

大学物理

张磊 (13072919527)

B824, Cyrus Tang Building

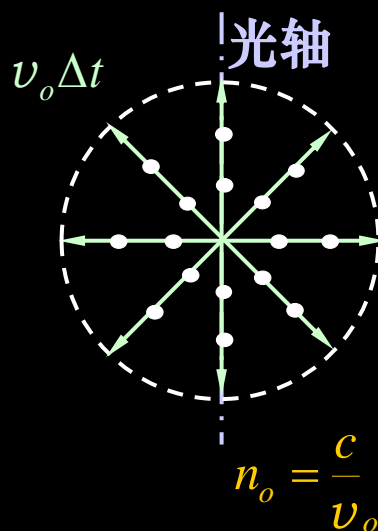
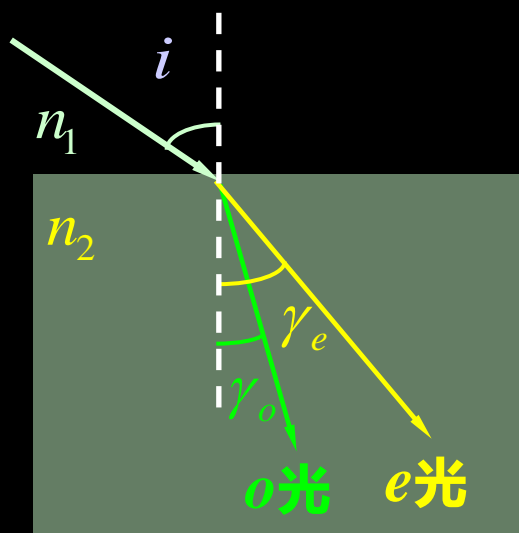


本学期大学物理期中考试时间
2023-10-28 15:00-17:00 (星期六)

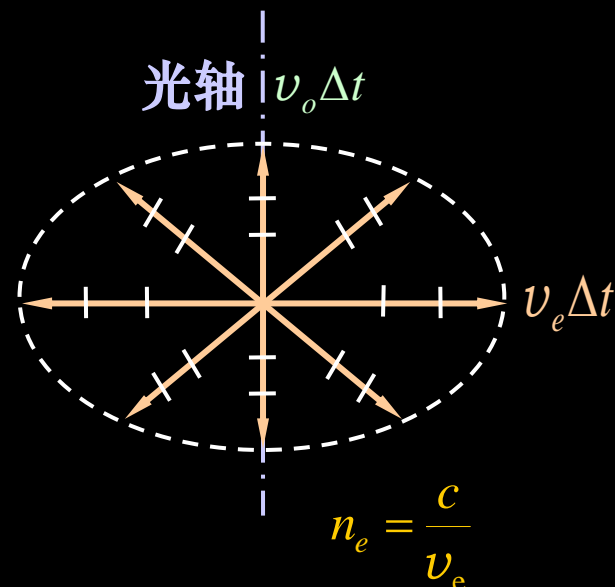
考试内容
机械振动、机械波、波动光学

大家做好复习和考试准备
预计在考试前一周左右，考试会在系统发布，
大家关注系统

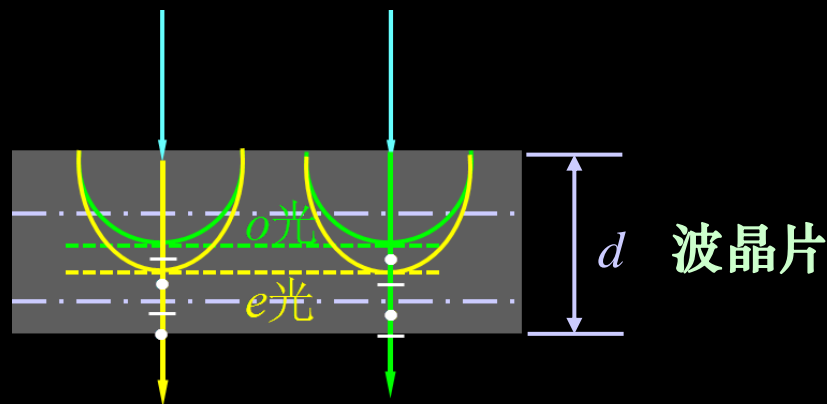
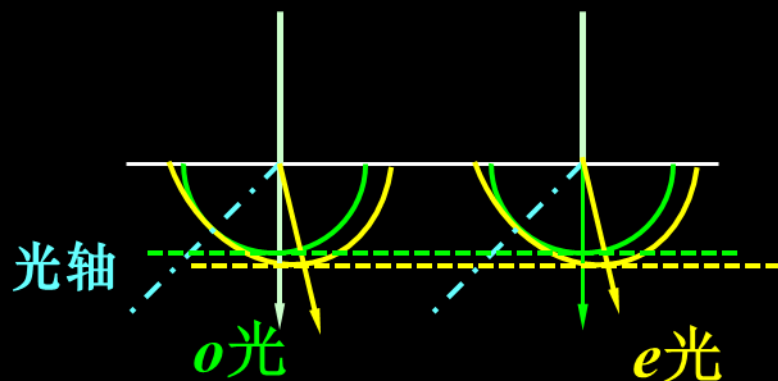
晶体的双折射现象



(o 光主折射率)



(e 光主折射率)

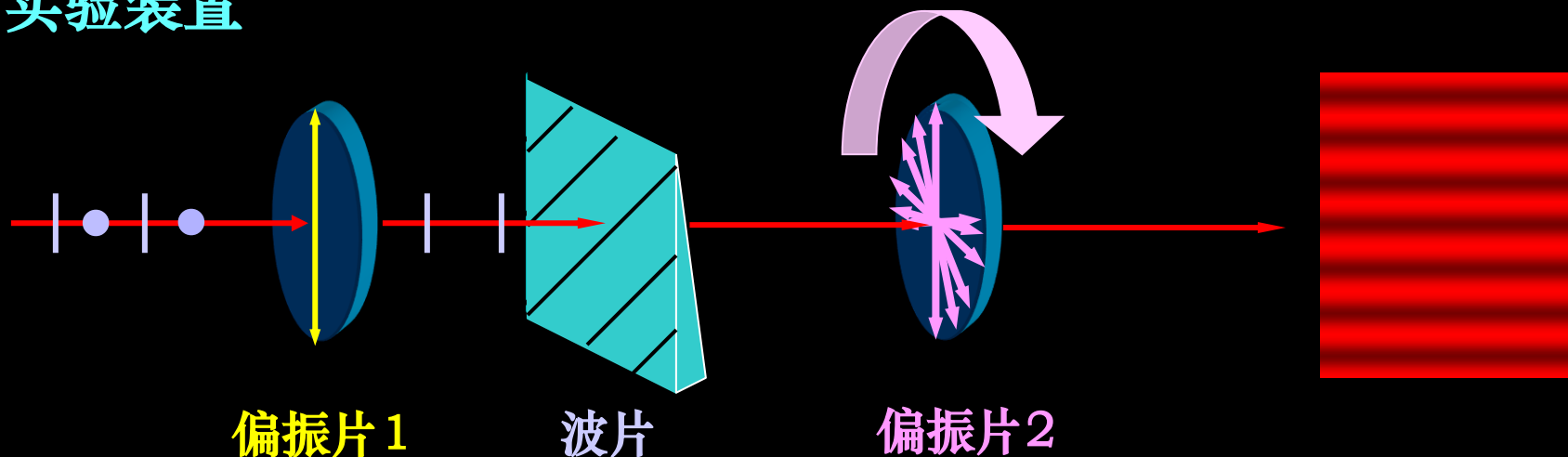


$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e)d$$

§14.14 偏振光的干涉

一. 偏振光干涉实验

1. 实验装置

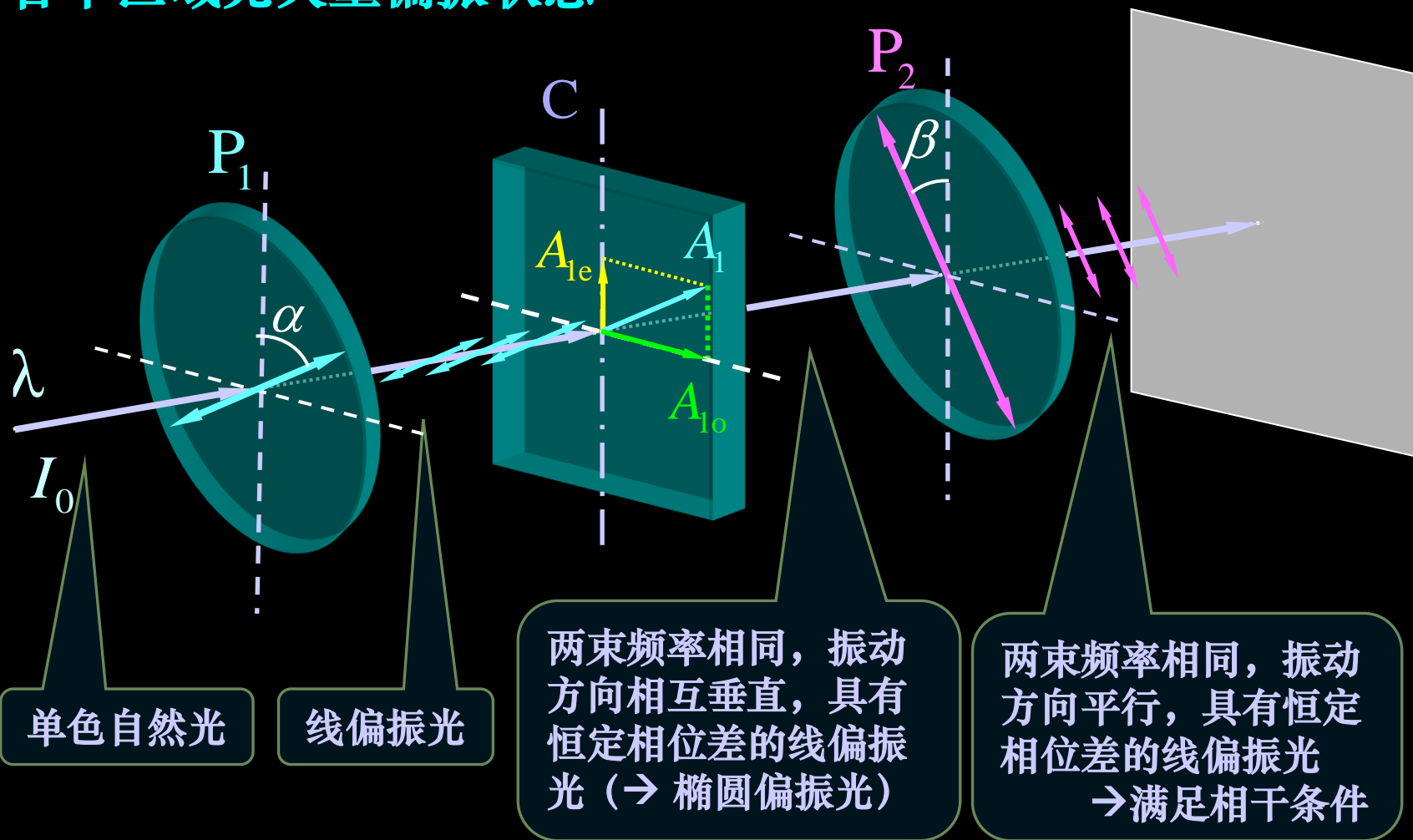


2. 实验现象

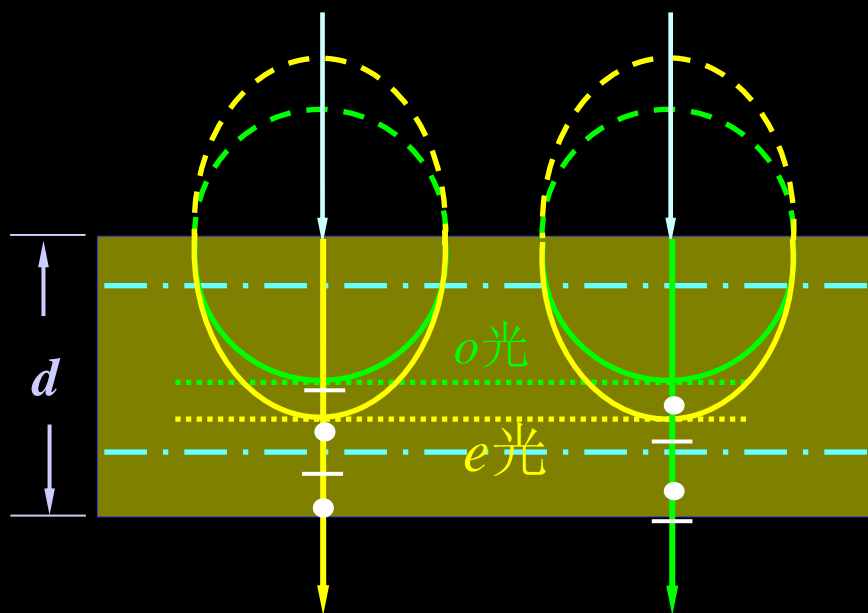
- 单色光入射，波片厚度均匀，屏上光强均匀分布。
- 白光入射，屏上出现彩色，转动偏振片或波片，色彩变化。
- 波片厚度不均匀时，出现干涉条纹。

二. 偏振光干涉的分析

1. 各个区域光矢量偏振状态



2. 光线通过波片的传播情况



o 光和 e 光传播方向相同，但速度不同。

o 光和 e 光通过波片后产生的相位差为：

$$|\Delta\varphi_c| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e|$$

n_o —— o 光主折射率

n_e —— e 光主折射率

3. 光线通过 偏振片2 的传播情况及光强分析

(1)单色自然光通过 偏振片 P_1 后振幅为 A_1

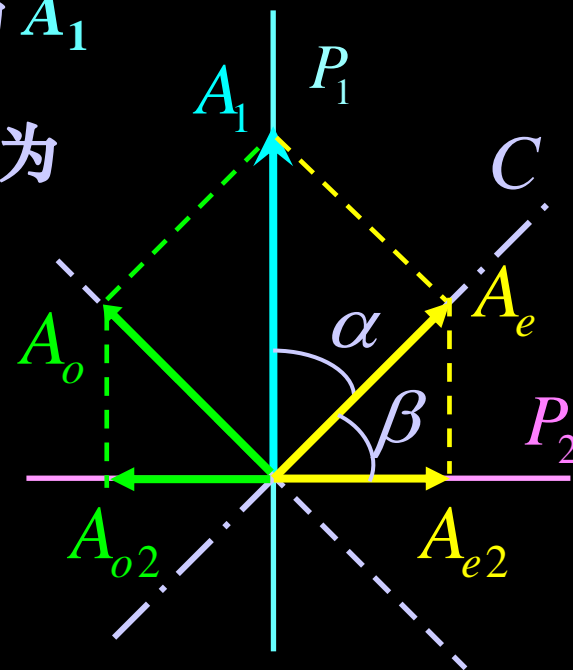
(2)在晶体中 \rightarrow o 光和 e 光，振幅分别为

$$A_o = A_1 \sin \alpha \quad A_e = A_1 \cos \alpha$$

(3)通过 偏振片2 后两分振动振幅

$$A_{o2} = A_o \sin \beta = A_1 \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$A_{e2} = A_e \cos \beta = A_1 \cos \alpha \cdot \cos \beta$$



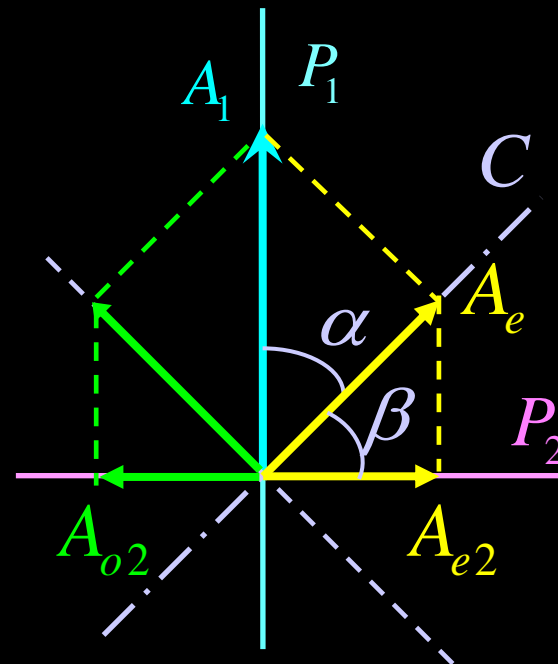
经过 偏振片2 出射的两束光：**振动方向平行，频率相同，相位差恒定**，满足干涉条件。

$\alpha=\beta=45^\circ \rightarrow A_{o2}, A_{e2}$ 的振幅相等且最大，干涉效果最好

(4) 考虑 A_{o2} , A_{e2} 反向, 附加相位差

$$|\Delta\varphi| = |\Delta\varphi_c| + \pi = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| + \pi$$

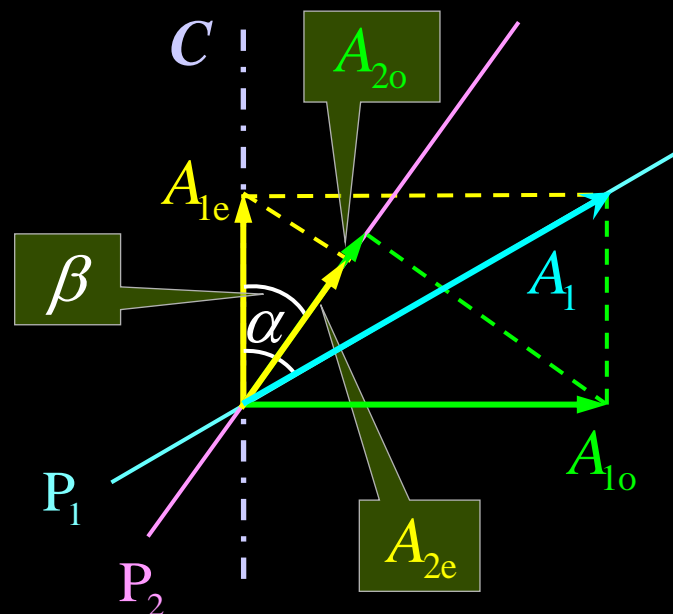
式中 π 为投影引入的
附加相位差



➤ 说明

是否存在附加相位差要具体考虑

该情况 **无需** 附加相位差 π



合振动强度为：

$$I_2 \propto A^2 = A_{o2}^2 + A_{e2}^2 + 2A_{o2}A_{e2}\cos\Delta\varphi$$

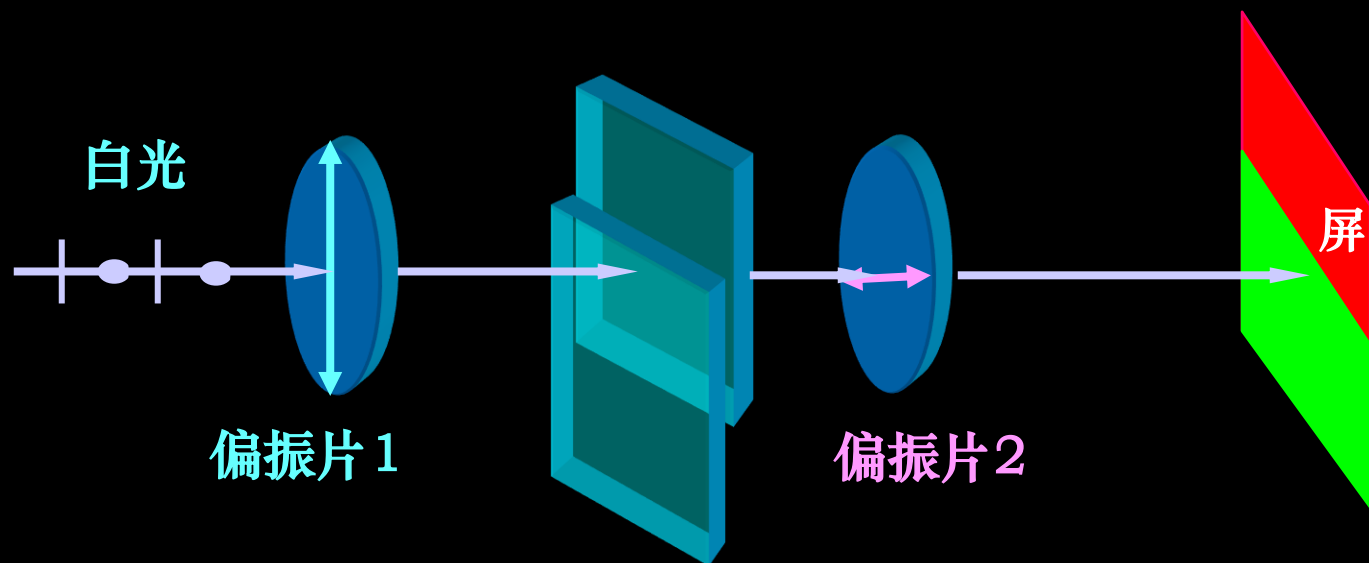
$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda}|n_o - n_e| + \pi = 2k\pi \quad \text{— 干涉相长}$$

$$|\Delta\varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda}|n_o - n_e| + \pi = (2k + 1)\pi \quad \text{— 干涉相消}$$

★ 讨论

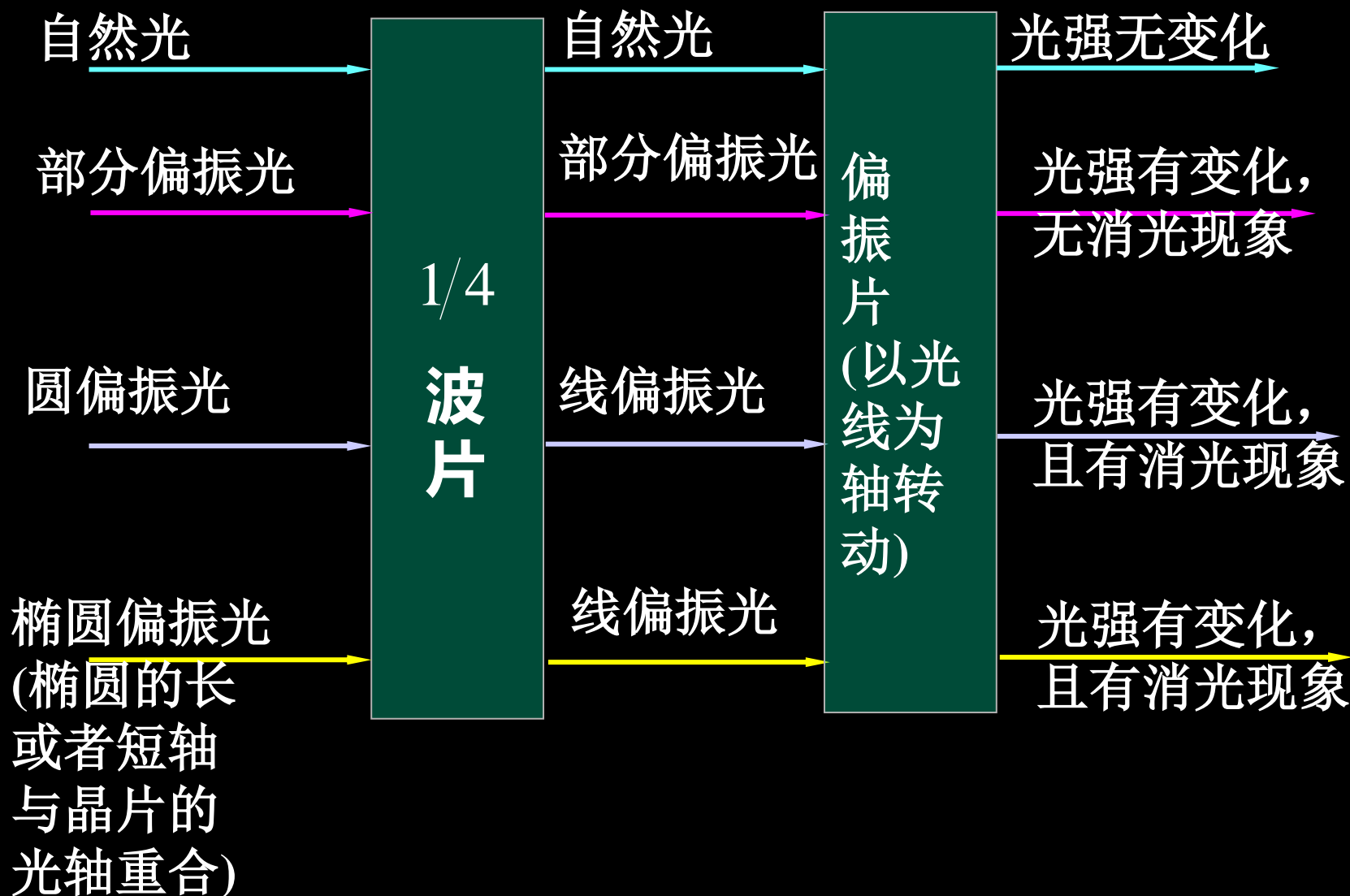
(1) 波片厚度相同时，各处相位差相同，单色光照射时屏上光强均匀分布。

- (2) 波片厚度不均匀时，各处相位差不同，单色光入射出现等厚干涉条纹。
- (3) 白光照射时，屏上由于某种颜色干涉相消，而呈现它的互补色，这叫(显)色偏振。



- (4) 旋转偏振片，使两偏振片偏振化方向平行，相位差产生 π 的变化，屏上颜色发生变化。

★ 各种偏振光经过 $1/4$ 波晶片, 偏振片后的光强变化



例 两正交尼科尔棱镜之间放一块 $\frac{1}{4}$ 波片，其光轴与第一块尼科尔棱镜的起偏方向成 30° 角，光强为 I_0 的单色自然光通过该系统。

求 出射光的光强。

解 自然光通过第一块尼科尔棱镜后的光强为 $I_1 = I_0/2$ ，振幅为 A ，经过波片后

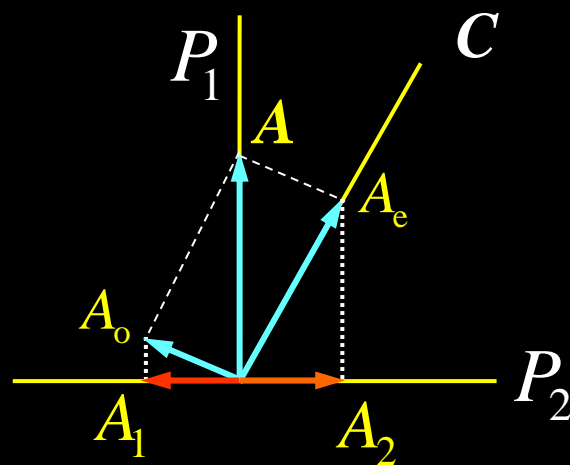
$$A_o = A \sin 30^\circ = \frac{A}{2}$$

$$A_e = A \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}A}{2}$$

通过第二块尼科尔棱镜

$$A_1 = A_o \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$

$$A_2 = A_e \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} A$$



$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + \pi = \frac{3}{2}\pi$$

出射光的光强为

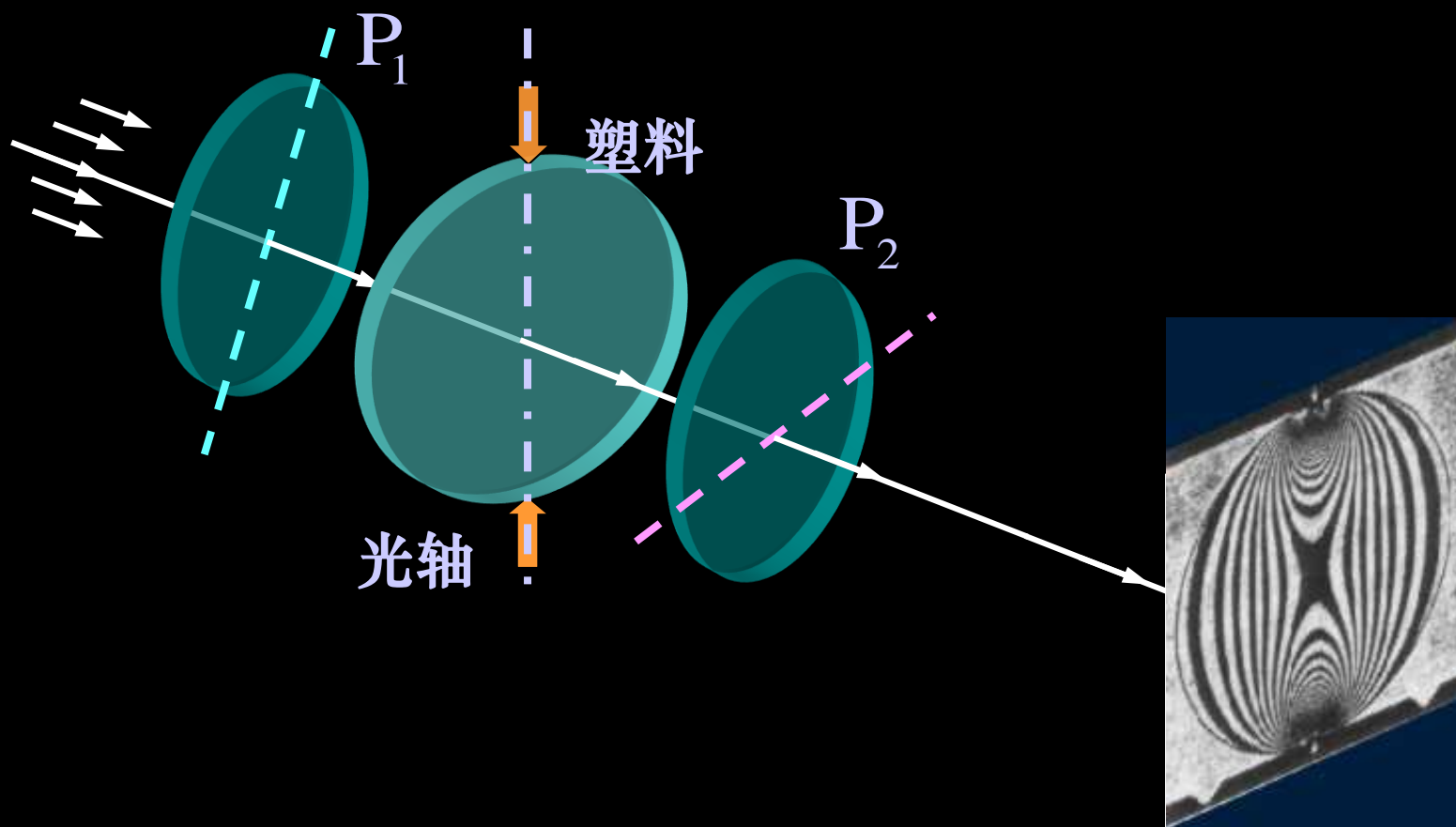
$$A_0^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \Delta\varphi$$

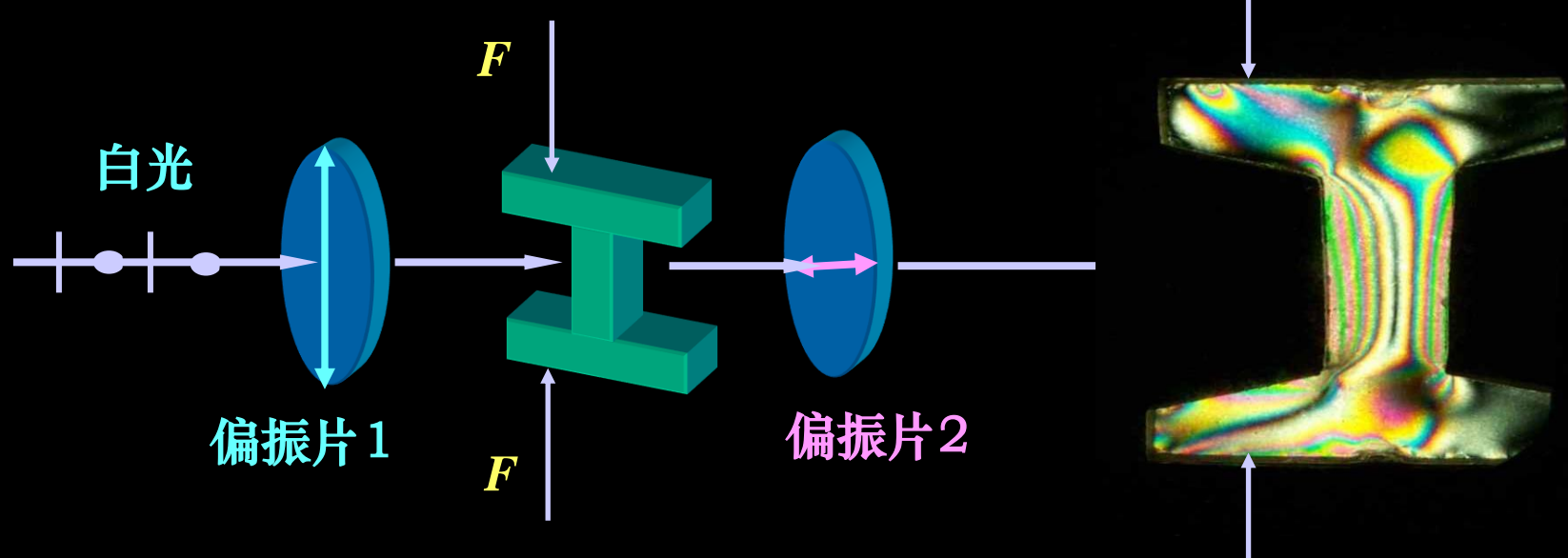
$$= \frac{3}{16}A^2 + \frac{3}{16}A^2 + 2\frac{3}{16}A^2 \cos \frac{3}{2}\pi = \frac{3}{8}A^2$$

$$I = \frac{3}{8}I_1 = \frac{3}{16}I_0$$

三. 光弹效应(应力双折射效应)

双折射现象不仅仅是天然晶体所具有，许多各向同性透明介质(包括固体，液体和气体)在某些外加条件的影响下，也会变成对光的**各向异性体**，而出现**双折射现象**。





$$|n_o - n_e| = cp \quad (c \text{ 是与材料有关的常数, } p \text{ 为样品材料中的应力})$$

$$o \text{ 光和 } e \text{ 光的相位差: } |\Delta\varphi| = \frac{2\pi d}{\lambda} |n_o - n_e| = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot cpd$$

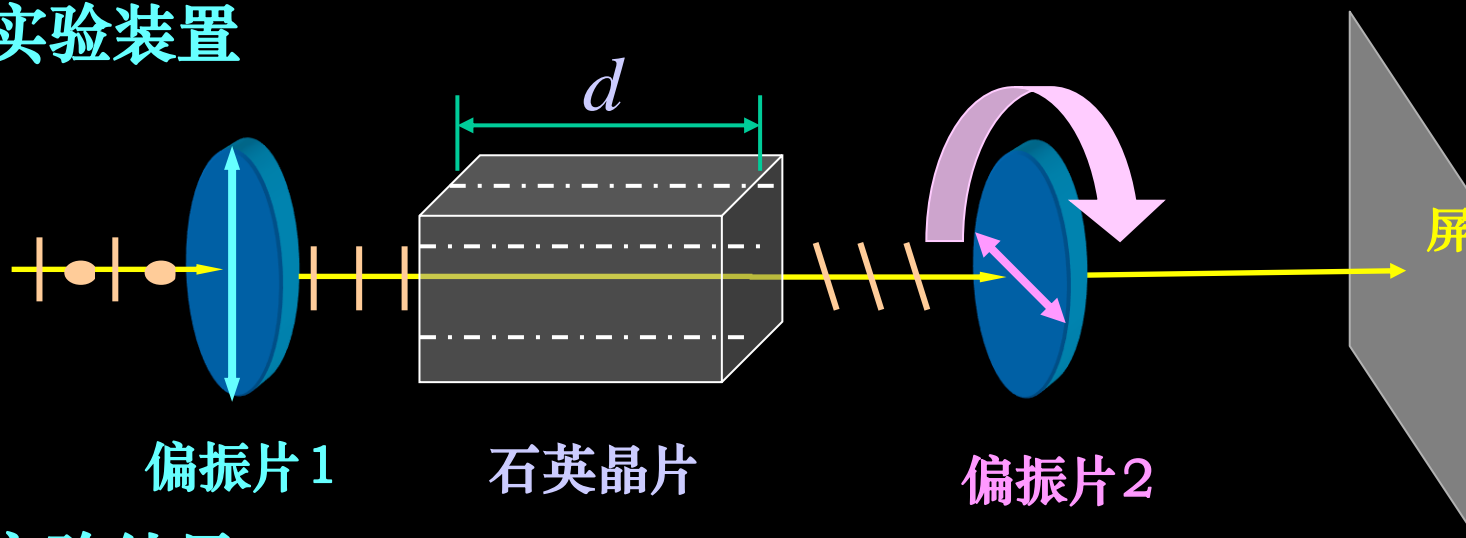
★ 说明

- (1) 各处 p 不同 $\longrightarrow \Delta\varphi$ 不同 \longrightarrow 出现干涉条纹
- (2) 应力分布越集中的地方条纹越细密

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1716551960055014178&wfr=spider&for=pc>
 想了解物体内部受力情况？给它点“颜色”看看！

§14.15 旋光效应简介

1. 实验装置



2. 实验结果

- 从石英晶片出射的是偏振光，振动面旋转了一个角度。
石英晶片具有**旋光性**。

线偏振光通过某些物质后，其偏振面将以光传播方向为轴线转过一定角度，这种现象称为**旋光现象**

- 能够产生旋光现象的物质称为旋光物质

左旋物质：迎着光的传播方向观看，使振动面按逆时针方向转动的物质，如果糖、石英

右旋物质：迎着光的传播方向观看，使振动面按顺时针方向转动的物质，如葡萄糖、石英

- 天然旋光物质中，光的振动面旋转的角度 φ 与光经过旋光物质的厚度 d 成正比

$$\varphi = \alpha d$$

- 对于有旋光性的溶液， φ 还与溶液的浓度 c 成正比

$$\varphi = \alpha c d$$

其中 α 称为旋光率，与旋光物质的性质、温度及入射光波长有关。

α : 旋光率 (与旋光物质的性质、温度及入射光波长有关)

波长/nm	794.76	728.1	656.2	546.1	430.7	382.0	257.1
$\alpha /(^{\circ}) / \text{mm}$	11.589	13.294	17.318	25.538	42.604	55.625	143.266

石英的旋光率与波长关系

4. 旋光色散: 物质的旋光率与光波波长有关的性质.

5. 旋光效应应用

- ◆制糖业测定糖液浓度; 医院测定血糖.
- ◆旋光效应在化学、药物学、生物学都有重要意义.

本章小结

1. 光是电磁波

(1) 电磁波是横波

$$\vec{E} \perp \vec{H} \qquad \sqrt{\varepsilon}E = \sqrt{\mu}H$$

(2) 电磁波的传播速度

$$u = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu}} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}}$$

(3) 电磁波的能量

坡印亭矢量 $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$

电磁波的强度

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_0^2$$

2. 光波的叠加

(1) 两光波在空间一点 P 叠加的光强为

$$I_P = I_1 + I_2 + 2 \langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle$$

干涉项

(2) 相干叠加

两相干光在空间一点 P 相遇时, P 点的光强为

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \varphi$$

◆当 $\Delta \varphi = \pm 2k\pi$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) 时, 光强最大, 为

$$I_{\max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2 \quad (\text{若 } I_1 = I_2 = I_0, \quad I_{\max} = 4I_0)$$

◆当 $\Delta \varphi = \pm(2k+1)\pi$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) 时, 光强最小, 为

$$I_{\min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2 \quad (\text{若 } I_1 = I_2 = I_0, \quad I_{\min} = 0)$$

(3) 非相干叠加

两非相干光在空间一点 P 相遇时, P 点的光强为

$$I_P = I_1 + I_2$$

3. 杨氏双缝干涉

利用分波前法获得相干光产生的干涉, 其干涉条纹是等间距的明暗相间的直条纹, 相邻明(暗)条纹的间距为

$$\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$$

4. 两相干光波到达空间一点 P 的光程差与相位差

$$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1 \qquad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot \delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_2 r_2 - n_1 r_1)$$

5. 薄膜干涉

利用分振幅法获得相干光产生干涉，两相干光的光程差为

$$\delta = \begin{cases} 2n_2 d \cos \gamma + \frac{\lambda}{2} & n_1 > n_3 > n_2 \text{ 或 } n_1 < n_2, n_3 < n_2 \\ 2n_2 d \cos \gamma & n_1 > n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 < n_2 < n_3 \end{cases}$$

当 $\delta = k\lambda$ 时，干涉相长；当 $\delta = (k + \frac{1}{2}) \lambda$ 时，干涉相消。

6. 惠更斯—菲涅耳原理

波面上的各面元都可看作是相干的次波波源.它们发出的次波在空间各点相遇时，其各点的强度分布是所有次波相干叠加的结果.

$$E(P) = \int_{\Sigma} Fk(\varphi) \frac{\cos(\omega t - \frac{2\pi r}{\lambda})}{r} d\Sigma$$

7. 单缝夫琅禾费衍射

(1) 暗纹条件

$$a \sin \varphi = \pm 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

(2) 明纹条件

$$a \sin \varphi = \pm (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

(3) 单缝夫琅禾费衍射的光强公式

$$I_{\varphi} = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad \alpha = \frac{\pi a \sin \varphi}{\lambda}$$

8. 光学仪器的最小分辨角和分辨本领

$$\text{最小分辨角} \quad \delta_{\varphi} = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad ; \quad \text{分辨本领} \quad R = \frac{1}{\delta_{\varphi}}$$

9. 光栅衍射

(1) 光栅方程

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

(2) 暗纹条件

$$d \sin \varphi = \pm \frac{m \lambda}{N} \quad m \neq kN$$

(3) 缺级公式

$$k = \frac{d}{a} \cdot k' \quad (k' \text{ 取非零整数})$$

其中, k 是缺级主极大的级次, k' 是单缝衍射暗纹的级数。

(4) 光栅衍射的光强公式

$$I_0 = I_m \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2$$

$$\alpha = \frac{\pi a \sin \varphi}{\lambda}$$

$$\beta = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}$$

$$\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \text{ 单缝衍射因子}$$

$$\left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2 \text{ 缝间干涉因子}$$

10. 马吕斯定律

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

11. 布儒斯特定律

$$\tan i_B = \frac{n_2}{n_1}$$

12. 波晶片

光轴平行于晶面的单轴晶片称作波晶片。当一束单色线偏振光垂直入射波晶片时，通过波晶片的o光和e光的光程差和相位差为

$$\Delta L = |n_o - n_e|d$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e|d$$

◆ 波 —— 机械波、电磁波（光波）

- ✓ 波的描述：波面、波线、波函数
- ✓ 波的能量：能量密度、能流密度、波强
- ✓ 波的叠加：非相干叠加、相干叠加

◆ 机械波

▲ 建立波函数(振动方程，波动曲线，初始条件，振动曲线)

$$y = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \varphi_0\right] \quad \text{与坐标的关系（超前与落后）}$$

▲ 波的干涉（相干条件，叠加原理）

$$\Delta\phi = 2k\pi, (2k+1)\pi \quad \Delta r = k\lambda, (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

▲ 驻波（相位和能量特征，半波损失，反射波波函数）

▲ 多普勒效应 ★ 分清楚波源与观测者

◆ 波动光学

▲ 电磁波（性质，能量关系，电场与磁场的关系）

▲ 干涉（核心是光程差）

① 双缝干涉（包括干涉公式，特征等）

② 薄膜干涉（等厚干涉和等倾干涉及其应用）

▲ 衍射

注意：半波损失的分析

① 惠-菲原理的表述和作用以及物理意义

② 单缝的夫琅禾费衍射（特征、半波带法、暗纹公式）

③ 光栅的夫琅禾费衍射（特征、光栅方程、缺级现象、暗纹公式、明暗纹间关系）

① 瑞利判据和光学仪器的分辨本领

▲ 偏振

① 偏振光的分类、检偏和起偏的方法

② 马吕斯定理和布儒斯特定律

③ 晶体双折射（o光、e光、光轴、惠更斯作图法、波片）

④ 偏振光的干涉（相干条件、基本概念和应用）