

第十一章

光学

第5节 《光的衍射》

- 一 了解衍射的概念。
- 二 了解衍射与干涉的区别。

第6节 《夫琅禾费单缝衍射》

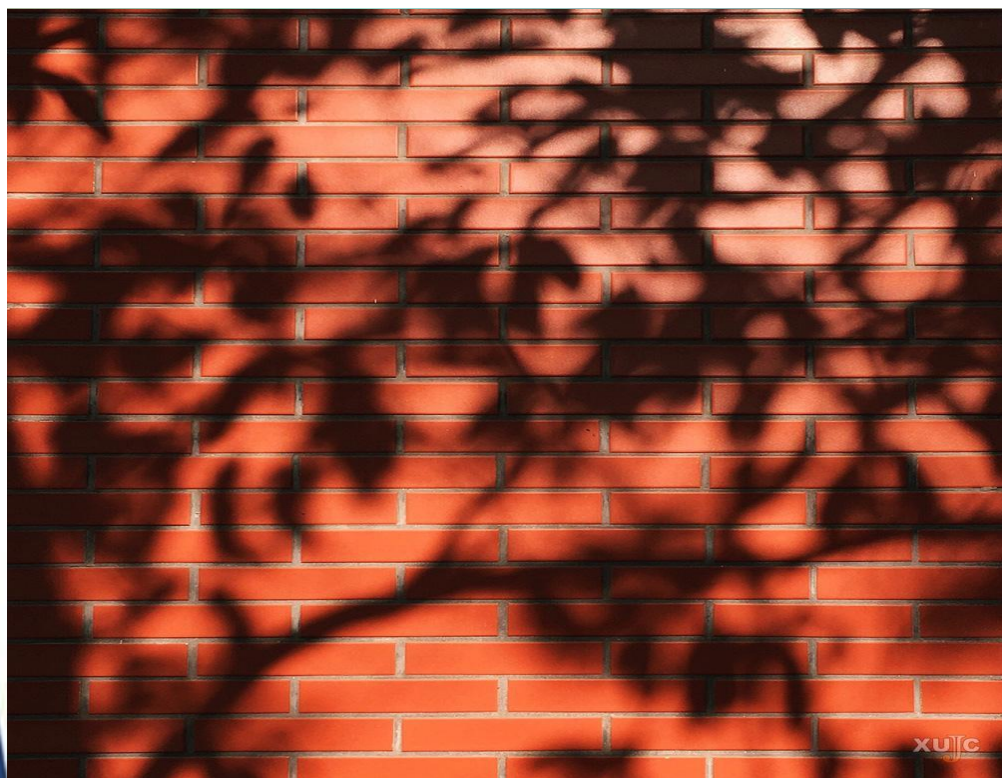
- 一 理解夫琅禾费单缝衍射条纹分布特征。
- 二 理解夫琅禾费单缝衍射的半波带方法。



11-5 光的衍射

惠更斯—菲涅耳原理

问题思考？



夜空的霓虹为何如此斑驳？

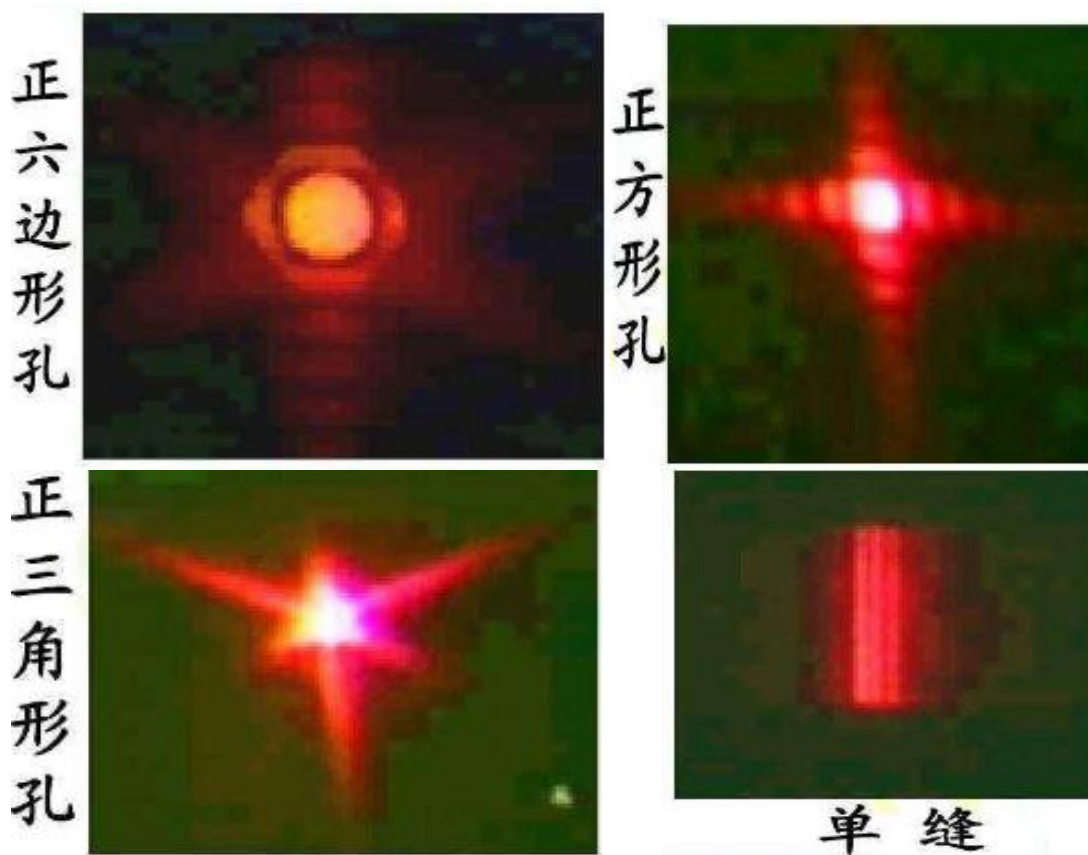
佛光呈现的原理又是什么？

墙上斑驳的树影又是什么原理？



11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射

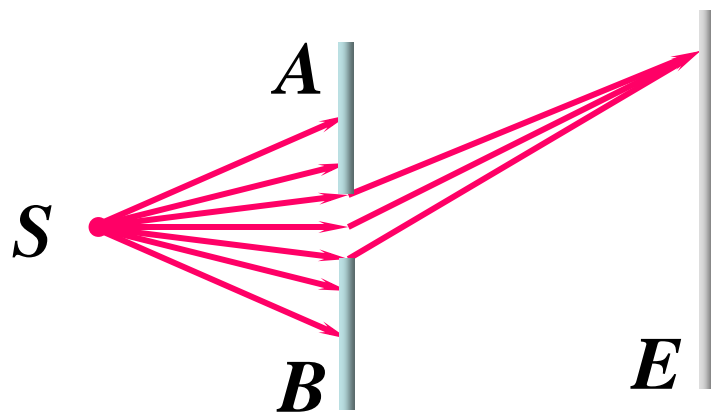
光的衍射——当光通过较宽的单缝时，表现为直线传播的性质。如，小孔成像。当光遇到接近光波波长的微小障碍物时，光出现衍射现象。如，单缝衍射



衍射通常分为两类

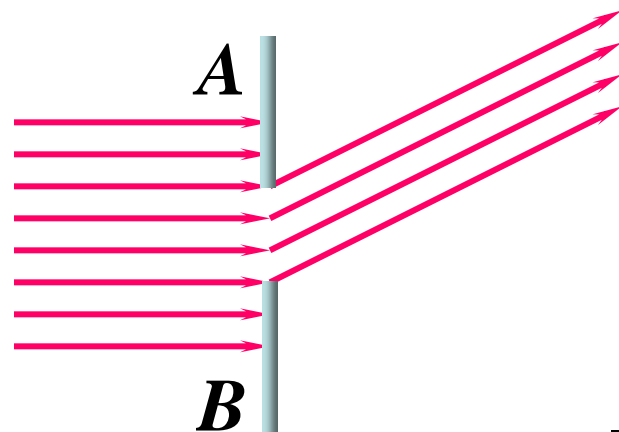
1. 菲涅耳衍射

光源、观察屏（或二者之一）到狭缝的距离有限，也称为近场衍射。



2. 夫琅禾费衍射

光源、观察屏到狭缝的距离均为无穷远，也称为远场衍射。



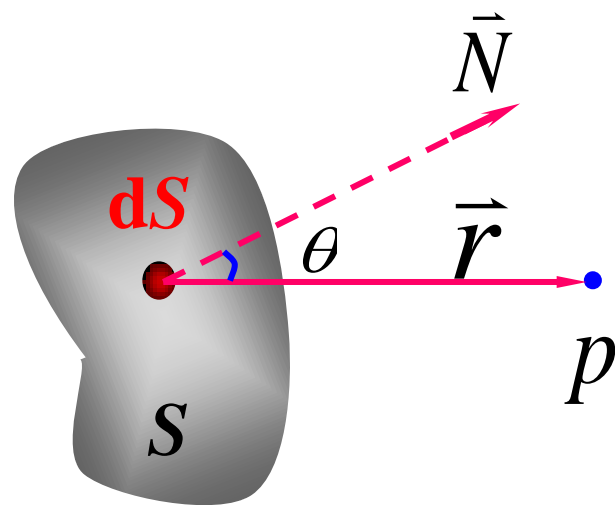
二、惠更斯—菲涅耳原理

从同一波前上各点发出的次波是相干波，
经过传播在空间某点相遇时的叠加是相干叠加。

设波面 S 初相为 p ，其
上面元 dS 在 P 点引起的振
动为

$$dE = Fk(\theta) \frac{dS}{r} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda}\right)$$

F 比例系数， $k(\theta)$ 倾斜因子。



p 点的合振动

$$E(p) = \int_S F k(\theta) \frac{\cos(\omega t - 2\pi r/\lambda)}{r} dS$$

——惠更斯—菲涅耳原理数学表达式。

对于点光源发出的球面波，初相位可取为零，且倾斜因子

$$K(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2}$$

菲涅耳假设，当 $\theta \geq \pi/2$ 时， $K(\theta) = 0$ ，
可以说明次波为什么不会向后退。



第十一章

光学

第6节 《夫琅禾费单缝衍射》

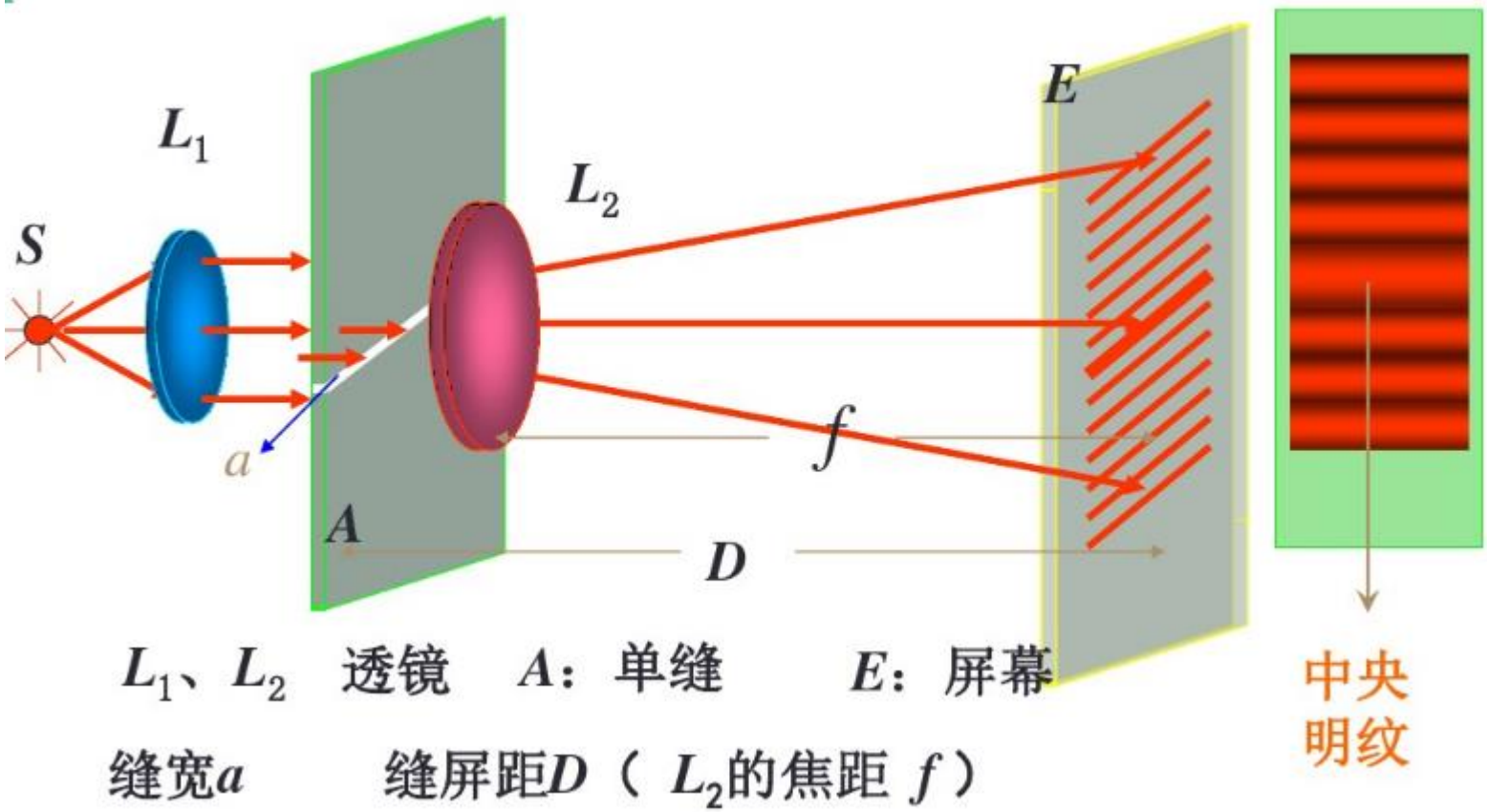
- 一 理解夫琅禾费单缝衍射条纹分布特征。
- 二 理解夫琅禾费单缝衍射的半波带方法。



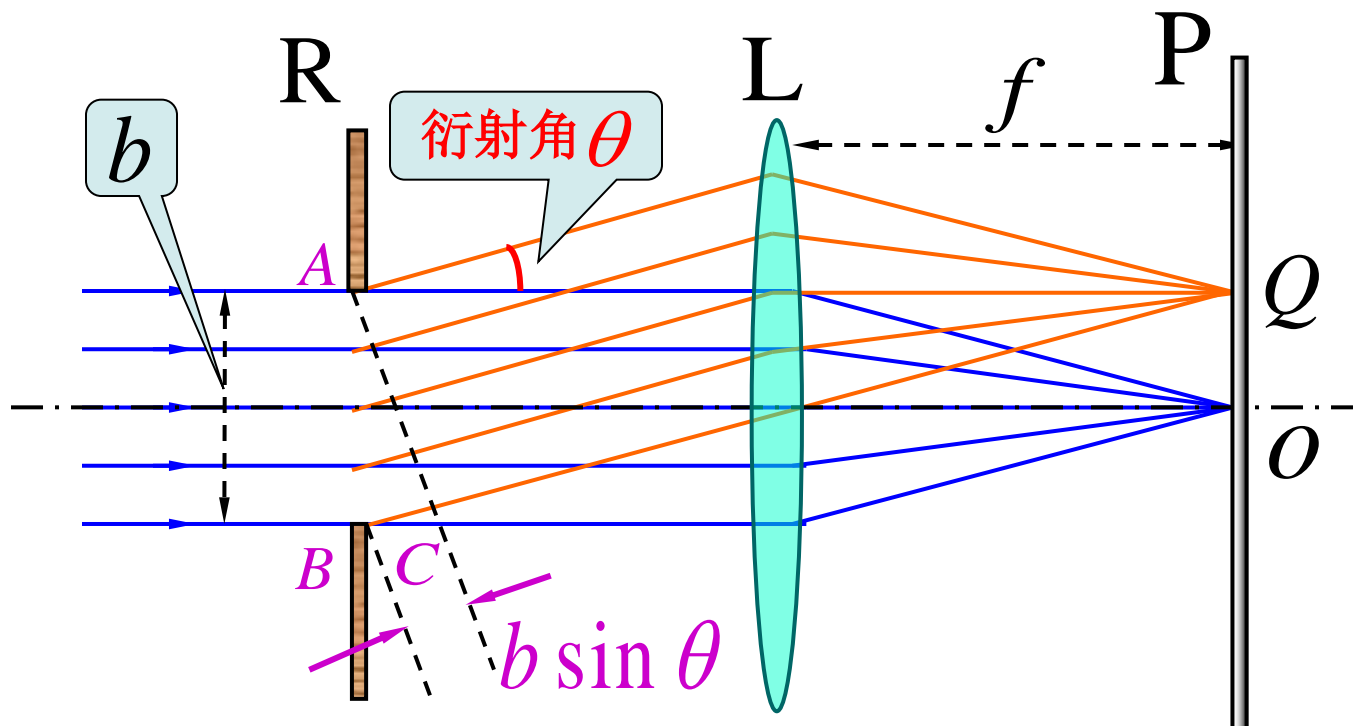


单缝夫琅禾费单缝衍射

一、装置和现象



夫琅禾费单缝衍射



(衍射角 θ 向上为正, 向下为负)

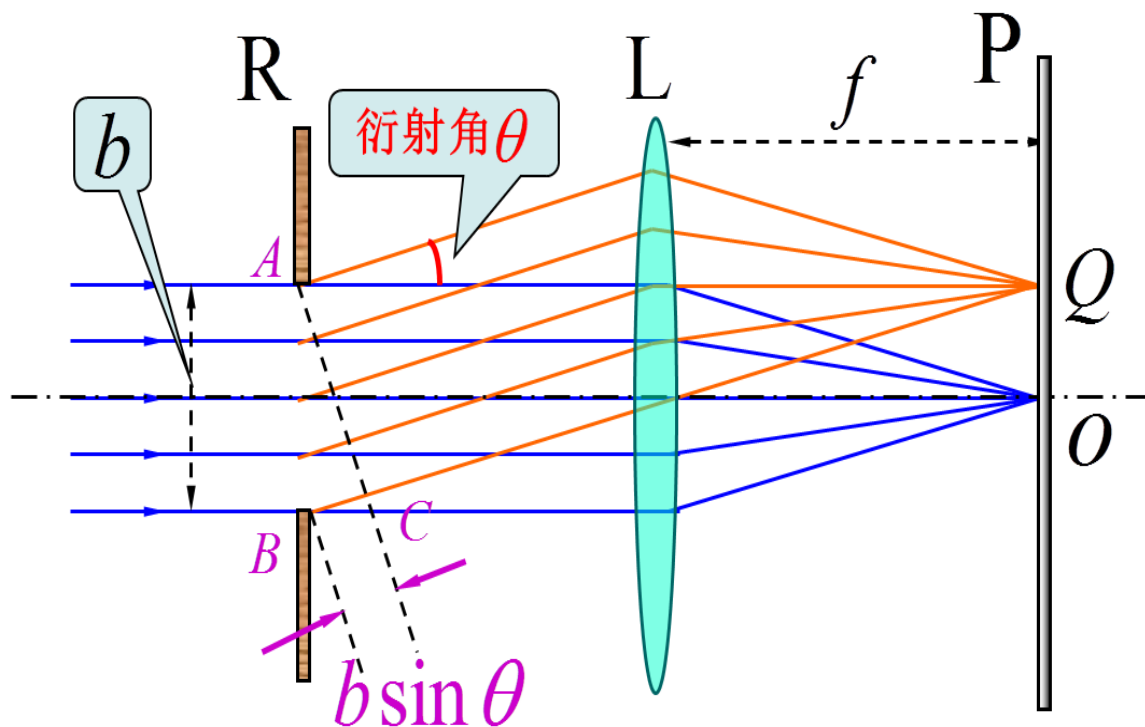
如何判断单缝衍射的明暗条纹分布?



11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射

菲涅耳波带法：
菲涅尔通过单缝的光波对称性，提出半波带理论，用代数加法或矢量图解代替积分，可以解释衍射现象

夫琅禾费单缝衍射



(衍射角 θ 向上为正，向下为负)

最大光程差

$$BC = b \sin \theta = \pm k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 1, 2, 3, \dots)$$

k=0 $b \sin \theta = 0$ **O**为中央明条纹



偶数个半波带

$$b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

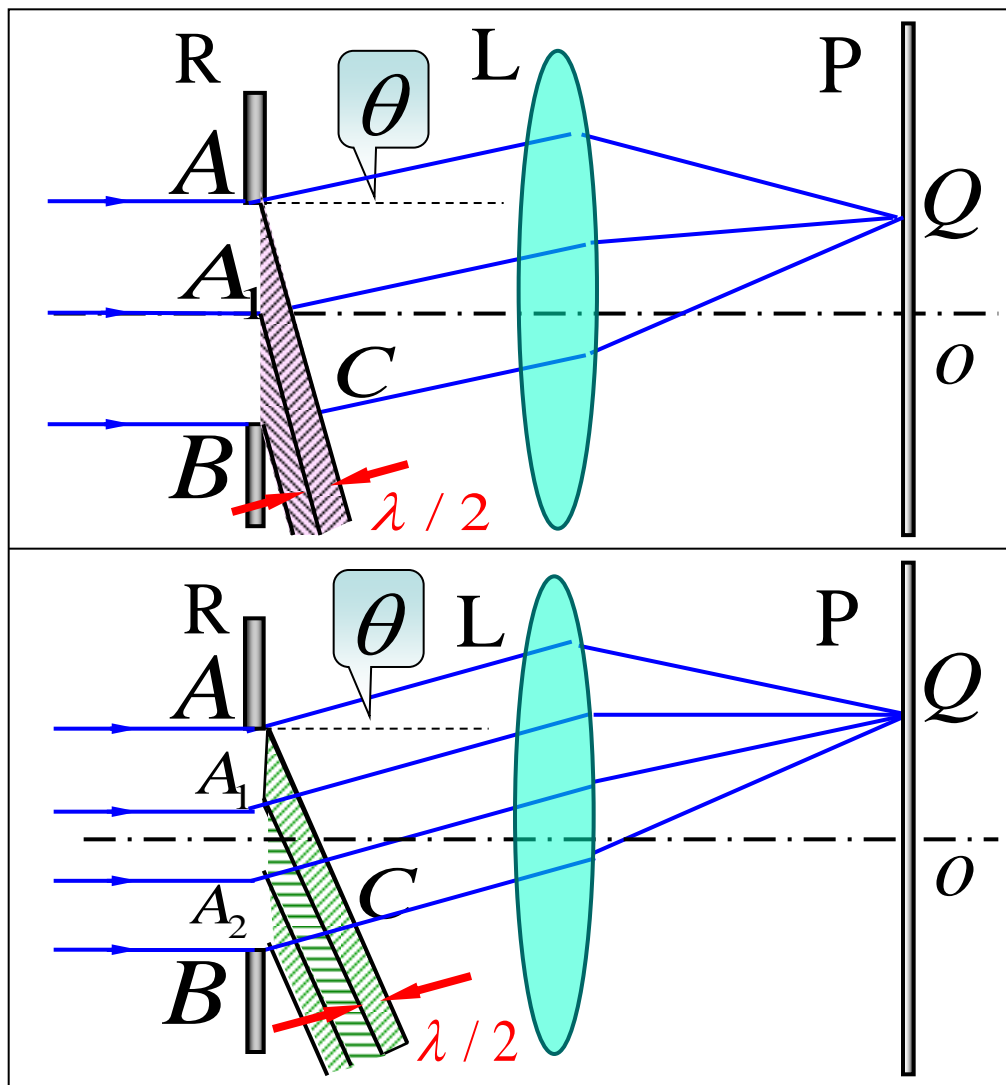
P对应暗条纹

奇数个半波带

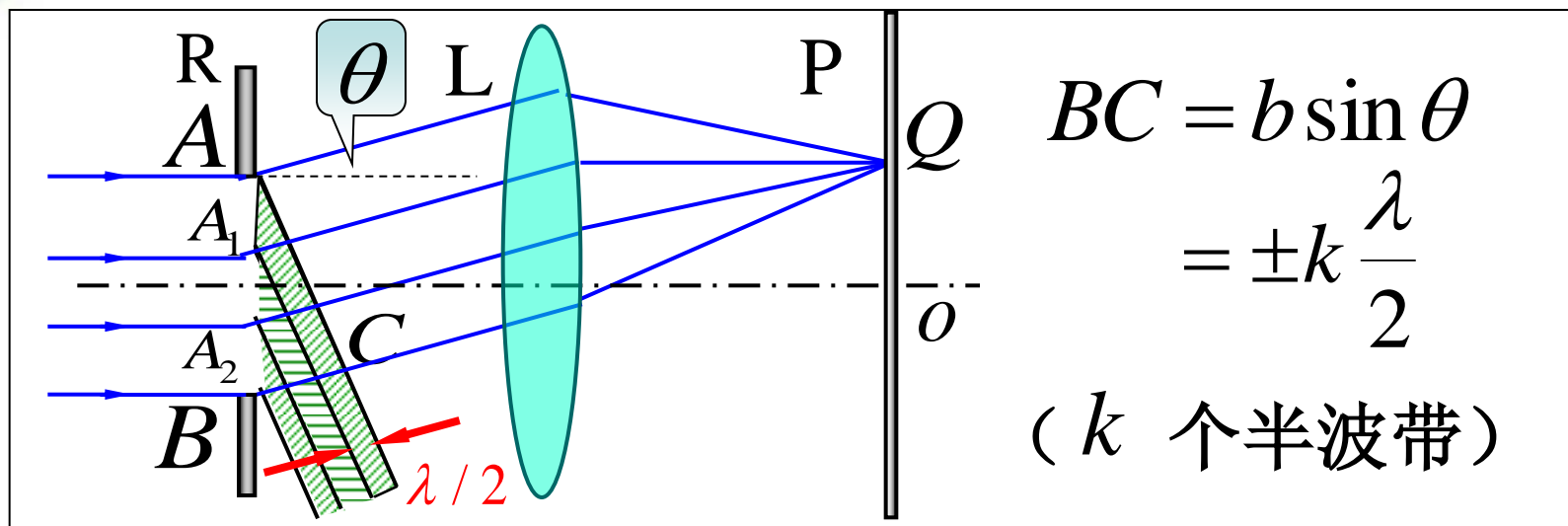
$$b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

P对应明条纹



11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射



$$BC = b \sin \theta = \pm k \frac{\lambda}{2} \quad (k \text{ 个半波带})$$

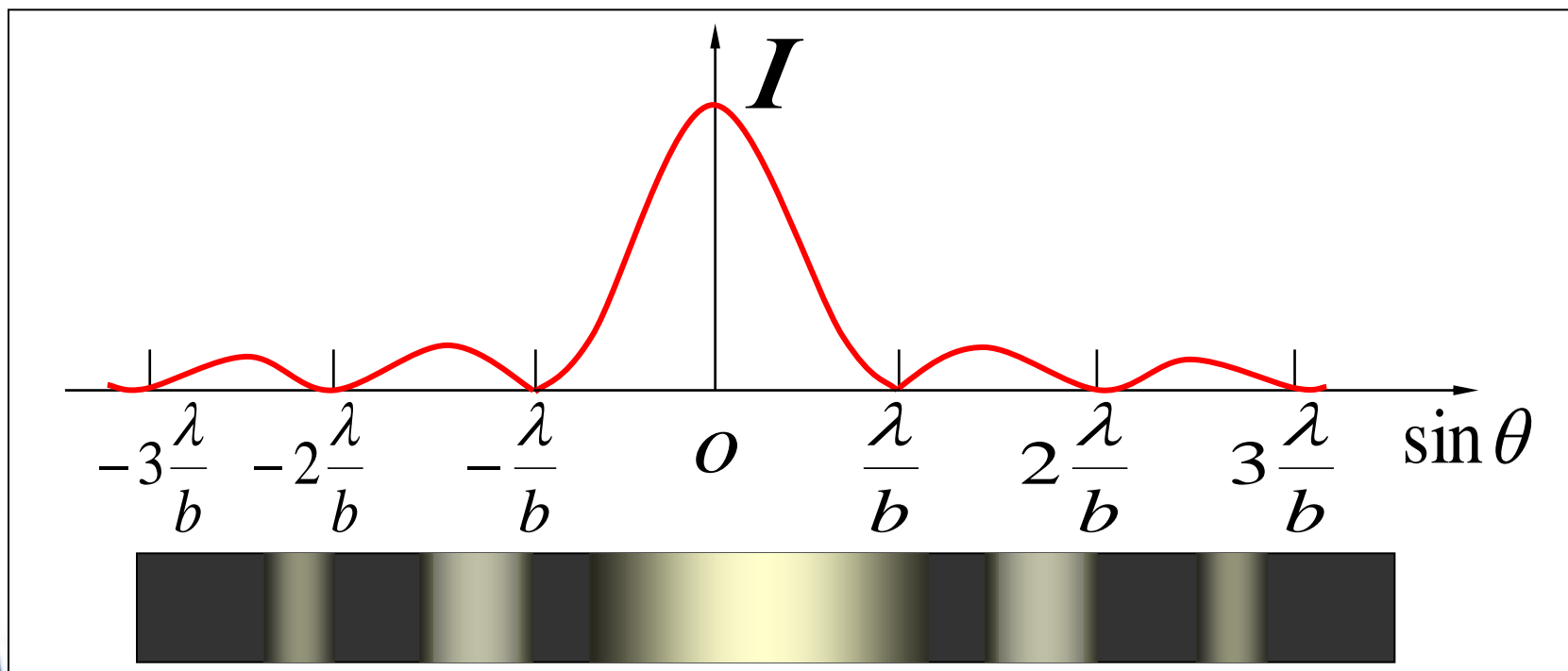
中央明纹中心

$$\begin{cases} b \sin \theta = 0 & \text{中央明纹中心} \\ b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k \lambda & \text{干涉相消 (暗纹)} \quad \boxed{2k \text{ 个半波带}} \\ b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & \text{干涉加强 (明纹)} \quad \boxed{2k + 1 \text{ 个半波带}} \\ b \sin \theta \neq k \frac{\lambda}{2} & \text{(介于明暗之间) } (k = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

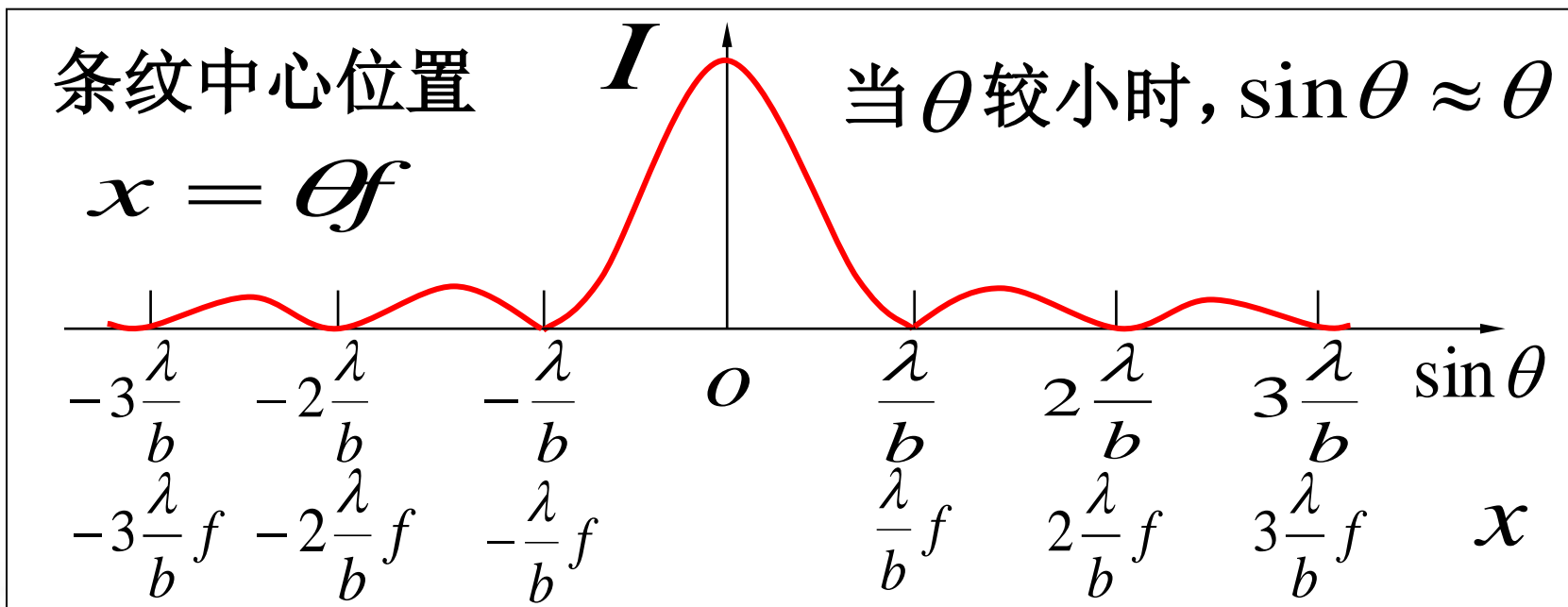
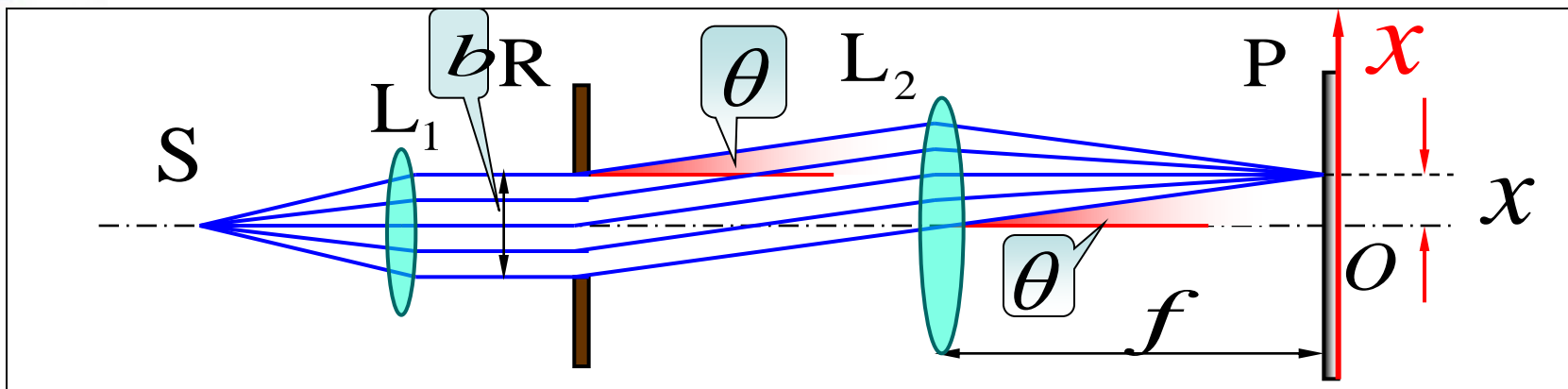


二 光强分布

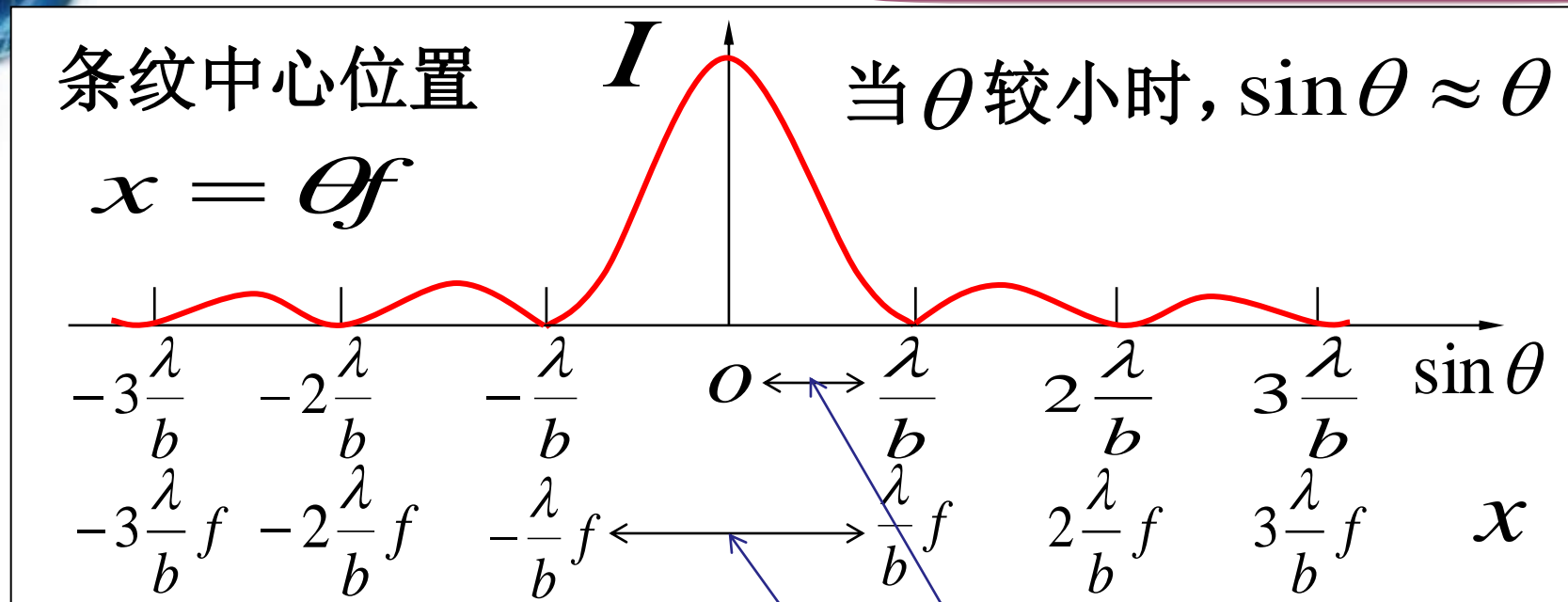
$$\begin{cases} b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k\lambda & \text{干涉相消 (暗纹)} \\ b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & \text{干涉加强 (明纹)} \end{cases}$$



11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射



11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射



(1) 第一暗纹距中心的距离

$$x_1 = \theta f = \frac{\lambda}{b} f$$

(2) 中央明纹的宽度(k=1
的两暗纹间)

$$l_0 = 2x_1 \approx 2 \frac{\lambda}{b} f$$



(3) 第一暗纹的衍射角 $\theta_1 = \arcsin \frac{\lambda}{b}$

◆ λ 一定

| | |
|-----------------------|---|
| b 增大, θ_1 减小 | $\frac{\lambda}{b} \Rightarrow 0, \theta_1 \Rightarrow 0$ |
| b 减小, θ_1 增大 | $b \Rightarrow \lambda, \theta_1 \Rightarrow \frac{\pi}{2}$ |

光直线传播

衍射最大

◆ b 一定, λ 越大, θ_1 越大, 衍射效应越明显.

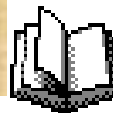


(4) 条纹宽度 (相邻条纹间距)

$$\begin{cases} b \sin \theta = \pm 2k \frac{\lambda}{2} = \pm k \lambda & \text{干涉相消 (暗纹)} \\ b \sin \theta = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & \text{干涉加强 (明纹)} \end{cases}$$

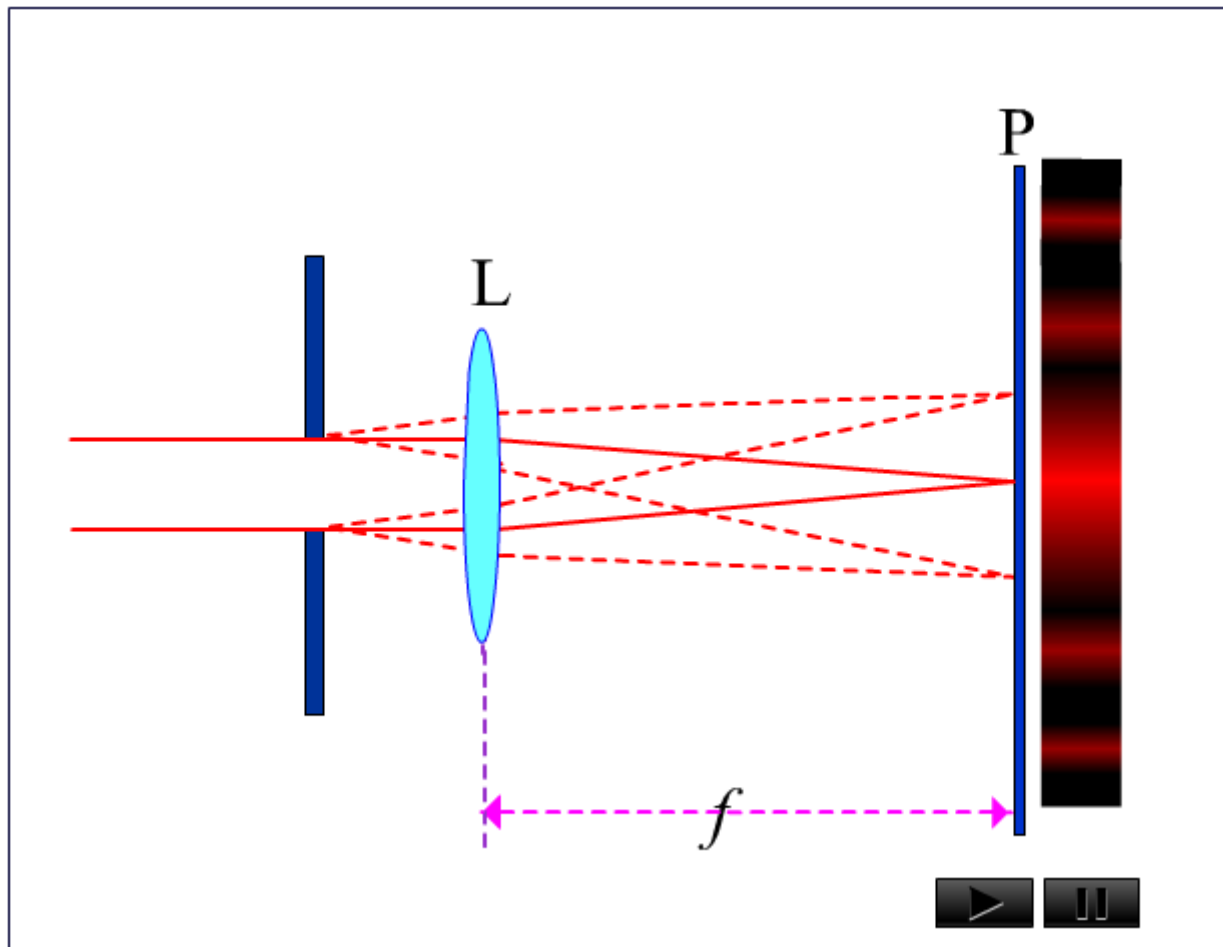
明纹的宽度 $l = \theta_{k+1} f - \theta_k f = \frac{\lambda f}{b}$

明纹的宽度实际是相邻暗纹中心的距离，而不是明纹中心的距离。暗纹中心关于中央明纹中心对称，而明纹中心关于中央明纹中心是不对称的



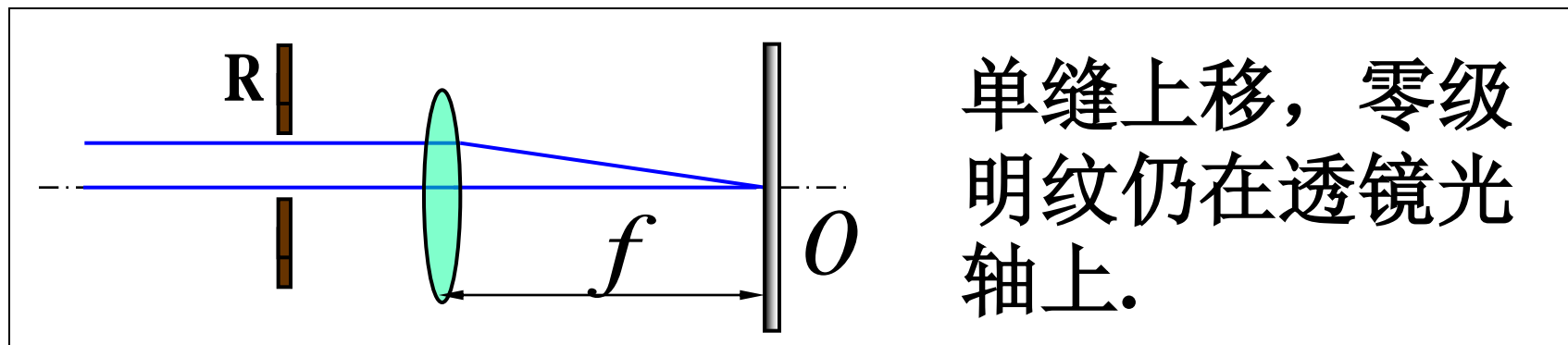
11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射

◆ 单缝宽度变化，中央明纹宽度如何变化？



(5) 单缝衍射的动态变化

◆ 单缝上下移动，根据透镜成像原理衍射图不变。

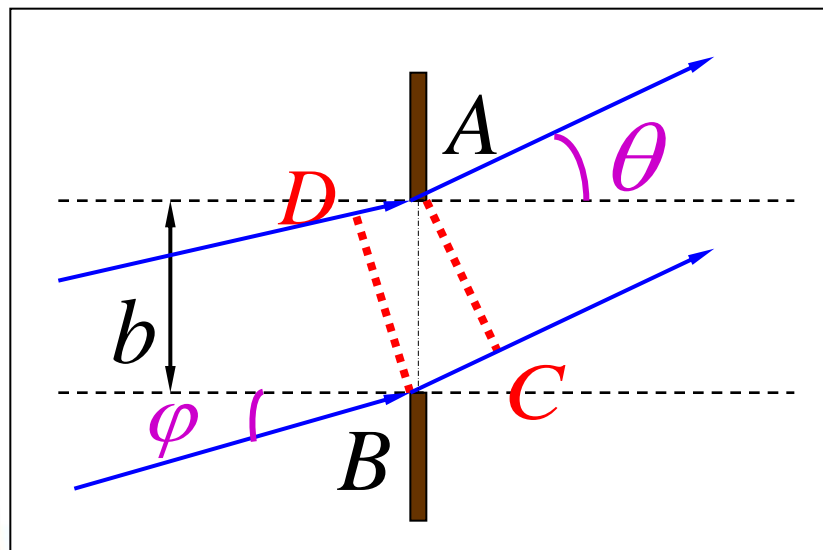
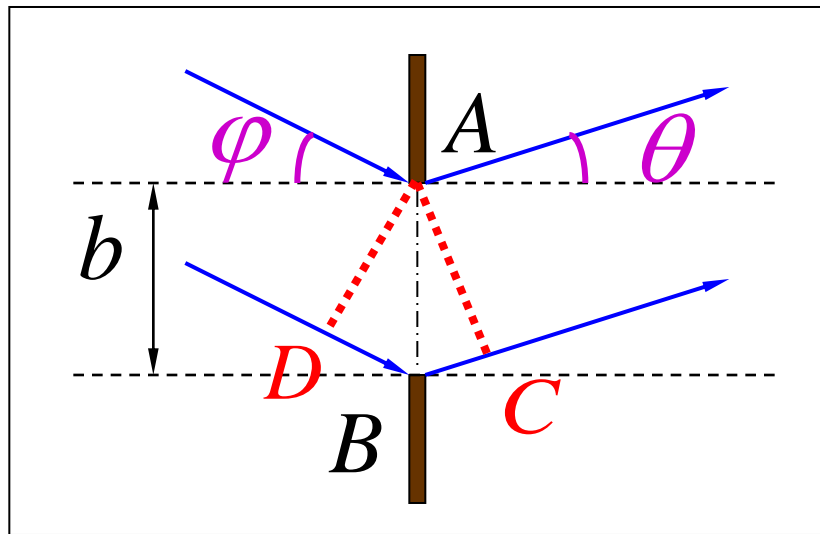


(6) 入射光非垂直入射时光程差的计算

$$\Delta = DB + BC$$

$$= b(\sin \theta + \sin \varphi)$$

(中央明纹**向下**移动)



$$\Delta = BC - DA$$

$$= b(\sin \theta - \sin \varphi)$$

(中央明纹**向上**移动)



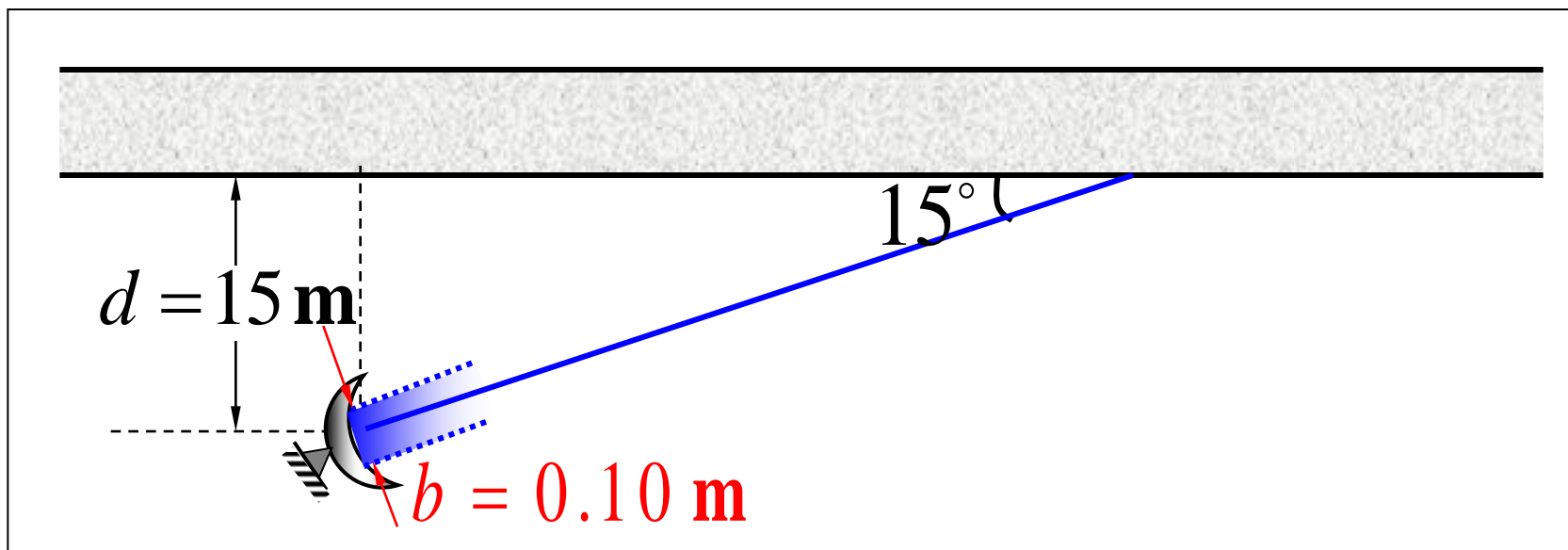
例1 一单缝，宽为 $b=0.1\text{ mm}$ ，缝后放有一焦距为 50 cm 的会聚透镜，用波长 $\lambda=546.1\text{ nm}$ 的平行光垂直照射单缝，试求位于透镜焦平面处的屏幕上中央明纹的宽度和中央明纹两侧任意两相邻暗纹中心之间的距离．如将单缝位置作上下小距离移动，屏上衍射条纹有何变化？

解 中央明纹宽度 $\Delta x_0 = \frac{2\lambda f}{b} = 5.46\text{ mm}$
其它明纹宽度 $\Delta x = \frac{\lambda f}{b} = 2.73\text{ mm}$

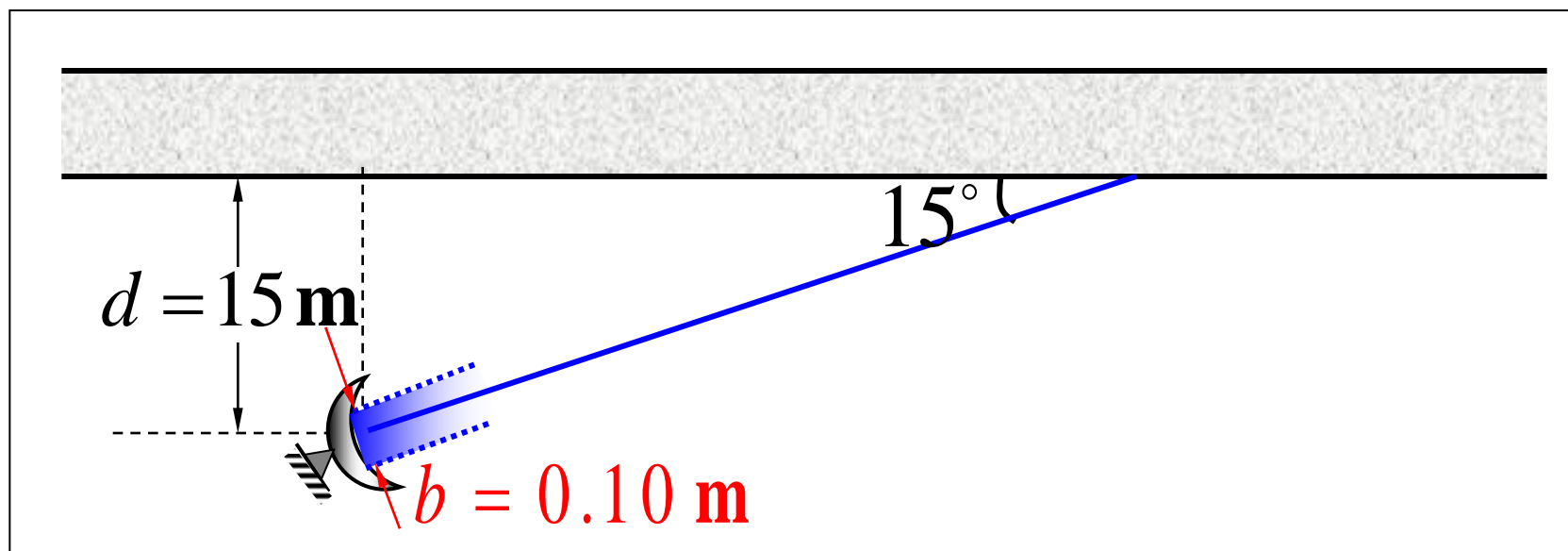


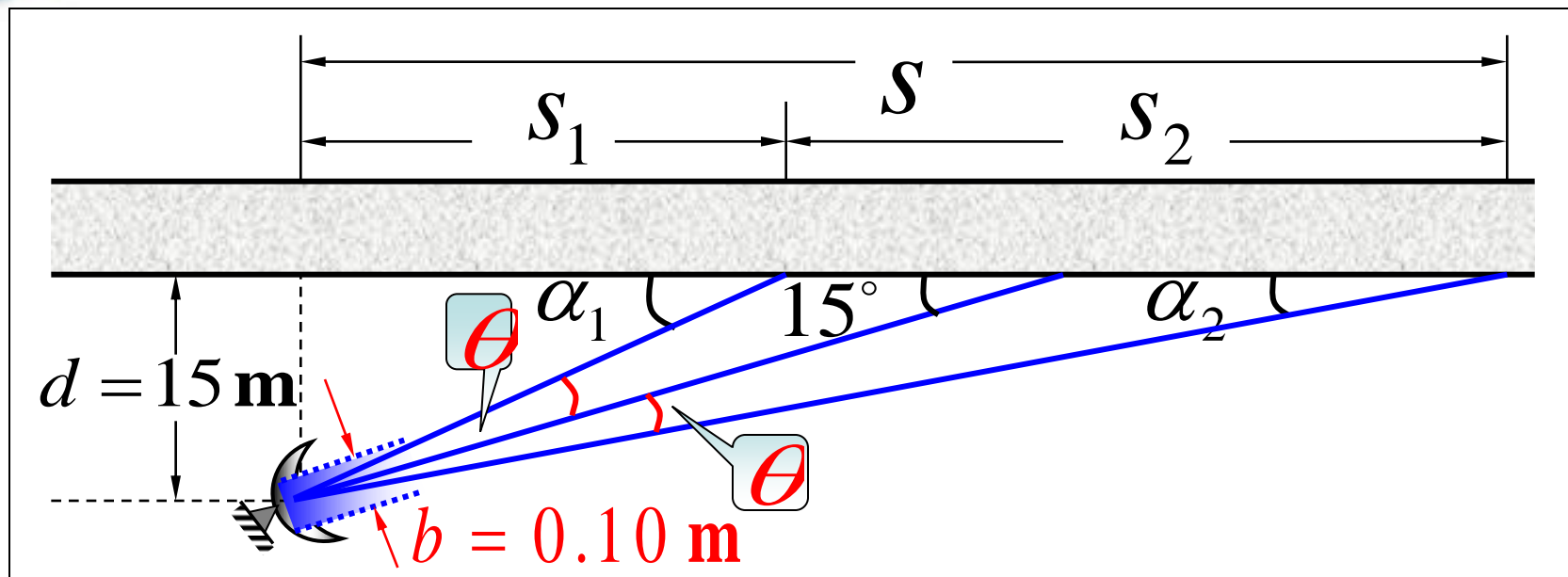
11-5 光的衍射 11-6 夫琅禾费单缝衍射

例2 如图，一雷达位于路边 15 m 处，它的射束与公路成 15° 角。假如发射天线的输出口宽度 $b = 0.10\text{ m}$ ，发射的微波波长是 18 mm ，则在它监视范围内的公路长度大约是多少？



解 将雷达天线输出口看成是发出衍射波的单缝，衍射波能量主要集中在中央明纹范围内。





根据暗纹条件 $b \sin \theta = \lambda$, $\theta = \arcsin \frac{\lambda}{b} = 10.37^\circ$

$$s_2 = s - s_1 = d(\cot \alpha_2 - \cot \alpha_1)$$

$$= d[\cot(15^\circ - \theta) - \cot(15^\circ + \theta)] = 153 \text{ m}$$

