

浙江大学

物理实验报告

90

实验名称：双棱镜干涉

指导教师：徐天勇

信箱号：71

专 业：自动化(控制)

班 级：控制1901

姓 名：孟世元

学 号：3190104700

实验日期：11月9日 星期一 上/下午
(周一周四课)



扫描全能王 创建

【实验目的】

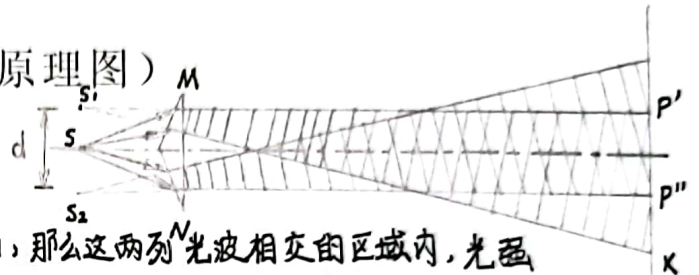
1. 领会分波面法干涉实验原理
2. 了解双棱镜干涉装置及光路调节技巧
3. 观察双棱镜干涉现象并测定光波波长

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 双棱镜干涉原理

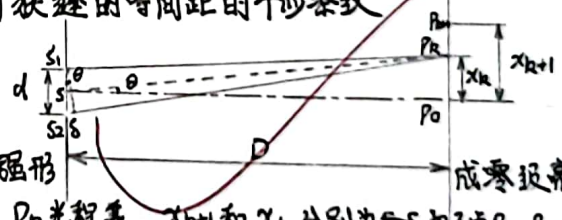
如果两列或两列以上振动方向相同、频率相同、位相差不随时间变化的单色光波在空间相叠加，那么这两列光波相交的区域内，光强的分布表现为某些地方加强和某些地方减弱，这种叠加区域内出现的周期性强度分布现象和光的干涉。通常情况下光波不能自然地产生干涉，这是由于光源中光波初位相和矢量振动方向都是随机由，因此相干条件很难满足。为了使光波实现干涉，必须设法使其满足干涉条件。相干光获得有两种途径：分波面法和分振幅法。本实验就是分波面法干涉典例。

当狭缝S发出光波投射到双棱镜MN上时，其波面被分割成两部分，通过双棱镜观察，就好像它们是由虚光源 S_1 和 S_2 发出。所以在两束光叠加区域 $P'P''$ 内产生干涉。若狭缝宽度比较小，并且双棱镜棱脊和狭缝平行，就可在毛玻璃屏K上观察到平行于狭缝的等间距的干涉条纹。



2. 光波波长测量原理

设激光波长为 λ ，两光源 S_1 和 S_2 间距为 d ，S到毛玻璃屏距离为 D ， P_0 为距 S_1, S_2 等距离的点，所以 P_0 处光波因加强形成亮纹，而 P_0 两侧依次排列明暗相间干涉条纹。 δ 是 S_1 和 S_2 到某一点 P_R 光程差。 x_{k+1} 和 x_k 分别为 S_1, S_2 到 P_{k+1} 和 P_k 距离。 $D \gg d$ ， $D \gg x_k$ 时，有：



当 $\delta = k\lambda$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 时，在 $x_k = \frac{D}{d} k\lambda$ 处产生亮条纹

当 $\delta = (k+\frac{1}{2})\lambda$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 时，在 $x_k = \frac{D}{d} (k+\frac{1}{2})\lambda$ 处产生暗条纹

所以，两相邻亮纹间距 $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d} \lambda$ $\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{D}$

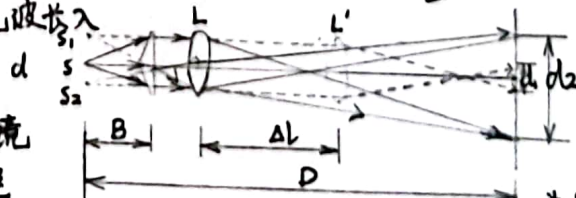
只要测得 D 、 d 和 Δx ，就可求出激光波长 λ 。

3. 二次成像原理

二次成像光路图如图所示，设狭缝到双棱镜距离为 B ，在双棱镜与读数显微镜之间加入一个透镜

当 $D > 4f$ ， $f < B < 2f$ 时，前后移动透镜，则在读数显微镜中看到两虚光源所成的缩小像和放大像。分别测出缩小像或放大像的间距 d_1, d_2 ，再由几何光学定律推算出两虚光源间距

$d = \sqrt{d_1 d_2}$ 根据透镜成像定理也可推导狭缝到屏距离 $D = \frac{\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1} - \sqrt{d_2}} \cdot \Delta l$ 式中 Δl 为二次成像透镜位置



【实验内容】（重点说明）

1. 光路调节—光学实验中经常要用多个光学器件,为了获得较好质量的像,必须使各个光学器件的主光轴重合,这种调节称为等高共轴调节。它包括静态调节和动态调节
 - (1) 静态调节:将光源、狭缝器、三棱镜、透镜和屏靠拢,调节它们的取向、高低和左右位置,使它们的中心处在同一条直线上。这一步仅凭眼睛判断,调节效果与实验者调节经验有关,故称粗调
 - (2) 动态调节:一般要做一个简单实验来判断和调节,所以也叫细调。本实验通过二次成像实现细调。将凸透镜沿光轴移到 L 和 L' 位置,获得放大像 $d_1'd_2'$ 和缩小像 $d_1'd_2''$ 。若要使得 $d_1'd_2'$ 和 $d_2'd_2''$ 的中心在光轴上,只需反复调节狭缝器、双棱镜和凸透镜左右高低位置
2. 测量 D —按条件预设 D 的大小,用光具座上的标尺直接读出虚光源平面到毛玻璃屏距离 D ,填写表格
3. 测量 d —适当调节狭缝大小和透镜,利用二次成像法测量 d_1 和 d_2 ,代入 $d = \sqrt{d_1 d_2}$,即可计算出两虚光源的间距 d ,填写表格
4. 测量 Δx —移去透镜,缓慢调小狭缝,使狭缝与双棱镜脊平行,用毛玻璃屏观察到清晰干涉条纹后,再用读数显微镜观察。使相干光束处在目镜视场中心,再调节狭缝和棱脊的平行度,使干涉条纹最清晰。用读数显微镜依次测出连续14条条纹位置,记为 S_1 至 S_{14} ,则 $\Delta S = S_{m+7} - S_n$,从而获得相邻两明暗条纹的间距 $\Delta x = \Delta S / 7$,填写表格
5. 计算光波波长—用所测得的 D 、 Δx 和 d 值,代入 $\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{D}$ 求出激光光源波长 λ ,并求 λ 的不确定度

【实验器材及注意事项】

实验装置—1. 双棱镜:双棱镜的截面是一个等腰三角形,两顶角各为 30°

2. 读数显微镜:读数显微镜的最小分度值为 0.01mm ,需估读1位。影响实验数据读数误差的主要原因是读数显微镜的使用和测量方法,为了减小其影响,一般要做到如下三点:(1)在测量过程中读数显微镜的鼓轮只能往一个方向转动(2)正式读数之前,鼓轮必须先转几圈,以便去除初始值(3)实验数据用差值法处理,以减小系统误差带来的影响

注意事项

1. 测量干涉条纹间距和测量缩小、放大像距两个实验中 D 保持不变
2. 影响屏上干涉条纹可见度的主要原因是狭缝的宽度。实验过程中,应注意适当调整狭缝、双棱镜和读数显微镜的位置,并调节狭缝的宽度,这样就很容易观察到清晰的干涉条纹
3. 狭缝与双棱镜的距离 B 影响虚光源成像和干涉条纹间距。 B 越小, d 也越小,缩小像($u > 2f$)不容易分辨,而且干涉条纹数也会太少; B 越大,干涉条纹会越暗,甚至无法看到放大像($f < u < 2f$)影响测量
4. 狭缝与毛玻璃屏的距离 D 影响干涉条纹的间距和清晰度。实验中经常取 $D \approx 4.5f$ (常取 $B \approx 1.5f$)
5. 由于激光束不是严格的平行光,照射到双棱镜棱边会产生衍射现象,所以在测量 d_1 和 d_2 时,两亮点之间会有衍射条纹,影响测量。一般要求从亮斑中心靠外侧开始测量,以减少误差
6. 激光不能直射眼睛,不能直接触摸器件的光学面



【数据处理与结果】

由记录数据 $\bar{D} = \frac{123.9\text{mm} + 123.0\text{mm} + 123.8\text{mm} + 123.1\text{mm} + 123.5\text{mm}}{5} = 123.5\text{mm}$

$\bar{d}_1 = \frac{\cancel{2.362} + \cancel{2.391} + \cancel{2.369} + \cancel{2.377} + 2.380 + 2.410 + 2.376 + 2.394 + 2.388}{5} \text{mm} = 2.390\text{mm}$

$\bar{d}_2 = \frac{1.482 + 1.512 + 1.493 + 1.505 + 1.480}{5} \text{mm} = 1.494\text{mm}$

$\bar{d} = \frac{1.878 + 1.909 + 1.883 + 1.898 + 1.880}{5} \text{mm} = 1.890\text{mm}$

对 S 进行逐差处理 $\Delta \bar{S} = \frac{|S_1 - S_2| + |S_2 - S_3| + |S_3 - S_4| + |S_4 - S_5| + |S_5 - S_6|}{6}$

时量加10条纹 $\Delta \bar{x} = \frac{\Delta \bar{S}}{10} = \frac{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 |S_{i+1} - S_i|}{60} = 0.446\text{mm}$

由 $\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{D} = 6.83 \times 10^{-6} \text{m}$ 与结果相差较大

计算不确定度 由 $d = \sqrt{d_1 d_2}$ $\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \frac{\Delta d_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta d_2}{d_2}\right)^2}$

$\Delta d_1, \Delta d_2 = \sqrt{\frac{U_A^2}{n(n-1)} + \frac{U_B^2}{n(n-1)}}$ $U_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$ $U_B = \frac{0.2}{\sqrt{3}} \text{mm}$

代入得 $\Delta d_1 = 0.116\text{mm}$ $\bar{d}_1 = (2.390 \pm 0.116)\text{mm}$

$\Delta d_2 = 0.116\text{mm}$ $\bar{d}_2 = (1.494 \pm 0.116)\text{mm}$

$\Delta d = 0.087\text{mm}$ $\bar{d} = (1.890 \pm 0.087)\text{mm}$

同理 $\Delta D = 0.2\text{mm}$ $D = (123.5 \pm 0.2)\text{mm}$

$\Delta x = (0.446 \pm 0.007)\text{mm}$

$\ln \lambda = \ln \Delta x + \ln d - \ln D$

$\frac{d\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{d\Delta x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{dd}{d}\right)^2 + \left(\frac{dD}{D}\right)^2}$ $\Delta \lambda = 0.33 \times 10^{-6} \text{m}$?

\therefore 最终结果 $\lambda = (6.83 \pm 0.33) \times 10^{-6} \text{m}$



【误差分析】

1. 在最后用读数显微镜测条纹间距时光线原因导致又丝看不太清, 对测量和读数带来了困难和麻烦
2. 条纹最后呈现倾斜状, 尝试扭转前端光学元件未能成功将条纹调至竖直, 最后对结果造成了约 $\frac{1}{\cos 15^\circ}$ 的误差
3. 自身操作、读数不规范造成的误差

【实验心得及思考题】

思考题:

1. 证明公式 $d = \sqrt{d_1 d_2}$

由光路可逆以及两次成像物距+像距值相同, 可知第一次成像物距等于第二次像距, 第一次像距为第二次物距 $d = \frac{S_2}{S_1} d_1 = \frac{S_2}{S_1} d_2$ $d^2 = d_1 d_2$ $d = \sqrt{d_1 d_2}$

2. 为什么狭缝很窄才可以得到清晰的干涉条纹?

需要通过狭缝的衍射使激光散开, 铺满光屏。而狭缝宽度越接近光波长衍射现象越明显, 而狭缝比较宽时无法起到较好衍射效果

3. 调节过程中, 若看不到清晰的干涉条纹, 可能的原因有哪些?

可能的原因: 狭缝宽度、狭缝位置不合理, 使用了三棱镜平的一面, 像屏距离太远条纹过暗。读数显微镜没有调焦视野模糊

实验心得:

本次实验操作较复杂, 在经过调节依然没能顺利呈现清晰现象, 后来发现原因在于我没有调节狭缝宽度使激光铺满平面。因此在光学实验中, 基础和细节的微调是十分重要的。实验最后需要对不确定度进行计算, 也是我接触的第一个测算不确定度实验, 虽然计算比较繁琐, 但我也在这个过程中重新推算了不确定度计算的公式等, 加深了对不确定度意义和测量的理解, 相信在下次实验中我会更注重细节操作。



【数据记录及草表】

表1 测量D、d数据表

实验次数	D_1 /mm	D_2 /mm	D /mm	d_1 /mm	d_2 /mm	d /mm
1	68.4	63.0 55.5	123.9	2.380	1.482	1.878 1.878
2	67.1	55.9	123.0	2.410	1.512	1.909 1.909
3	68.0	55.8	123.8	2.376	1.493	1.883 1.883
4	67.7	55.4	123.1	2.394	1.505	1.898 1.898
5	67.5	56.0	123.5	2.388	1.480	1.880 1.880

表2 逐差法测量 Δx 数据表

i	标尺读数 s_i /mm	标尺读数 s_{i+10} /mm	$\Delta S = (s_{i+10} - s_i) / \text{mm}$	$\Delta x = (\Delta S / 10) / \text{mm}$
1	31.14 38.769	34.121	4.648	0.464 0.465
2	31.559 38.265	33.746	4.519	0.452
3	37.780	33.244	4.536	0.454
4	37.4104	32.792	4.312	0.431
5	36.618	32.345	4.273	0.427
6	36.239	31.9804	4.435	0.444

教师签字：

付天勇

