

【实验目的】

1. 领会分波面法干涉实验原理
2. 了解双棱镜干涉装置及光路调节技巧
3. 观察双棱镜干涉现象并测定光波波长

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 双棱镜干涉原理

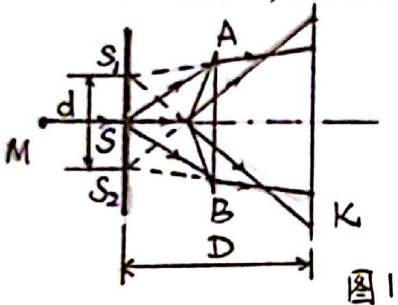


图1

激光发出的光波经狭缝S投射到双棱镜AB上，波面被分割为两部分。

两部分光波经双棱镜折射后，等效于虚光源S₁与S₂发出。两部分出射波此时振动方向、频率均相同，位相差只取决于光程差，于是在光屏K上显示出了干涉条纹。

对K上一点P，光程差 $\delta = |S_1P| - |S_2P|$ 。如图2，在S₂P上取CP = S₁P。当 $D \gg d, D \gg \alpha$ 时有 $S_2C = \delta$ ，
 $\triangle S_1S_2C \sim \triangle SPP_0$ ，因此有

$$\delta = \frac{\alpha}{D} \cdot d \tag{2}$$

设激光波长为 λ ，则相邻两亮条纹的间距

$$\Delta \alpha = \frac{D}{d} \lambda \tag{3}$$

故有

$$\lambda = \frac{\Delta \alpha \cdot d}{D} \tag{4}$$

2. 光波波长测量原理

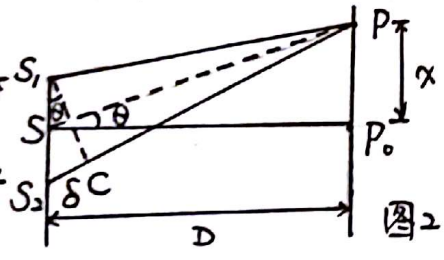


图2

3. 二次成像原理

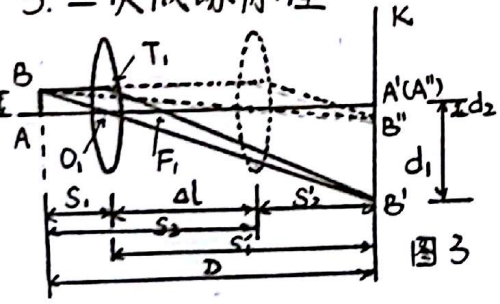


图3

如左图3，设透镜焦距为f， $\triangle B'F_1O_1 \sim \triangle B'T_1B$

$$\therefore \frac{d_1}{d+d_1} = \frac{S'_1}{D} = \frac{S'_1-f}{S_1} \tag{5}$$

$$\text{同理 } \frac{d_2}{d+d_2} = \frac{S'_2}{D} = \frac{S'_2-f}{S_2} \tag{6}$$

由(5)(6)整理得

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \tag{7}$$

又由根据成像公式 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ ，即 $\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S'_i} = \frac{1}{f}$ (i=1,2) $\tag{8}$

由(5)(6)(8)整理得

$$D = \left| \frac{\sqrt{d_2} + \sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}} \right| \Delta l \tag{9}$$

(保证 $D > 4f$)
 (应用到图1中时，须保证S与AB间距离B满足 $f < B < 2f$)。

【实验内容】（重点说明）

1. 光路调节（等高共轴调节）：调节装置使光具座上各元件等高共轴，双棱镜棱脊严格平行于狭缝，狭缝宽度适当。

共轴法

步骤：① 目视法粗调。

② 开启激光，使光源均匀照亮狭缝。调节双棱镜或狭缝，使狭缝射出的光束对称照在棱脊两侧。

③ 在双棱镜后放一毛玻璃屏，从毛玻璃屏上可找到一条亮光带。调节物镜，使光带进入目镜视场。

④ 调节狭缝宽度、方位使其与双棱镜棱脊平行，出现清晰的干涉条纹。转动鼓轮，使叉丝交点对准亮条纹。

2. 测量 D ：用光具座上的标尺直接读出

3. 测量 d_1, d_2 ：调节透镜位置，利用二次成像法测出 d_1, d_2

4. 测量 Δx ：移去透镜，观察到清晰的干涉条纹后，用读数显微镜替代毛玻璃。依次测出连续 14 条条纹位置，记为 $S_1 \sim S_{14}$ 。

5. 数据处理：① 由 3 的结果与 (7) 式得到 d

② 由 4 的结果与 $\Delta x = \frac{(S_8 + S_9 + \dots + S_{14}) - (S_1 + S_2 + \dots + S_7)}{49}$ 得到 Δx (10)

③ 由 $D, d, \Delta x$ 与 (4) 式得到 λ 。

【实验器材及注意事项】

1. 光具座。其上左起：

2. 激光器。激光不能直射眼睛。

3. 狭缝器。

4. 双棱镜。截面是顶角 120° 的等腰三角形。

5. 凸透镜。用于二次成像法测定 d 。

6. 毛玻璃屏。作光屏。

7. 读数显微镜。最小分度值为 0.01mm ，估读 1 位。



注意事项：

(1) 测量过程中读数显微镜的鼓轮只能往一个方向转动

(2) 正式读数前鼓轮必须先转几圈以消除初始值

(3) 实验数据常用差值法处理以减少系统误差带来的影响

(4) 实验过程中 D 保持不变

(5) 取 $D \approx 4.5f$, $B \approx 1.5f$ 。

【数据处理与结果】

$$D = 1340.2 \text{ mm} \quad (16)$$

$$d_1 = 1.038 \text{ mm} \quad d_2 = 4.537 \text{ mm}. \quad \text{由(7)式, } d = \sqrt{d_1 d_2} = 2.170 \text{ mm}. \quad (17)$$

条纹位置 S_i / mm :

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
28.770	29.180	29.540	29.928	30.310	30.696	31.052	31.420	31.811	32.180
S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}	S_{18}	S_{19}	S_{20}
32.560	32.924	33.316	33.686	34.070	34.442	34.820	35.196	35.550	35.926

逐差 $\Delta S_i = S_{i+10} - S_i \text{ (mm)}$

ΔS_1	ΔS_2	ΔS_3	ΔS_4	ΔS_5	ΔS_6	ΔS_7	ΔS_8	ΔS_9	ΔS_{10}
3.790	3.744	3.776	3.758	3.760	3.746	3.768	3.776	3.739	3.746

$$\bar{\Delta x} = \frac{1}{10} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{10} \Delta S_i}{10} = 0.376 \text{ mm} \quad (18)$$

$$U_A(\Delta x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\frac{\Delta S_i}{10} - \bar{\Delta x})^2}{10 \times 9}} = 0.0053 \text{ mm}$$

$$U_B(\Delta x) = \frac{\Delta_{\text{仪器}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.005 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\therefore U_{\Delta x} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.0061 \text{ mm} \quad (19)$$

由(16)~(18), 代入(4)式得

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{\Delta x} \cdot d}{D} = 6.088 \times 10^{-4} \text{ mm} = 608.8 \text{ nm}$$

$$U_\lambda = \frac{d}{D} U_{\Delta x} = 9.83 \times 10^{-6} \text{ mm} = 9.8 \text{ nm}$$

$$\therefore \text{最终结果 } \lambda = (608.8 \pm 9.8) \text{ nm}. \quad (20)$$

(注: 以上将 d 与 D 视为常数. 否则, $U_d = \frac{0.005 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$, $U_D = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$,

$$U'_\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \lambda}{\partial \Delta x}\right)^2 U_{\Delta x}^2 + \left(\frac{\partial \ln \lambda}{\partial d}\right) U_d^2 + \left(\frac{\partial \ln \lambda}{\partial D}\right) U_D^2}$$

$$= \lambda \sqrt{\left(\frac{U_{\Delta x}}{\bar{\Delta x}}\right)^2 + \left(\frac{U_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{D}\right)^2} = 9.9 \text{ nm}$$

$$\text{则最终结果 } \lambda = (608.8 \pm 9.9) \text{ nm} \quad (21)$$

(可见两种结果几乎没有差异.)

【误差分析】

1. 空程差. 读数显微镜读数存在误差. 实验时采取先转几圈再读数, 只向一个方向转动鼓轮来减小空程差. 此外还可考虑采取正反双向求平均值.
2. 观察误差. 如右图(a), 在步骤3测量 d_1, d_2 时, 或类似地在步骤4中测量 S_1 时, 由于成像不一定规则或干涉条纹亮纹中心确定存在偏差等原因, 会导致 d_1, d_2, S_1 测量存在一定偏差.
3. 对D判断的误差. 实验原理(9)式中, 我们理论推导出 $D = \left| \frac{\sqrt{d_2} + \sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}} \right| \Delta l$. 实际实验中, 我们没有应用这一公式, 而是认为狭缝与光屏之间的距离即为D. 这与理论值略有偏差, 原因有二: ① S_1, S_2 与狭缝S并非严格共面; ② 读数存在误差. 因此考虑用(9)代替直接读数.
4. 另外, 激光不水平. 不等高共轴. 狭缝与棱镜有偏角. 读数存在误差等问题都可能带来误差.



【实验心得及思考题】

思考题1. 如“实验原理3=双成像原理”, 有

$$\frac{d_1}{d+d_1} = \frac{S'_1}{D} = \frac{S'_1 - f}{S_1} \quad (5)$$

$$\frac{d_2}{d+d_2} = \frac{S'_2}{D} = \frac{S'_2 - f}{S_2} \quad (6)$$

$$\text{得 } D = \frac{S_1'^2}{S_1' - f} = \frac{S_2'^2}{S_2' - f} \quad (11)$$

$$\text{故有 } (S_1' - S_2')(S_1' + S_2')f = S_1'S_2'(S_1' - S_2')$$

$$\text{即 } (S_1' - f)(S_2' - f) = f^2 \quad (12)$$

$$\text{即 } \frac{S_1' - f}{f} = \frac{f}{S_2' - f} \quad (13)$$

$$\text{而 } \frac{d_i}{d+d_i} = \frac{S'_i - f}{S_i} \Leftrightarrow \frac{d}{d_i} = \frac{f}{S'_i - f} \quad (14)$$

$$i=1,2$$

$$\therefore \text{由(13)(14), } \frac{d}{d_1} = \frac{f}{S'_1 - f} = \frac{S'_2 - f}{f} = \frac{d_2}{d}$$

$$\text{即 } d^2 = d_1 d_2$$

$$\text{即 } d = \sqrt{d_1 d_2} \quad (15)$$

证毕.

思考题2. 激光在狭缝处须发生衍射. 只有当狭缝很窄时激光才能在狭缝处发生较为明显的衍射. 发生明显衍射后才能经双棱镜折射产生干涉条纹.

思考题3. 原因:

- ① 狭缝很窄, 透过光线太少
- ② 狭缝很宽, 衍射不够明显
- ③ 狭缝与双棱镜镜脊不平行, 干涉面积下降, 不清晰
- ④ 光具座上各元件不等高共轴, 影响干涉效果

实验心得

这是我做的第一个大学物理实验. 预习中搞清原理花费了我几个小时的时间, 但也因此获得了一个较为顺利的实验过程.

老师在实验讲解中给出了一些独特的方法. 例如用纸帮助调节激光发射水平. 同时也指出了许多需要特别关注的要点. 这些指导为我们的实验过程提供了极大帮助. 这让我认识到前人的经验是十分宝贵和值得借鉴的.

实验之后的数据处理与误差分析对我而言仍是难点. 希望在日后的不断练习中逐步弥补这一漏洞.

实验过程中我主要体会到了: 应当认真对待每一个数据. 在我读数过程中, 多次因不小心转反读数显微镜的鼓轮而弃掉全部数据. 这也保证了最终结果的准确性.