$

例2．若上题的灯泡与一聚光镜联用，灯丝中心对聚光镜所张的孔径角，$u \approx \sin u \approx 0.25$ 求进入聚光镜的光通量。

解：∵灯丝对聚光镜所张的立体角只占整个空间立体角 4π

$$\frac{\pi(0.25)^2}{4\pi}=0.016$$

$$\text{光通量}=900\times 0.016=14.4 \quad \text{流明}$$

例3 直径3米的园桌中心上方2米处吊一平均发光强度为200坎德拉的灯泡，求园桌中心与边缘的光照度。

解：由于灯丝发光体远小于距离2米，可当作点源处理

对园桌中心 I=200坎 r=2m

$$E_e = \frac{I}{r^2} = \frac{200}{2^2} = 50$$ 勒克司

对园桌边缘 $r = \sqrt{2^2 + 1.5^2}$ $\cos\theta = \frac{2}{\sqrt{2^2 + 1.5^2}}$

$$E = \frac{I\cos\theta}{r^2} = 25.6$$ 勒克司

例：一功率为3毫瓦的氦氖激光器发射波长为0.6328微米，光束的发散度为上下各0.001弧度，放电毛细管的直径为1毫米。试求该激光管发出的光通量和光束的亮度（人眼对0.6328微米光的视见函数V_{λ}=0.24）

解： $\Phi=0.003\times634\times0.24=0.45648$ 流

又 发散角 $u=0.001$

$\therefore$相应的立体角 $\Omega=\pi u^{2}=0.314\times10^{-5}$ 弧度

$\therefore$发光强度 $I=\dfrac{\Phi}{\Omega}=1.45\times10^{5}$ 坎德拉

$\therefore$光亮度：把放电毛细管截面看作发光表面沿光轴方向即 i=0。

$$\therefore \frac{I}{ds}=\frac{I}{\pi(\frac{d}{2})^{2}}=18.47\times10^{10}\ \text{尼特}\ =18.47\times10^{6}\ \text{熙提}$$

从地面上看太阳表面亮度为15万熙提，即该激光器发光面的光亮度为地面所见太阳亮度的100多倍。

若人眼所允许的光亮度10^4，问防护眼镜的透射率为多少?

(人眼的折射率为1.33)

$$L' = \tau \cdot L \frac{n'^2}{n^2}$$

$$\tau = \frac{L'}{Ln'^2} = \frac{10^4}{18.47 \times 10^{10} \times 1.33^2} = 3 \times 10^{-8}$$