

# 第一次习题课光学部分整理

by mobius

2024.4.26

## Part1 几何光学

- 基本定律

- 成立条件:

- 研究对象的几何尺寸D远大于入射光波长 $\lambda$
    - 入射光强不太强

- 光的直线传播定律、独立传播定律

- 反射和折射定律:

- 反射定律:  $\theta = \theta'$
    - 折射定律:  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
    - 全反射现象:  $i_c = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$

- 光程

- 光程的大小等于光在介质中传播路程与折射率的点乘, 且与传播的时间成正比

- 公式:

- 均匀介质:  $L = ns$
    - 连续变化的介质:  $L = \int_A^B n ds$

- 费马原理

- 表述

- 表述一: 光线从空间一点传播到另一点, 沿所需时间为驻值的路径传播:  $\delta t = 0, t = \int_A^B \frac{ds}{v}$
    - 表述二: 光线是沿光程为驻值的路径传播的:  $\delta L = 0, L = \int_A^B n ds$

- 应用

- 利用变分法, 可得光线的真实路径满足的程函方程

- 薄透镜成像

- 成像公式:

- 高斯成像公式:  $\frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$
    - 牛顿成像公式:  $x'x = f'f$

- 光线作图

- 透镜成像性质:

- 1. 平行于光轴的物方入射光线, 折射后成为经过像方焦点的光线
      - 2. 经过物方焦点的入射光线, 折射后成为平行于光轴的像方光线
      - 3. 经过光心的物方入射光线, 折射后成为同方向经过光心的像方光线

- 注意点:

- 1. 两个焦点和两个主点, 四点完全确定了光具组的成像性质
      - 2. 物方焦距以物方焦点在物方主平面的左侧为正, 像方焦距以像方焦点在像方主平面的右侧为正

## Part2 波动光学

### • 光是电磁波

- 标量波函数:  $E(\vec{r}, t) = E_0(\vec{r})\cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi_0)$
- 复波函数:  $\tilde{E}(\vec{r}, t) = \tilde{E}_0(\vec{r})e^{-i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi_0)}$
- 叠加原理: 当多列光波同时存在时, 在重叠区域, 光矢量是各列波的光矢量之和
  - 传播介质为线性介质。
  - 振动不十分强
  - 振动矢量(瞬时值)的叠加

### • 光的干涉

#### ◦ 相干条件:

- 存在互相平行的电场分量
- 频率相同
- 相位差稳定

#### ◦ 干涉条纹:

- 光程差与光强的关系:  $\Delta L = L_2 - L_1 = \begin{cases} m\lambda_0, m \in Z & \text{干涉极大} \\ (m + \frac{1}{2})\lambda_0, m \in Z & \text{干涉极小} \end{cases}$
- 反衬度:  $\gamma \stackrel{\text{def}}{=} \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

#### ◦ 杨氏双缝干涉

- 两列波在屏幕任一点的光程差:  $\Delta L = L_2 - L_1 = \sqrt{D^2 + (x + \frac{d}{2})^2} - \sqrt{D^2 + (x - \frac{d}{2})^2} \approx \frac{d}{D}x$
- 干涉条纹间隔:  $x = \frac{D\lambda_0}{d}$
- 光强分布:  $I(x) = 2I_0 \cos^2\left(\frac{\pi d}{\lambda_0 D}x\right)$
- 移动光源:  $\frac{\Delta s}{l} = -\frac{\Delta h}{D}$

#### ◦ 等倾干涉\*

- 两束出射光的光程差为:  $\Delta L = 2h\sqrt{n^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_i} + \frac{\lambda}{2}$
- 亮圆环:  $2nh \cos \theta_r + \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots$

#### ◦ 等厚干涉\*

- 劈尖干涉:  $\Delta L = 2h - \frac{\lambda}{2}$
- 牛顿环: 原理类似, 用做差法计算

### • 光的衍射

#### ◦ 基尔霍夫衍射公式

- 菲涅尔-基尔霍夫衍射公式:  $\tilde{E}(P) = -\frac{i}{\lambda} \iint_{\Sigma} \frac{\cos \theta_0 + \cos \theta}{2} \tilde{E}_0(Q) \frac{e^{ikr}}{r} d\Sigma$
- 入射光与衍射光不都是平行光的衍射, 称为菲涅尔衍射或近场衍射; 入射与衍射光都是平行光的衍射, 称为夫琅和费衍射
- 巴比涅原理:  $\tilde{E}_a(P) + \tilde{E}_b(P) = \tilde{E}_0(P)$

#### ◦ 单缝夫琅和费衍射

- 屏幕上光强:  $\tilde{E} = \tilde{E}_0 \sin c\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right), I = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right)$
- 亮条纹:  $\frac{d}{d\alpha} \sin c(\alpha) = 0 \Rightarrow \alpha = \tan \alpha$
- 暗条纹:  $\text{sinc}(\alpha) = 0 \Rightarrow \alpha = m\pi, \sin \theta = m \frac{\lambda}{a}$
- 零级衍射斑的半角宽:  $\Delta \theta = \frac{\lambda}{a}$

- 圆孔夫琅和费衍射\*

- 光强分布:  $\tilde{I} = \tilde{I}_0 \frac{2J_1(2\alpha)}{2\alpha}$
- 主极大角宽度:  $\Delta\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$
- 瑞利判据: 两个艾里斑的角距离大于等于每个艾里斑的半角宽

- 光栅衍射\*

- 光强分布:  $I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right)^2$
- 主极大位置:  $\delta = 2m\pi$
- 光栅方程:  $d \sin \theta = m\lambda$

## Part3 光的偏振

- 偏振光

- 分类:

- 自然光: 振幅在各个方向上平均分布
    - 偏振光: 振动集中在一个方向上
    - 圆偏振光、椭圆偏振光: 两列偏振光的叠加
    - 部分偏振光: 各个方向都有振动, 但有优势方向

- 偏振度:  $P \stackrel{\text{def}}{=} \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

- 偏振片&布儒斯特角

- 吕马斯定理:  $I = I_0 \cos^2 \alpha$
  - 布儒斯特角\*:  $\theta_b = \arctan \frac{n_2}{n_1}$

## Part4 黑体辐射&光电效应

- 黑体辐射

- 辐射与吸收

- 热辐射: 分子或原子由带电粒子组成, 在热运动时会产生电磁辐射
    - 单色辐射本领  $r(\lambda, T)$ : 在温度为  $T$  的热辐射体表面, 单位面积、单位波长范围内辐射的电磁波功率
    - 总辐射本领: 单位表面积辐射的总功率  $R(T) = \int_0^\infty r(\lambda, T) d\lambda$
    - 单色吸收本领: 单位面积、时间、波长内被物体吸收的能量与辐射到物体上的总能量比值  $\alpha = \frac{dE'(\lambda, T)}{dE(\lambda)}$

- 热平衡辐射

- 基尔霍夫定律:  $\frac{r_1(\lambda, T)}{\alpha_1(\lambda, T)} = \frac{r_2(\lambda, T)}{\alpha_2(\lambda, T)} = r_0(\lambda, T)$

- 黑体辐射:

- Stefan-Boltzmann定律:  $R = \sigma T^4$
    - 维恩位移定律:  $r(\lambda, T)$  的极大值点为  $\lambda_m = \frac{b}{T}$
    - 普朗克公式:  $r_0(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda k_B T)} - 1}$

- 光电效应

- 光电效应规律

- 存在饱和电流
    - 存在反向截止电压
    - 改变入射光强，发现饱和光电流与光强成正比
    - 不改变光强，而是改变入射光的频率 $\nu$ ，饱和电流不变
    - 反向截止电压随频率升高而升高
    - 从光开始照射阴极，到发射出光电子，所需的驰豫时间  $< 10^{-9}$ 秒

- 与经典物理的矛盾

- 光的波粒二象性

- 相对论质能关系:  $E = mc^2$

- 光子动量:  $p = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \hbar k$

- 康普顿散射

- 康普顿散射公式:  $\Delta\lambda \stackrel{\text{def}}{=} \lambda - \lambda_0 = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$

## 考试提醒

- 1.讲义的标星部分不在考试范围内
- 2.考试形式包含判断题，简答题和计算题
- 3.课后作业很重要