

天津大学物理实验报告

信息 学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘莉

成绩 90

实验日期: 2015.3.11 学号 201320422 同组实验者

实验题目: 菲涅耳双棱镜

一、实验目的

1. 观察双棱镜干涉现象, 理解产生干涉的条件;
2. 学习和巩固光路的同轴调整;
3. 学习测微目镜的使用及测量。

二、实验仪器

光具座、菲涅耳双棱镜、狭缝、仪器高压汞灯、干涉滤光片、测微目镜和凸透镜等。

三、实验原理

若让单色光通过一个针孔 S , 再经过相同的路程到达靠得很近的两个针孔 S_1 和 S_2 上, 因穿过此二针孔的光是从同一波阵面分割而来, S_1 和 S_2 即成为同相位的次级单色光源, 这两处的光波只要在传播过程中叠加起来, 就可以用屏幕接收到干涉图样。图 1-1 中 xy 屏幕垂直于 S_1S_2 的垂直平分线 OO' , 而 x 轴平行于 S_1S_2 。设 d 为两个针孔的间距, l 为二针孔连线到观察面的垂直距离, 对屏上某点 $P(x, y)$ 而言, 光从二针孔到该点的几何路程分别为 $r_1 = S_1P = \sqrt{l^2 + y^2 + (x - \frac{d}{2})^2}$ (1-1a) $r_2 = S_2P = \sqrt{l^2 + y^2 + (x + \frac{d}{2})^2}$ (1-1b) 两式平方相减得 $r_2^2 - r_1^2 = 2xd$ (1-2) 或 $r_2 - r_1 = \frac{2xd}{r_1 + r_2}$ (1-3)

$r_2 - r_1$ 是光从 S_1 和 S_2 到 P 点的几何光程差, 在空气中

近似等于光程差 δ 。实际上, 可见光的波长很短, 只有当

d 比 l 小很多时才便于观测到干涉条纹。如果 x 和 y (即

观察范围) 也很小, 则 $r_2 + r_1 = 2l$ (1-4)

把式 (1-4) 代入式 (1-3) 得到 $\delta = r_2 - r_1 = \frac{xd}{l}$ (1-5)

当两束光到达幕上某点的光程差满足 $\delta = k\lambda$ 时, 该点因干涉加强有最大亮度, 所以 x 坐标满足

下式的各点亮度皆为最大: $x = \frac{k\lambda}{d} l$ (1-6a) 其中 $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 为干涉条纹的级次, 而相

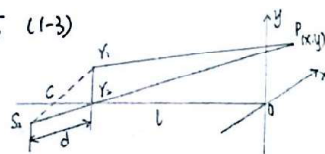


图1-1 杨氏实验原理

天津大学物理实验报告

附 页

消干涉即最暗各点的 x 坐标满足 $x = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \frac{l}{d}$ (1-6b) 由于干涉加强和干涉相消各点位置只与 x 坐标有关, 因而在 O 点附近的干涉图样是一系列平行于 y 轴等间隔的明暗条纹, 相邻明条纹或暗条纹的距离 $\Delta x = \lambda \frac{l}{d}$ (1-7) 所以 $\lambda = \frac{d}{2k} \Delta x$ (1-8)

因上述干涉条纹是平行于 y 轴, 如采用狭缝光源代替针孔 S , 发出柱面波前照射平行的双缝 S_1 和 S_2 , 就能大大加强干涉图样的亮度。这著名的杨氏双缝实验。

菲涅耳双棱镜可以看成是由两个顶角很小 ($0.5^\circ \sim 1^\circ$) 的直角棱镜底边相接而成的 (图 1-2)。通过狭缝 S 的光波被双棱镜折射成两束, 在两束光的交叠区 (图 1-2) 中以斜线表示干涉现象。 S_1 和 S_2 是 S 因折射产生的两个虚像, 相当于杨氏双缝, 可称虚光源。 S_1 和 S_2 与 S 近似在同一平面上, S 与 M 相距为 l , S_1 和 S_2 相距为 d , 条纹间距为 Δx , 即可利用式 (1-8) 计算单色光的波长 λ 。

菲涅耳双棱镜 (图 1-3) 由两个平面镜 P 和 P' 组成, 二镜夹角 φ 很小且可微调。单色光通过狭缝 S 照在两镜上经反射使波阵面被分割发生双束光干涉, 测出 $l = r + l'$, 条纹间距 Δx , 虚光源间距 d , 单色光波长依按式 (1-8) 计算。

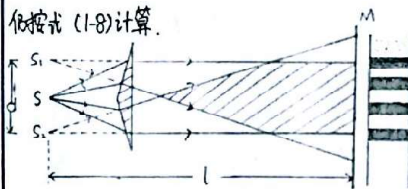


图1-2 菲涅耳双棱镜干涉条纹的图

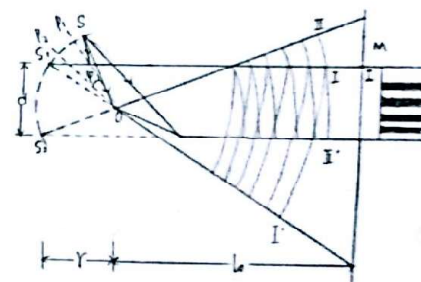


图1-3 菲涅耳双棱镜干涉条纹的图

四、实验步骤

1) 调节光路

参照图 1-4, 在光具座上安装光源系统 (汞灯 W 、滤光片 F 、狭缝 S) 和光屏, 并使屏到狭缝的距离略大于凸透镜焦距的 4 倍。

2) 目测让单色光通过狭缝照在屏的中心线上。

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信工程 专业 ⑩ 班 姓名 刘杰 成绩

实验日期: 2015.3.11 学号 3013204272 同组实验者

实验题目: 菲涅耳双棱镜

- (13) 起凸透镜 L, 移动透镜, 用两次成像法调节光具组“等高同轴”。
- (14) 当狭缝像清晰时, 在凸透镜与狭缝之间距狭缝约 20cm, 用横河可调光登支起双棱镜 B, 横向调节双棱镜至屏上出现两条高度相当的缝像为止, 说明光已照在棱镜的棱脊上。
- (15) 从测目镜 M 取代光屏, 并将狭缝调至足够窄时在测微目镜中出现两条亮线即虚光源的像 S_1 和 S_2 。
- (16) 移去透镜, 移近测微目镜, 慢慢调节狭缝的垂直微调使狭缝与棱镜的棱脊平行, 边调节边观察直至得到清晰的干涉条纹为止。若条纹的亮度或清晰度不理想还可微动狭缝的俯仰调节螺丝。这样反复调节直至调出满意的干涉条纹。

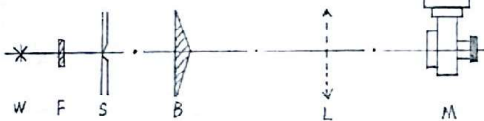


图 1-4 实验装置

1) 测量条纹间距 Δx

将测微目镜移到距狭缝 80~90cm 处, 用目镜叉丝逐一对照视场中部的 10 条明条纹, 记录每一明条纹在目镜叉丝上的位置 x_1, x_2, \dots, x_{10} , 用逐差法求 Δx 的平均值。记录狭缝、双棱镜和测微目镜在光具座上的位置。

2) 用共轭法测量虚光源 S_1 和 S_2 的间距 d

不改变狭缝与双棱镜的 B 与测微目镜 M 之间加上凸透镜 L (焦距约 19.5cm), 移动透镜 (注意等高同轴), 在测微目镜中两次出现虚光源的像。用测微目镜分别测出两虚光源较大像之间距离 d' 和较小像之间距离 d'' , 则两虚光源之间的实际距离 $d = \sqrt{d'd''}$ 。

适当改变测微目镜 M 的位置 (3 次), 分别测出 d'_1 和 d''_1 , 用式 (28-9) 计算得 d_1 , 进而求得虚光源之间的实际距离 d 。

4) 观察现象

- (1) 先后改变双棱镜和目镜的位置, 分别观察干涉条纹的变化并作定性解释。
- (2) 仔细观察双棱镜干涉场, 是否受到衍射的影响, 如何解释?

天津大学物理实验报告

附 页

- (13) 从光具座上取下滤光片, 观察干涉条纹的变化, 说明其特征。

五. 数据处理

1) 虚光源之间的距离 d (见数据表 1)

数据表 1 虚光源距离 d / mm

次数	大像距离 d' / mm	小像距离 d'' / mm	虚光源距离 $d = \sqrt{d'd''}$ / mm
1	2.313	1.304	1.736
2	2.313	1.304	1.736
3	2.310	1.303	1.735
			$\bar{d} = 1.736 \text{ mm}$

不确定度分析: ① A 类不确定度: $U_A = t_{0.95} \cdot S_d = 1.32 \times \sqrt{\frac{(1.736-1.736)^2 + (1.736-1.736)^2 + (1.735-1.736)^2}{3 \times 2}} = 4.082 \times 10^{-4} \text{ mm}$

② B 类不确定度: $U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-3} \text{ mm}$

\therefore 虚光源之间的距离 d 的不确定度 $U_d = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 5.788 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ($P=68.3\%$)

2) 条纹间距 Δx (见数据表 2)

数据表 2 条纹间距 Δx / mm

条纹 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i / mm	4.210	3.885	3.615	3.315	3.020	2.730	2.430	2.170	1.860	1.580

逐差法计算 $\Delta x = \frac{(x_6 + x_1 + x_8 + x_3 + x_5) - (x_1 + x_6 + x_3 + x_8 + x_5)}{5 \times 5} = 0.291 \text{ mm}$

不确定度分析: ① A 类不确定度: $U_A = t_{0.95} \cdot S_{\Delta x} = 1.06 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta x_i - \Delta x)^2}{9 \times 8}} = 1.097 \times 10^{-3} \text{ mm}$

② B 类不确定度: $U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5.774 \times 10^{-3} \text{ mm}$

\therefore 条纹间距 Δx 的不确定度 $U_{\Delta x} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 5.877 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ($P=68.3\%$)

3) 狭缝到屏的距离 l (见数据表 3)

数据表 3 狭缝到屏的距离 l / cm

次数	左边界 l_1 / cm	右边界 l_2 / cm	狭缝到屏的距离 $l = l_2 - l_1$ / cm	平均值 \bar{l} / cm
1	30.6	123.0	92.4	92.4
2	30.5	123.0	92.5	

天津大学物理实验报告

信息学院 2013 年级 通信工程 专业 四 班 姓名 刘莉 成绩

实验日期: 2015.3.11 学号 3013204272 同组实验者

实验题目: 菲涅耳双棱镜

不确定度分析: ① A类不确定度: $U_A = t_{0.95} \cdot S_{\bar{x}} = 1.32 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{2 \times 1}} = 0.093 \text{ cm}$

② B类不确定度: $U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ cm}$

\therefore 狭缝到屏的距离 l 的不确定度 $U_l = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = 0.110 \text{ cm}$ ($P=68.3\%$)

由 (1-8) 式知 $\lambda = \frac{d}{\Delta x} \Delta x$ 得 $\lambda = 546.7 \text{ nm}$

由 (1-8) 式知, 绿光的波长 λ 的相对不确定度

$$\frac{U_\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{U_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{U_l}{l}\right)^2} = 1.05\%$$

\therefore 绿光波长的测量标准不确定度 $U_\lambda = 1.05\% \times \lambda = 0.0057 \text{ nm}$ ($P=68.3\%$)

测量结果: 绿光波长 $\lambda = (546.7 \pm 0.006) \text{ nm}$ ($P=68.3\%$)

六. 实验感悟

这次通过自己动手调出了实验现象, 心里很开心, 而且学会了共轭法, 又开拓了知识面, 看到美丽的干涉条纹, 感到物理学家的伟大, 实验老师的幽默与负责也让整个实验变得更轻松。

2015年3月11日

菲涅耳双棱镜



() 作业纸

系别 信息 班级 通信四班 姓名 刘杰 第 301320427 页

次数	大像距离 d'/mm	小像距离 d''/mm	虚光源距离 $d = \sqrt{d'd''}/\text{mm}$
1	$5.285 - 2.972 = 2.313$	$16.225 - 7.529 = 8.696$	1.736
2	$5.400 - 3.087 = 2.313$	$16.215 - 7.591 = 8.624$	1.736
3	$5.290 - 2.980 = 2.310$	$16.120 - 7.423 = 8.697$	1.735
4			
5			
			$\bar{d} = 1.736$

$$L = 120.6 - 123.0 = -2.4 \text{ cm}$$

$$\Delta x = \lambda \frac{L}{d} = 546.07 \text{ nm}$$

$$\text{绿光波长 } \lambda = 495 \sim 570 \text{ nm}$$

$$= 546.07 \text{ nm}$$

干涉条纹 X_i/mm	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
	4.210	3.885	3.615	3.315	3.020	2.730	2.430	2.170	1.860	1.580

$$\Delta x = \frac{(X_1 - X_6) + (X_2 - X_7) + (X_3 - X_8) + (X_4 - X_9) + (X_5 - X_{10})}{5 \times 5} = 0.291 \text{ mm}$$

AC13
311