

利用双棱镜研究双光束干涉预习报告

郑晓旻

2024 年 3 月 7 日

目录

1	实验目的	2
2	实验仪器	2
3	实验原理	2
3.1	双光束干涉原理	2
3.2	菲涅耳双棱镜干涉原理	2
3.3	虚像光源间距的测量	3
4	实验方法	4
5	预习思考题	5

1 实验目的

1. 学习光路的调节方法;
2. 学习用双棱镜干涉测量光波长的方法。

2 实验仪器

1. 光学导轨
2. 钠灯
3. 双棱镜
4. 可调狭缝
5. 凸透镜
6. Cmos 相机, 型号 MUS500C-G

3 实验原理

3.1 双光束干涉原理

双光束干涉是指相干的两列波在空间相遇时, 由于波的叠加而产生明暗相间的条纹。设两列相干光的复振幅分别为 \vec{E}_1 和 \vec{E}_2 , 它们在空间某点 P 的振动方程为:

$$\vec{E}_1 = \vec{A}_1 e^{i(\omega t - \phi_1)}$$

$$\vec{E}_2 = \vec{A}_2 e^{i(\omega t - \phi_2)}$$

其中 \vec{A}_1 和 \vec{A}_2 分别为两列光在 P 点的振幅, ϕ_1 和 ϕ_2 为相位。两列光在 P 点的合振幅为:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{A}_1 e^{i(\omega t - \phi_1)} + \vec{A}_2 e^{i(\omega t - \phi_2)}$$

光强与振幅的平方成正比, 因此 P 点的光强为:

$$I = |\vec{E}|^2 = |\vec{A}_1|^2 + |\vec{A}_2|^2 + 2|\vec{A}_1||\vec{A}_2|\cos\delta$$

其中 $\delta = \phi_1 - \phi_2$ 为两列光的相位差。可见光强与 δ 有关, 当 δ 为偶数倍 π 时, 光强取极大值 $I_{max} = (|\vec{A}_1| + |\vec{A}_2|)^2$; 当 δ 为奇数倍 π 时, 光强取极小值 $I_{min} = (|\vec{A}_1| - |\vec{A}_2|)^2$ 。这就是明暗相间的干涉条纹的形成原因。

3.2 菲涅耳双棱镜干涉原理

菲涅耳双棱镜是一种产生双光束干涉的装置。它由两块折射率相同的三棱镜组成, 它们的一个面(底面)几乎重合, 形成一个很小的二面角。当一束光垂直入射到双棱镜时, 会被分成两束, 分别经过上下两个棱镜, 然后在棱镜后会聚成两个虚像光源 S_1 和 S_2 。

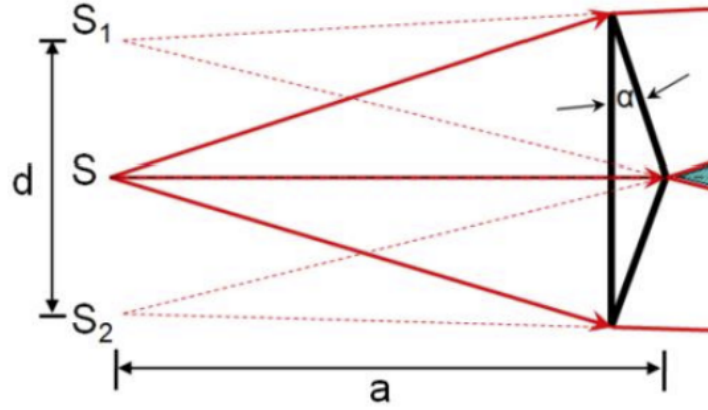


图 1: 菲涅耳双棱镜分光示意图

如图 1 所示, 设双棱镜的折射率为 n , 棱镜角为 α (一般很小, 可认为 $\sin \alpha \approx \alpha$), 光源 S 到棱镜的距离为 d 。根据几何关系, 可得两个虚像光源的间距为:

$$s = S_1 S_2 = 2(n - 1)d\alpha$$

在双棱镜后放一接收屏, 到两个虚像光源的距离为 L 。在接收屏上任一点 P , 两束光程差为:

$$\delta = r_2 - r_1 \approx \frac{xs}{L}$$

其中 x 为 P 点到接收屏中心 O 的距离。代入双光束干涉的光强公式, 可得:

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi xs}{\lambda L}\right)$$

其中 I_0 为单束光的光强。令 $\Delta x = \frac{\lambda L}{s}$, 则相邻亮纹间距为 Δx , 由此可得:

$$\lambda = \frac{\Delta x s}{L}$$

通过测量条纹间距 Δx 、虚像光源间距 s 以及接收屏到双棱镜的距离 L , 就可以计算出光的波长 λ 。

3.3 虚像光源间距的测量

为了测量虚像光源的间距 s , 可以在双棱镜后放一会聚透镜, 分别在透镜的两个共轭面成像, 测量两次像的大小, 就可以计算出 s 。

如图 2 所示, 两个虚像光源 S_1 和 S_2 经过透镜成两次像 S'_1 和 S'_2 。当透镜与接收屏的距离为 L_1 时, 物距为 L_2 , 像距为 L_1 , 放大率为 $\beta_1 = \frac{L_1}{L_2}$; 当透镜与接收屏的距离为 L_2 时, 物距为 L_1 , 像距为 L_2 , 放大率为 $\beta_2 = \frac{L_2}{L_1}$ 。两次成像的放大率互为倒数, 即 $\beta_1 \beta_2 = 1$ 。设第一次成像测得的像间距为 D_1 , 第二次为 D_2 , 则:

$$s = \frac{D_1}{\beta_1} = D_1 \beta_2 = \sqrt{D_1 D_2}$$

这就是虚像光源间距 s 的计算公式。

以上就是该实验的主要原理, 包括双光束干涉原理、菲涅耳双棱镜干涉原理以及虚像光源间距的测量方法。通过测量干涉条纹间距、虚像光源间距以及接收屏到双棱镜的距离, 就可以计算出光的波长。

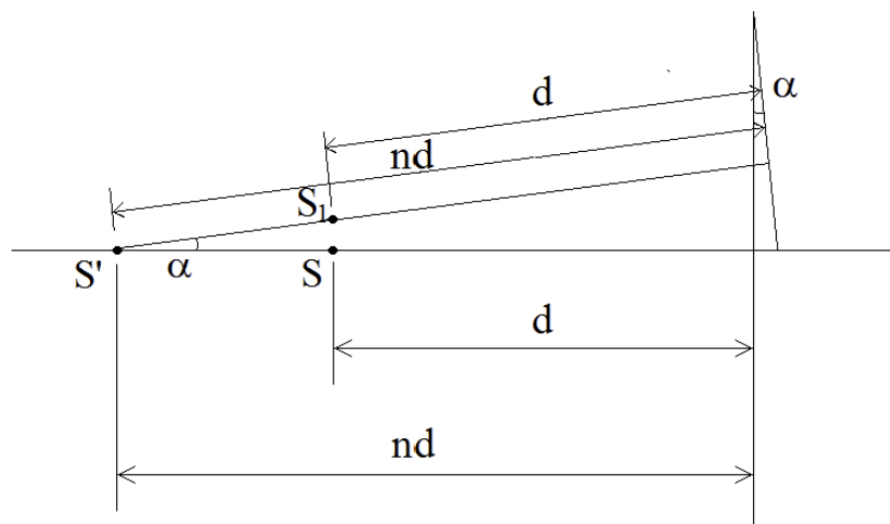


图 2: 虚像光源间距测量光路图

4 实验方法

本实验在光学导轨上进行, 使用的主要器件包括钠灯、可调狭缝、菲涅耳双棱镜、会聚透镜和 CMOS 相机。实验装置如图 3 所示。

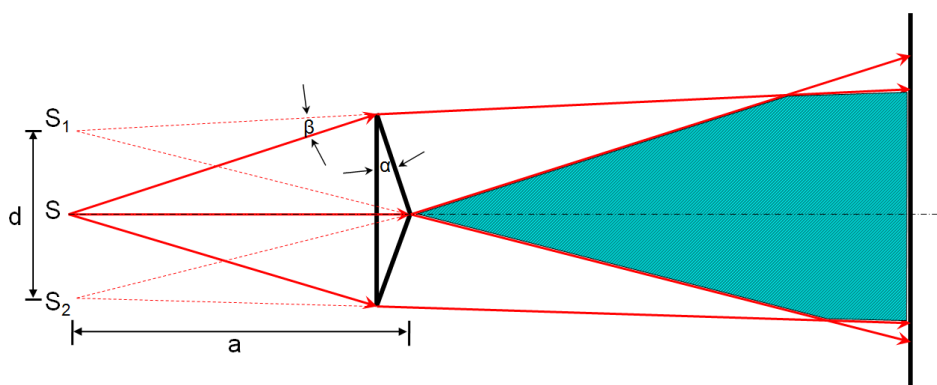


图 3: 实验装置示意图

具体实验步骤如下:

1. 光路调节

- 按照钠灯、狭缝、双棱镜、会聚透镜和相机的顺序在导轨上排列各个器件, 大致调节各器件的高度, 使其光轴在同一水平线上。
- 点亮钠灯, 调节狭缝宽度至 0.1mm 左右。移动会聚透镜, 使其在透镜两侧分别成一次狭缝的像, 调节狭缝和透镜的位置, 使成像清晰且像的大小不同。
- 在狭缝和透镜之间插入双棱镜, 调节双棱镜的位置和角度, 使通过双棱镜后狭缝像分裂成两条清晰的亮线。

(d) 移走会聚透镜, 在双棱镜后放置相机, 调节相机位置, 使其能观察到清晰的干涉条纹。

2. 波长测量

- (a) 测量干涉条纹间距 Δx : 用相机采集干涉条纹图像, 选取多组清晰的条纹, 测量其间距, 取平均值作为 Δx 。
- (b) 测量虚像光源间距 s : 在双棱镜后放置会聚透镜, 移动透镜位置, 使其成两次狭缝虚像的像, 测量两次像间距 D_1 和 D_2 , 根据公式 $s = \sqrt{D_1 D_2}$ 计算出 s 。
- (c) 测量接收屏到双棱镜的距离 L : 直接用刻度尺测量相机 CMOS 面到双棱镜的距离。
- (d) 计算波长 λ : 将测得的 Δx 、 s 和 L 代入公式 $\lambda = \frac{\Delta x s}{L}$, 计算出钠光波长 λ 。

3. 数据处理与误差分析

- (a) 对多次测量的波长取平均值作为最终结果, 计算波长的不确定度。
- (b) 分析误差来源, 主要包括 Δx 、 s 和 L 的测量误差。

通过合理的实验操作和数据处理, 可以较为精确地测量出钠黄光的波长, 验证双光束干涉的基本规律。

5 预习思考题

1. **Q.1** 假如将双棱镜旋转 180° , 使顶角正对光源, 虚光源的间距是否改变?
A.1 不改变。因为双棱镜的折射率和角度都没有改变, 且物距不变, 所以虚光源的间距不会改变。
2. **Q.2** 在用 2 次成像法测量虚光源间距时, 为了保证缩小像的间距不小于放大像间距的一半, 狭缝与测微目镜的距离应满足什么条件?
A.2 为了保证缩小像的间距不小于放大像间距的一半, 狭缝与测微目镜的距离应满足:

$$L \leq 4f$$

其中 L 为狭缝与测微目镜的距离, f 为会聚透镜的焦距。

当 $L = 4f$ 时, 放大像与缩小像的距离相等, 都等于 $2f$ 。当 $L < 4f$ 时, 缩小像的间距大于放大像间距的一半。