光学复习

樱井 雪子

1 几何光学

- 符号法则中，球反射的像距是特例

1.1 球面折射

$$\frac{n'}{s'}+\frac{n}{s}=\frac{n'-n}{r},\ V=-\frac{ns'}{n's}$$

1.2 球面反射

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=-\frac{2}{r},\ V=-\frac{s'}{s}$$

1.3 薄透镜

$$f=\frac{n}{\frac{n_L-n}{r_1}+\frac{n'-n_L}{r_2}},\ f'=\frac{n'}{\frac{n_L-n}{r_1}+\frac{n'-n_L}{r_2}}$$

$$n=n'\Rightarrow f=f'=\frac{1}{\left(\frac{n_L}{n}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)}$$

$$V=-\frac{ns'}{n's}$$

1.4 其他放大率

1.4.1 纵向放大率

$$\alpha\equiv\frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}x}=\frac{n'}{n}\beta^2$$

1.4.2 角放大率

$$\beta\gamma=\frac{n}{n'}$$

- 几何光学作图法

2 光的干涉

2.1 基础

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\Delta\varphi)$$
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta$$

- 相长：$\Delta\varphi = 2k\pi$，$\delta = k\lambda$
- 相消：$\Delta\varphi = (2k+1)\pi$，$\delta = (k+\frac{1}{2})\lambda$

2.2 杨氏双缝

2.2.1 基础

$$\delta = d\cdot\sin\theta = d\cdot y/D,\ \Delta y = \frac{\lambda D}{d}$$

注意，这里说的是一条亮线到相邻亮线的间距，是周期

- 光源上下移动：直接相似三角形
- 空气入射到水的反射光，有半波损失

2.2.2 空间相干性

- 光源的极限宽度——用光源上下移动的方法算出来的，移动距离使得条纹移动距离等于条纹间距

2.3 薄膜干涉

2.3.1 等倾

$$\delta = 2nh\cos\gamma = 2h\sqrt{n^2 - n_1^2\sin^2 i}$$

这里 γ 是折射角，暂时没有计入半波损失，考虑时，需要考虑两个界面上的

- 干涉圆环级次内大外小，厚度增大，中心处有圆环冒出
- 透射光干涉的光程差，也是上面那个东西，不过 $n_1 \to n_2$

2.3.2 等厚

- 光程差，还是上面那个，垂直入射时（暂时没有考虑半波损失）：

  $$\delta = 2nh$$

- 牛顿环

  $$\delta = 2\times h + \frac{\lambda}{2} = 2\times\frac{r^2}{2R} + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$$

  暗环：$\delta = (k+1/2)\lambda$，包括 $r = 0$

2.4 迈克尔逊干涉仪

$$\delta = 2d$$

注意这个 2，以及薄膜干涉中的 2

2.5 干涉条纹可见度、时间相关性

- 光源非单色：$k_{max} = \lambda/\Delta\lambda, \delta_{max} = \lambda^2/\Delta\lambda$
- 相干时间：$\Delta\tau_0 = \delta_{max}/c$

3 光的衍射

3.1 菲涅尔衍射

3.1.1 半波带法

- $a_i \approx \frac{a_{i-1}}{2} + \frac{a_{i+1}}{2}$
- $A(P) = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2}$，奇、偶
- 振幅矢量法：将一个半波带细分（半圆）

3.1.2 圆孔

计算露出的半波带数

$$r_k = r_0 + \frac{k\lambda}{2},\ r_k^2 = \rho_k^2 + (r_0+h)^2,\ R^2 = \rho_k^2 + (R-h)^2 \Rightarrow k_{max} = \frac{\rho^2}{\lambda}\left(\frac{1}{r_0} + \frac{1}{R}\right)$$

3.2 夫琅禾费衍射

3.2.1 单缝

$$A_p = A_0 \frac{\sin u}{u},\ u = \frac{\pi b}{\lambda}\sin\theta$$

其中 b 缝宽，θ 观察角度

- 极值
  - 极值条件：$\sin u = 0,\ u = \tan u$
  - 主极大：$u = 0$
  - 次极大：$u = \tan u,\ u \neq 0,\ \sin\theta \approx (k+1/2)\lambda/b$
  - 极小：$\sin u = 0,\ u \neq 0,\ \sin\theta = k\lambda/b$
- 亮纹
  - 中央极大，第一级暗纹：$b\sin\theta_1 = \lambda$，** 半 ** 角宽度：$\Delta\theta_0 = \arcsin(\lambda/b)$，线宽度：$2f\lambda/b$
  - 其他亮纹：$\Delta\theta_k = \lambda/b,\ \Delta x_k = f\lambda/b$

3.2.2 圆孔

- 艾里斑半角宽/一级暗环衍射角：$\sin\theta_1 = 0.61\times\lambda/r = 1.22\times\lambda/d$
- 光学仪器最小分辨角 $\theta_R = 1.22\lambda/d$，分辨本领 $R = 1/\theta_R$

3.3 光栅

$$A_p = A_0\frac{\sin u}{u}\times\frac{\sin N\nu}{\sin\nu},\ u=\frac{\pi b\sin\theta}{\lambda},\ \nu=\frac{\pi d\sin\theta}{\lambda}$$

其中，b 透光缝宽，d 光栅常数

- 单缝衍射因子：$\sin u/u$，决定主极大强度
- 缝间干涉因子：$\sin N\nu/\sin\nu$，决定主极大位置
- 相邻主极大之间有 $N-1$ 个极小和 $N-2$ 个次极大

3.3.1 条纹

- 亮条纹：$d\sin\theta = k\lambda$
  - 最大级次：$\theta = \pm\pi/2$
  - （各个）主极大（半?）角宽度：$\Delta\theta = \lambda/Nd\cos\theta$
- 暗条纹：$d\sin\theta = \lambda\cdot m/N,\ m = 1,2,\ldots,N-1,N+1\ldots,\ m\neq kN$
- 缺级：$\sin u = 0,\ \sin\nu = 0$
  - 如果 $(a+b)/b = 3/1 = k/n$，则 $k = 3,6,9,\ldots$ 缺级
  - 如果 $(a+b)/b = 3/2 = k/n$，则 $k = 3,6,9,\ldots$ 缺级

3.3.2 分辨本领

- 角色散率：$\mathrm{d}\theta/\mathrm{d}\lambda = k/d\cos\theta$
- 线色散率：$\mathrm{d}l/\mathrm{d}\lambda = f\mathrm{d}\theta/\mathrm{d}\lambda = kf/d\cos\theta$
- 光栅的分辨本领：$R = \lambda/\Delta\lambda = kN$

3.4 X 射线衍射

- 布拉格方程：$\delta = 2d\sin\theta = k\lambda$

4 光的偏振

- 五种偏振态：自然光、线偏振光、部分偏振光、椭圆偏振光、圆偏振光
  - 迎着光的传播方向观察（同一场点），电矢量沿顺（逆）时针转，右（左）旋光
  - 区分五种偏振态：先用偏振片，再用四分之一波片
- 马吕斯定律：$I = I_0\sin^2\alpha$

4.1 反射和折射光

- 菲涅尔公式

4.1.1 反射光

$$\frac{A'_{s1}}{A_{s1}} = -\frac{\sin(i_1 - i_2)}{\sin(i_1 + i_2)},\ \frac{A'_{p1}}{A_{p1}} = \frac{\tan(i_1 - i_2)}{\tan(i_1 + i_2)},\ n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

- 垂直入射或掠入射时，……
- 垂直振动多于平行振动
- 布儒斯特定律：$i_1 + i_2 = \pi/2(\text{i.e.}\ \ \tan i_1 = n_2/n_1) \Rightarrow A'_{p1}/A_{p1} = 0$，线偏振

4.1.2 折射光

$$\frac{A_{s2}}{A_{s1}} = \frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2)},\ \frac{A_{p2}}{A_{p1}} = \frac{2\sin i_2 \cos i_1}{\sin(i_1 + i_2)\cos(i_1 - i_2)},\ n_2 \sin i_2 = n_1 \sin i_1$$

- 平行振动多于垂直振动
- 自然光以布儒斯特角入射时，折射光仍是部分偏振光:

$$A_{s2} = A_{s1} \cdot 2\sin^2 i_2,\ A_{p2} = A_{p1} \cdot \tan i_2$$

- 玻璃片堆

$$A_s^{(2n)} = A_s \cdot \sin^n(2i_2) \to 0,\ A_p^{(2n)} = A_p$$

4.2 双折射

- o 光 e 光都是线偏振光
- 光轴：一个特殊方向，光线延此方向传播不发生双折射
- 主截面：晶体的光轴与表面法线组成的平面
- 主平面：晶体光轴与光纤组成的平面
- 垂直入射线偏振光, 振动平面与主截面夹角为 θ, o 光振动垂直于主截面: $A_0 = A\sin\theta,\ A_e = A\cos\theta,\ I_o = n_o A_o^2 = n_o A^2 \sin^2\theta,\ I_e = n_e A_e^2 = n_e(\alpha) A^2 \cos^2\theta$, 出射之后仍有: $I_o/I_e = \tan^2\theta$
- 对于光轴，负晶体（方解石）$v_\perp > v_\parallel$，正晶体（石英）相反
- 作图法：惠更斯原理，波前

4.3 晶体偏振器件

- 尼科尔棱镜是一个偏振片
- 四分之一波片、二分之一波片：使得 o 超前 e 这么多个波长（相位超前这么多个 2π）

4.4 旋光效应

- $\theta = \alpha d$
- 迎着光线观察，顺（逆）时针旋转，右（左）旋物质