

# 第一章 几何光学

## 第十一节 光度学基本概念

# 第十一节 光度学基本概念

11.1 辐射能通量和光通量

11.2 发光强度和亮度

11.3 余弦发射体和定向发射体

11.4 照度

# 11.1 辐射能通量和光通量

光度学：研究光的强弱 → 人眼（主观）

辐射度学：研究辐射强弱 → 功率（物理）

辐射能通量  $\Psi = \int \psi(\lambda) d\lambda$  单位：W

视见函数： $\psi(\lambda)$  被称为辐射能谱密度

$V(\lambda)$  明

$V'(\lambda)$  暗

$V_{\max}(555\text{nm}) = 1$  归一化

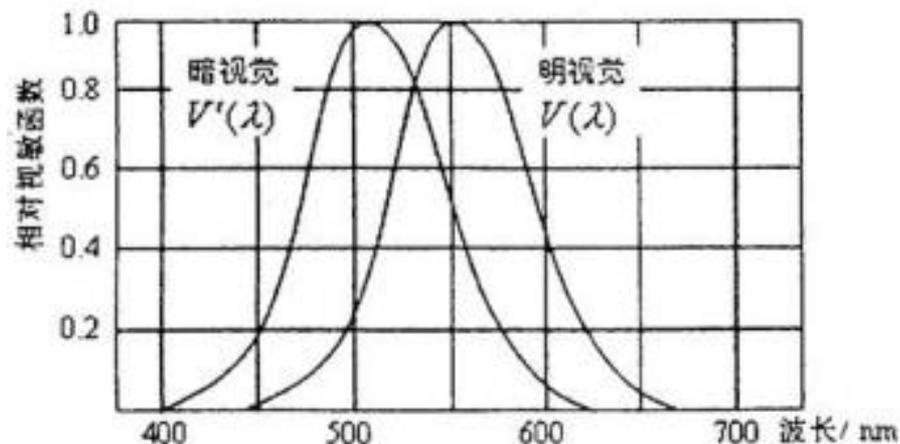
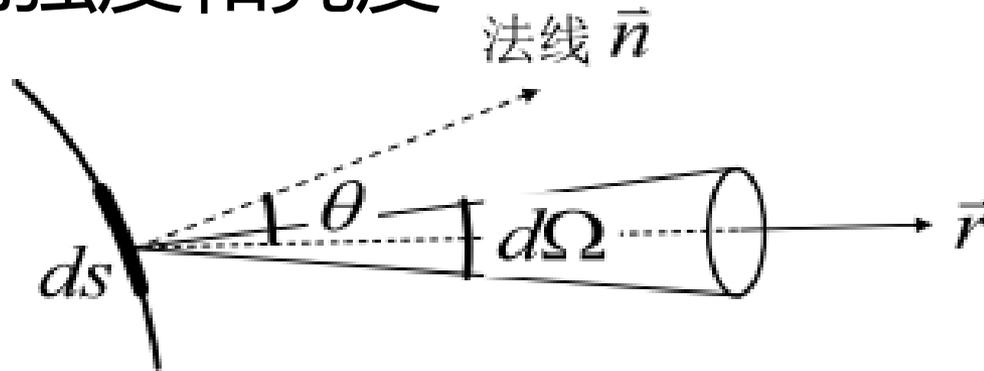


图1 相对视敏函数曲线

光通量： $\Phi = K_M \int V(\lambda) \psi(\lambda) d\lambda$  单位：lumen, lm, 流明

$K_M = 683\text{lm/W}$  最大光功当量 (555nm)

# 11.2 发光强度和亮度



发光强度 ( luminous intensity )

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad \text{单位: Candela, Cd, 坎德拉,} \quad \frac{lm}{sr}$$

亮度 ( brightness )

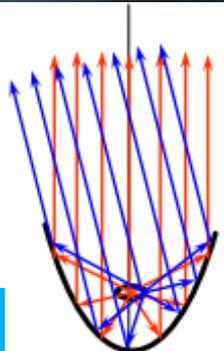
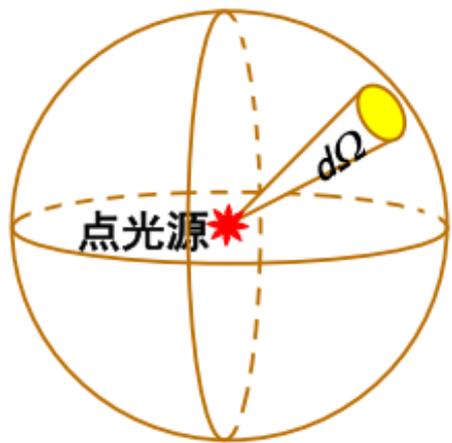
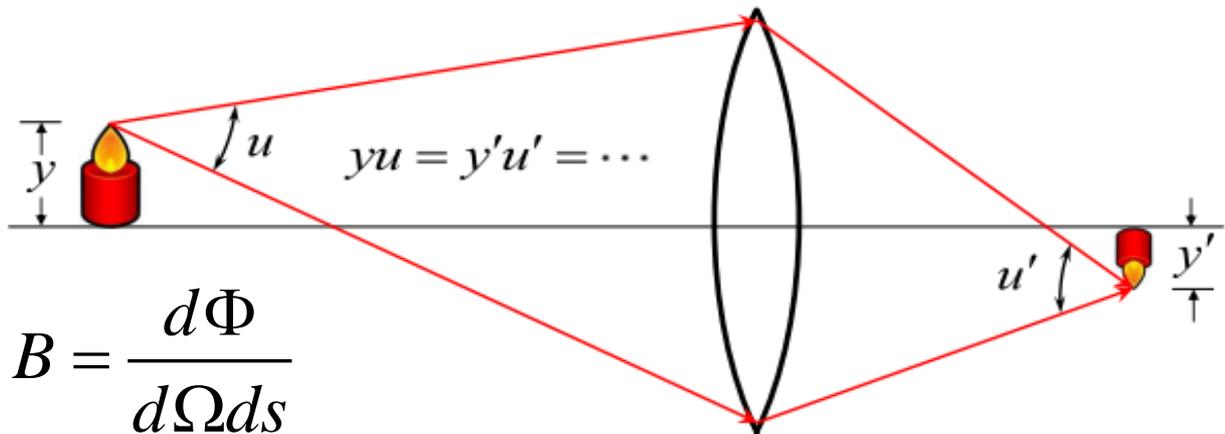
球面度:  $\Omega = S/r^2$ .

$$B = \frac{d\Phi}{d\Omega ds \cos \theta} = \frac{dI}{ds \cos \theta} \quad \text{单位: Stilb, Sb, 熙提} \quad \frac{lm}{m^2 sr}$$

辐射强度 ( radiation intensity ) 和辐射亮度 ( radiation brightness )

将上述公式中的 $\Phi$ 换为 $\Psi$ , 单位 $W / sr$ , 以及 $W / m^2 \cdot sr$

# 11.2 发光强度和亮度



## 常见光源的亮度：

大气层外看太阳：~190,000熙提

地面看太阳：~150,000熙提

白炽灯：~500-1,500熙提

蜡烛火焰：~0.5熙提

地面看满月：~0.25熙提

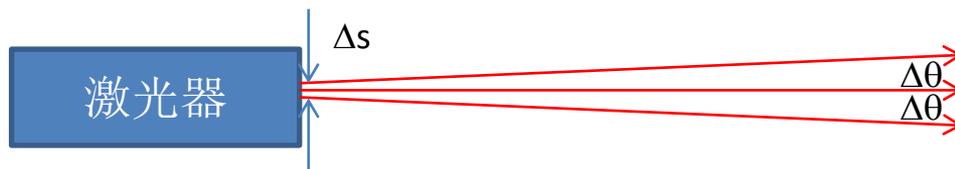
无月夜空：~10<sup>-8</sup>熙提

# 11.3 余弦发射体和定向发射体

余弦发射体（漫射体，朗伯发光体）

$$dI \propto \cos \theta \quad \text{Lambert定律}$$

定向发射体



激光：发散角  $\Delta\theta \approx 2' \approx 6 \times 10^{-4} \text{ rad}$

立体角  $\Delta\Omega = \pi\Delta\theta^2 \approx \pi\theta^2 \approx 10^{-6} \text{ sr}$

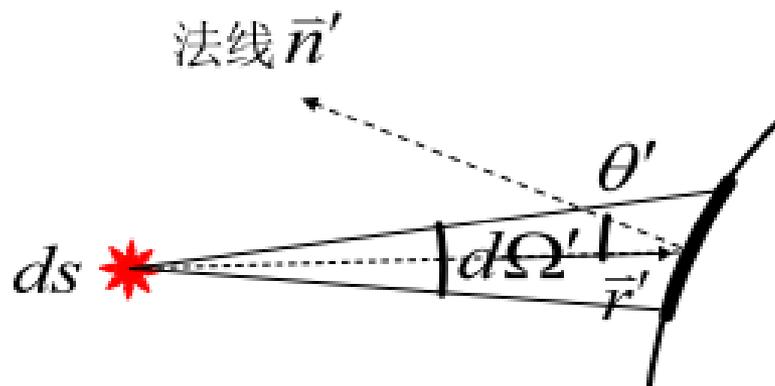
面积  $1\text{mm}^2$ ， $10\text{mW}$  的 HeNe 激光，其辐射亮度

$$B = \frac{\Delta\Psi}{\Delta\Omega\Delta s \cos \theta} \approx 10^{10} \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr}$$

太阳的辐射亮度  $B$ ： $3 \times 10^6 \text{ W} / \text{m}^2 \times \text{sr}$

# 11.4 照度

照度 ( illuminance )  $E = \frac{d\Phi'}{ds'}$  单位 : Lux , lx , 勒克斯 ,  $\frac{lm}{m^2}$



点光源产生的照度 :

$$d\Phi' = Id\Omega = Ids' \cos \theta' / r^2$$

$$E = \frac{d\Phi'}{ds'} = \frac{I \cos \theta'}{r^2} \quad I: \text{点光源的发光强度}$$

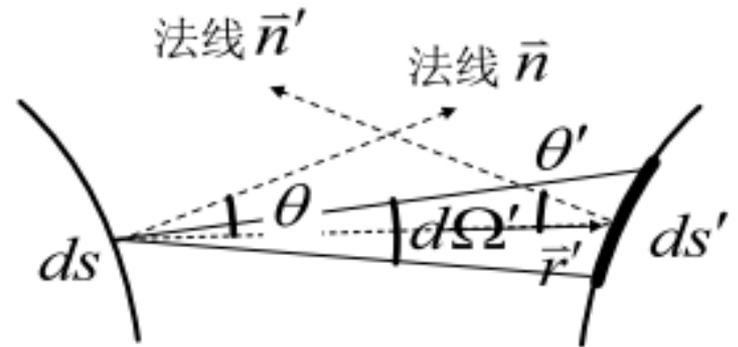
# 11.4 照度

面光源产生的照度：

$$d\Phi' = Bd\Omega ds \cos \theta = \frac{Bd\Omega ds ds' \cos \theta \cos \theta'}{r^2}$$

$$E = \iint \frac{B ds \cos \theta \cos \theta'}{r^2}$$

$B$ ：面光源的亮度



常见实际情况的照度：

晴朗夏日室外非阳光直射处：1,000—10,000勒克斯

晴朗夏日采光良好的室内：100—500勒克斯

天顶满月时的地面：~0.2勒克斯

无月夜的地面：~ $2 \times 10^{-4}$  勒克斯

办公场所的要求：~20—100勒克斯

# 第一章 几何光学

## 第十二节 像的亮度、照度和主观亮度

## 第十二节 像的亮度、照度和主观亮度

12.1 像的亮度

12.2 像的照度

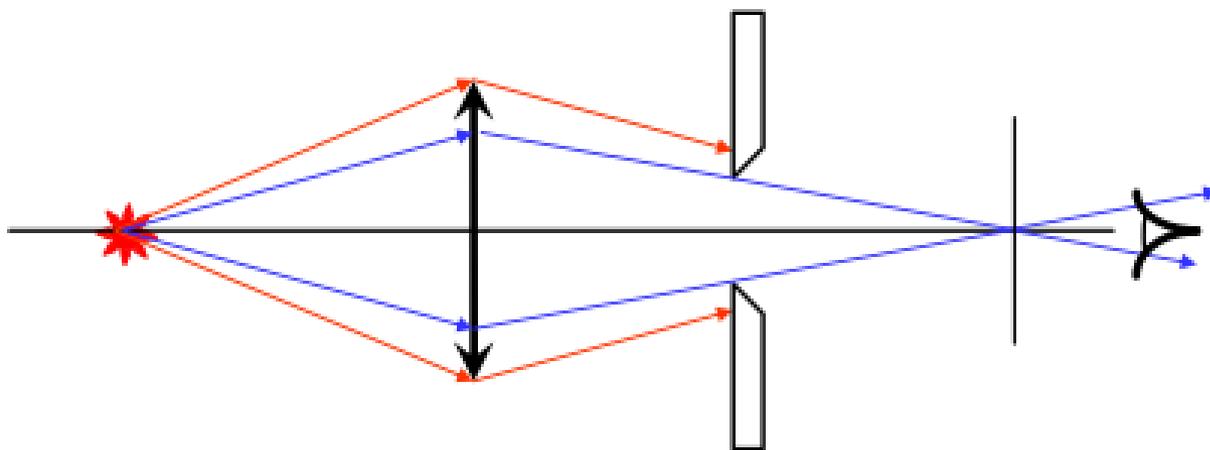
12.3 主观亮度

# 12.1 像的亮度

人眼瞳孔接收很小的立体角，像的亮度是单位立体角像的光通量：

理想光具组： $B' = kB$        $k$ ：光具组的透过率

单个折射面： $\frac{B'}{B} = k \left( \frac{n'}{n} \right)^2$



## 12.2 像的照度

投射到单位面积上的光通量。

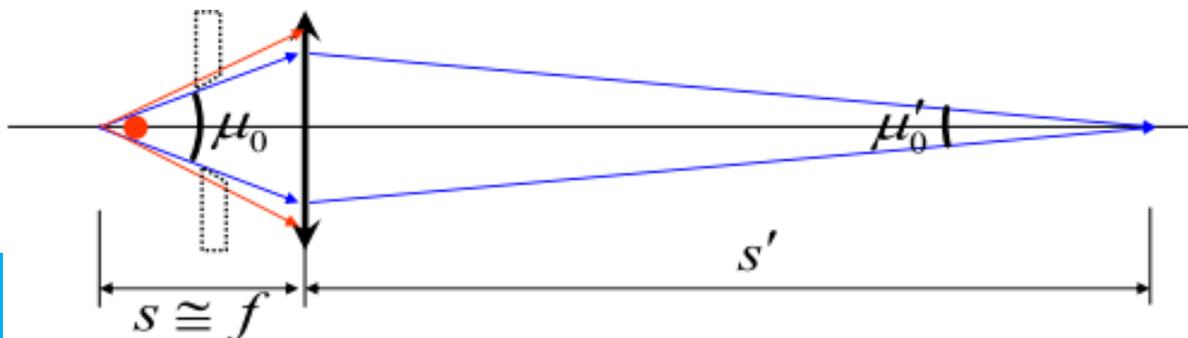
对余弦反射体：
$$B = \frac{E}{\pi}$$

对光具组：
$$E = k\pi B \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \mu_0'^2 = \frac{k\pi B \mu_0^2}{V^2}$$
  $V$ 是横向放大率

一、像距远大于物距（投影机）：

$$\mu_0 \approx \text{常数}$$

幕远  $\rightarrow V$ 大  $\rightarrow$  像暗



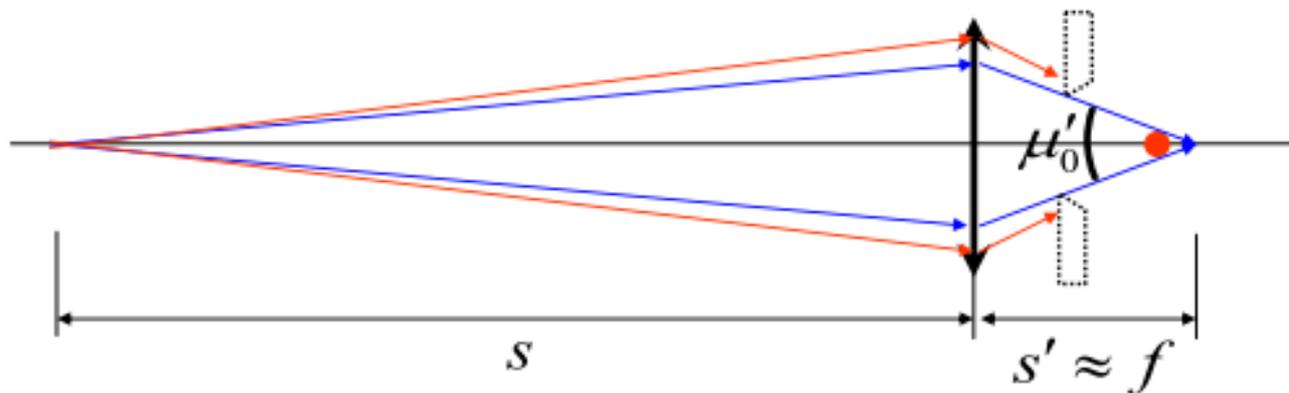
# 12.2 像的照度

二、照相机、眼睛：

$$\mu'_0 = \text{常数} \quad E = \text{常数} = \frac{k\pi B}{4} \left( \frac{D}{f} \right)^2$$

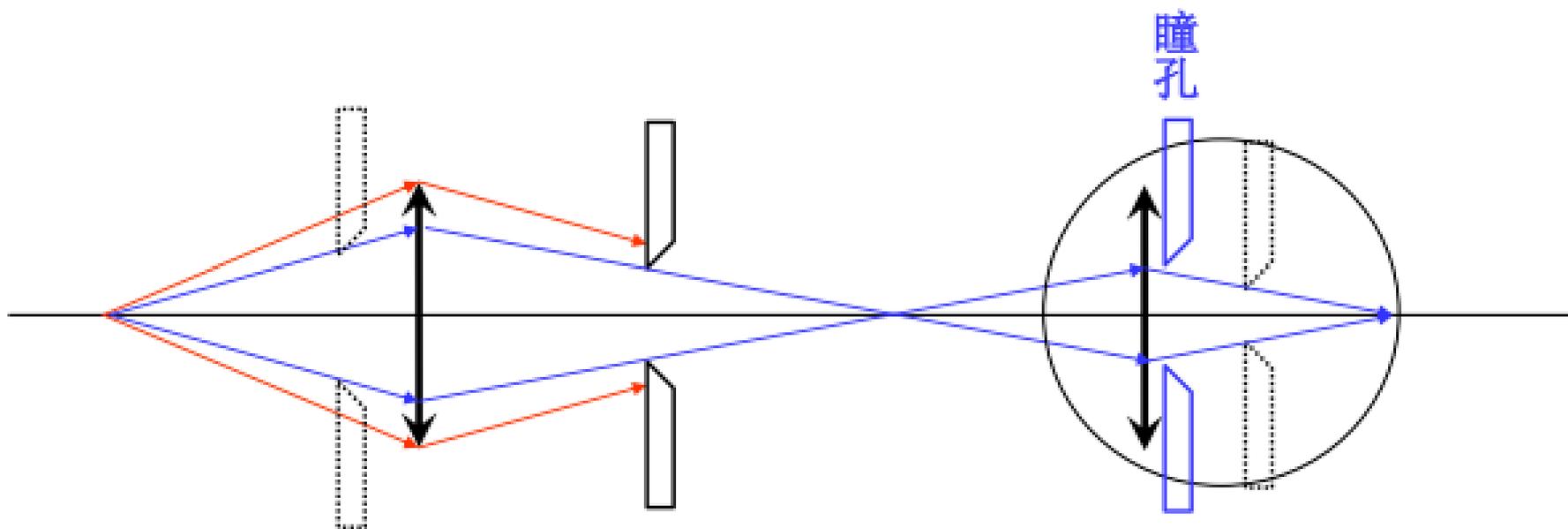
远近物体的感  
光程度一致

$f / D$  : 光圈: 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, ...



## 12.3 主观亮度

视网膜上的单个视细胞上的光通量。



一、扩展光源：就是视网膜上像的照度

$$\text{天然主观亮度： } H_0 \equiv E = \frac{k\pi B}{4} \left( \frac{D_e}{f_e} \right)^2$$

$D_e$  : 瞳孔直径

$f_e$  : 眼睛焦距

## 12.3 主观亮度

二、仪器：

望远镜  $D' = D / M$

显微镜  $D' \propto N.A. / M$

放大率  $<$  正常放大率 ( 出射光瞳孔  $>$  瞳孔 )

$B' \approx B$  主观亮度  $\approx$  天然亮度

放大率  $>$  正常放大率 ( 出射光瞳孔  $<$  瞳孔 )

$B' < B$  主观亮度  $<$  天然亮度

高倍显微镜视场暗的原因，加大数值孔径可改善主观亮度

对于平行光来说，视网膜上光斑小于视神经单元

主观亮度  $\propto$  光瞳直径

加大望远镜镜头尺寸可提高主观亮度