

§ 11 光度学基本概念

光能量的传播问题：发射，传播，接收

11.1 辐射能通量和光通量

1) 辐射能通量 Ψ

辐射度学： 研究电磁辐射强弱的学科

辐射能通量： 单位时间从光源发出或
通过一定截面的辐射能

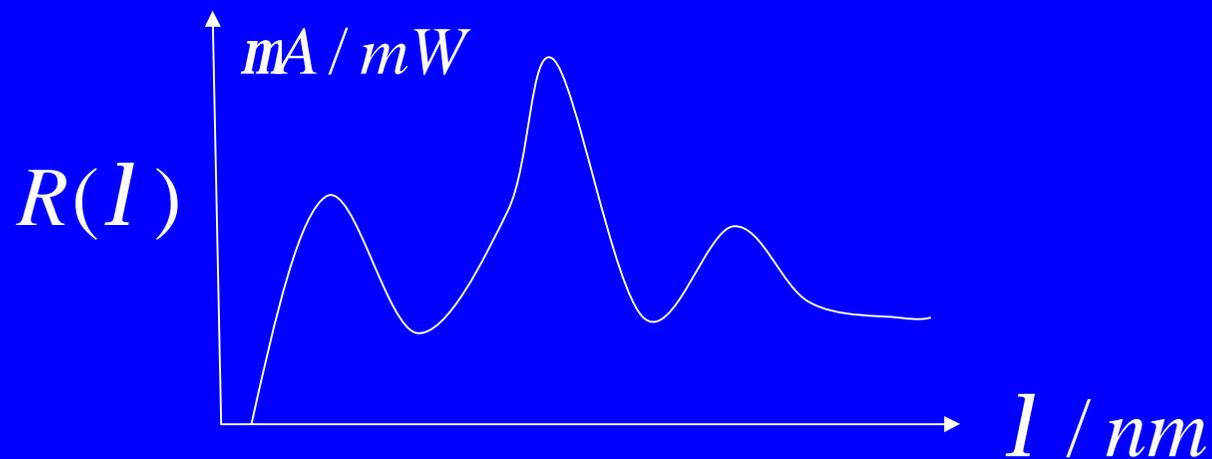
$$\Delta E / \Delta t \quad \text{单位：瓦}$$

辐射能通量的谱密度: $y(l) = \frac{d\Psi}{dl}$

$$\Psi = \int_0^{\infty} y(l) dl$$

2) 光谱响应曲线 $R(l)$

检测器件的输出 (V or I) 与波长 l 的入射光功率之比



3) 视见函数 $V(\lambda)$

人眼对光辐射的响应

视见函数:

波长为 λ 的光与波长为555nm的光产生同样亮暗感觉所需辐射能通量之比

定义:
$$V(\lambda) = \frac{\Psi_{5500}}{\Psi_{\lambda}}$$

$$\lambda = 5500 \text{ \AA}^0 \text{ 时, } V=1$$

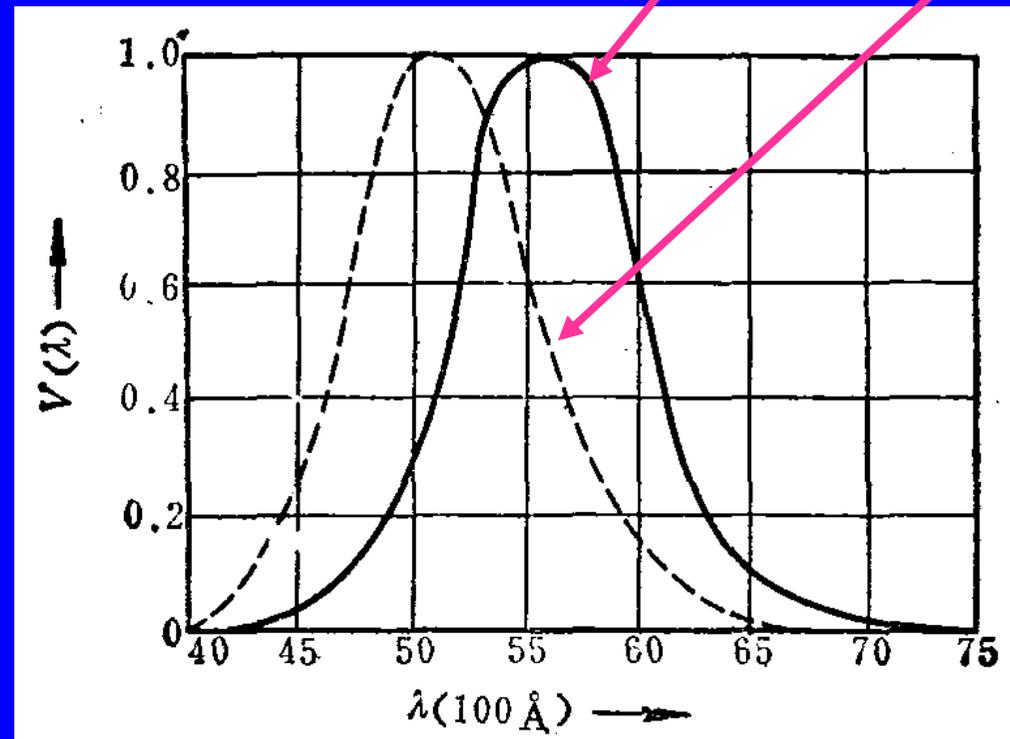
例：引起与1mW的555nm光相同亮暗感的400nm光需要2.5W,则该波长的视见函数值为多少？

解： $I = 4000 A^0$,

$$V = \frac{10^{-3} W}{2.5 W} = 0.0004$$

适光性和适暗性视见函数

由于眼睛里的圆锥和圆柱视神经细胞在分别起作用，形成了**适光性**和**适暗性**视见函数。



4) 光通量, 光度学

光通量: 光源发出的辐射能通量以可见函数为权重因子折合成的通量

$$\Delta\Phi_l \propto \Delta\Psi_l V(l)$$

$$\begin{aligned}\Phi &\propto \sum_l \Delta\Psi_l V(l) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \sum_l y_l V(l) \Delta l \\ &= \int y_l V(l) dl\end{aligned}$$

$$\Phi = K_m \int V(l) y(l) dl$$

$$\Phi = K_m \int V(\lambda) Y(\lambda) d\lambda$$

K_m : 555nm的光功当量, 也称最大光功当量

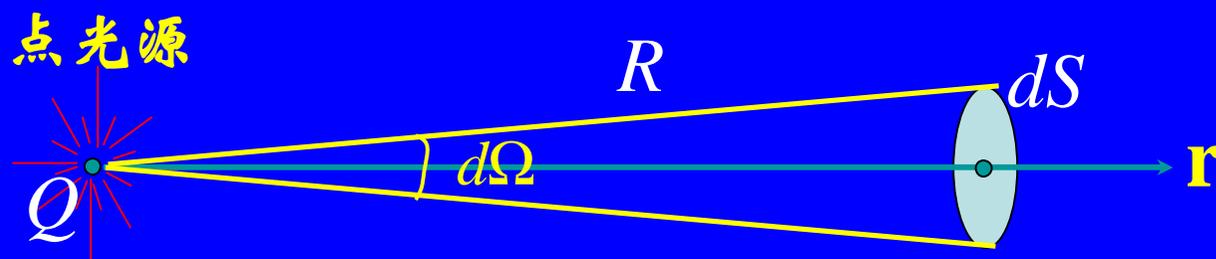
光通量单位: 流明 记作: lm

$$K_m = 683lm/W$$

光度学: 研究光的强弱的学科

11.2 发光强度和亮度：光源

1) 发光强度I：点光源



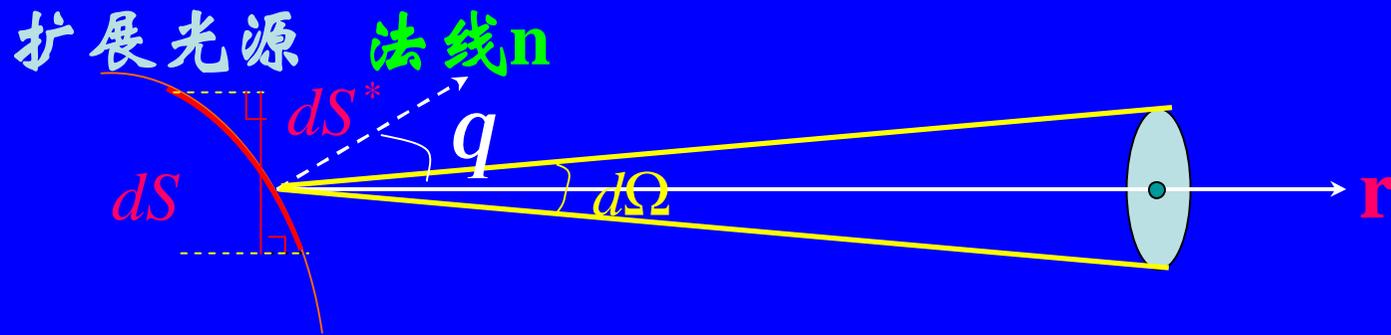
$$I \equiv \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

点光源沿 r 方向的发光强度

单位：坎德拉， $1\text{cd} = \frac{1\text{lm}}{1\text{sr}}$

其中 $d\Omega = dS / R^2$

2) 亮度B: 面光源



$$B \equiv \frac{dI}{dS^*} = \frac{dI}{dS \cos q} = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cos q}$$

面元dS沿r方向的亮度

单位: $lm/(m^2 sr)$ 或 $lm/(cm^2 \cdot sr)$

3) 辐射强度, 辐射亮度:

将 $\Phi \rightarrow \Psi$

则 $I \equiv \frac{d\Phi}{d\Omega} \longrightarrow I_{\Psi} \equiv \frac{d\Psi}{d\Omega}$

$$B \equiv \frac{dI}{dS^*} = \frac{dI}{dS \cos q} = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cos q}$$

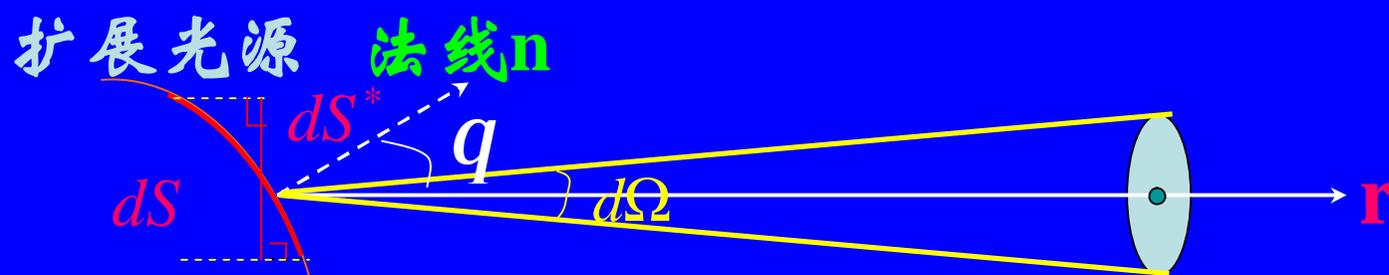
$$B_y \equiv \frac{dI_y}{dS^*} = \frac{dI_y}{dS \cos q} = \frac{dy}{d\Omega dS \cos q}$$

11.3 余弦发射体和定向发射体:

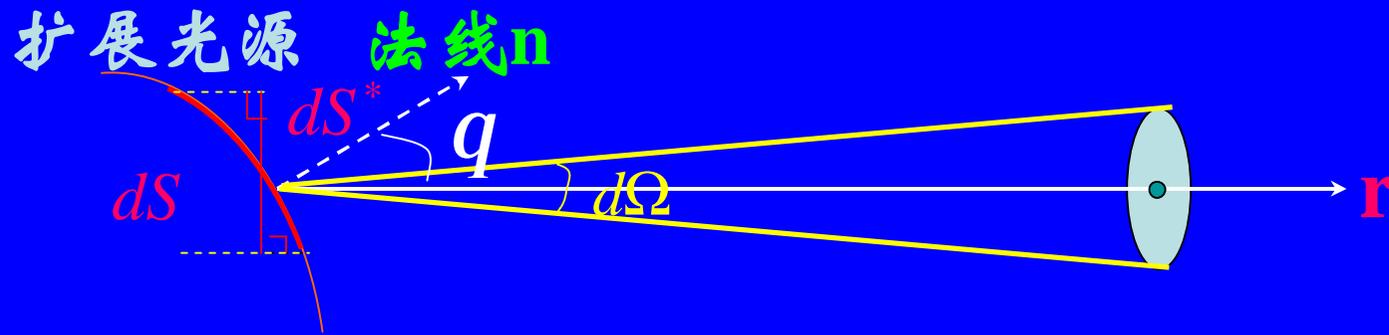
---两类特殊的扩展光源

1) 余弦 (朗伯) 发射体

定义: 若一扩展光源的亮度 B 与方向无关, 则该发射体称为余弦 (朗伯) 发射体



$$B \equiv \frac{dI}{dS^*} = \frac{dI}{dS \cos q}$$



$$B \equiv \frac{dI}{dS^*} = \frac{dI}{dS \cos q}$$

若面元 dS 沿某一方向的发光强度 $dI \propto \cos q$

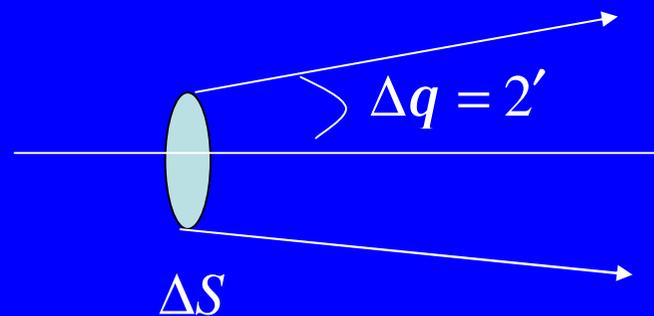
则 B 与 $\cos q$ 无关

2) 定向发射体:

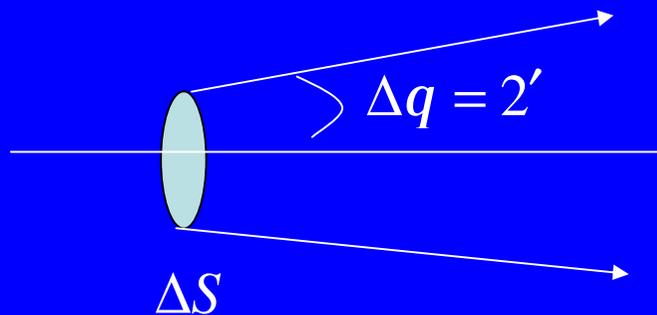
光束集中在一定的立体角内

比如: 激光器

例: He-Ne激光器的辐射功率为10mW, 光束截面为 1mm^2 , 光束发散角为 $2'$, 求辐射亮度。



解：



$$B = \frac{dI}{dS^*} = \frac{\Delta\Psi / \Delta\Omega}{\Delta S}$$

$$\Delta\Psi = 10mW$$

$$\Delta\Omega = \frac{p(R\Delta q)^2}{R^2}$$

$$\Delta S = 1mm^2$$

$$\Delta q = 2'$$

$$B \approx 10^{10} W / m^2 \cdot sr$$

$$B(\text{sun}) \approx 3 \times 10^6 W / m^2 \cdot sr$$

11.4 照度: 接收体

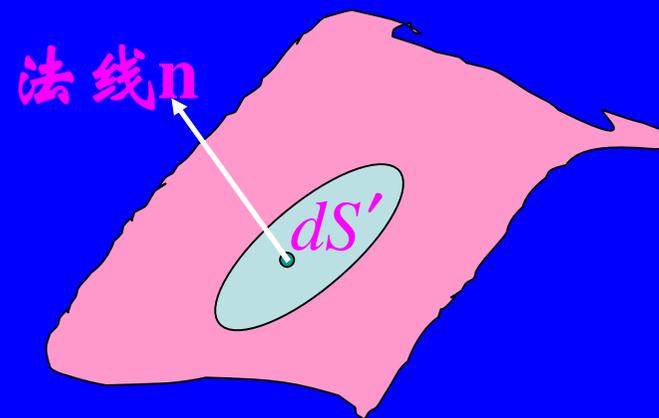
1) 照度E

照射在单位面积上的光通量

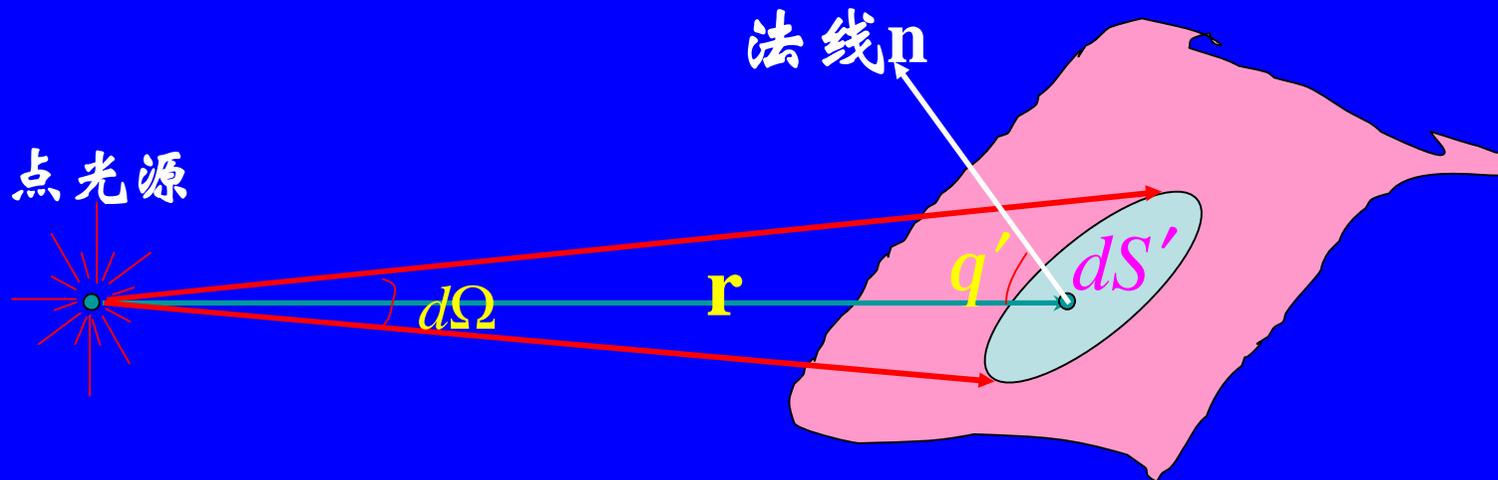
$$E \equiv \frac{d\Phi'}{dS'}$$

单位: lx 或 ph

$$lx = lm / m^2, \quad ph = lm / cm^2, \quad 1lx = 10^{-4} ph$$



2) 点光源产生的照度

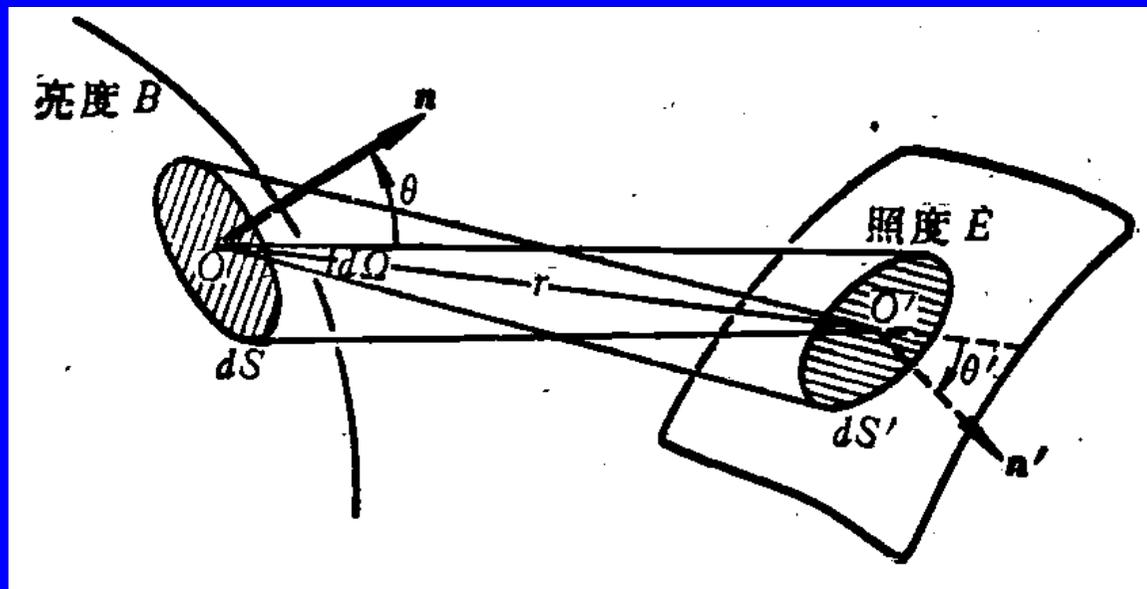


$$E = \frac{d\Phi'}{dS'} = \frac{Id\Omega}{dS'} = \frac{IdS' \cos q'}{dS' r^2} = \frac{I \cos q'}{r^2}$$

$$E \propto \cos q', \quad E \propto 1/r^2$$

---平方反比律

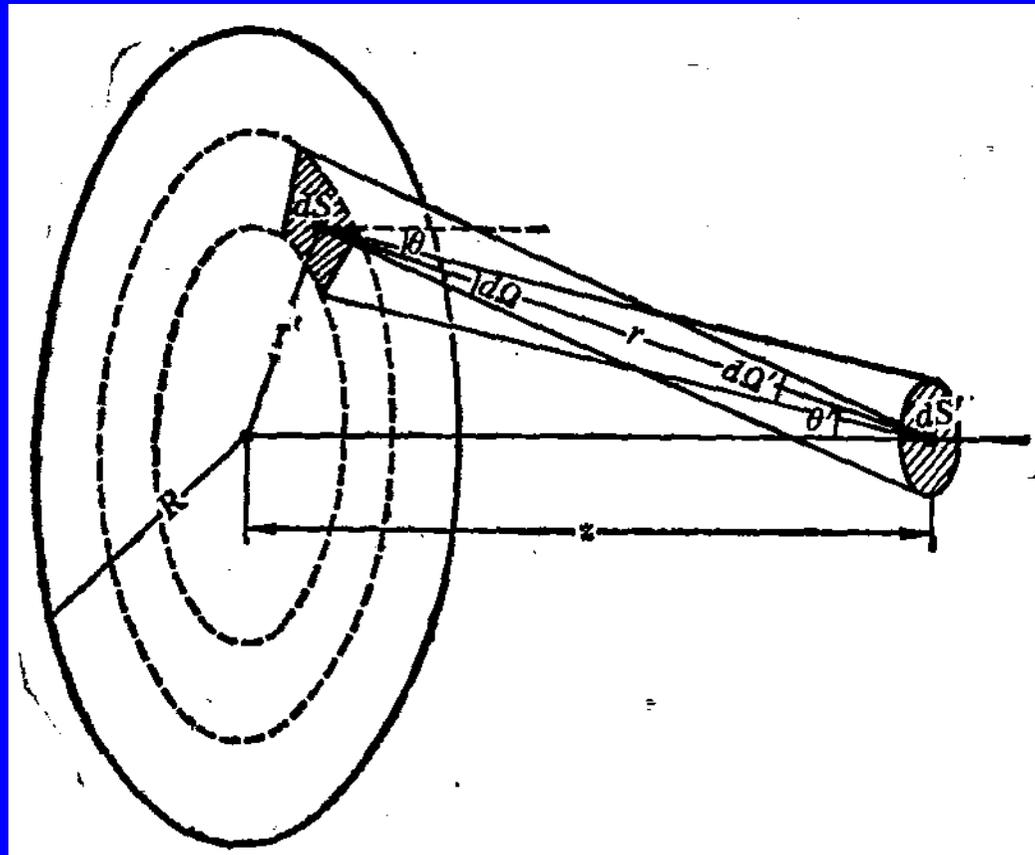
3) 面光源产生的照度



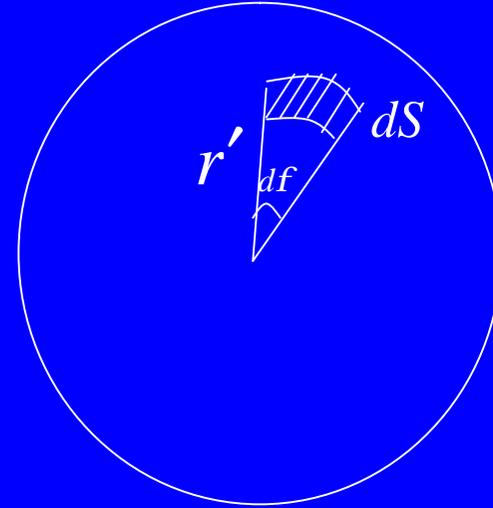
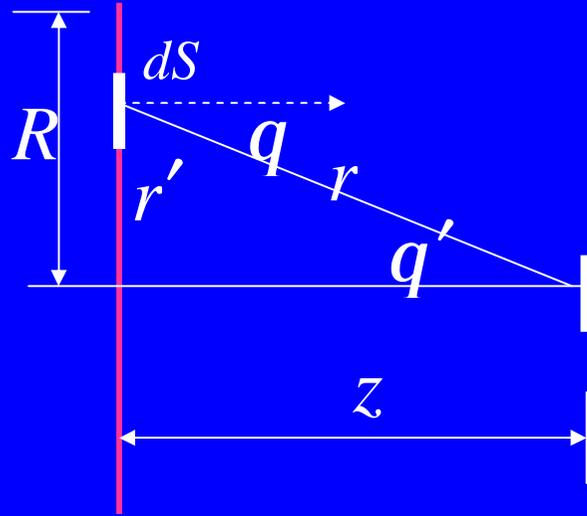
$$d\Phi' = Bd\Omega dS \cos q = B \frac{dS' \cos q'}{r^2} dS \cos q = \frac{BdSdS' \cos q \cos q'}{r^2}$$

$$dE = \frac{d\Phi'}{dS'} = \frac{BdS \cos q \cos q'}{r^2} \Rightarrow E = \iint_S \frac{B \cos q \cos q'}{r^2} dS$$

例：求均匀余弦发射圆盘在轴上一点产生的垂直照度，设盘的半径为 R ，亮度为 B 。



解:



$$E = \iint_S \frac{B \cos q \cos q'}{r^2} dS$$

$$= 2p \int_0^R \frac{B \cos^2 q}{r^2} r' dr'$$

$$= 2pB \int_0^R \frac{z^2 r' dr'}{(r'^2 + z^2)^2} = \frac{pRB}{R^2 + z^2}$$

$$dS = r' \Delta j dr'$$

$$r^2 = r'^2 + z^2$$

$$\cos q = \cos q' = \frac{z}{\sqrt{r'^2 + z^2}}$$

讨论:

当 $z \gg R$ 时,

圆盘变成点电光源 $\Rightarrow I = pR^2 B$

此时, $E \approx pR^2 B / z^2 = I / z^2$

照度遵从平方反比率