哈爾濱工程大學
HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY

大 学 物 理

第3篇

光 学

2023-6-22

教学要求

1. 掌握光的相干性及相干光获得的方法，熟练掌握光程、光程差的概念。掌握双缝、等厚、等倾干涉。

2. 掌握利用半波带法说明平行光通过单缝时的衍射现象；熟练掌握光栅衍射现象；掌握光学仪器的分辨率。

3. 掌握偏振光的产生和检验方法，掌握偏振光遵循的基本规律。

1 基本概念

光程(nx)： n: 介质折射率； x: 该介质中光波传播的几何路程

光程差：光程的差值

2 基本定理和定律

惠更斯-菲涅耳原理：从同一波阵面上各点所发出的子波，经传播在空间某点相遇时，也可以相互叠加而产生干涉现象。

马吕斯定律： $I_2 = I_1 \cos^2\theta$

布儒斯特定律： $\tan i_0 = \dfrac{n_2}{n_1}$

3 基本运算

1、光的干涉：

干涉条件：频率相同、振动方向相同、位相差恒定。

分析要点：

（1）分析清楚哪两束光发生干涉；

（2）正确计算干涉点处的光程差；

（3）计算并讨论干涉条纹的空间分布或分布的变化。

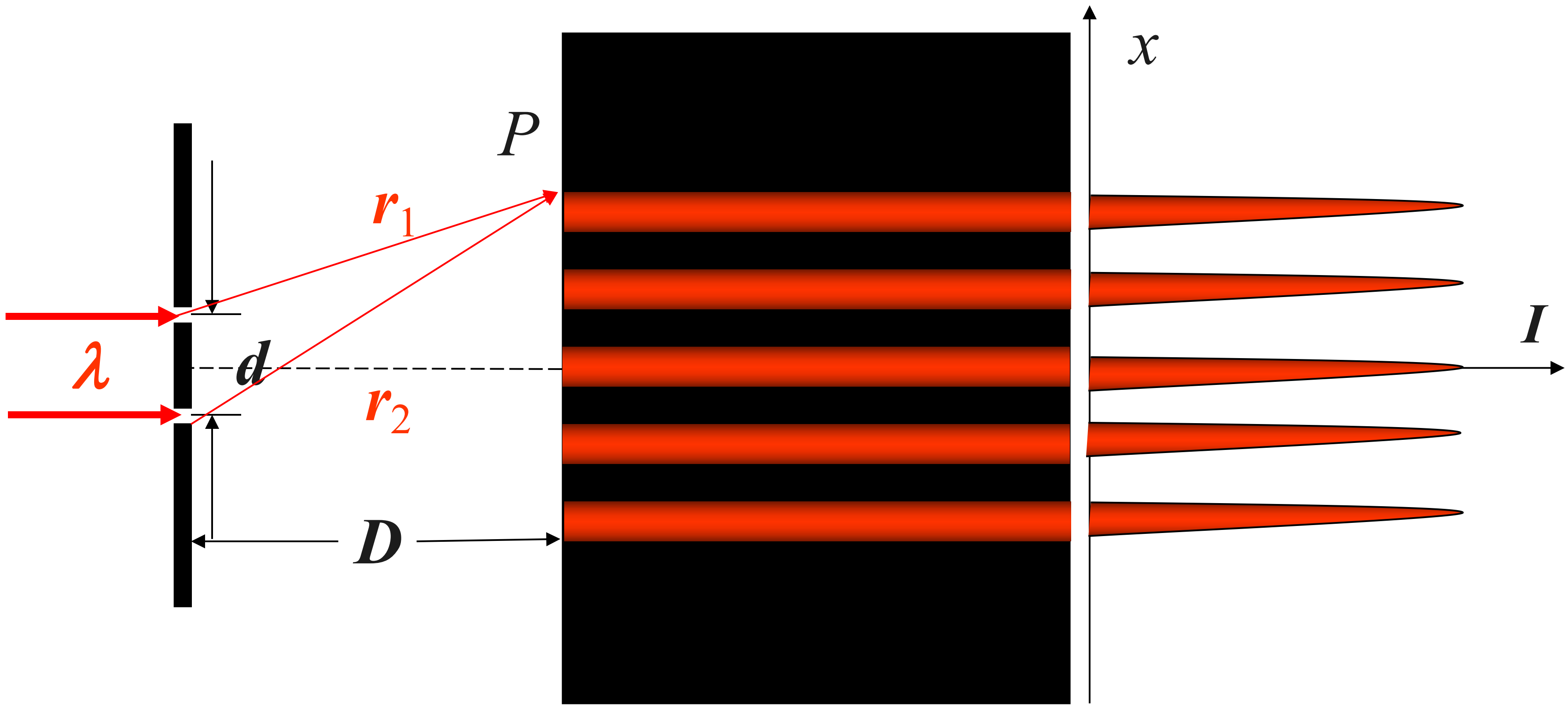
光程差与明暗纹条件:

$$\delta + \boxed{\left[\frac{\lambda}{2}\right]} = \begin{cases} k\lambda & \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \end{cases}$$

注意: 1. 当光从光疏介质射入光密介质时，反射光有半波损失。

2. 同一光程差对应同一条纹，当光程差改变时，条纹将移动，但是，不论移动到何处，其条纹对应的光程差不变。

1）双缝干涉（分波振面法）



$$\delta = n(r_2 - r_1) = n\frac{xd}{D}$$

$$\delta = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明纹} \\ \pm(2k-1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \end{cases}$$

讨论:

明纹位置: $x = \pm k \dfrac{D}{nd}\lambda \quad k = 0,1,2 \cdots \cdots$

暗纹位置: $x = \pm(2k-1)\dfrac{D}{nd}\cdot\dfrac{\lambda}{2} \quad k = 1,2\cdots$

相邻明、暗条纹间距: $\Delta x = \dfrac{D}{nd}\lambda$

习题课

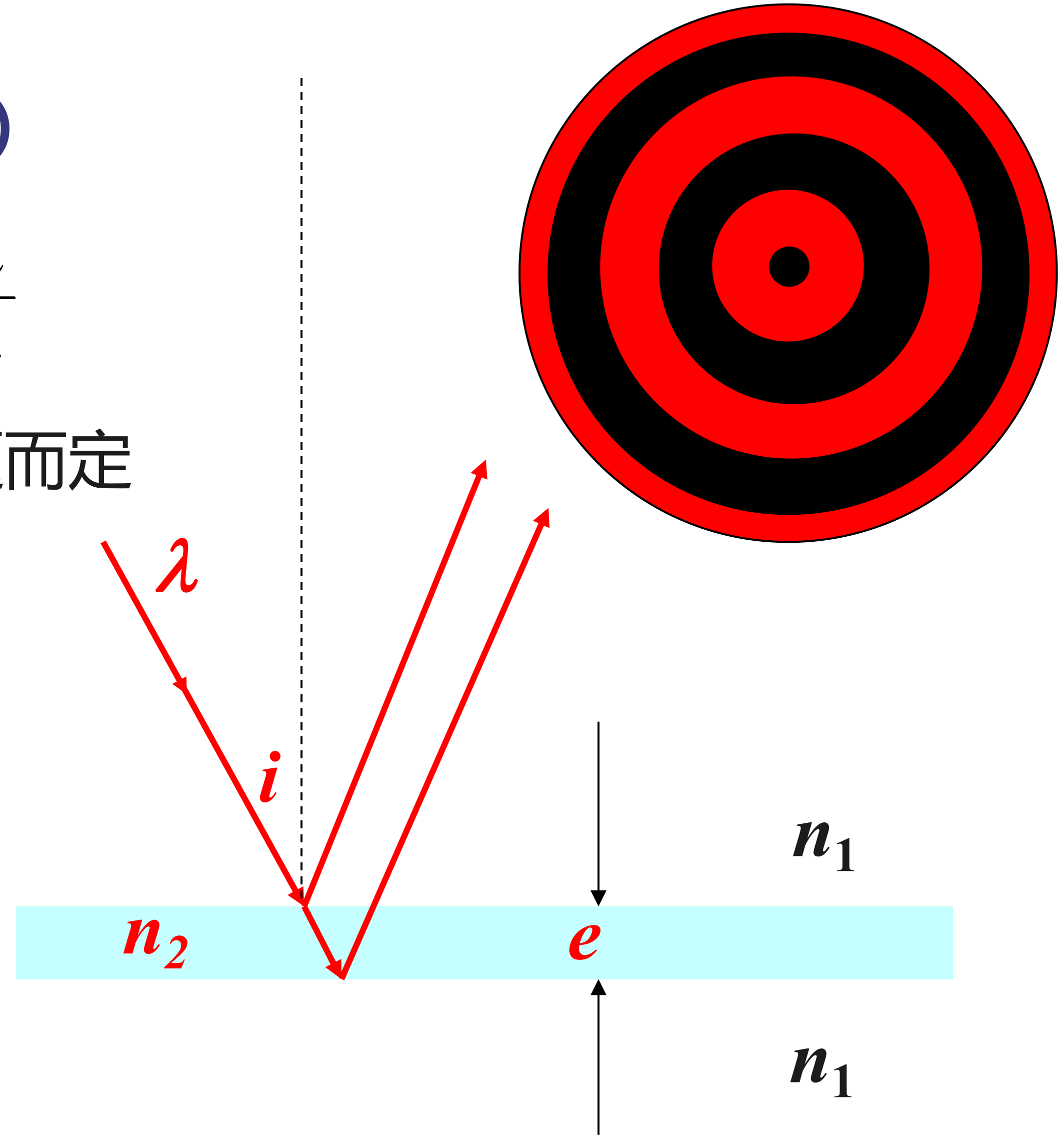
2）薄膜干涉（分振幅法）

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2}$$

附加光程差要视具体问题而定

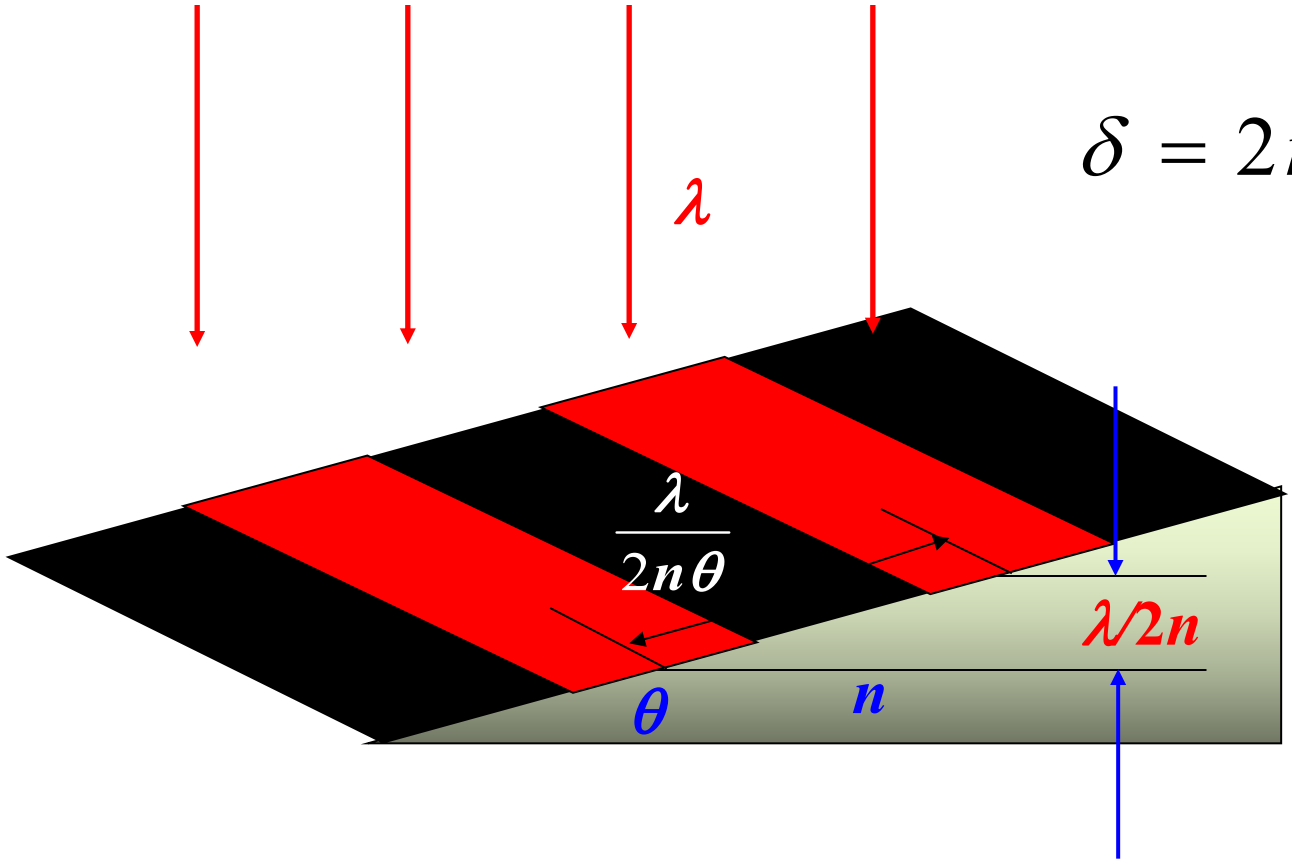
- 等倾干涉（e 为常数）

$$\delta = \begin{cases} k\lambda & k = 1,2\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1\cdots \end{cases}$$



- 等厚干涉（i 为常数)

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$



习题课

（a）劈尖干涉（垂直入射）：

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3\cdots \quad 明纹 \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2\cdots \quad 暗纹 \end{cases}$$

相邻两明纹（或暗纹）对应的劈尖厚度差：$\Delta e = \dfrac{\lambda}{2n}$

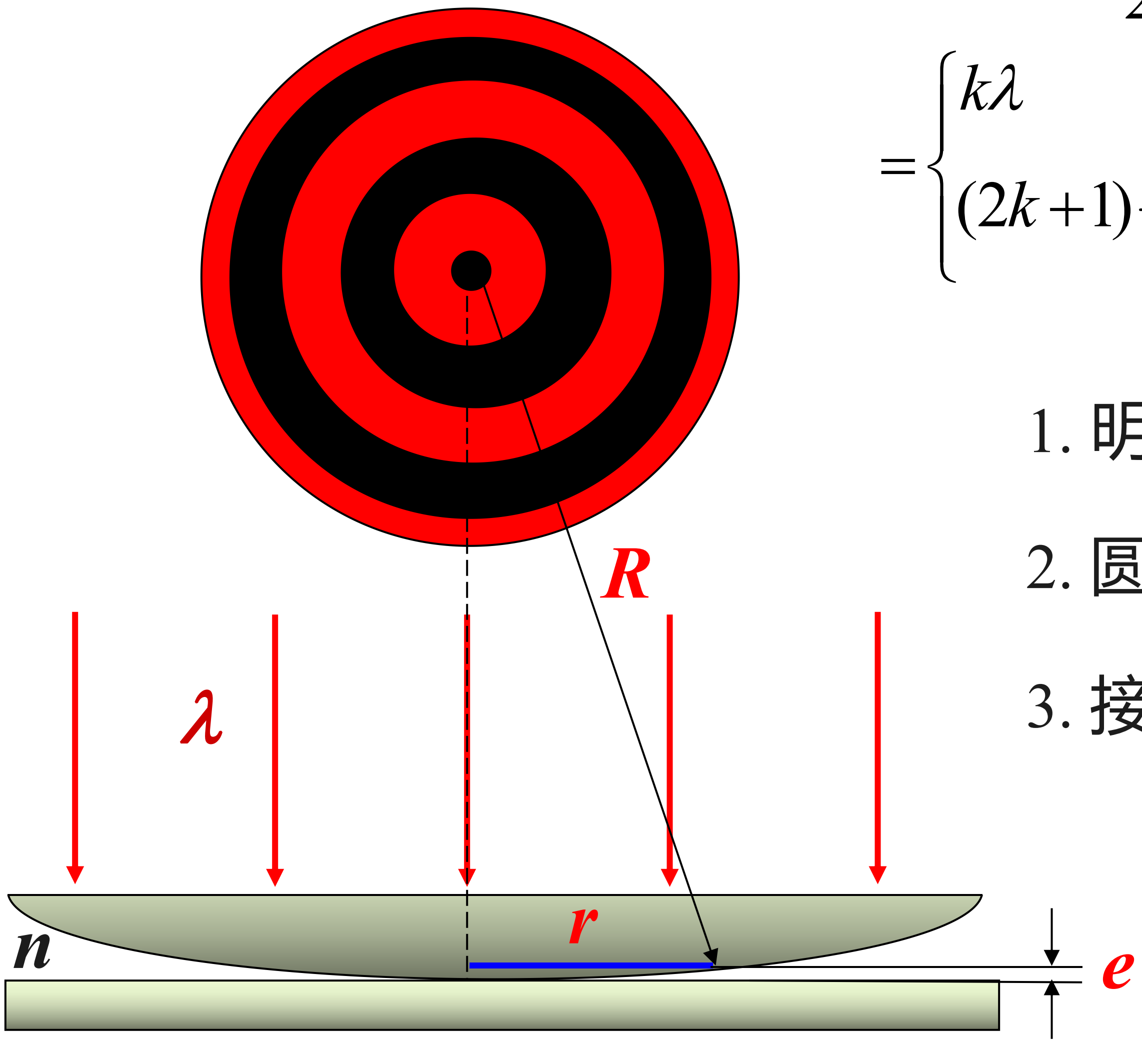
相邻两明纹或暗纹的间距：$l = \dfrac{\lambda}{2n\theta}$

当光程差改变时，条纹将移动。条纹每移动一条，光程改变一个波长，厚度改变 $\dfrac{\lambda}{2n}$

(b) 牛顿环（垂直入射）：

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

$$= \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3\cdots \quad \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2\cdots \quad \text{暗纹} \end{cases}$$



1. 明、暗相间的圆环；
2. 圆环间距里疏外密；
3. 接触点为暗斑。

习题课

讨论： (利用几何关系 $r^2=2Re$)

1. 明纹： $r=\sqrt{\dfrac{(2k-1)\lambda R}{2n}}$ $k=1.2.3\cdots\cdots$

暗纹： $r=\sqrt{\dfrac{k\lambda R}{n}}$ $k=0,1,2,\cdots\cdots$

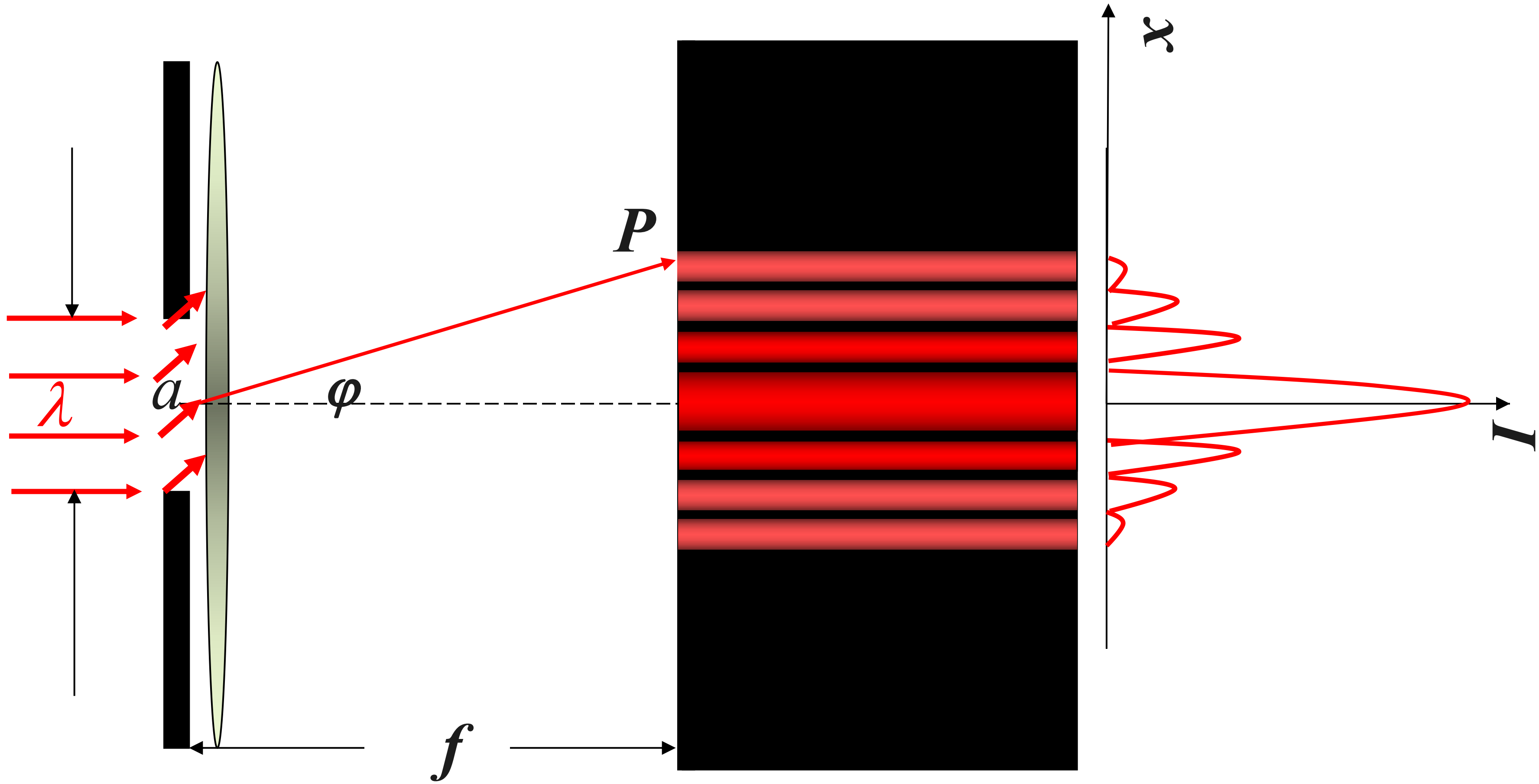
2. 相邻两暗纹的间距： $\Delta r=\sqrt{\dfrac{\lambda R}{n}}\dfrac{1}{2\sqrt{k}}$

3. 测未知光源的波长： $\lambda=\dfrac{n(r_{k+m}^2-r_k^2)}{mR}$

习题课

2、光的衍射：

1）单缝夫琅和费衍射



习题课

$$\begin{cases} a\sin\varphi = \pm 2k\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹} \\ a\sin\varphi = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{明纹} \end{cases} \qquad k=1, 2\ldots\ldots$$

讨论：由几何关系 $\sin\varphi \approx \tan\varphi \approx \dfrac{x}{f}$

1. 明纹位置： $x = \pm(2k+1)\dfrac{\lambda f}{2a}$　　$k=1, 2\ldots\ldots$

暗纹位置： $x = \pm 2k\dfrac{\lambda f}{2a}$　　$k=1, 2\ldots\ldots$

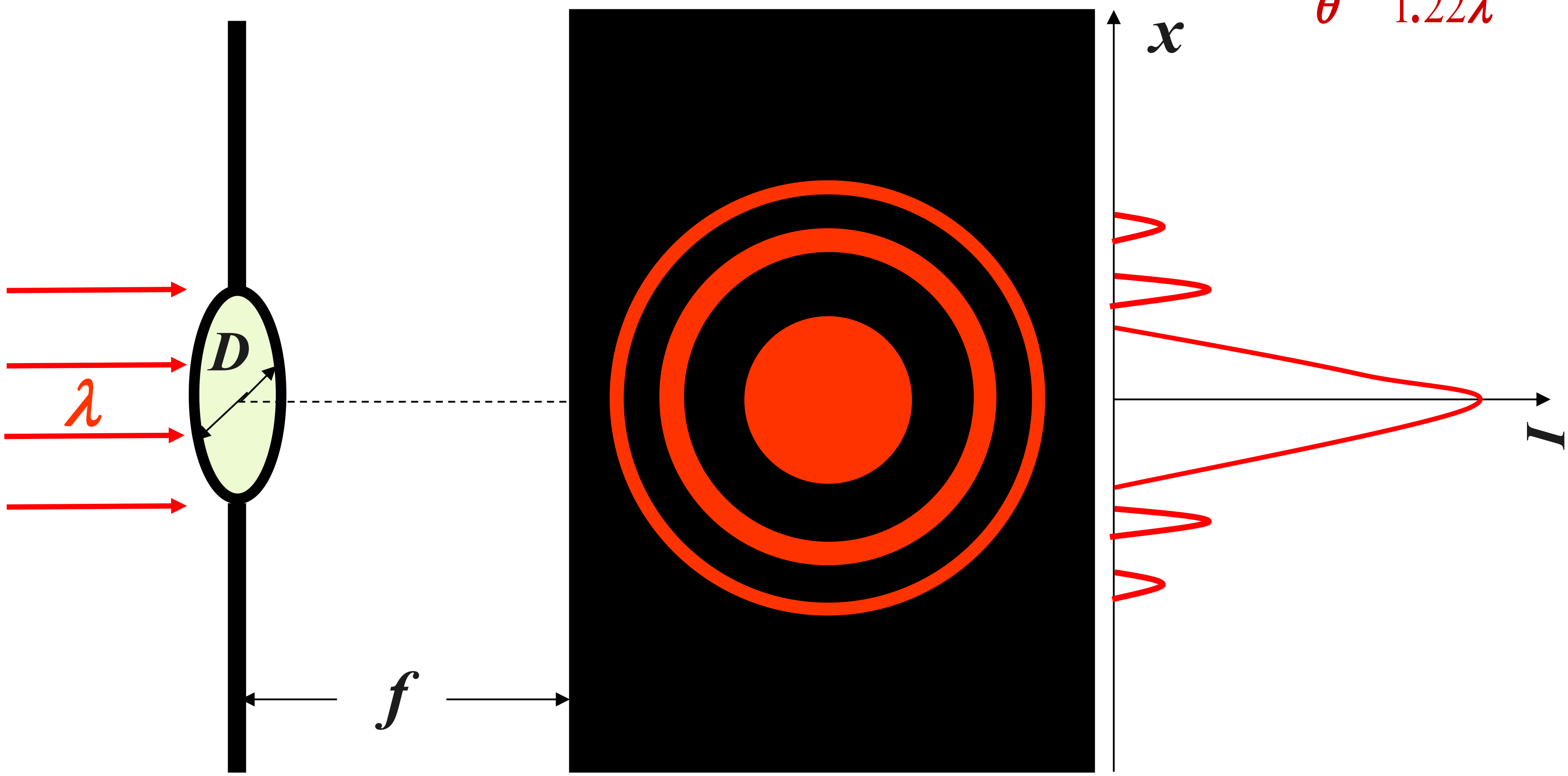
2. 中央明纹的半角宽度： $\varphi = \arcsin\dfrac{\lambda}{a}$

3. 中央明纹宽度是其它明纹宽度的2倍： $\Delta x_0 = 2\dfrac{\lambda f}{a}$

习题课

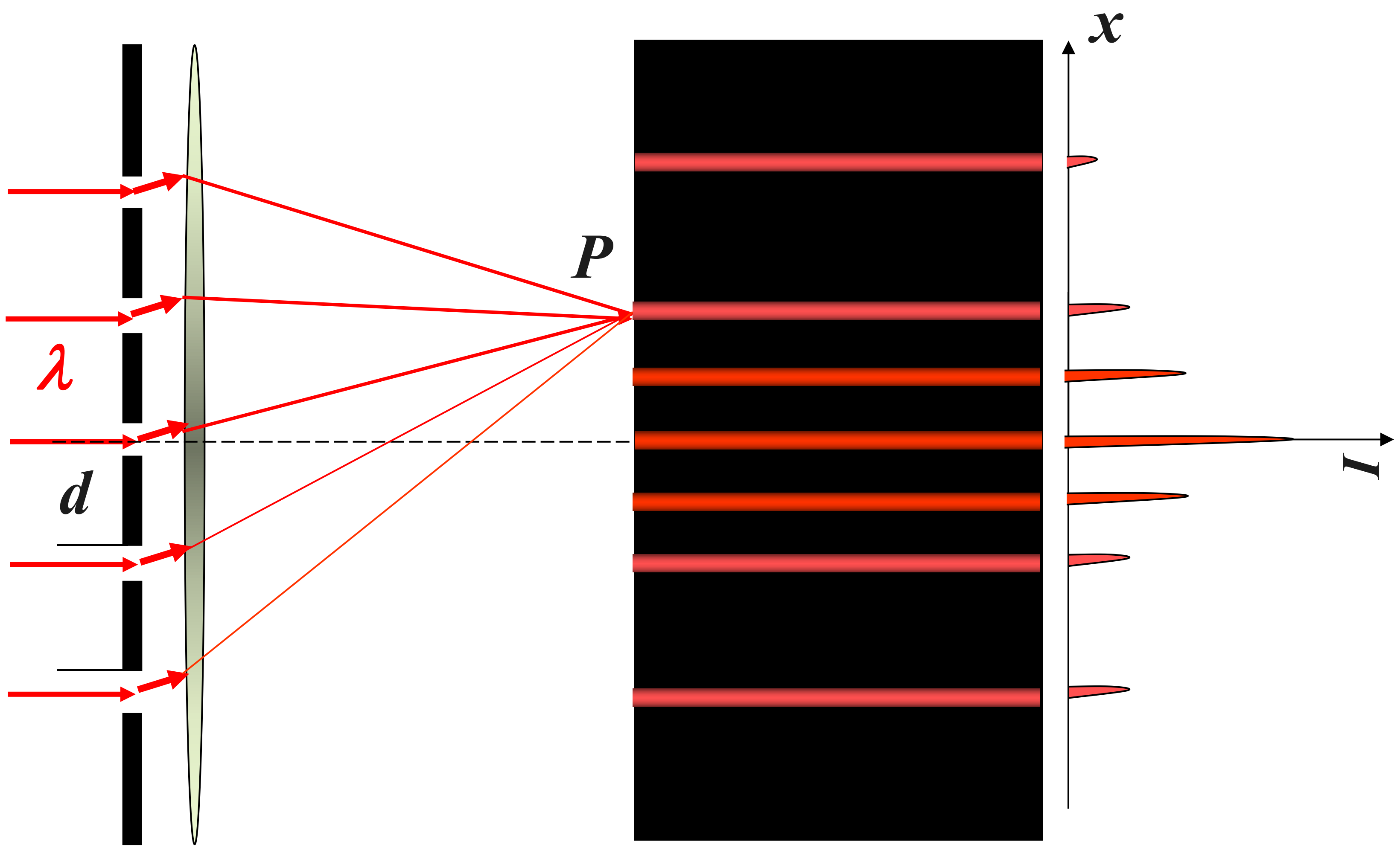
2）圆孔夫琅和费衍射

$$R = \frac{1}{\theta} = \frac{D}{1.22\lambda}$$



艾里斑的半角宽度（两物点的最小分辨角）： $\theta = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$

3）平面光栅衍射 （垂直入射光栅公式）



习题课

讨论:

1. 多光束干涉的主极大满足的条件（光栅公式）

$$(a+b)\sin\varphi = \pm k\lambda \qquad k = 0,1\cdots$$

2. 考虑单缝衍射的调制

缺极条件：

$$\begin{cases}(a+b)\sin\varphi = \pm k\lambda & k = 0,1\cdots \\ a\sin\varphi = \pm k'\lambda & k' = 1,2\cdots\end{cases} \Rightarrow k = \pm\frac{a+b}{a}k' \qquad k' = 1,2\cdots$$

主极大光强保留单缝衍射的痕迹。

4 基本题型

1、能解决光的干涉问题

2、能解决光的衍射问题

3、能解决光的偏振问题

解决问题的方法类似大学物理试验

1、实验装置

2、实验现象

3、实验原理

4、结果讨论

画图

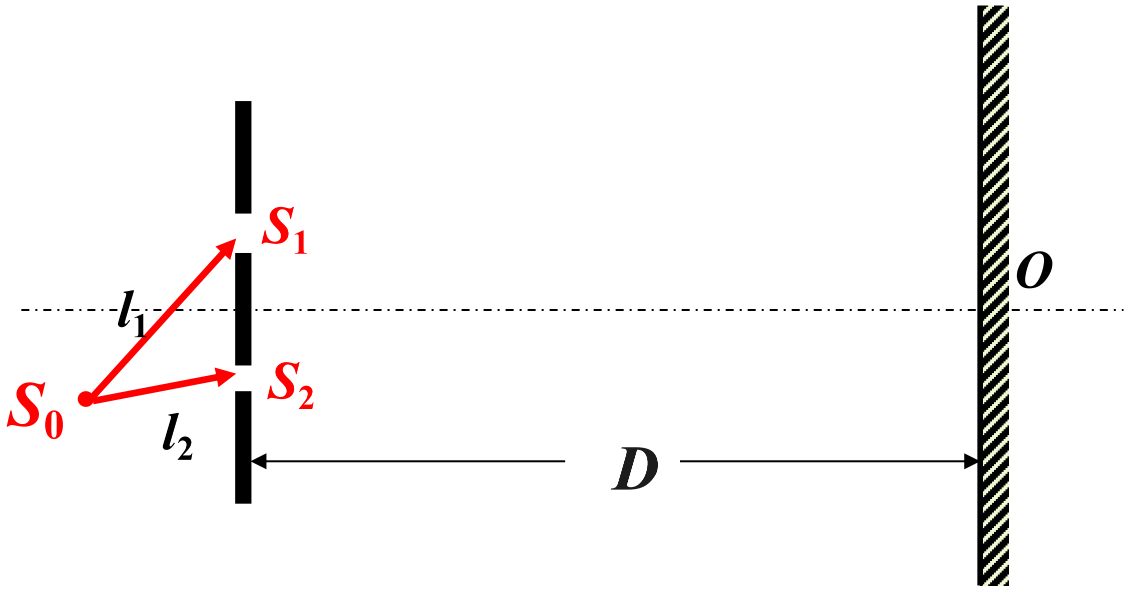
- 装置
- 干涉、衍射的条纹的形状
- 干涉、衍射条纹的光强分布
- 在图中标出相应的物理量

哈尔滨工程大学物理与光电工程学院

5 典型例题　1. 光的干涉问题

双缝干涉实验中，单色光源 S_0 到双缝 S_1 和 S_2 的距离分别为 l_1 和 l_2，并且 l_1-l_2=3λ，λ 为入射光的波长，双缝之间的距离为 d, 双缝到屏幕的距离为 D，如图。求：

(1) 零级明纹到屏幕中央 O 的距离；（2）相邻明纹的间距。

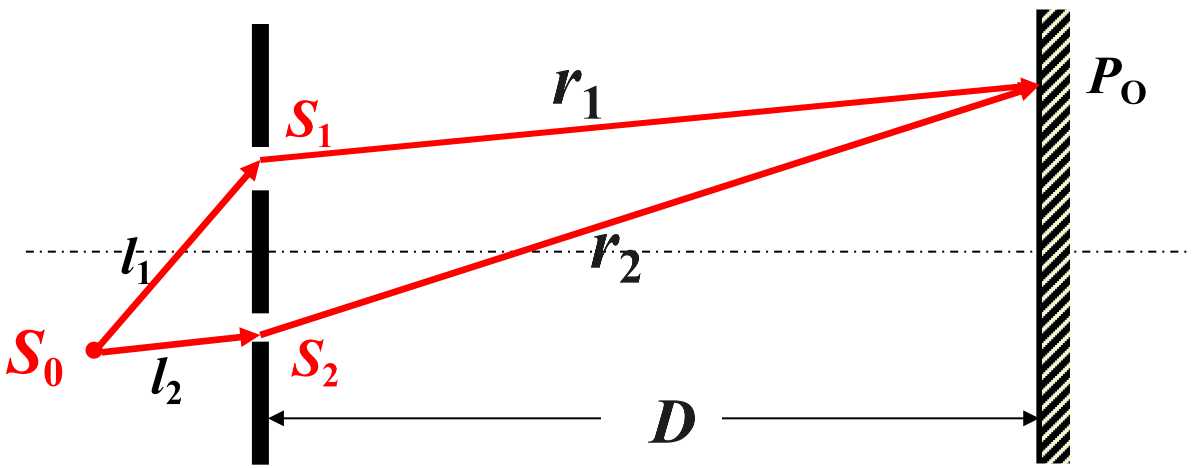


习题

解：(1)如图，设P_0为零级明纹中心　则 $r_2 - r_1 = dx/D$ (由几何关系)

因 $(l_2 + r_2) - (l_1 + r_1) = 0$

所以 $r_2 - r_1 = l_1 - l_2 = 3\lambda$　　　$x_0 = D(r_2 - r_1)/d = 3D\lambda/d$



习题

(2) 在屏上距 ***O*** 点为 ***x*** 处的光程差

$$\delta=(r+l_2)-(r_1+l_1)=dx/D-3\lambda$$

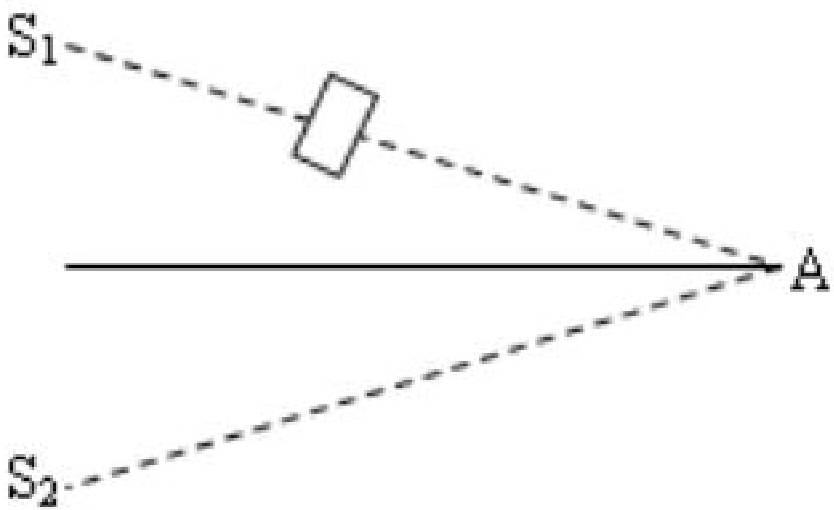
明纹条件 $\delta=\pm k\lambda$ $k=1.2\cdots\cdots$

$$x_k=(\pm k\lambda+3\lambda)D/d$$

可见 ***k*=0**为（1）的结果

相邻明纹的间距：$\Delta x=x_{k+1}-x_k=D\lambda/d$

如图，假设有两个同相的相干点光源S_1和S_2发出波长为λ的光，A是它们连线的中垂线上的一点。若在S_1与A之间插入厚度为e，折射率为n的薄玻璃片，则两光源发出的光在A点的位相差为多少？若已知λ=500nm，n=1.5，A点恰为第四级明纹中心，则e= [填空1] λ？



作答

设置

在双缝干涉实验中，入射光的波长为λ，用玻璃纸遮住双缝中的一个缝，若玻璃纸中光程比相同厚度的空气的光程大2.5λ，则屏上原来的零级明纹处

A 仍为明条纹

B 变为暗条纹

C 既非明纹也非暗纹

D 既非明纹也非暗纹

提交

把双缝干涉实验装置放在折射率为n的水中，两缝间距离为d，双缝到屏的距离为D（$D>>d$），所用单色光在真空中的波长为λ，则屏上干涉条纹中相邻的明纹之间的距离是

A $\lambda D/(nd)$

B $n\lambda D/d$

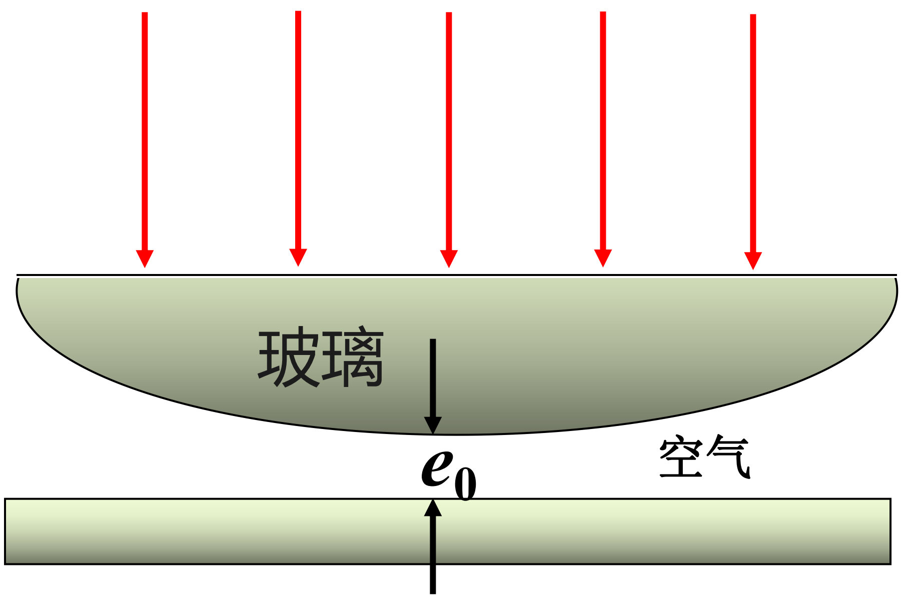
C $\lambda d/(nD)$

D $\lambda D/(2nd)$

提交

习题

如图牛顿环装置的平凸透镜与平板玻璃间有一缝隙 e_0，现用波长为 λ 的单色光垂直照射，已知平凸透镜的曲率半径为 R，求反射光形成的牛顿环的各暗环半径。



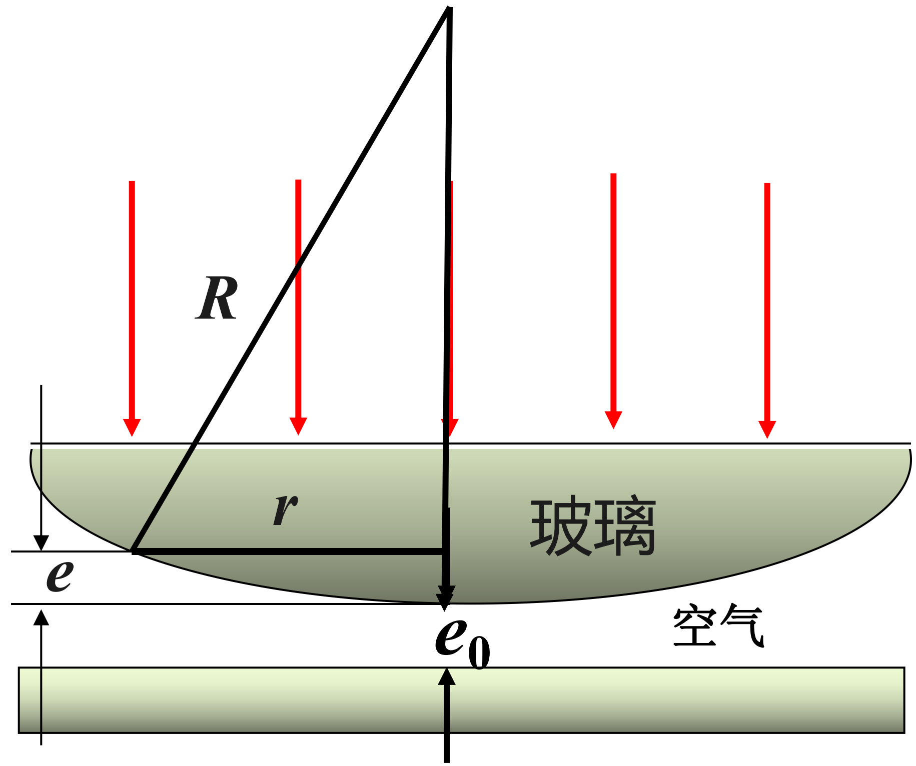
习题

解：由几何关系：$r^2=2Re$

干涉减弱的条件：$2e+2e_0+\lambda/2=(2k+1)\lambda/2$

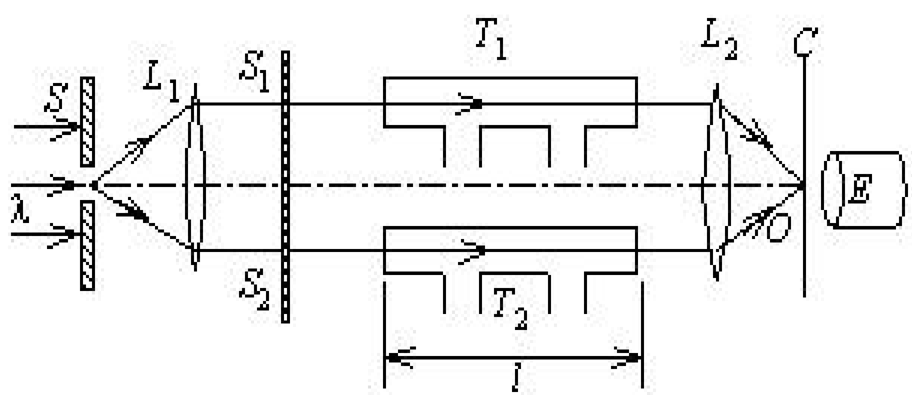
$$r=\sqrt{R(k\lambda-2e_0)}$$

k 为整数，且 $k>2e_0/\lambda$



习题

在如图所示的瑞利干涉仪中，T_1、T_2是两个长度都是l的气室，波长为λ的单色光的缝光源S放在透镜L_1的前焦面上，在双缝S_1和S_2处形成两个同相位的相干光源，用目镜E观察透镜L_2焦平面C上的干涉条纹．当两气室均为真空时，观察到一组干涉条纹．在向气室T_2中充入一定量的某种气体的过程中，观察到干涉条纹移动了M条．试求出该气体的折射率n (用已知量M，λ和l表示出来)．



习题

解：当T_1和T_2都是真空时，从S_1和S_2来的两束相干光在O点的光程差为零.

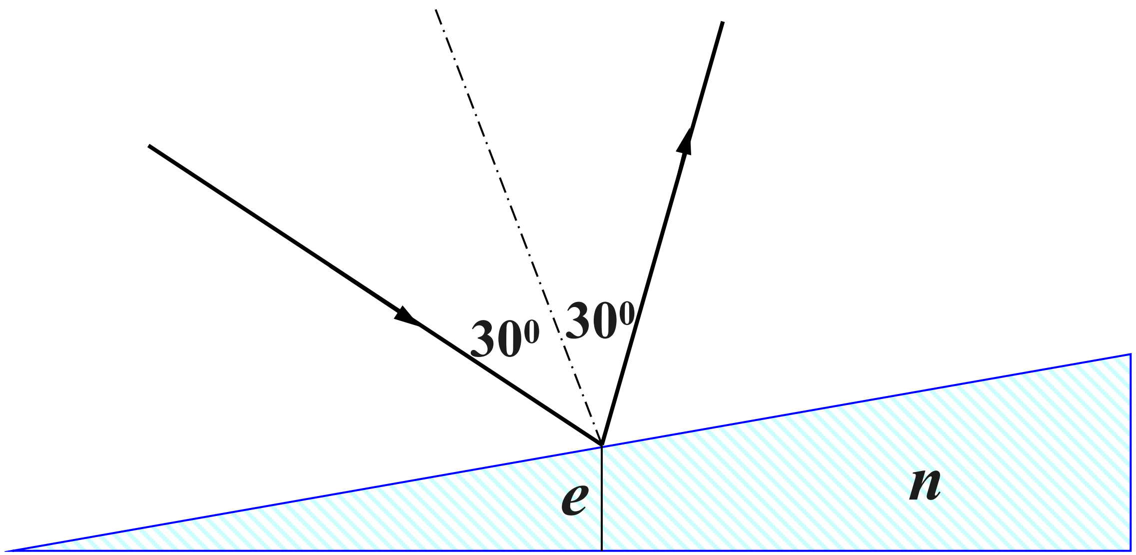
当T_2中充入一定量的某种气体后，从S_1和S_2来的两束相干光在O点的光程差为$(n-1)l$.

在T_2充入气体的过程中，观察到M条干涉条纹移过O点，即两光束在O点的光程差改变了Ml．故有

$$(n-1)l-0=M\lambda \qquad n=1+M\lambda/l.$$

习题

一玻璃劈尖的末端的厚度为0.05mm，折射率为1.50，今用波长为700nm的平行单色光以30°的入射角射到劈尖的上表面，试求:（1）在玻璃劈尖的上表面形成的干涉条纹数目。（2）若以尺寸完全相同的由两玻璃形成的空气劈尖代替上述的玻璃劈尖，则所产生的条纹数目又为多少？



习题

解：（1） $2e\sqrt{n^2-\sin^2 i}+\dfrac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad (k=1,2\cdots\cdots)$

$$\Delta e=e_{k+1}-e_k=\frac{\lambda}{2\sqrt{n^2-\sin i^2}}=\frac{\lambda}{2\sqrt{2}}$$

设玻璃的最大厚度为h：$N=\dfrac{h}{\Delta e}=202$

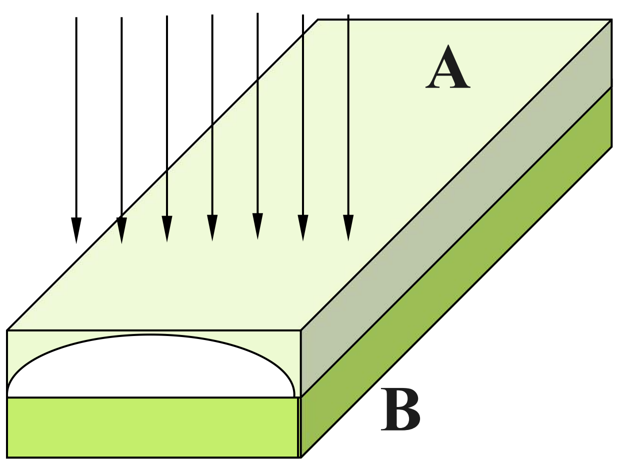
（2）若为空气劈尖

$$2e'\sqrt{1-n^2\sin^2 i}+\frac{\lambda}{2}=k\lambda \qquad (k=1,2\cdots\cdots)$$

$$\Delta e'=e'_{k+1}-e'_k=\frac{\lambda}{2\sqrt{1-n^2\sin i^2}}=\frac{2\lambda}{\sqrt{7}} \qquad N'=\frac{h}{\Delta e'}=94$$

习题

　　一柱面平凹透镜 A，曲率半径为 R，放在平玻璃板 B 上，如图所示，现用波长为 λ 的单色平行光自上方垂直往下照射，观察和空气薄膜的反射光的干涉条纹，假设空气薄膜的最大厚度 $d=2\lambda$。（1）给出空气膜任意厚度e处反射光光程差的表达式及明暗纹条件，共能看到多少明条纹，多少条暗纹；（2）求明条纹到中心线的距离；（3）若将玻璃板B向下移动了$\lambda/4$，还能看到几条明条纹，几条暗纹?



习题

(1) $\delta = 2e + \dfrac{\lambda}{2}$

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

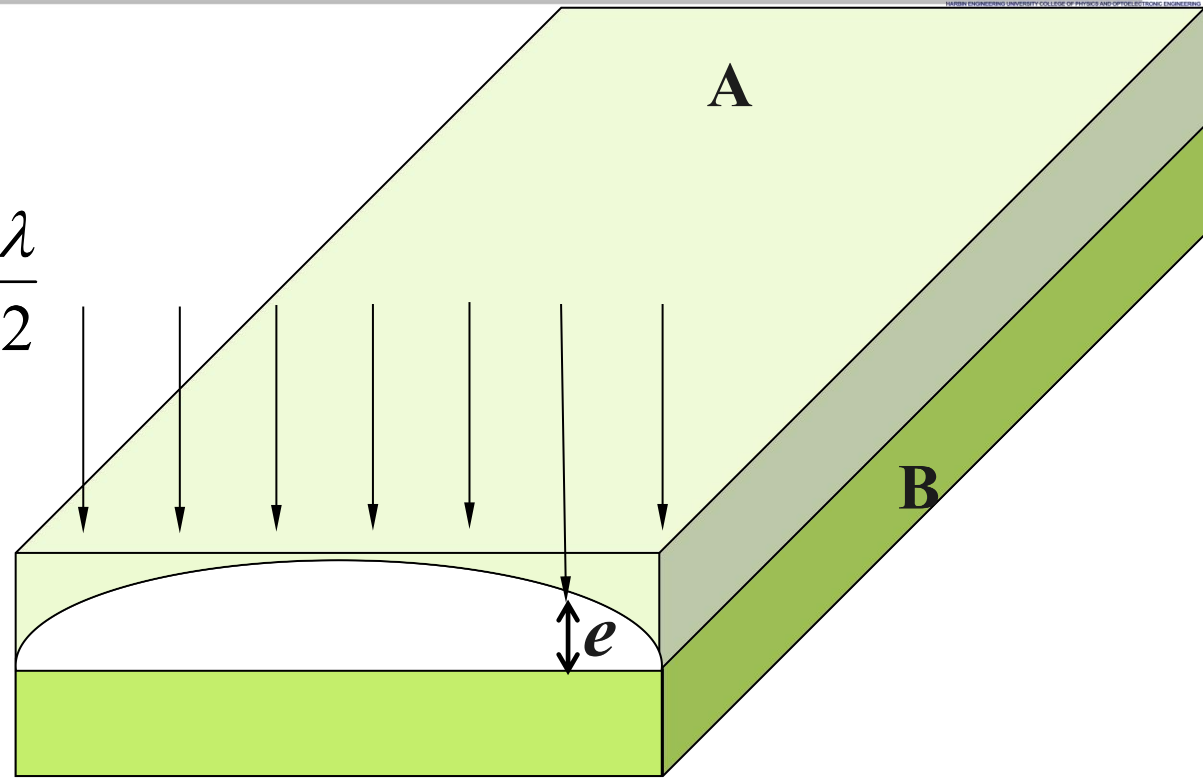
暗纹，k=?

$$k \in [0,4]$$

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

明纹 k=?

$$k \in [1,4]$$



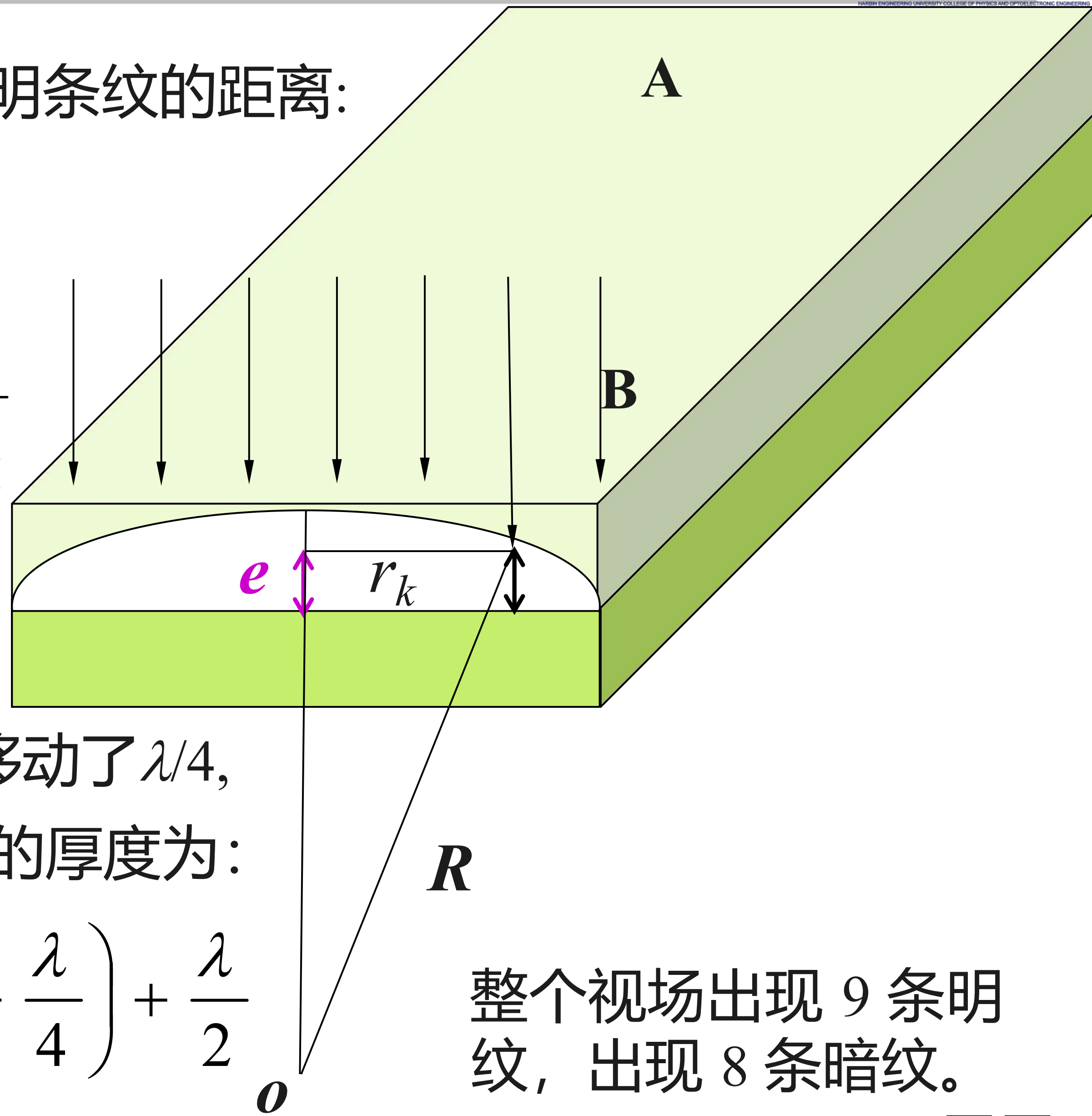
整个视场出现 9 条暗纹，出现 8 条明纹。

(2) 从中心到一侧 k 级明条纹的距离:

$$r_k^2 = R^2 - [R-(d-e)]^2$$

$$r_k^2 \approx 2R(d-e)$$

$$r_k^2 = \sqrt{2Rd-(k-\frac{1}{2})\lambda R}$$



(3) 若将玻璃板B向下移动了$\lambda/4$,

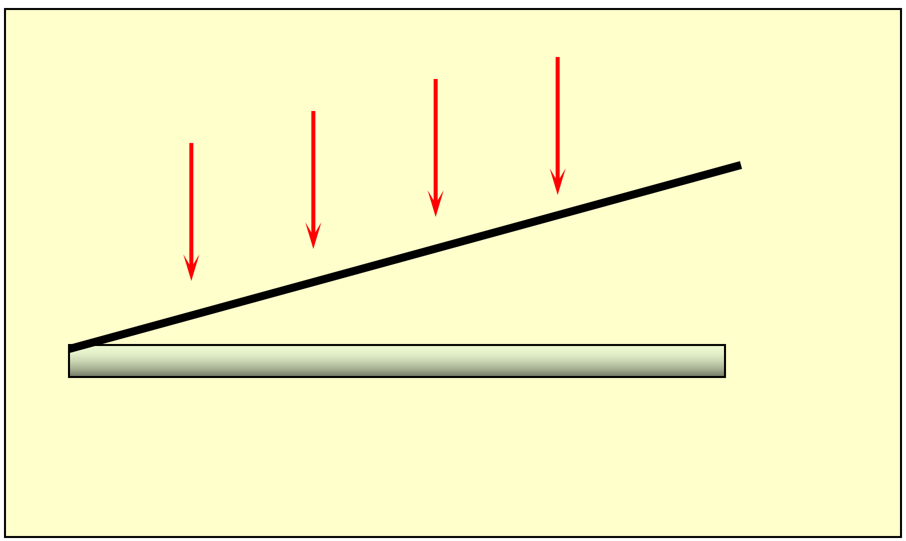
相同位置处空气膜的厚度为:

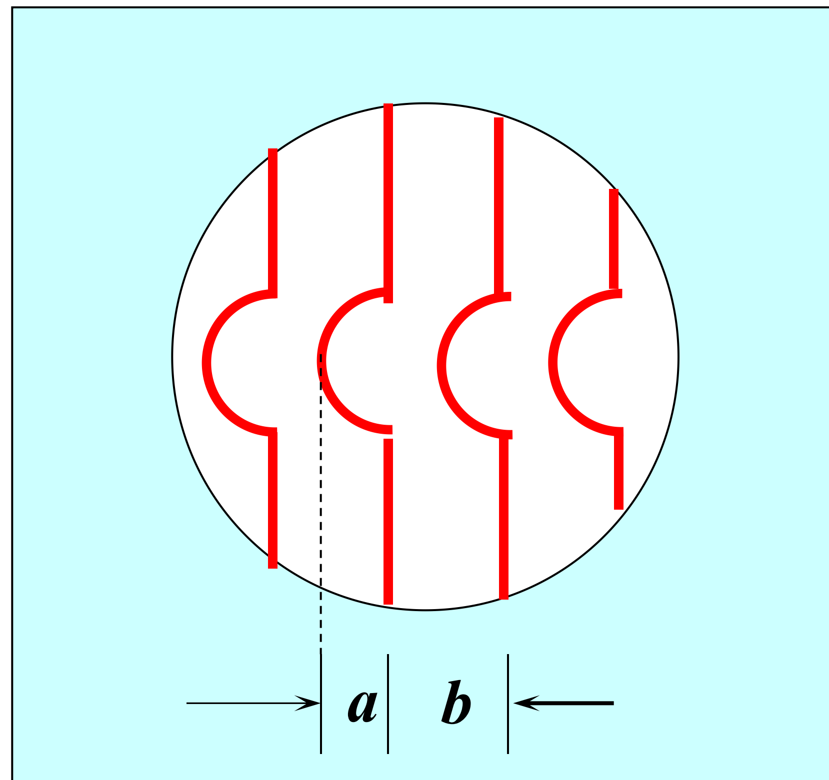
$$e+\frac{\lambda}{4} \quad \delta = 2\left(e+\frac{\lambda}{4}\right)+\frac{\lambda}{2}$$

整个视场出现 9 条明纹，出现 8 条暗纹。

习题

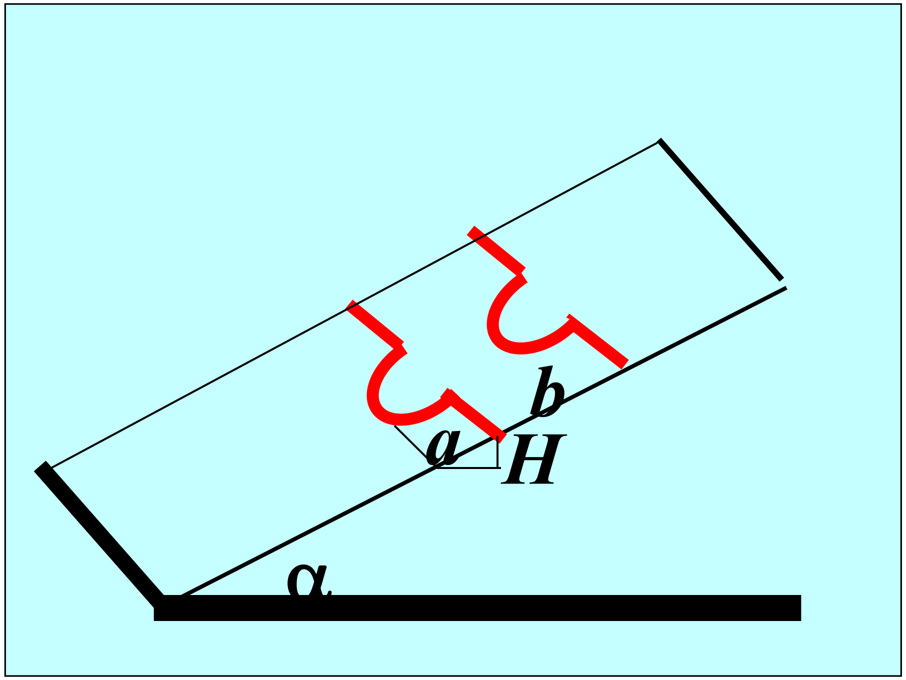
在工件上面放一平玻璃（光学平面），以单色光垂直入射，如图所示，由于工件不平，在测量中看到条纹弯曲的方向如图，问（1）纹路是凸还是凹？（2）求缺陷的高度





习题

解：表面的纹路是凹的



$$\frac{H}{a} = \frac{\frac{\lambda}{2}}{b}$$

2. 光的衍射问题

平行单色光垂直入射于单缝上，观察夫琅禾费衍射。若屏上 P 点处为第二级暗纹，则单缝处波面相应地可划分为多少个半波带？若将单缝宽度缩小一半，P 点处将是第 [填空1] 几级 [填空2] 纹？

解： $a\sin\varphi = \pm 2k\dfrac{\lambda}{2} \qquad (k = 1,2\cdots)$ 　　共分4个半波带；

$$a'\sin\varphi = \frac{a}{2}\frac{2\lambda}{a} = 2\frac{\lambda}{2} \qquad (k = 1,2\cdots)$$

若将单缝宽度缩小一半，则P点处将是第1级暗纹。

作答

习题

(1) 单缝夫琅和费衍射实验中， 垂直入射的光有两种波长，λ_1=4000Å，λ_2=7600Å。已知单缝宽度 $a=1.0\times10^{-2}$cm，透镜焦距 f=50cm。求：两种光第一级衍射明纹中心之间的距离。

(2) 若用光栅常数 $d=1.0\times10^{-3}$cm 的光栅替换上述单缝，而其它条件不变，求：两种光第一级主极大明纹间的距离。

习题

解：（1） $$a\sin\varphi_1=\frac{(2k+1)\lambda_1}{2}=\frac{3\lambda_1}{2}\qquad(k=1)$$

$$a\sin\varphi_2=\frac{(2k+1)\lambda_2}{2}=\frac{3\lambda_2}{2}\qquad(k=1)$$

$$\Delta x=x_2-x_1=\frac{3f\lambda_2}{2a}-\frac{3f\lambda_1}{2a}=0.27\text{ cm}$$

（2） $$d\sin\varphi_1=k\lambda_1=\lambda_1$$

$$d\sin\varphi_2=k\lambda_2=\lambda_2$$

$$\Delta x=x_2-x_1=\frac{f\lambda_2}{d}-\frac{f\lambda_1}{d}=1.8\text{cm}$$

填空题 2分

设置

一衍射光栅，每厘米 200 条透光缝，每条透光缝宽为 $a=2\times10^{-3}$ cm，在光栅后放一焦距 $f=1$ m 的凸透镜，现以 $\lambda=600$ nm 的单色平行光垂直照射光栅，求：透光缝 a 的单缝衍射中央明条纹宽度为 [填空1] m， 在该宽度内，有 [填空2] 个光栅衍射主极大?

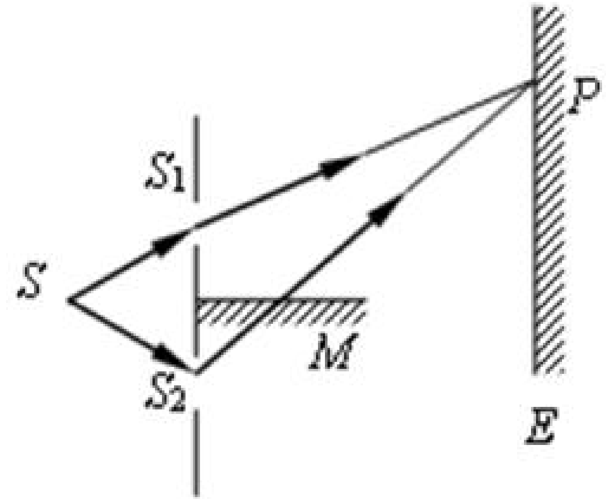
$k=(a+b)k'/a$，$k'=\pm1$，$k=\pm 2.5$

共有$k=0$，±1，±2 等5个主极大

作答

单选题 1分

在双缝干涉实验中，屏幕 E 上的 P 点处是明条纹．若将缝 S_2 盖住，并在 S1 S2 连线的垂直平分面处放一高折射率介质反射面 M，如图所示，则此时（　　）。



A　P点处仍为明条纹

B　P点处为暗条纹

C　不能确定P点处是明条纹还是暗条纹

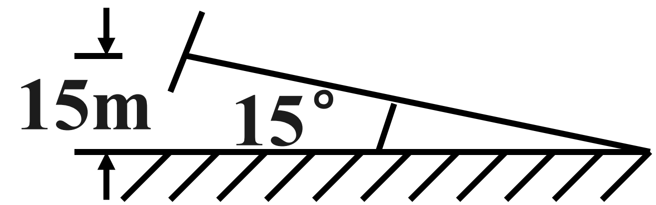
D　无干涉条纹

提交

习题

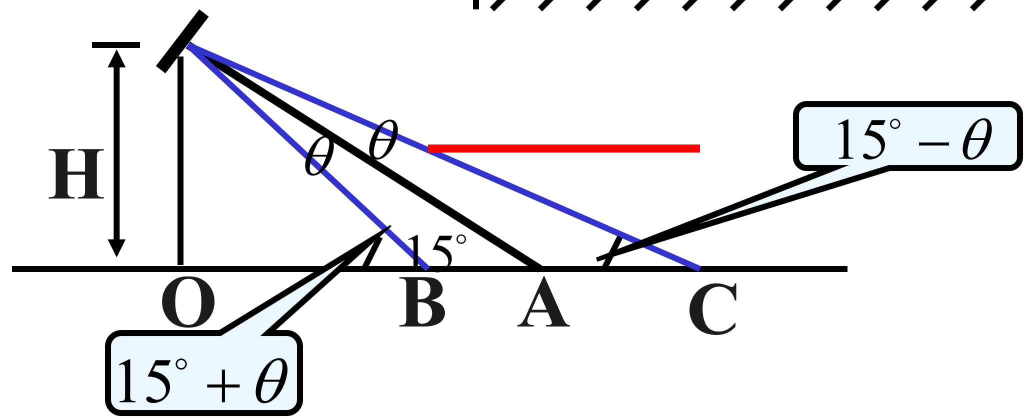
一雷达测速仪位于路旁15m处如图,波束与路边成15 °角,若发射天线水平宽度为0.2m,所用波长为30mm,问沿路面跨越多大距离的车辆能被检测到?

提示:发射天线视为电磁波出口(孔径).



解.发射天线相当于直径0.2m,

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{0.030}{0.2} = 0.15$$



$$\theta = 8.6^\circ$$

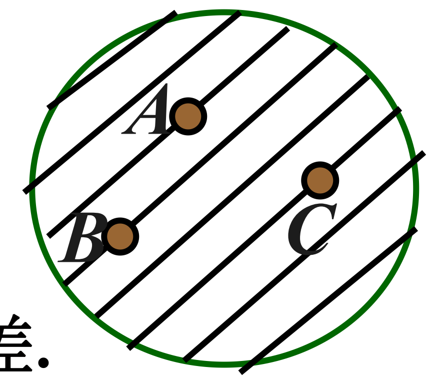
$$OB = Hctg\,(15^\circ + \theta) = 34.3m$$

$$OC = Hctg(15^\circ - \theta) = 133.7m$$

$$BC = OC - OB \cong 99m$$

习题

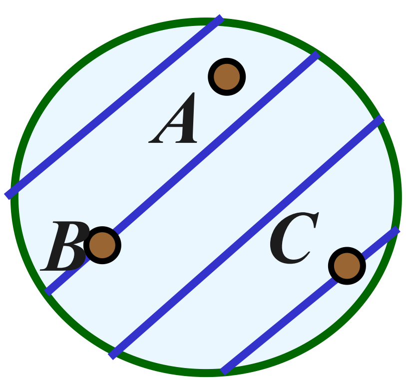
利用光的干涉可以检验工件的质量,将三个直径相近的滚珠*A*、*B*、*C*放在两块平玻璃之间,用单色(λ)平行光垂直照射,观察到等厚条纹如图。



(1)怎样判断三个滚珠哪个大哪个小?

(2)若单色光波长为λ,试用λ表示它们直径之差.

（**3**）若干涉图样为下图情况，如何用λ表示三者之间的直径之差?



习题

一双缝，缝距d=0.40 mm，两缝宽度都是a=0.080 mm，用波长为λ=480 nm (1 nm = 10^{-9} m) 的平行光垂直照射双缝，在双缝后放一焦距f=2.0 m的透镜,求：

(1) 在透镜焦平面处的屏上，双缝干涉条纹的间距Δx；

(2)在单缝衍射中央亮纹范围内的双缝干涉亮纹数目N和相应的级数.

解：双缝干涉条纹：

(1) 第k级亮纹条件：　$d \sin\varphi = k\lambda$

第k级亮条纹位置：$x_k = f\,\mathrm{tg}\,\varphi \approx f \sin\varphi \approx kf\lambda / d$

相邻两亮纹的间距：

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k+1) f\lambda / d - kf\lambda / d = f\lambda / d$$

$$= 2.4 \times 10^{-3}\ \mathrm{m} = 2.4\ \mathrm{mm}$$

(2) 单缝衍射第一暗纹：　$a \sin\theta_1 = \lambda$

$$d \sin\theta_1 = k\lambda$$

$k=5$

$\because$ 双缝干涉第±5极主级大缺级.

$\therefore$ 在单缝衍射中央亮纹范围内，双缝干涉亮纹数目

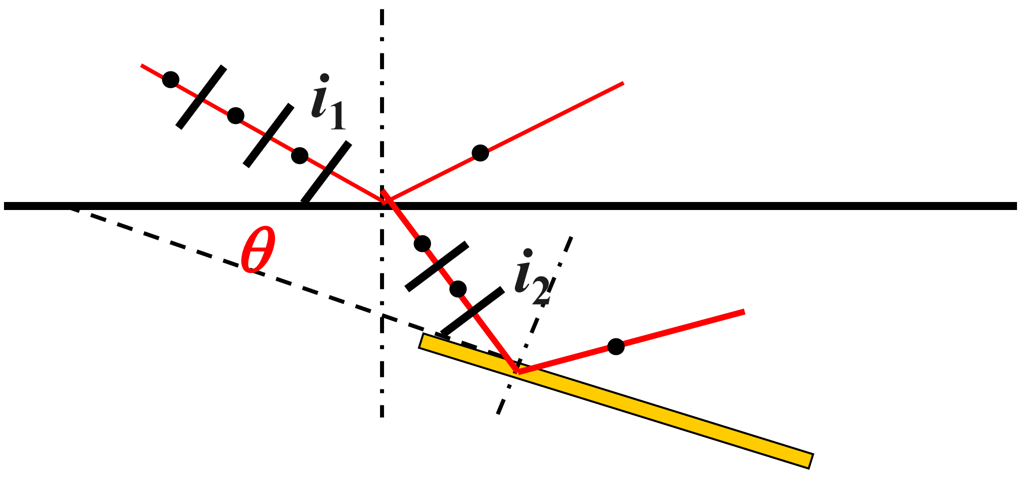
$$N = 9$$

分别为 $k = 0$，±1，±2，±3，±4级亮纹

习题

3. 光的偏振问题

有一平面玻璃板放在水中，板面与水面夹角为θ(如图)。设水和玻璃的折射率分别为1.33和1.57。已知图中水面的反射光是完全偏振光，欲使玻璃板面的反射光也是完全偏振光，则θ角应是多大?



习题

解： 由题可知 i_1 和 i_2 应为相应的布儒斯特角

由布儒斯特定律知： $\tan i_1 = n_1 = 1.33 \longrightarrow i_1 = 53.06°$

$\tan i_2 = n_2 / n_1 = 1.57 / 1.33 \longrightarrow i_2 = 49.73°$

$$\theta = i_1 + i_2 - 90° = 53.06° + 49.73° - 90° = 12.79°$$