

第十一章

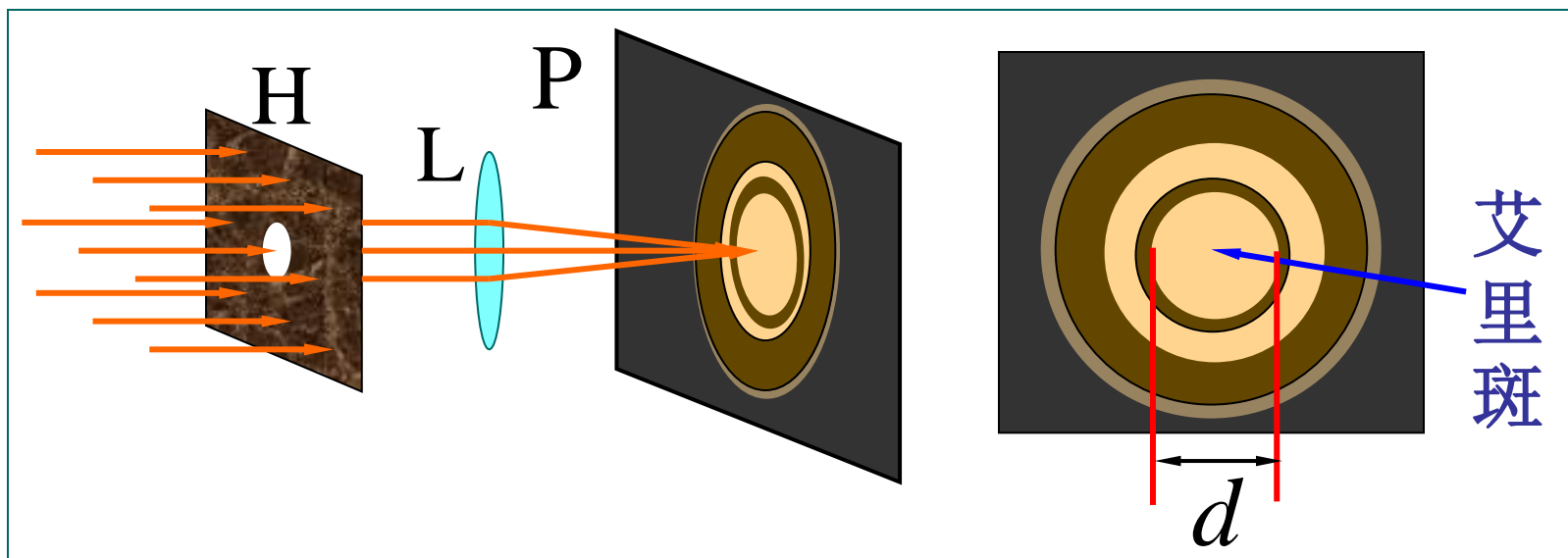
光学

第7节 《圆孔衍射 光学仪器分辨本领》

- 一 了解圆孔衍射的概念。
- 二 了解光学仪器分辨本领与圆孔衍射的联系。



一 圆孔衍射

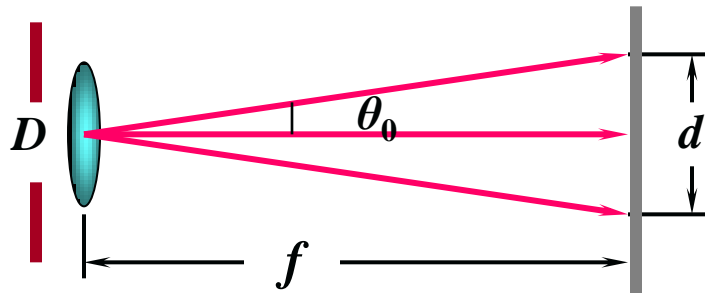


光通过小圆孔时产生衍射现象，图样中央是个明亮的圆斑（**爱里斑**），外围是一组同心的明环和暗环。中央明纹区域（**爱里斑**）集中了光强的 **84%**。



爱里斑的半角宽

第一暗环对应的衍射角 θ_0 称为爱里斑的半角宽。



$$2\theta_0 \approx 2 \sin \theta_0 = \frac{d}{f} = 2.44 \frac{f}{D}$$

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

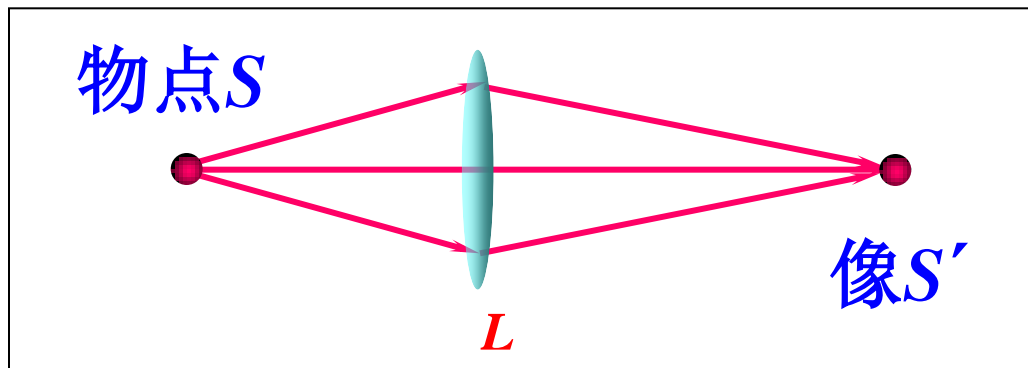
其中, d 为爱里斑的直径, $D = 2a$ 为圆孔的直径。



2. 瑞利判据

光学仪器对物点成象是一个有一定大小的爱里斑。

通常，光学仪器中所用的光阑和透镜都是圆的，所以



研究圆孔夫琅禾费衍射，对评价仪器成像质量具有重要意义。

当两个物点距离足够小时，就存在能否分辨的问题。





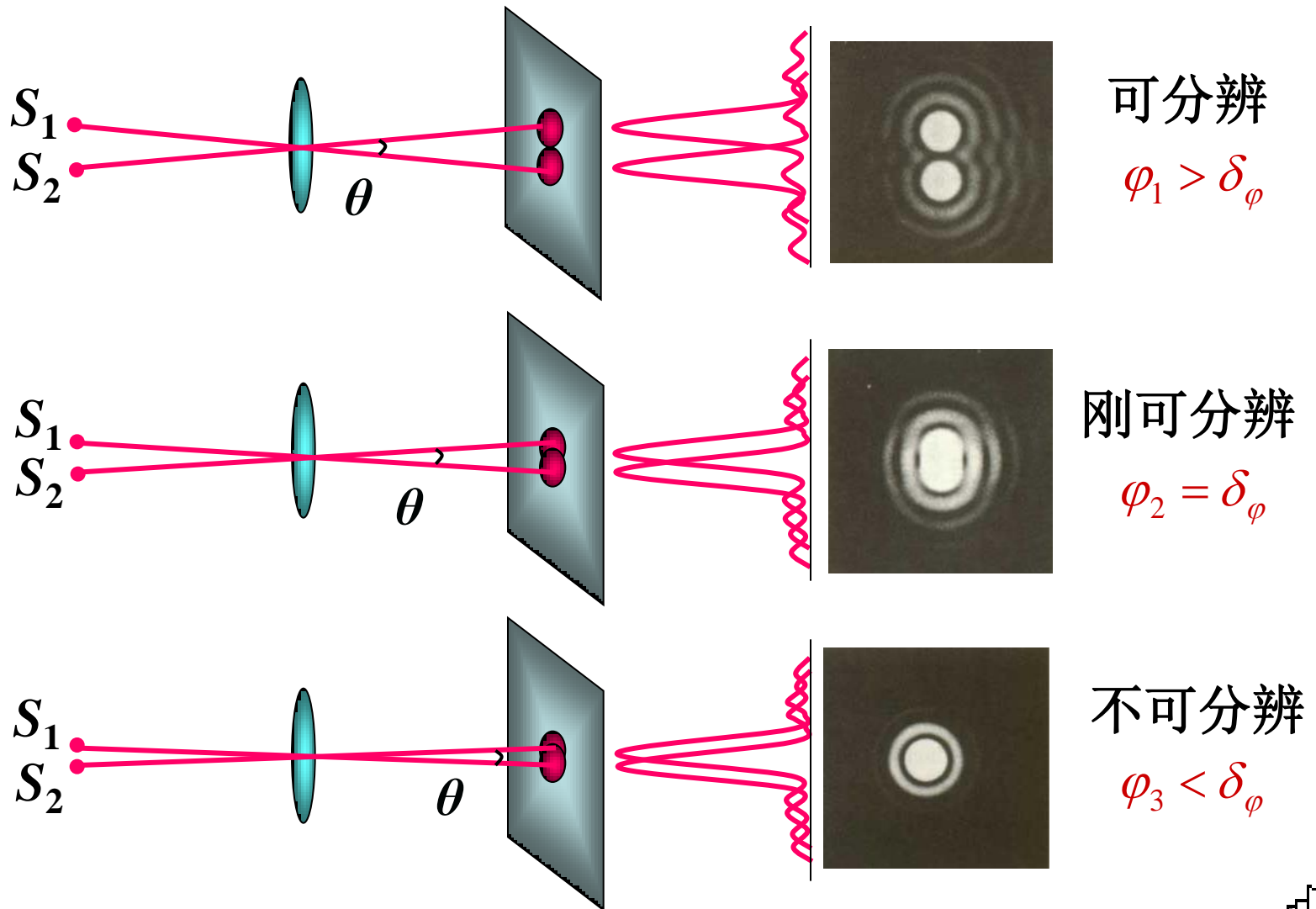
例如，天上两颗亮度大致相同、相隔很远的星体所组成的两组衍射像斑的中央亮斑（爱里斑）重叠很少或没有重叠时，能分辨这两颗星体；若两个中央亮斑大部分重叠，则两颗星体分不清。

瑞利判据

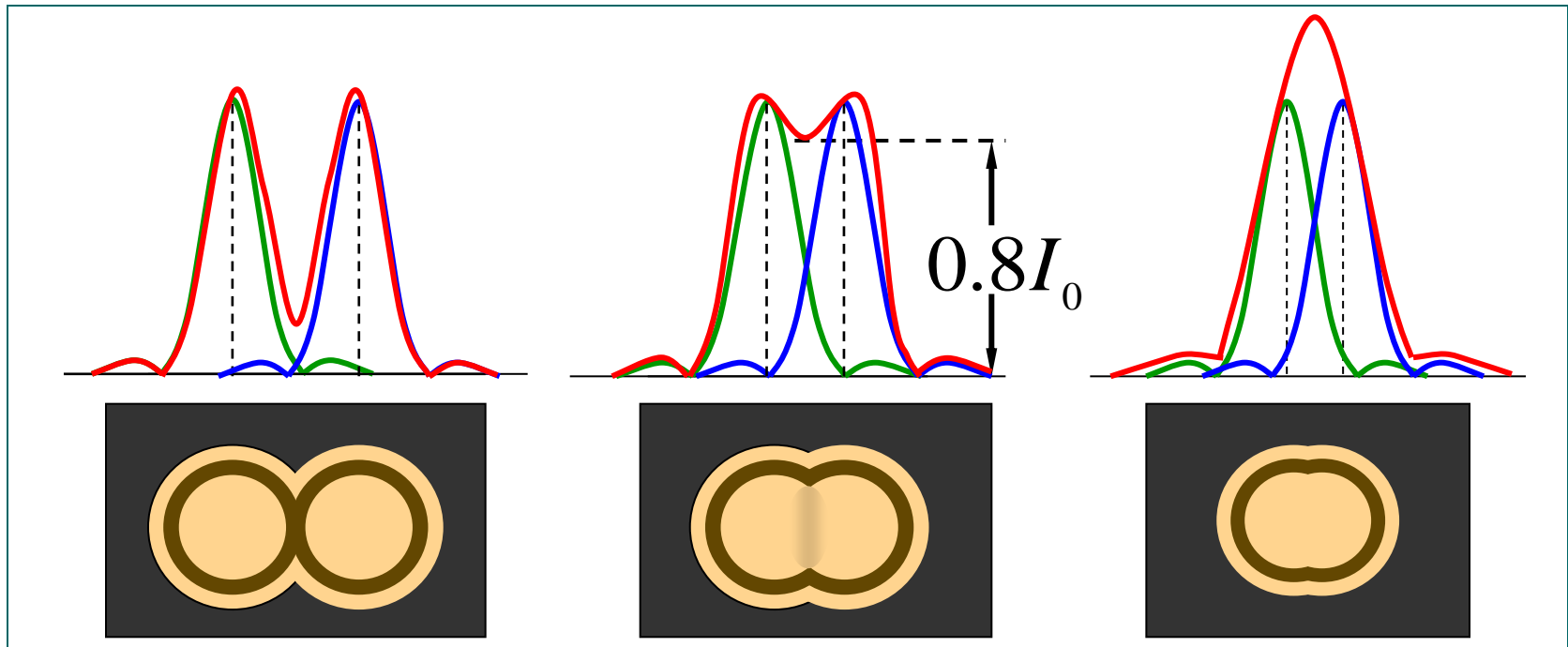
物点 S_1 的爱里斑中心恰好与另一个物点 S_2 的爱里斑边缘（第一衍射极小）相重合时，恰可分辨两物点。



11-7 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领

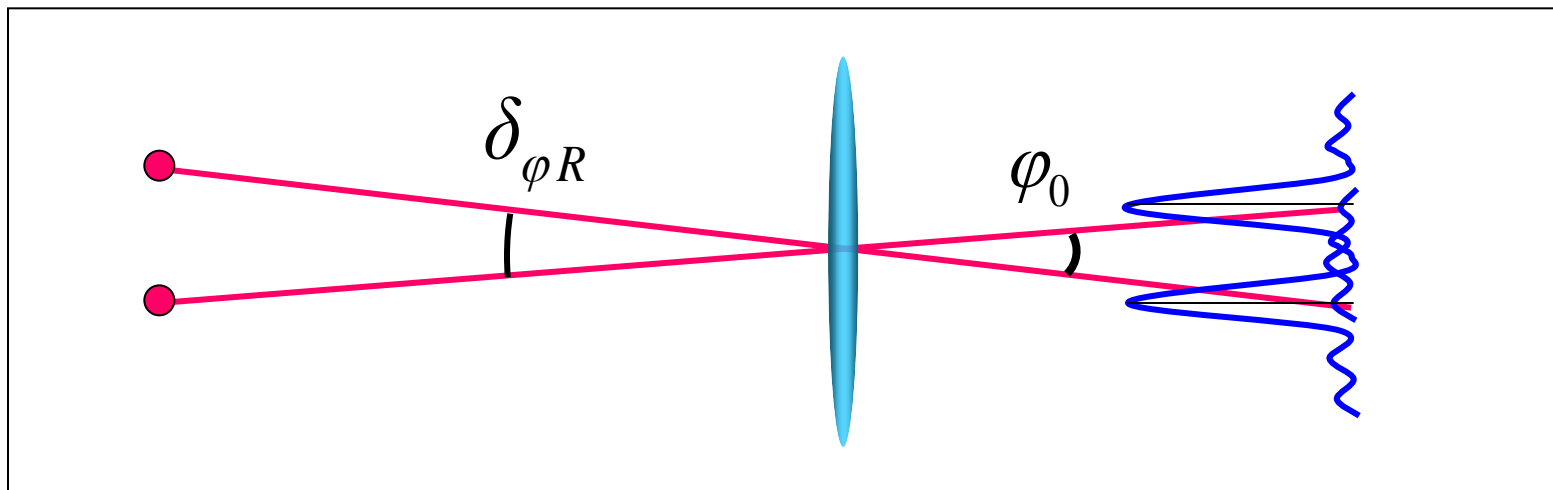


二 瑞利判据



光学仪器的最小分辨角

$$\delta_{\varphi R} = \varphi_0 \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$



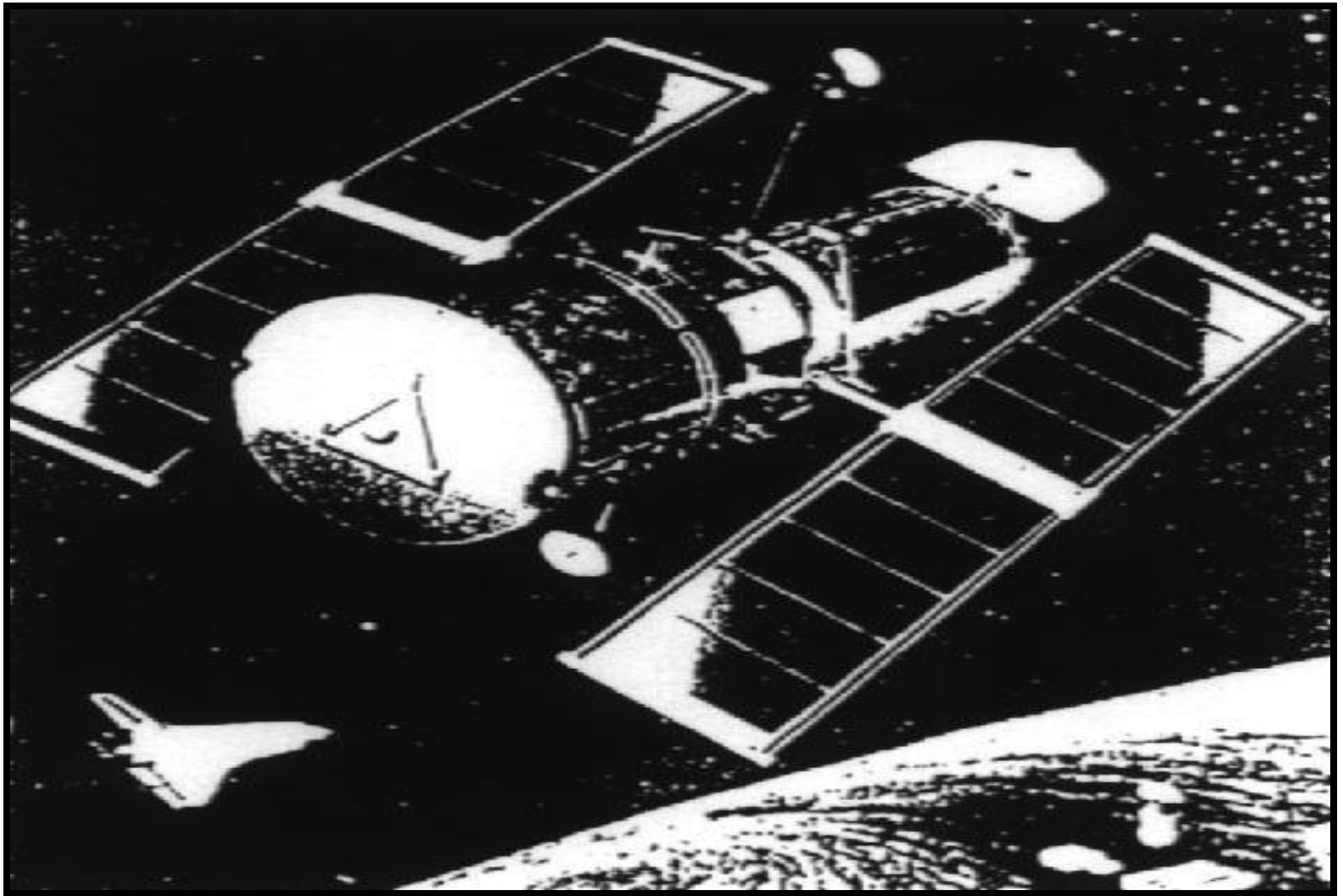
光学仪器的分辨率 $R = \frac{1}{\delta_{\varphi R}} = \frac{1}{1.22} \frac{D}{\lambda}$



对于两个强度相等的不相干的点光源（物点），一个点光源的衍射图样的**主极大**刚好和另一点光源衍射图样的**第一极小**相**重合**，这时两个点光源（或物点）恰为这一光学仪器所分辨。



11-7 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领



1990 年发射的**哈勃**太空望远镜的凹面物镜的直径为2.4 m，最小分辨角 $\theta_0 = 0.1''$ 在大气层外 615 km 高空绕地运行，可观察 130亿光年远的太空深处，发现了500 亿个星系 。



例2 设想瑞利判据中物点为两颗明亮星，通过直径30mm、焦距30cm的透镜，在屏上成像。问满足瑞利判据的两物点的角距离最小多大？此时在焦平面上的距离多大？光波波长550nm。

解 两星的最小角距离

$$\begin{aligned}\theta_0 = \delta_R &= 1.22 \frac{\lambda}{d} \\ &= \frac{1.22 \times 550 \times 10^{-9} \text{ m}}{30 \times 10^{-3} \text{ m}} = 2.2 \times 10^{-5} \text{ rad}\end{aligned}$$

焦平面上的距离 $\Delta x = f \theta_0 = 6.6 \mu\text{m}$





例1 设人眼在正常照度下的瞳孔直径约为3 mm，而在可见光中，人眼最敏感的波长为550 nm，**问**

(1) 人眼的最小分辨角有多大？

(2) 若物体放在距人眼25 cm（明视距离）处，则两物点间距为多大时才能被分辨？



11-7 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领

解 (1)
$$\theta_0 = 1.22 \frac{\lambda}{D} = \frac{1.22 \times 5.5 \times 10^{-7} \text{ m}}{3 \times 10^{-3} \text{ m}}$$
$$= 2.2 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

(2)
$$d = l \theta_0 = 25 \text{ cm} \times 2.2 \times 10^{-4}$$
$$= 0.0055 \text{ cm} = \mathbf{0.055 \text{ mm}}$$



例2 毫米波雷达发出的波束比常用的雷达波束窄，这使得毫米波雷达不易受到反雷达导弹的袭击。

(1) 有一毫米波雷达，其圆形天线直径为55 cm，发射频率为220 GHz的毫米波，计算其波束的角宽度；

(2) 将此结果与普通船用雷达发射的波束的角宽度进行比较，设船用雷达波长为1.57 cm，圆形天线直径为2.33 m .



解 (1) $\lambda_1 = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{220 \times 10^9 \text{ Hz}} = 1.36 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$\Delta\theta_1 = 2.44 \frac{\lambda_1}{D_1} = 2.44 \times \frac{1.36 \times 10^{-3} \text{ m}}{55 \times 10^{-2} \text{ m}} = 0.00603 \text{ rad}$$

(2)

$$\Delta\theta_2 = 2.44 \frac{\lambda_2}{D_2} = 2.44 \times \frac{1.57 \times 10^{-2} \text{ m}}{2.33 \text{ m}} = 0.0164 \text{ rad}$$

