22-23 年第二学期光学期末考试考纲

章小明

2023 年 7 月 11 日

目录

1 光与光的传播

1. Huygens 原理: 介质中波动传播到的各点都可以看作是发射子波的波源, 而在其后的任意时刻, 这些子波的包络就是新的波前.
2. Fermat 原理: 两点间的实际路径就是光程 (或所需传播时间) 取**平稳**的路径.
3. 棱镜的最小偏向角 δ_m 满足 $\dfrac{\sin\frac{\alpha+\delta_m}{2}}{\sin\frac{\alpha}{2}}=n$

作业题:1-10,13,15.

2 几何光学成像

1. 单折射球面成像公式 $\dfrac{n}{s}+\dfrac{n'}{s'}=\dfrac{n'-n}{r}$, 反射球面成像公式 $\dfrac{1}{s}+\dfrac{1}{s'}=-\dfrac{2}{r}$. 焦距 f 是 $s'=\infty$ 时的 s,f' 同理.
2. 折射球面成像放大率 $V=-\dfrac{ns'}{n's}$, 反射球面成像放大率 $V=-\dfrac{s'}{s}$.
   $|V|>(<)1$ 则为放大 (缩小) 像;$V>(<)0$ 则为正立 (倒立) 像;$s'>(<)0$ 则为实 (虚) 像.
3. 薄透镜 $(n=n')$:$\dfrac{1}{s}+\dfrac{1}{s'}=\dfrac{1}{f}$, 成像放大率 $V=-\dfrac{s'}{s}$. 磨镜者公式:$f=f'=\left[\left(\dfrac{n_L}{n}-1\right)\left(\dfrac{1}{r_1}-\dfrac{1}{r_2}\right)\right]^{-1}$.
4. 光焦度 $P=\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{f_1}+\dfrac{1}{f_2}$, 单位为屈光度 $\mathrm{D}=\mathrm{m}^{-1}$.
5. 作图基本方法: 三条特殊光线作图法, 一般光线作图法 (主副光轴).
6. 光学仪器 (待补充)

作业题:2-5,10,15,24,40,41,43.

3 干涉

1. 分波型干涉装置 (以 Young 双缝干涉为代表): 计算条纹及其间隔
   记 R 为光源到双缝距离,D 为双缝到屏幕距离,d 为缝距, 则在 $x=k\dfrac{\lambda D}{d}$ 处相干极大,$x=\left(k+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{\lambda D}{d}$ 处相干极

小, 条纹间距为 $\Delta x=\dfrac{\lambda D}{d}$.

条纹位移 δx 与点光源位移 δs 关系为 $\delta x=-\dfrac{D}{R}\delta s$.

类 Young 双镜装置:Fresnel 双镜,$\Delta x=\dfrac{(B+C)\lambda}{2\alpha B}$, 其中 α 是双镜所夹锐角,B 是双缝到双镜连接处距离,C 是双镜连接处到屏幕距离;Fresnel 双棱镜,$\Delta x=\dfrac{\lambda(B+C)}{2(n-1)\alpha B}$, 其中 α 是棱镜角,B 是光源到棱镜距离,C 是棱镜到屏幕距离;Lloyd 镜,$\Delta x=\dfrac{D\lambda}{2a}$, 其中 a 是光源到镜的垂直距离,D 是光源 (缝) 到屏幕距离.

2. 干涉相干条件, 干涉叠加

   干涉条纹衬比度 $\gamma=\dfrac{I_{\max}-I_{\min}}{I_{\max}+I_{\min}}\in[0,1]$. 光源宽度的极限 $b=\dfrac{R}{d}\lambda$.

   光场的空间相干性: 给定宽度 b 后, 在多大范围取出的两个次波源还是相干的, 称为两次波源的空间相干性. 相干线宽 d, 相干面积 d^2, 相干孔径角 $\Delta\theta_0=\dfrac{d}{R}$. 空间相干性反比公式 $b\Delta\theta_0=\lambda$.

3. 分振幅干涉装置 (薄膜干涉)

   (a) 等厚干涉: 明纹暗纹, 劈尖干涉, 等等

   $\Delta L=2nh\cos i=k\lambda$ 或 $\left(k+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$ 时取到相干极大或极小,$\Delta h=\dfrac{\lambda}{2n}$. 折射角 i 充分小时 $\Delta L\approx 2nh$. 注意:$n_1<n>n_2$ 或 $n_1>n<n_2$ 时会有半波损失.

   对于劈尖, 条纹间隔为 $\Delta x=\dfrac{\lambda}{2n\alpha}$. 对于楔形薄膜, 可测量楔角 $\theta=\dfrac{\lambda}{2nb}$,$b$ 为条纹间隔, 也可以测量其厚度 $e=N\dfrac{\lambda}{2n}$,N 为条纹出现的次数,n 为薄膜折射率.

   Newton 环: 明环半径 $r_k=\sqrt{\left(k+\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{R\lambda}{n}}$, 暗环半径 $r_k=\sqrt{k\dfrac{R\lambda}{n}}$,$k\geq 0$. 由此可以测量透镜曲率半径 $R=n\dfrac{r_{k+m}^2-r_k^2}{m\lambda}$. 注意,$n_1<n_2<n_3$ 时有半波损失, 此时相干极大极小 (即明暗纹) 颠倒.

   (b) 等倾干涉: 搞懂书上例题 (PPT P_{165} 例 1,P_{171} 例 2)

   定义: 具有同一倾角的反射光线汇聚于同一级次上的干涉条纹.

   光程差公式与相干极大位置同等厚干涉, 条纹间距 $\Delta r=r_{k+1}-r_k\propto i_{k+1}-i_k=-\dfrac{\lambda}{2nh\sin i_k}$. 注意:$n_1<n>n_2$ 或 $n_1>n<n_2$ 时会有半波损失.

   薄膜厚度增加则条纹变密, 条纹外扩 (中心吐条纹), 反之变稀, 中心吞条纹. 吞吐一根条纹 $\Delta h=\dfrac{\lambda}{2n}$.

   (c) Michelson 干涉仪

   衬比度变换的空间频率 $\nu=\dfrac{1}{2N_1\lambda_1}\approx\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda^2}$. 其中 $N_1\approx\dfrac{\lambda}{2\Delta\lambda}$.

作业题:3-2,7,9,11,12,13,17,23.

4 衍射

1. 衍射的基本概念: 光波在传播过程遇到障碍物时光束偏离直线传播, 强度发生重新分布的现象.

   与干涉的联系: 干涉是有限个离散波的相干叠加, 衍射是无限个连续波的相干叠加.

   Fresnel 衍射 (Fraunhofer 衍射): 光源和接受屏距离衍射屏幕有限 (无限) 远.

2. Huygens-Fresnel 原理: 波前 Σ 上每个面元 $\mathrm{d}\Sigma$ 都可以看成是新的振动中心, 它们发出次波. 在空间某一点 P 的振动是所有这些次波在该点的相干叠加.

   Babinet 原理: 两个互补的屏在像平面上产生的衍射图样完全一样 (像点除外).

3. Fresnel 圆孔/圆屏衍射: 半波带法 + 矢量图法 (习题 + 例题, 书 P_{176} 例 3,P_{177} 例 4)

   半波带法:$A(P_0)=\dfrac{A_1+(-1)^{n+1}A_n}{2}$, 其中 $A_k\propto f(\theta_k)\dfrac{\pi R\lambda}{R+b}$. 自由传播时波前在 P_0 处振幅 $A_0=\dfrac{A_1}{2}$, 即为第一个半波带的一半; 圆孔衍射中, 随着圆孔增大, 中心强度明暗交替变化; 圆屏衍射中, 中心场点总是亮的. 半波带法只适合圆孔/圆屏能整分半波带的情况.

   矢量图法: 将半波带分为 m 个更窄的小环带 (在一个半圆上), 写出每个小环带的复振幅, 画出矢量图再得到其和.

   Fresnel 波带片: 半波带半径 $\rho_k=\sqrt{\dfrac{Rb}{R+b}k\lambda}$,$k$ 奇亮偶暗. 成像公式 $\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{k\lambda}{\rho_k^2}=\dfrac{1}{f}$, 其有一系列焦点

$\pm\dfrac{f}{2k+1}, k \geq 0.$

4. Fraunhofer 单缝衍射 + 光栅衍射 (必考): 计算主次极大位置, 缺级现象, 计算级次, 缝宽, 光栅常数, 明纹暗纹位置, 半角宽度.

   单缝衍射因子 $I_\theta = I_0\left(\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2$, 其中 $\alpha = \dfrac{\pi a}{\lambda}\sin\theta$. 矩孔衍射的强度公式 $I(P) = I_0\left(\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\dfrac{\sin\beta}{\beta}\right)^2$.

   次极大位置在 $\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\alpha}\dfrac{\sin\alpha}{\alpha} = 0$ 处, 即 $\tan\alpha = \alpha$ 的解, 而暗斑则在 $\sin\alpha = 0$ 处, 即 $\alpha = \pm k\pi$ 处.

   半角宽 $\Delta\theta = \dfrac{\lambda}{a}$ 是衍射效应强弱的标志. 线宽 $\Delta l = 2f\Delta\theta$.

   Airy 斑 (第一暗环的半角宽)$\Delta\theta = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$(书 P_{190} 例 6,7)

   光栅常数 $d = a + b$,N 缝 Fraunhofer 衍射的光强分布 $I = I_0\left(\dfrac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2\left(\dfrac{\sin N\beta}{\beta}\right)^2, \alpha = \dfrac{\pi a}{\lambda}, \beta = \dfrac{\pi d}{\lambda}\sin\theta$.

   主极大位置 $\beta = k\pi$, 大小 $I_{\max} = N^2 I_{单缝}$, 最大级 $k = \dfrac{d\sin\theta}{\lambda} < \dfrac{d}{\lambda}$. 零点位置 $\beta = \left(k + \dfrac{m}{N}\right)\pi, m \in [N-1]$. 相邻主极大间有 $N-1$ 条暗线, 有 $N-2$ 个次极大. 普遍半角宽度 $\Delta\theta_k = \dfrac{\lambda}{Nd\cos\theta_k}$.

   缺级现象 $k = m\dfrac{d}{a}, m = \mathbb{Z} - 0$.

5. 圆孔衍射: 计算最小分辨角和半角宽度
6. 望远镜物镜的最小分辨角 $\delta\theta_{\min} = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$ 和视角放大率 $M = \dfrac{\delta\theta_{\mathrm{e}}}{\delta\theta_{\min}} = \dfrac{2.9\times10^{-4}\mathrm{rad}}{1.22}\dfrac{D}{\lambda}$. 光学仪器分辨率 $R = \dfrac{1}{\delta\theta_{\min}}$.
7. 光栅光谱仪: 色分辨本领 (书 P_{207} 例 12,P_{208} 例 13) 和色散本领 (PPT P_{275} 例 11)

   光栅方程 $d\sin\theta = k\lambda$.

   两条谱线中心的波长间隔 $\delta\lambda$ 与被分开的角距离 $\delta\theta$ 或在屏幕上被分开的线距离 δl 之比分别称为角色散本领 D_θ 和线色散本领 D_l. 光栅的角色散本领 $D_\theta = \dfrac{k}{d\cos\theta_k}$, 线色散本领 $D_l = \dfrac{kf}{d\cos\theta_k}$.

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

作业题:4-1,2,9,14,15,29,30.

6 偏振

1. Malus 定律 $I = I_0\cos^2\theta$(线偏振光), 偏振度 $P = \dfrac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$.
2. Brewster 角的计算 $i_B = \arctan\dfrac{n_2}{n_1}$.
3. 五种偏振光的区分: 先旋转检偏器, 若光强不变则为圆偏振光或自然光, 若有消光则为线偏振光, 否则为椭圆偏振光或部分偏振光. 将前者依次通过 $\dfrac{\lambda}{4}$ 波晶片和偏振片并旋转偏振片, 若有消光则为圆偏振光, 否则为自然光. 将后者通过偏振片并将偏振片旋至光强最强位置, 再在其后放置 $\dfrac{\lambda}{4}$ 波晶片, 将光轴旋至与偏振片透振方向平行. 将偏振片移前并旋转一周, 若有消光则为椭圆偏振光, 否则为部分偏振光.
4. 双折射的概念与原因: 双折射是光束入射到各向异性晶体中, 被分解为两束光而沿不同方向折射的现象. 形成原因是两束折射光在晶体内的传播速度不同.

   o 光服从折射定律,e 光不服从;o 光和 e 光仅在光轴上不分开;$n_{\mathrm{o}}v_{\mathrm{o}} = c$.

5. 偏振光的 Huygens 作图法
6. 圆偏振光的获得 (用偏振片 + 波晶片) 与检验 (用 $\dfrac{\lambda}{4}$ 波晶片 + 偏振片).

   $\delta_{出} = \delta_{入} + \delta = \pm\pi + \dfrac{2\pi}{\lambda}(n_{\mathrm{o}} - n_{\mathrm{e}})d, A_{\mathrm{e}} = A\cos\alpha, A_{\mathrm{o}} = A\sin\alpha$.

   圆偏振光:$\alpha = \dfrac{\pi}{4}, \delta = \pm\dfrac{\pi}{2}$. 椭圆偏振光:$\delta = \pm\dfrac{\pi}{2}, \alpha \neq 0, \dfrac{\pi}{4}, \dfrac{\pi}{2}$.

7. 通过 $\dfrac{\lambda}{4}$ 波晶片后光束偏振态的变化: 线偏振: 若 e 轴或 o 轴与偏振方向一致, 则得到线偏振光; 若 e 轴或 o 轴与偏振方向成 $\dfrac{\pi}{4}$ 角, 得到圆偏振光, 除此之外得到椭圆偏振光. 圆偏振通过后得到线偏振. 椭圆偏振的主轴若与 e 轴

或 o 轴一致则得到线偏振, 否则得到椭圆偏振.

8. 偏振光的干涉 (必考, 例题 + 作业).

   自然光 $\overset{偏振片P_1}{\to}$ 线偏振光 $\overset{波晶片上}{\to}$ 相位差为 $\delta_入 = 0$ 或 π, 且 $A_e = A_1\cos\alpha, A_o = A_1\sin\alpha$ 的偏振光 $\overset{波晶片出射后}{\to}$ 相位差为 $\delta_入 + \dfrac{d}{2\pi}(n_o - n_e) \overset{偏振片P_2}{\to}$ 相位差为 $\delta = \delta_入 + \Delta + \delta', \delta' = 0$ 或 π, 且 $A_{e2} = A_1\cos\alpha\cos\beta, A_{o2} = A_1\sin\alpha\sin\beta, I_2 = A_2^2 = A_{e2}^2 + A_{o2}^2 + 2A_{e2}A_{o2}\cos\delta$. 其中 δ' 是坐标轴投影相位差, 即 e 轴和 o 轴正方向向 P_2 透振方向投影, 若同向则取 0, 否则取 π.

   若 $P_1 \perp P_2$ 则 $I_2 = \dfrac{A_1^2}{2}(1-\cos\Delta)$,$P_1 \parallel P_2$ 则 $I_2 = \dfrac{A_1^2}{2}(1+\cos\Delta)$. 当 $\Delta = 2k\pi$ 或 $(2k+1)\pi$ 时, 偏振片透振方向垂直或平行会使得透射光消光.

   干涉条纹成像于屏幕上, 设 $P_1 \perp P_2$, 在 $d = \dfrac{k\lambda}{n_o - n_e}$ 处 $I_\perp = 0$. 干涉条纹的间距 $\Delta x = \dfrac{\lambda}{(n_o - n_e)\alpha}$, 其中 α 是波晶片晶楔夹角.

9. 旋光的概念: 线偏振光在石英晶体内沿光轴传播时, 偏振面被旋转了一个角度 $\psi = \alpha d, \alpha$ 被称为旋光率. 在量糖术中 $\psi = [\alpha]Nl, [\alpha]$ 被称为比旋光率.

作业题:6-1,2,20,33,34,38.