2021.6.16. 大物B习题课: Chap 12 光学.

(20210617)

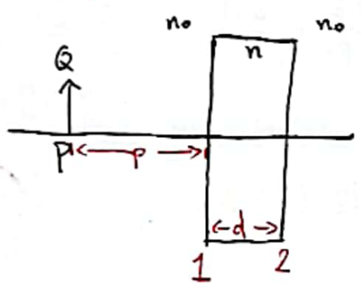
§I. 几何光学(傍轴)

1. 光路图(三条特殊光线; 利用焦平面)(傍轴近似下).
2. 共轴球面系统成像(注意正负号: 忽略书上关于实/虚物/像的注释).

① 球面反射: $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$ 横向放大率 $m=-\frac{p'}{p}$

② 球面折射: $\frac{n_1}{p}+\frac{n_2}{p'}=\frac{n_2-n_1}{r}$ $m=\frac{n_1 p'}{n_2 p}$

$\boxed{\text{作业 12-4}}$ 玻璃平板厚度 $d=30cm$, 折射率 $n=1.5$. (空气 $n_0=1$) 求像与物间距.



两次折射:

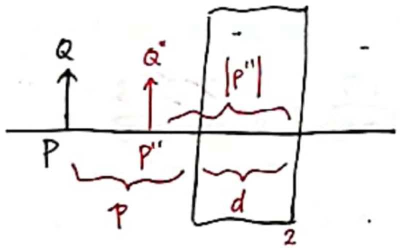
① 界面1: $\frac{n_0}{p}+\frac{n}{p'}=\frac{2}{r}\xrightarrow{r\to\infty}0$

得像1 $p'=-\frac{n}{n_0}p=-np<0$. 像1在1的左边.

② 界面2: $\frac{n}{np+d}+\frac{n_0}{p''}=\frac{2}{r}\xrightarrow{r\to\infty}0$

像1作为界面2的物, 到2的物距

得像2 $p''=-\frac{np+d}{n}=-p-\frac{d}{n}<0$. 像2在2左边.



⇒ 像2与物间距为

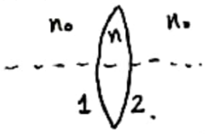
$$p+d-|p''|=p+d-(p+\frac{d}{n})=10\ cm$$

---

3. 关于公式: 多推几遍就记住了. 或者记得推导的方法, 宜用的时候再现推.

比如关于薄透镜焦距的公式:

光心重合



$\frac{n_0}{p}+\frac{n}{p_1}=\frac{n-n_0}{r_1}$ $r_1>0$

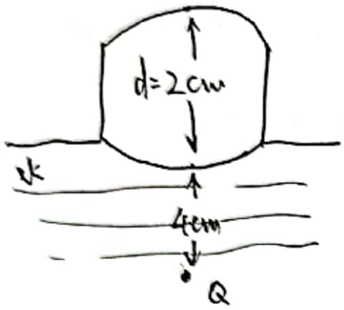
$\frac{n}{-p_1}+\frac{n_0}{p_2}=\frac{n_0-n}{r_2}$ $r_2<0$

像1在界面1的距. 也在界面2的物距 所以带负号

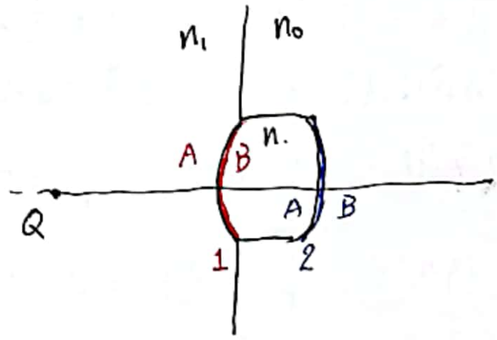
$$\begin{cases}\frac{n_0}{p}+\frac{n_0}{p_2}=\frac{n-n_0}{r_1}+\frac{n_0-n}{r_2}\\ m=-\frac{p_2}{p_0}\end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p}+\frac{1}{p_2}=(n-1)(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2})\equiv\frac{1}{f}$$

$\boxed{作业 12-8}$ 双凸透镜放在水面上. 曲率半径 3cm. 中心厚度 $d = 2cm$.
玻璃折射率 $n = 1.50$, 水折射率 $n_1 = 1.33$. (空气 $n_0 = 1.00$).
求空气中像的位置. (物在水下 4cm)



$\Rightarrow$



两次折射: ① $\boxed{球面 1}$ $\dfrac{n_1}{p} + \dfrac{n}{p_1} = \dfrac{n - n_1}{r_1}$

物距 $p = +4cm$.

曲球心在 B 区: $r_1 = +3cm$.

$\Rightarrow \dfrac{1.33}{4} + \dfrac{1.5}{p_1} = \dfrac{0.17}{3}$

$\Rightarrow$ 物距 $p_1 \approx -5.44$ cm.

表明像 1 在界面 1 左边 (即水下)

② $\boxed{球面 2}$ $\dfrac{n}{|p_1| + d} + \dfrac{n_0}{p_2} = \dfrac{n_0 - n}{r_2}$

物距 $|p_1| + d = +7.44$ cm. (物在 A 区)

球心在 A 区: $r_2 = -3$ cm.

$\Rightarrow \dfrac{1.5}{7.44} + \dfrac{1}{p_2} = \dfrac{-0.5}{-3}$

$\Rightarrow$ 物距 $p_2 = -28.62$ cm.

表明像 2 在界面 2 左边 (即原图下面)

最终像位置在双凸透镜上表面下方 28.62 cm 处.

§2. 波动光学：干涉

1. 相干光：振动方向同、频率同、相位差不随时间改变

eg. $\vec{E}_1=\vec{E}_{10}\cos(-\vec{k}\cdot\vec{r}+\omega t+\varphi_1)$ 在 P点相遇
$\vec{E}_2=\vec{E}_{20}\cos(\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_2)$

P点测得光强 $I\propto\langle\vec{E}\cdot\vec{E}\rangle_T$　　$\langle\cdots\rangle_T$ 指时间平均

$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2$　　$\vec{E}\cdot\vec{E}=\vec{E}_1^2+\vec{E}_2^2+2\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2$

$$I=\langle\vec{E}^2\rangle=I_1+I_2+\underbrace{2\langle\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2\rangle_T}_{\text{干涉项}}$$

$\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2=\vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}\cos(\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_1)\cos(\omega t-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_2)$

积化和差 $=\vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}\,[\cos(\omega t)\cos(-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_1)+\sin(\omega t)\cos(-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_1)]$
$\cdot[\cos(\omega t)\cos(-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_2)+\sin(\omega t)\cos(-\vec{k}\cdot\vec{r}+\varphi_2)]$

利用 $\langle\cos^2\omega t\rangle_T=\langle\sin^2\omega t\rangle_T=\frac{1}{2}$，$\langle\cos\omega t\sin\omega t\rangle_T=0$

和差化积 $\Rightarrow\langle\vec{E}_1\cdot\vec{E}_2\rangle_T=\frac{1}{2}\vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}\cos(\varphi_1-\varphi_2)$

干涉项 $I_{12}=\underbrace{\vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}}_{\text{振动方向不可正交，否则 }\vec{E}_{10}\cdot\vec{E}_{20}=0}\cos(\underline{\varphi_1-\varphi_2})$ 相位差恒定.

~~当振幅相同时~~. 当振动方向平行时 $I_{12}=2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi_1-\varphi_2)$

$I=I_1+I_2+2\sqrt{I_1I_2}\cos(\varphi_1-\varphi_2)$　　若 $I_1=I_2=I_0$.

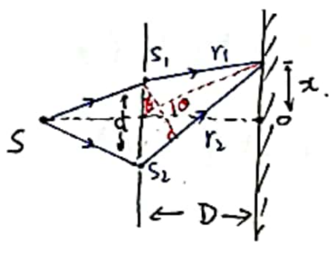
$I_{min}=0$　　$I_{max}=4I_0$.

2. 获得相干光
- 分波阵面：同一个波阵面上不同子波源　eg. Young氏双缝干涉
- 分振幅：反射、透射等，同一束光的能量分配. eg. 薄膜干涉

关键：计算光程差（几何关系、半波损失）

---

3. 双缝干涉



注：S_1、S_2是子波源（惠更斯原理）

此处是波动光学！

$D\gg d$.
$D\gg x$.

波程差 $\delta=r_2-r_1\approx d\sin\theta$
$\approx d\tan\theta$
$=d\frac{x}{D}=\begin{cases}k\lambda & \text{明}\\(k+\frac{1}{2})\lambda & \text{暗}\end{cases}$

$k=0,\pm1,\pm2,\cdots$

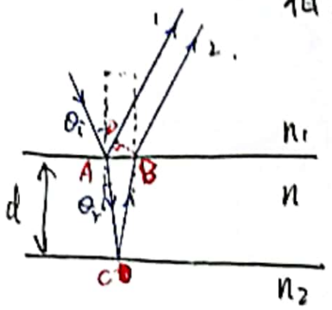
$\Rightarrow$
- 明纹中心 $x=k\frac{D}{d}\lambda$.
- 暗纹中心 $x=(k+\frac{1}{2})\frac{D}{d}\lambda$
- 间距 $\Delta x=\frac{D}{d}\lambda$

变化　要让间距 Δx 变大：$D\uparrow$，$d\downarrow$.

4. 薄膜干涉

(1) 等倾干涉：厚度均匀的薄膜，入射不同倾角光线，（扩展光源）

相同倾角的形成明纹或暗纹.



设 $n_1<n>n_2$，则 1, 2 间存在半波差.

光程差 $S = r_2 - r_1 = n|AC| + n|BC| - n_1|AD| + \frac{\lambda}{2}$

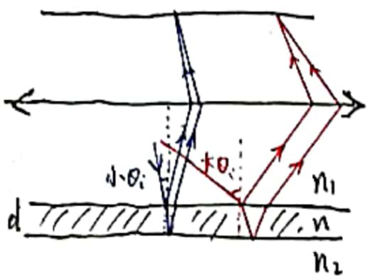
几何关系：$|AC| = |BC| = \frac{d}{\cos\theta_r}$

$|AD| = |AB|\sin\theta_i = 2d\tan\theta_r\sin\theta_i$

折射定律 $n_1\sin\theta_i = n\sin\theta_r$

$$\Rightarrow \text{总光程差}\ \delta = \frac{2nd}{\cos\theta_r} - \frac{2n_1 d}{\cos\theta_r}\sin\theta_r\sin\theta_i + \frac{\lambda}{2} = 2nd\cos\theta_r + \frac{\lambda}{2}$$

$$= 2d\sqrt{n^2 - n_1^2\sin^2\theta_i} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明}\ (k=\pm1,\pm2,\cdots) \\ (k+\frac{1}{2})\lambda & \text{暗}\ (k=0,\pm1,\pm2,\cdots) \end{cases}$$



① 入射角 θ_i 越大，光程差越小，级数 k 越低.

⇒ 半径大的条纹级数低.

② θ_i 大，θ_r 大，条纹间距越小. ($R \propto \theta_r$)

$$R_{k+1} - R_k \approx \theta_{r,k+1} - \theta_{r,k} = -\frac{\lambda}{2nd\sin\theta_r}.$$

⇒ 半径大的条纹周围越密集.

③ 膜厚 d 变大时，光程差变大.

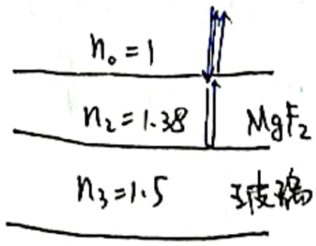
~~即明条纹所在位置从原来的 k 级变到 $k+1$ 级~~

原先 k 级条纹即后来的 $(k+1)$ 级条纹.

⇒ 条纹从中心向外扩张，中心产生新条纹

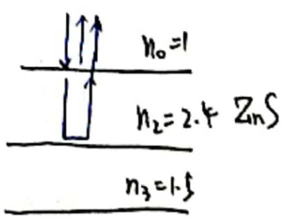
• 应用：

(i) 增透膜：使反射光干涉减弱.



$2n_2 d = (k+\frac{1}{2})\lambda$.

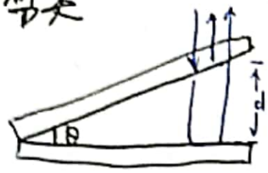
(ii) 增反膜：使反射光干涉增强.



$2n_2 d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$.

(2) 等厚干涉：同一方向入射到厚度不均匀的薄膜。
相同厚度处形成明纹或暗纹

• 劈尖



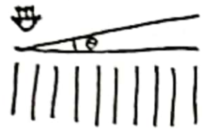
垂直入射.

光程差 $\delta = r_2 - r_1 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k=1,2,\cdots \quad 明 \\ (k+\frac{1}{2})\lambda & k=0,1,2,\cdots \quad 暗 \end{cases}$ 半波损

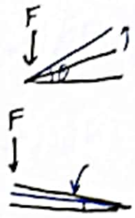
相邻条纹对应厚度差 $d_{k+1} - d_k = \frac{\lambda}{2} = \Delta l \cdot \sin\theta$.

条纹间距 $\Delta l = \frac{\lambda}{2\sin\theta}$ ⇒ θ越小，条纹越疏.

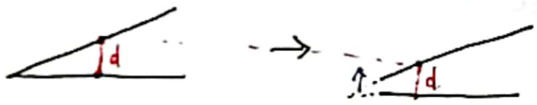
(i) 判断交棱位置



压左侧 → { 条纹变密，说明 θ↑，交棱在左 ; 条纹变疏，说明 θ↓ 交棱在右 }



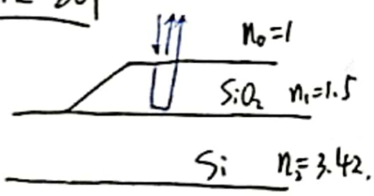
(ii) 两块玻璃板距离变化.



距离增大 ⇒ 条纹向棱线移动 (向厚度小处)

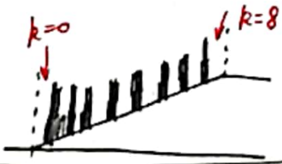
每增大 $\frac{\lambda}{2}$，条纹移动1个单位.

作业 12-20



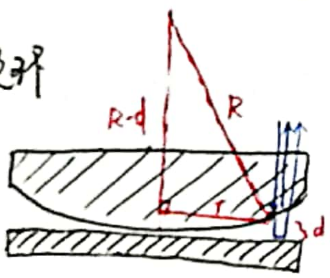
腐蚀区域有8条暗纹，转折处为亮纹. 求膜厚.

解：亮纹中心：$2dn_1 = k\lambda$. (无半波损)



$2dn_1 = 8\lambda$

• 牛顿环



光程差 $\delta = r_2 - r_1 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明 \\ (k+\frac{1}{2})\lambda. & 暗. \end{cases}$

$R^2 = r^2 + (R-d)^2$ $\quad d \ll R$.

$r^2 = R^2 - (R-d)^2 = 2Rd - d^2 \approx 2Rd$.

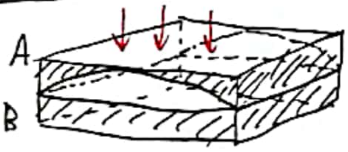
r越大，d变得越快，环越密集.

明环 $r = \sqrt{(k-\frac{1}{2})R\lambda}$ $\quad k=1,2,\cdots$

暗环 $r = \sqrt{kR\lambda}$ $\quad k=0,1,2,\cdots$

作业 12-22　平凹透镜A与平玻璃板B．　波长λ垂直入射

空气层最大厚度 $d_m = 2\lambda$.



(1) 画出条纹形状、分布、级次；

(2) 明纹到中心线的距离 r；

(3) B下移时条纹移动？

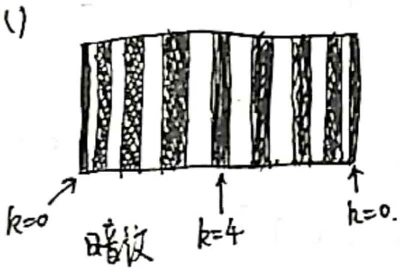
解：光程差 $\delta = r_2 - r_1 = 2d + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & 明 \quad k=\cancel{0},1,2,\dots \\ (k+\frac{1}{2})\lambda & 暗 \quad k=0,1,2,3,\dots \end{cases}$

明纹 $d = (k-\frac{1}{2})\frac{\lambda}{2} = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \frac{7}{4}\lambda$.　共4条（单侧）

暗纹 $d = k\frac{\lambda}{2} = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, 2\lambda$.　共(4+1)条

中央

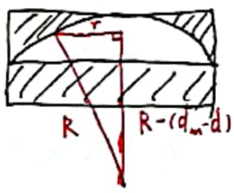
(1)



在中央，d 变化慢 ⇒ 疏

在两侧，d 变化快 ⇒ 密

(2)



$r^2 = R^2 - [R-(d_m-d)]^2$

$\approx 2R(d_m-d)$　　$d \ll R$.

$\rightarrow r \approx \sqrt{2R(d_m-d)} = \sqrt{2Rd_m - R\lambda(k-\frac{1}{2})}$　　$k=1,2,3,4$.

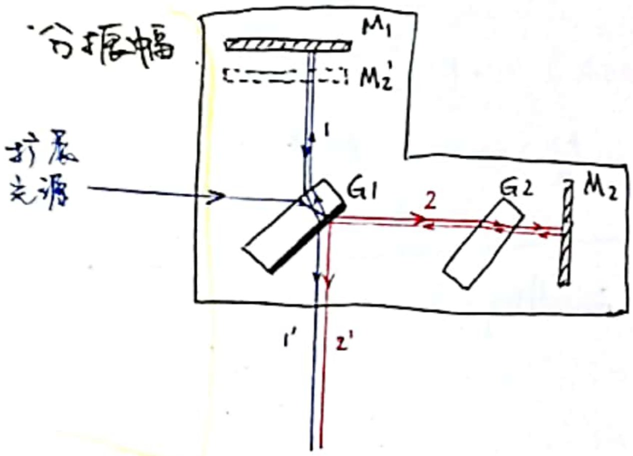
(3) 条纹向两侧移动.

距离增加，原先厚度为d的条纹要往外走才能达到厚度d.

距离↑，条纹向级数低的地方移动.

5、Michelson 干涉仪

分振幅



G1：背镀银膜

G2：补偿光程

M_2'：M_2 关于 G1 反射面的像.

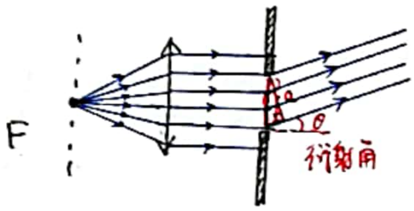
当 M_1 与 M_2' 平行 $\Rightarrow$ 不同入射角形成等倾条纹

当 M_1 与 M_2' 夹角 $\Rightarrow$ 不同厚度形成等厚条纹

§3 波动光学：衍射

- 衍射：波传播时绕过障碍传播.
- 惠更斯-菲涅耳原理：① 子波；② 振幅与距离成反比，夹角越大振幅越小.

1、单缝夫琅禾费衍射



振幅矢量法.（课本）

半波带法：相邻两束光線相位差 π 时恰成一对，抵消.

最大光程差

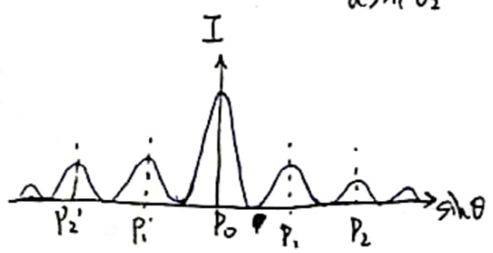
$$a\sin\theta = \begin{cases} 2k\dfrac{\lambda}{2} & k=\pm1,\pm2,\cdots \quad \text{暗（衍射极小）} \ (\theta\neq0) \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k=0,\pm1,\pm2,\cdots \quad \text{明（衍射极大）} \end{cases}$$

（$\theta=0$ 为中央明纹，无光程差）.

(1) $k=\pm1$ 对应的暗纹：$a\sin\theta_1=\lambda$ → 半角宽度 $\theta_1=\arcsin\dfrac{\lambda}{a}$.

$a\sin\theta_2=-\lambda$

(2)

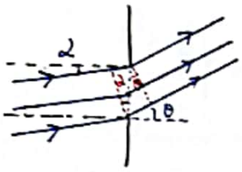


(3). 明纹 $a\sin\theta=(2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$

入射白光 $\Rightarrow \begin{cases} \theta\text{小：紫光} \\ \theta\text{大：红光} \end{cases}$

a 越小，θ 越大. 衍射越明显

作业 12-28 平行光入斜入射 α 角，单缝 a. 求衍射极小

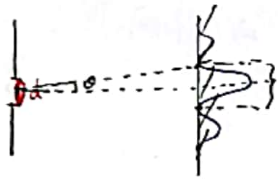


最大光程差 $\delta = r_2 - r_1 = a\sin\theta - a\sin\alpha = 2k\cdot\frac{\lambda}{2}$

$\rightarrow \theta = \arcsin\left(\sin\alpha + \frac{k\lambda}{a}\right)$. $k=\pm1,\pm2,\cdots$

---

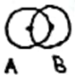
2. 圆孔夫琅禾费衍射 → 由暗环围成的中央：Airy斑.



⇒ Airy斑 角宽度

$$d\sin\theta = \underbrace{1.22}_{\text{几何形状决定}}\lambda$$

Rayleigh 判据：A斑中央最亮处与B斑第1个暗处重合时恰可分辨.

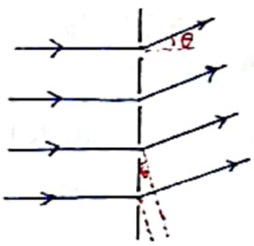


最小分辨角 $\theta_R = 1.22\frac{\lambda}{d}$　　d 为缝宽（即口径）.

分辨本领 $R = \frac{1}{\theta_R}$.

3. 光栅衍射

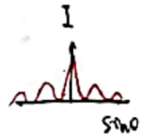
· 光栅：大量等宽等间距的平行狭缝 $\begin{cases}\text{透射 ✓}\\ \text{反射}\end{cases}$



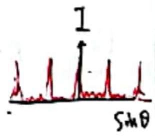
总缝数 N　　光栅常量 $d = a+b$

缝宽 a

不透光宽 b



· 光栅衍射 $\begin{cases}\text{N套单缝衍射叠加}\quad a\sin\theta = k'\lambda \quad k=\pm1,\pm2,\cdots \quad \text{衍射极小}\\ \text{N套光线之间干涉}\quad (a+b)\sin\theta = k\lambda. \quad k=0,\pm1,\pm2,\cdots \quad \text{明纹}\end{cases}$

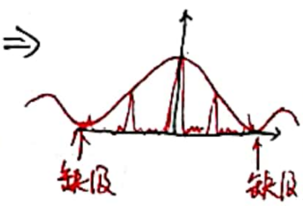


· 单缝衍射导致缺级.

$$k = \frac{a+b}{a}k'.$$

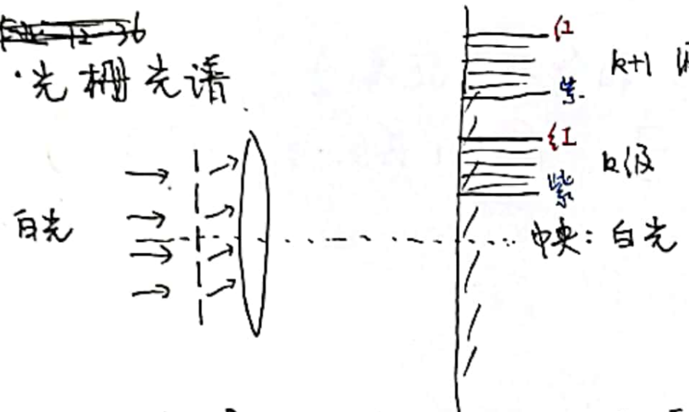
第 k 级干涉明纹缺失.

⇒



~~作业 12-36~~

· 光栅光谱



$(a+b)\sin\theta = k\lambda$.

分辨得开：紫光的第 k+1 级干涉明纹在红光的第 k 级干涉明纹后.

$$(a+b)\sin\theta_{k红} = k\lambda_{红}$$

$$(a+b)\sin\theta_{k+1,紫} = (k+1)\lambda_{紫}$$

要求 $\theta_{k红} < \theta_{k+1紫}$

$$\Rightarrow \frac{k\lambda_{红}}{a+b} < \frac{k+1}{a+b}\lambda_{紫}$$

$$k\lambda_{红} < (k+1)\lambda_{紫}$$

• 光栅的色分辨本领 $R = \dfrac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$.

(恰可分辨)

λ：两条谱线平均波长.

$\Delta\lambda$：波长差.

k：谱线级数.

作业 12-36

平面光栅. 垂直入射平行光，衍射角 $30°$ 处有 600 nm 的第 2 级主极大，可分辨 $\Delta\lambda = 0.05$ nm 两条谱线.

但第 3 级主极大缺失. 求 a, b, N.

解：$(a+b)\sin\theta = k\lambda$.

$\theta = 30°$, $k=2$. $\lambda = 600$ nm $\Rightarrow a+b = 2.4\times10^{-6}$ m

第 3 级缺失：$k = \dfrac{a+b}{a}k' = 3$. 取 $k'=1$.（第 1 级衍射极小）

$$\Rightarrow \frac{a+b}{a} = 3. \qquad a = 8\times10^{-7}\,\text{m}, \quad b = 1.6\times10^{-6}\,\text{m}.$$

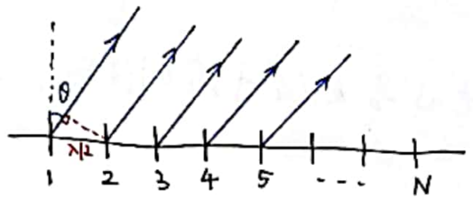
由 $R = \dfrac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$ 知 $N = \dfrac{\lambda}{\Delta\lambda\, k} = \dfrac{600}{0.05\times2} = 6000$.

$\boxed{\text{作业12-37}}$. （球面波）

N 根天线水平排列，发射波长 λ. 相邻天线距离 $\frac{\lambda}{2}$.

从第1根到第N根 相位依次落后 $\frac{\pi}{2}$. （2比1落后, 3比2落后…）

求：什么方向上 电磁波最强



光线1与光线2（相邻天线）光程差 $\delta = \overset{r_1 - r_2}{\cancel{r_2 - r_1}} = \frac{\lambda}{2}\sin\theta$.

而 $\varphi_{10} - \varphi_{20} = +\frac{\pi}{2}$.

干涉增强

总相位差 $\varphi_1 - \varphi_2 = +\frac{\pi}{2} - \frac{r_1 - r_2}{\lambda}2\pi = -\frac{\pi}{2} - \pi\sin\theta = 2k\pi$.

$k = 0, \pm1, \pm2, \cdots$

$\Rightarrow \sin\theta = \frac{1}{2} - 2k$

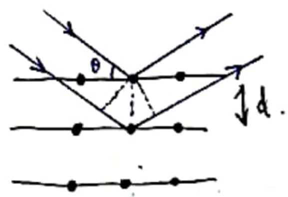
0级干涉最强 $\sin\theta = \frac{1}{2}$.

$\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{6}$.

- X射线衍射.

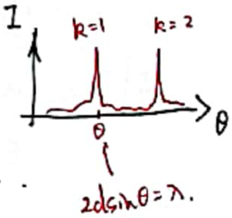
（基础实验）

测晶体面间距.



$\boxed{2d\sin\theta = k\lambda}$ ← Bragg 公式.

衍射极大.

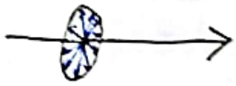
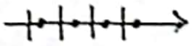


实验：固定波长，改变掠入射角度 θ. 探测"反射"波强度 I.

找到峰位置 θ 即可倒推出晶面间距.

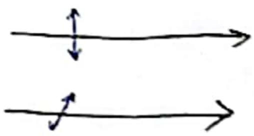
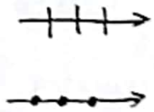
§4. 光的偏振

1. 自然光：振动方向 各个方向都有，均匀分布.

 记作 

2. 线偏光：振动方向单一

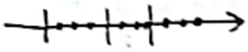
入射光线与法线所在平面

 记作 

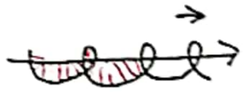
p光（平行于入射面）

s光（垂直于入射面）

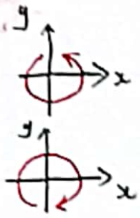
3. 部分偏振光：振动方向不单一，不均匀. 可视作自然光与线偏光的混合.



4. 圆偏光：两个振动垂直、相位差 $\frac{\pi}{2}$ 的等幅线偏光合成.



迎面而来：$\begin{cases} \text{左旋光：逆时针} \\ \text{右旋光：顺时针} \end{cases}$



5. 偏振片：起偏/检偏，相当于作投影

自然光 $I_0 \xrightarrow{\text{起偏器}}$ 线偏光 $\frac{I_0}{2} \xrightarrow{\text{检偏器}}$ 线偏光 $\frac{I_0}{2}\cos^2\alpha$.

Malus定律

入射线偏光 振幅 A_1，与偏振片偏振化方向夹角 α

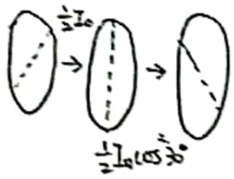
$\Rightarrow$ 透射线偏光 振幅 $A_2 = A_1\cos\alpha$.

$\Rightarrow$ 透射光光强 $I_2 = I_1\cos^2\alpha$.

$\boxed{\text{作业 12-46}}$ 自然光通过两个偏振化方向成 $60°$ 的偏振片后透射光强 I_1.
若中间再插入一个偏振片，其偏振化方向与原先两偏振片夹角 $30°$.
求透射光强.

(I) 

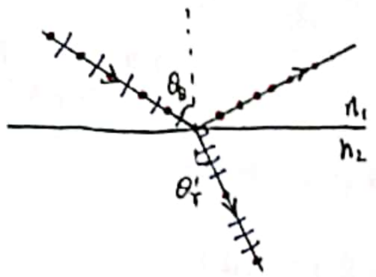
$I_0 \to \frac{1}{2}I_0 \to \frac{1}{2}I_0\cos^2 60° = \frac{1}{8}I_0 = I_1$.

(II) 

$I_0 \to \frac{1}{2}I_0 \to \frac{1}{2}I_0\cos^2 30° \to \frac{1}{2}I_0\cos^2 30°\cdot\cos^2 30° = \frac{9}{32}I_0 = \frac{9}{4}I_1$.

6. 反射与折射中的偏振

实验现象
① 自然光入射界面 ⇒ 反射光以s光(·—·)为主，透射光以p光(+++)为主
② 入射角为θ_B时 ⇒ 反射光只有s光，透射光以p光为主。
且反射光与折射光夹角$\frac{\pi}{2}$.　　$\theta_B + \theta_r = \frac{\pi}{2}$



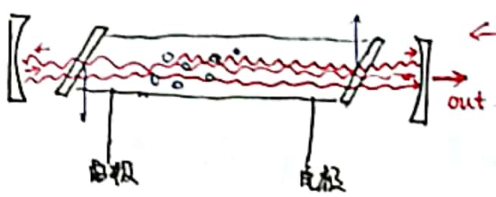
$n_1 \sin\theta_B = n_2 \sin\theta_r = n_2 \cos\theta_B$

$\rightarrow \quad \tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}$

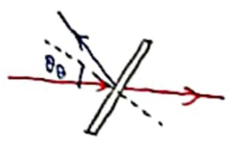
Brewster角.

作业12-52 Ge折射率4.5，求谐振腔中~~Ge~~ Brewster窗与轴线夹角α.
CO_2激光器

激光的三要素
- 增益介质（受激辐射）
- 激励源
- 谐振腔 → 放大，方向性，波长.



↔ 来回反射多次，一方面固定了光的方向，另一方面Brewster窗把s光反射走了，多次后留下p光.
⇒ 最后从右边出射高能量，方向性强的激光.



$\tan\theta_B = \frac{n}{n_0} = 4.5.$

$\theta_B = \arctan 4.5$

$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta_B = \frac{\pi}{2} - \arctan 4.5.$

（注意角度制与弧度制）

---

§5. 双折射 ☆ （单轴晶体）

ordinary　extraordinary

1、几个概念：

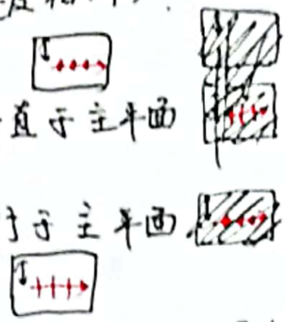
(1) 光轴：沿该方向入射，无双折射现象，o光与e光不分开（速度相同）。

(2) 入射面：入射光线与法线 所在平面

(3) 主平面：~~光线~~ 光线与光轴的 所在平面.

o光：振动方向 垂直于主平面

e光：振动方向 平行于主平面



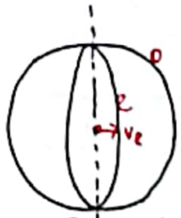
（注：当光轴在入射面内时，o光主平面与e光主平面重合）

(4) 双折射原因：o光与e光 波阵面不同，实质是 e光在晶体内传播速度的 各向异性

正晶体（石英）

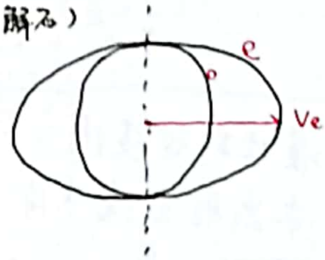
$V_o > V_e$

指垂直于光轴入射时的 e光速度



负晶体（方解石）

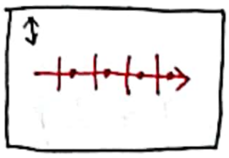
$V_e > V_o$



def 主折射率 $\begin{cases} n_e = \dfrac{c}{V_e} \\ n_o = \dfrac{c}{V_o} \end{cases}$ ← 特指垂直于光轴入射时的情形.

☆ 判断 o光、e光 一定要 ~~一定~~ 先确定光轴方向和入射方向！

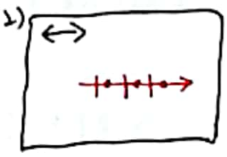
eg: (1)



→ o光

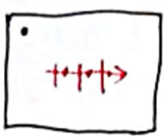
→ e光

(2)



此时沿光轴方向入射，两束光都可以当作o光.

(3)



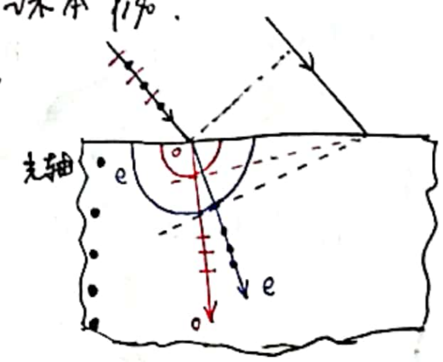
→ e光

→ o光

2. 惠更斯原理：双折射作图 ☆.

eg.1.2.3 课本 P190.

eg.4.



方解石

$V_e > V_o$

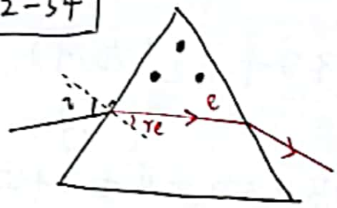
• 速度 $V_o > V_e$ 是正晶体

但 $n_o < n_e$

（折射率大的地方 速度小）

—Feynman

16. 作业 12-54



正三角形棱镜，入射光角 i。

$n_e = 1.49$　　$n_o = 1.66$

e光：$\sin i = n_e \sin r_e$

o光：$\sin i = n_o \sin r_o$

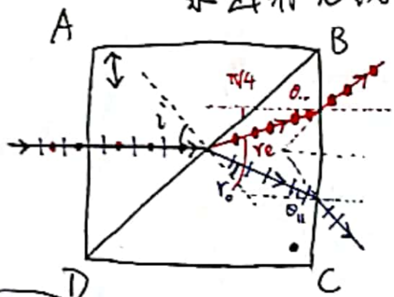
由图知 $r_e = 30^\circ$.

$\therefore n_o \sin r_o = n_e \sin r_e$

$$r_o = \arcsin\left(\frac{n_e}{n_o}\sin r_e\right).$$

作业 12-55 渥拉斯顿棱镜，方解石（负晶体），$n_o = 1.66$，$n_e = 1.49$。

求出射光线夹角及振动方向。



方法

① 确定光轴和入射光线

② 找主平面，确定o光、e光

③ 波阵面作图或折射定律

一步步来看：

① 自然光垂直界面入射，且垂直于光轴，进入ABD.

o光、e光不分开（速度有别，但方向不分开）

在ABD中：主平面是平面ABD（纸面）。所以 o光 ⟷

（光轴在入射面内）　　　　　　　　　　　　　e光 ⇸

② 入射BCD：斜入射，且垂直于光轴，进入BCD.

在BCD中：主平面与平面BCD垂直（纸面）。所以 o光 ⇸

e光 ⟷

光线 ⟷ 在ABD中是o光，在BCD中是e光　　$n_o \sin i = n_e \sin r_e$

光线 ⇸ 在ABD中是e光，在BCD中是o光　　$n_e \sin i = n_o \sin r_o$

（注 o光、e光的判断取决于光轴与入射光线的相对方向！）

$r_e \neq r_o \Rightarrow$ 分开！

③ 出射到空气中（从BC界面）

入射角 θ. e ⟷ ：$\theta_{..} = \frac{\pi}{4} - \left(\frac{\pi}{2} - r_e\right) = r_e - \frac{\pi}{4}$.

o ⇸ ：$\theta_{\parallel} = \frac{\pi}{4} - r_o$

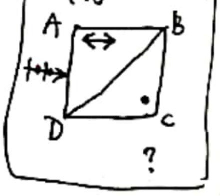
折射：e：$n_e \sin\theta_{..} = \sin\theta_e$

o：$n_o \sin\theta_{\parallel} = \sin\theta_o$.

$\Rightarrow$ 空气出射光线夹角

$\theta = \theta_e + \theta_o$

思考：若ABD光轴与入射光平行，又如何？

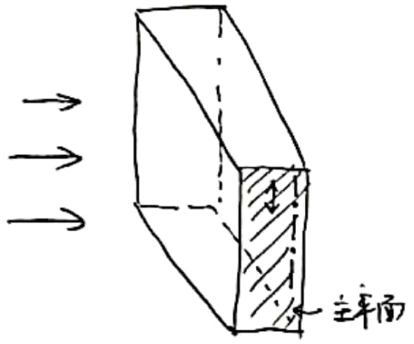


作业 12-56　线偏光垂直入射石英晶体．光轴与晶面平行．$\lambda = 589.3\ nm$

入射振动方向与光轴夹角 α．$n_e = 1.553$，$n_o = 1.541$．

希望出射的 o光与 e光 相位差 $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$．（λ/4波片）．

求λ/4波片最小厚度．



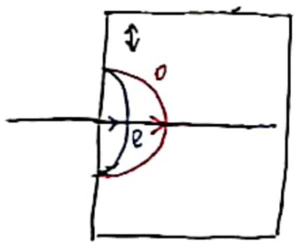
Step 1: 定光轴．入射光

Step 2: 定主平面．o光．e光方向．

o光 →（垂直于主）

e光 →（平行于主）

光程差．



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

$v_o > v_e$．

光程差　$r_o - r_e = n_o d - n_e d \;\cancel{= (2k+1)\frac{\lambda}{4}}\; (2k+1)\frac{\lambda}{4}$

$\cancel{\Delta\varphi = \frac{r_o - r_e}{\lambda} \cdot 2\pi = 2k\pi + \frac{\pi}{2}}$ $\Rightarrow$ $d = \frac{(2k+1)\lambda}{4(n_o - n_e)}$

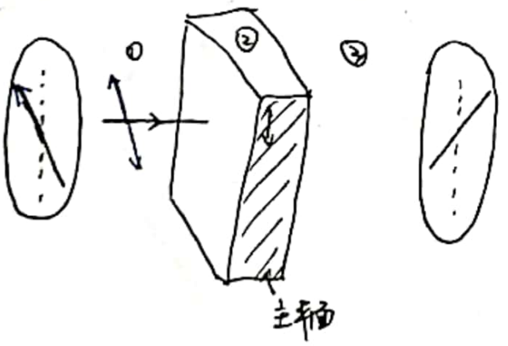
~~最小厚度：~~ $\cancel{(n_o - n_e) d \cdot \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{2}}$　取 $k = -1$．

$\cancel{\Rightarrow d = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}}$　$d_o = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)} \approx 0.012mm$

作业 12-57　方解石厚度 $10\mu m$．光轴平行于表面，放置在两个正交偏振片之间，

光轴 ~~与分别~~ 与偏振化方向夹角 $45°$．

希望 600nm 通过该系统后极大，晶片厚度应磨去多少？



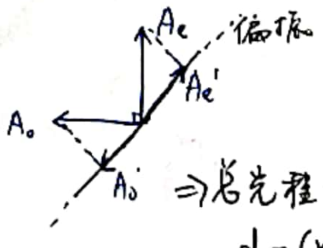
o光 →

e光 →

② 在方解石中：

光程差 $\delta = r_o - r_e = (n_o - n_e)d$．

③ 离开方解石，入射最后一个偏振片



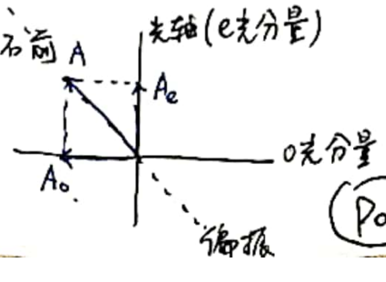
e光与o光都有贡献

光程差相当于再加 $\frac{\lambda}{2}$

⇒总光程差

$d = (n_o - n_e)d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$．

① 入射方解石前



取 $k = 3$ 有 $d = 8.8\mu m$．$\Delta = 1.2\mu m$