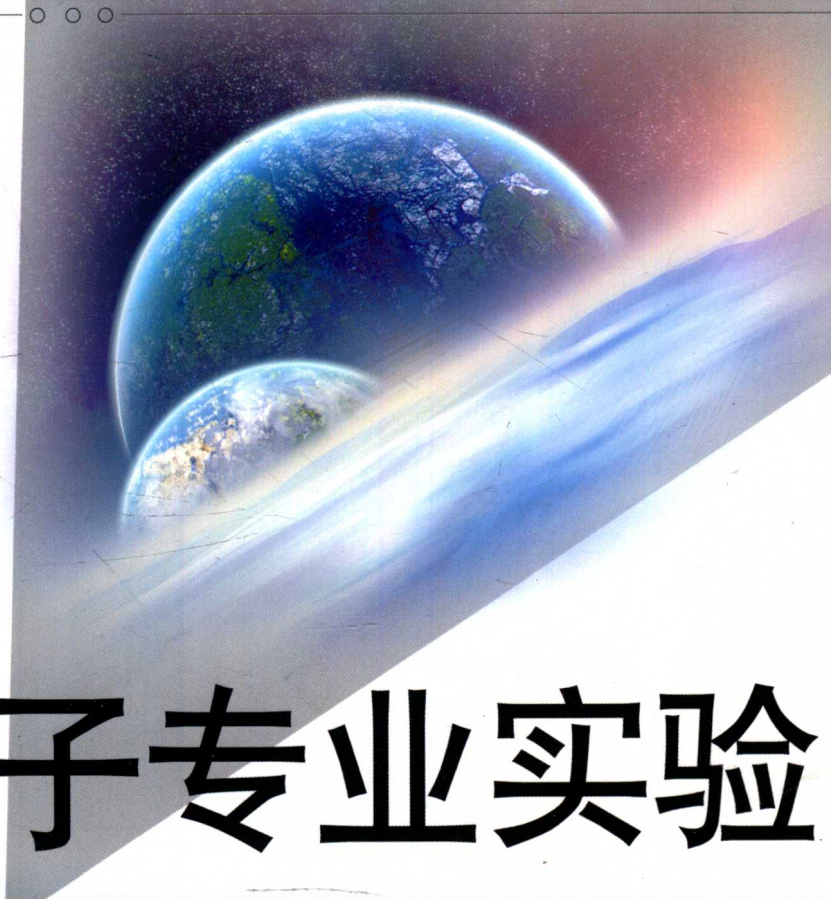




- 中央高校教改基金专项资金资助
- 普通高等教育“十三五”规划教材

○ ○ ○



光电子专业实验

►► 陈洪云 周俐娜 郑安寿 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中央高校教改基金专项资金资助
普通高等教育“十三五”规划教材

光电子专业实验

主 编 陈洪云 周俐娜 郑安寿
副主编 张光勇 杜秋姣 万 森
马 冲 吕 涛

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是作者在多年从事光电子方向理论教学和实验教学的基础上编写而成的,以培养学生实际动手能力和综合应用所学理论知识的能力为宗旨;所选实验一方面紧密结合理论课讲授内容,同时也反映了一些目前被广泛应用的技术,并吸收了教师们在科学研究中的成果。全书包括物理光学实验、应用光学实验、信息光学实验、激光原理与应用实验、光电技术与光学传感实验、CCD 基础与应用实验、研究型实验与综合性实验七大部分,共 48 个实验。

本书适合大专院校物理专业、光电子技术专业、信息光电技术专业、光学专业等相关专业高年级本科生或研究生使用,也可供从事科学实验的相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

光电子专业实验/陈洪云,周俐娜,郑安寿主编. —武汉:华中科技大学出版社,2019.1
ISBN 978-7-5680-4890-3

I. ①光… II. ①陈… ②周… ③郑… III. ①光电子技术-实验-高等学校-教材 IV. ①TN2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 016301 号

光电子专业实验

陈洪云 周俐娜 郑安寿 主编

Guangdianzi Zhuanye Shiyān

策划编辑:周芬娜

责任编辑:余 涛

封面设计:刘 卉

责任校对:张会军

责任监印:赵 月

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市洪林印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.75

字 数:314 千字

版 次:2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:38.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

光电子技术是光子技术与电子技术相互融合而形成的一门技术,靠光子和电子的共同行为来执行其功能,是继微电子技术之后迅速兴起的一个高科技领域,在当今信息时代占有重要的地位。近年来,光电子技术发展很快,应用领域日益增多,成为信息科学的重要分支,并得到越来越广泛的应用。

本书是作者在多年从事光电子方向理论教学和实验教学的基础上编写而成的,教材同时也吸收了教师们在实际科学研究中的成果。本书配合光电子技术理论的学习,按照循序渐进的原则,安排了物理光学实验、应用光学实验、信息光学实验、激光原理与应用实验、光电技术与光学传感实验、CCD 基础与应用实验、研究型实验与综合性实验总共七大部分,使学生打牢基础、巩固理论、提升能力,切实培养学生的科学实验素质、分析解决问题的能力及创新思维。

本书编写分工如下:陈洪云撰写实验 6、12、32、35、36、37、38、39、40、43;周俐娜撰写实验 19、20、21、22、33、34、41、46;郑安寿撰写实验 1、2、3、4、5;张光勇撰写实验 7、8、9、10、11;杜秋姣撰写实验 13、14、15、16、17、18、42;万森撰写实验 28、29、30、31、44、45;吕涛撰写实验 23、27、47、48;马冲撰写实验 24、25、26;全书由陈洪云、周俐娜、张光勇负责审校、定稿。

本书适合大专院校物理专业、光电子技术专业、信息光电技术专业、光学专业等相关专业高年级本科生或研究生使用,也可供从事科学实验的相关科技人员参考。

在本书的编写过程中参考了大量的国内外光学实验相关的教材、著作和最新研究成果,有些已在参考资料中列出,有些未能一一列出,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编写时间仓促,加之编者经验不足、水平有限,书中的疏漏、不足,甚至错误之处在所难免,衷心希望专家及广大读者对本书提出批评指正意见,以供我们再版时改正,提高本书的编写质量。

编者

2018 年 11 月

目 录

第一部分 物理光学实验	(1)
实验 1 等厚干涉及应用	(1)
实验 2 迈克尔逊干涉实验	(9)
实验 3 双棱镜干涉测量光波波长	(14)
实验 4 光栅衍射	(19)
实验 5 色散曲线的测定	(22)
实验 6 偏振光的观测与研究	(26)
第二部分 应用光学实验	(31)
实验 7 自准直法调校平行光管	(31)
实验 8 透镜成像规律实验	(33)
实验 9 薄透镜焦距的测定	(38)
实验 10 透镜组节点和焦距的测定	(41)
实验 11 像差的观测	(43)
实验 12 金相显微镜成像原理及使用实验	(47)
第三部分 信息光学实验	(50)
实验 13 透射型全息图的拍摄与再现	(50)
实验 14 像面全息图的拍摄与再现	(54)
实验 15 阿贝-波特成像及空间滤波	(57)
实验 16 θ 调制空间假彩色编码	(63)
实验 17 全息资料存储	(66)
实验 18 全息光栅的制作	(68)
第四部分 激光原理与应用实验	(75)
实验 19 He-Ne 激光光束基模特征参数的测量以及光束准直	(75)
实验 20 He-Ne 激光器模式分析	(80)
实验 21 半导体激光器光学特性测试	(86)
实验 22 Nd:YAG 脉冲激光器的调节与调 Q	(91)
实验 23 脉冲激光耦合及性能参数测量	(96)
实验 24 激光多普勒测速实验	(100)
第五部分 光电技术与光学传感实验	(106)
实验 25 液晶电光效应	(106)
实验 26 四象限探测器及光电定向实验	(114)

实验 27	光电探测器响应时间的测试	(120)
实验 28	光照度测试实验	(123)
实验 29	光敏电阻的伏安特性测试实验	(125)
实验 30	光敏电阻的光谱特性测试实验	(128)
实验 31	光电倍增管特性参数的测试	(130)
实验 32	PSD 位置传感器实验	(135)
实验 33	光纤布拉格光栅传感实验	(139)
实验 34	可调光纤 F-P 干涉仪特性实验	(143)
第六部分	CCD 基础与应用实验	(147)
实验 35	线阵 CCD 驱动实验	(147)
实验 36	线性 CCD 测量工件直径实验	(151)
实验 37	角位置测量实验	(154)
实验 38	面阵 CCD 驱动实验及特性测量	(157)
实验 39	面阵 CCD 数据采集实验	(160)
实验 40	工件二维尺寸测量实验	(163)
第七部分	研究型实验与综合性实验	(166)
实验 41	激光散斑测量	(166)
实验 42	特征识别	(172)
实验 43	彩色面阵 CCD 颜色处理及识别实验	(177)
实验 44	光纤位移测量实验	(179)
实验 45	光纤微弯测量实验	(182)
实验 46	荧光发射光谱测量与溶液浓度定标实验	(183)
实验 47	光纤传输激光脉冲消融生物软组织实验	(188)
实验 48	微秒聚焦激光剥蚀铁靶实验	(191)
参考文献		(196)

第一部分 物理光学实验

物理光学是光学中非常重要的组成部分,内容包括光的干涉、衍射、偏振等。这部分实验紧密联系“物理光学”这门专业课程来开设,所选实验均为常见的例子,反映了物理光学的理论。通过这些实验的训练,将加深学生对光的干涉、衍射、偏振理论的理解及其应用,积累一定的实验技能,打下较好的实验基础。

实验 1 等厚干涉及应用

等厚干涉是用分振幅法获得相干光产生干涉的一种典型薄膜干涉。平常看到的油膜或肥皂液膜在白光照射下产生的彩色花纹就是等厚干涉的结果。利用等厚干涉可以检验精密加工工件表面的质量。本实验利用两种常用的等厚干涉装置,即牛顿环和劈尖,观察等厚干涉现象并测量透镜曲率半径和薄纸厚度。

一、实验目的

- (1)观察光波的两种等厚干涉现象——牛顿环干涉和劈尖干涉。
- (2)通过实验加深对等厚干涉原理的理解。
- (3)学习使用读数显微镜。
- (4)测量凸透镜曲率半径和薄纸厚度。

二、实验仪器

本实验所用的两种等厚干涉的观测仪器如图 1-1 所示。

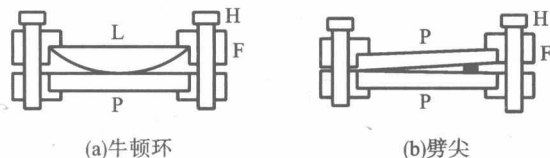


图 1-1 牛顿环与劈尖装置

牛顿环的直径 D 、劈尖总长 L 、 N_0 条干涉条纹的长度 L_0 ,都是用读数显微镜测量的。读数显微镜的主要部分是显微镜和螺旋测微计。调焦手轮用于调节显微镜的高低,使图像清晰;横移手轮可以使显微镜左右平移,其位置可由标尺和横移手轮上的刻度读出(原理与螺旋测微器的相同,横移手轮的螺距为 1 mm ,轮上有 100 个等分刻度,精度是 0.01 mm)。光源为钠光

灯,透明反射镜是一块普通的平板玻璃,对入射光线有半透半反的作用。借助它的反射把单色光铅直地入射到平凸透镜上(或入射到劈尖上),如图 1-2 所示,形成的干涉条纹可用读数显微镜透过透明反射镜观测。

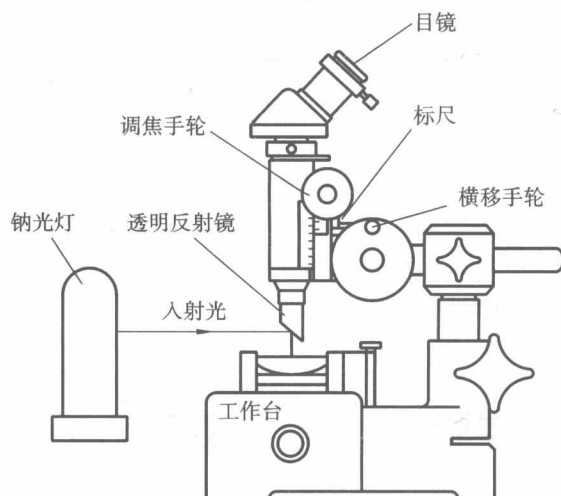


图 1-2 读数显微镜

三、实验原理

1. 牛顿环干涉

如图 1-3 所示,把一个曲率很小的平凸透镜的曲面 ABC 放置在光滑的平面玻璃 DBE 上,两者之间除了接触点 B ,将构成一层缓慢变厚的空气隙。若以单色光自正上方垂直入射在凸透镜上,则由空气隙上界面 ABC 和下界面 DBE 所反射的两束光线将在 ABC 曲面处产生干涉(见图 1-4)。由于空气隙厚度相等的地方是以 B 点为圆心,以 r 为半径的圆环,所以,整个等厚干涉条纹是一组以 B 点为中心的明暗相间的同心环,这种干涉图像称为牛顿环,如图 1-5 所示。

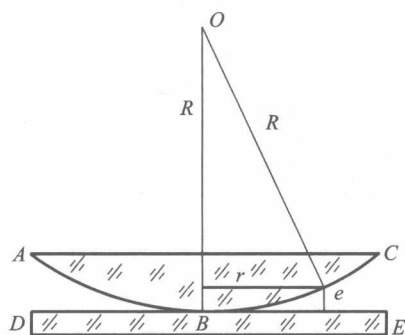


图 1-3 牛顿环装置图

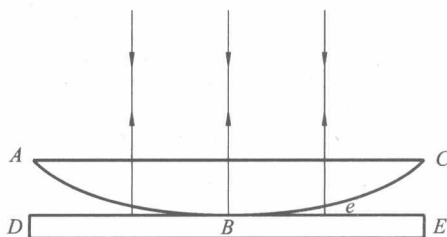


图 1-4 等厚干涉的光路图

设入射的单色光的波长为 λ , 距离接触点 B 为 r 处的空气隙厚度为 e , 则光束在 r 处上下两界面所反射的光程差为

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} \quad (1-1)$$

式中: n 为介质的折射率(如为空气, $n = 1$); $\lambda/2$ 为光束从光疏介质到光密介质表面反射时存在的半波损失造成的附加光程差。因为干涉环半径 $r \ll R$, 所以在空气隙中的往返光束可以认为是垂直 DBE 平面的。可以从图 1-3 的几何关系求得

$$R^2 = r^2 + (R - e)^2 = r^2 + R^2 + e^2 - 2eR \quad (1-2)$$

$$\text{即} \quad r^2 = 2eR - e^2 \quad (1-3)$$

当 $R \gg e$ 时, $e^2 \ll 2eR$, 可将 e^2 略去, 有

$$e = \frac{r^2}{2R} \quad (1-4)$$

把式(1-4)代入式(1-1), 可得($n=1$)

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \quad (1-5)$$

按照光的干涉条件, 明条纹对应的光程差为

$$\delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = K\lambda \quad (\text{明条纹}) \quad (1-6)$$

暗条纹对应的光程差为

$$\delta = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2K + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (\text{暗条纹}) \quad (1-7)$$

所以, 暗环的半径可写为(实验室中通常用暗环)

$$r_K = \sqrt{KR\lambda} \quad (K = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-8)$$

可见, r 是与 K 的平方根成正比的, 当干涉条纹基数增大时, r 增加得缓慢, 所以, 随着 r 增加, 干涉条纹(圆环)愈来愈密, 如图 1-5 所示。由式(1-8)可得到干涉环直径公式为

$$D_K^2 = 4KR\lambda \quad (K = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-9)$$

根据式(1-9)可知, 如果测出 K 级暗环的直径 D_K , 并且已知入射的波长 λ , 就可求得凸透镜的曲率半径

$$R = \frac{D_K^2}{4K\lambda} \quad (1-10)$$

反之, 如果 R 是已知的, 测量了 K 级牛顿环的直径 D_K , 就可以得出入射光的波长 λ 。

利用此测量关系式只对理想点接触的情况不产生测量误差, 在实际应用时往往误差很大, 原因在于凸面和平面不可能是理想的点接触, 接触压力会引起局部形变, 使接触处成为一个圆形平面, 干涉环中心为一暗斑。另外, 若空气间隙层中有了尘埃, 附加了光程差, 干涉环中心还可能为一亮斑。因此造成干涉级数与环纹序数不一致。打个比方, 在接触面为一圆面时出现第 1 级暗纹的位置, 可能对应于在理想点接触时出现第 5 级暗纹的位置。在这种情况下, 在理想点接触时干涉级数将比按面接触测得的环纹序数多出 4。在用式(1-10)进行计算时, K 应取环纹序数加上 4。但实际上我们并不知道干涉级数与环纹序数之间的差值具体是多少, 只知道对一个确定的牛顿环装置, 两者相差一个常数。采用下面的处理可以避免由于干涉级数

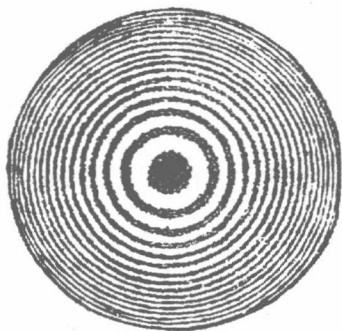


图 1-5 牛顿环干涉图样

与环纹序数不等造成的误差。

设干涉级数为 m 的条纹对应环纹序数为 M , 干涉级数为 s 的条纹对应环纹序数为 S , 根据式(1-10)得

$$D_m^2 - D_s^2 = 4(m-s)R\lambda \quad (1-11)$$

透镜的曲率半径的计算式可写成

$$R = \frac{D_m^2 - D_s^2}{4(m-s)\lambda} \quad (1-12)$$

利用式(1-12)进行测量, 不需要知道与各个环对应的干涉级数, 只要测得第 M 个环的直径(对应 D_m)和第 S 个环的直径(对应 D_s), 虽然干涉级数与环纹序数并不对应, 而且无法知道 m 和 s 的值, 但由于 $m-s=M-S$, 只要知道环纹序数的差 $M-S$, 即可求出正确的 R 。

测量时, 若测得的不是暗环的直径而是弦长, 则并不会造成测量误差, 如图 1-6 所示。

证明如下:

$$D_m^2 - D_s^2 = 4(r_m^2 - r_s^2) = 4\left[\left(\frac{l_m^2}{4} + h^2\right) - \left(\frac{l_s^2}{4} + h^2\right)\right] = l_m^2 - l_s^2 \quad (1-13)$$

2. 劈尖干涉

劈尖干涉的原理图如图 1-7 所示, 两块平面玻璃一端接触, 另一端被厚度为 d 的薄片垫起(也可以是直径为 d 的金属丝等), 于是两平面玻璃之间就形成一个空气劈尖。当平行单色光垂直入射到玻璃板上, 自空气劈尖上界面反射的光与下界面反射的光之间存在着光程差, 当夹角 θ 很小($10^{-5} \sim 10^{-4}$ rad)时, 两条反射光在劈尖的上方相遇, 就会产生干涉, 劈尖厚度相等之处, 形成同级的干涉条纹。从接触端起始, 劈尖的厚度沿着长度方向正比增大, 所以, 呈现了一种等间隔的明暗相间的平行直条纹。

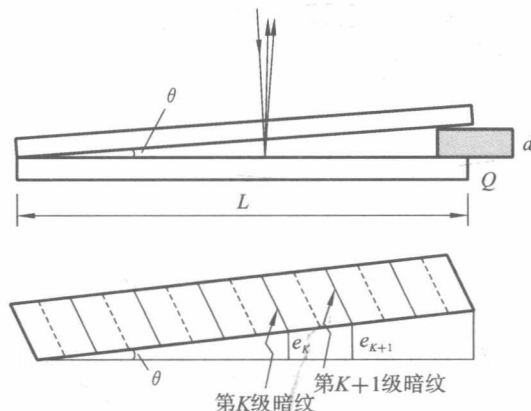


图 1-7 劈尖干涉原理图

假定第 K 级干涉条纹所在处的劈尖厚度为 e_K , 劈尖干涉条件为

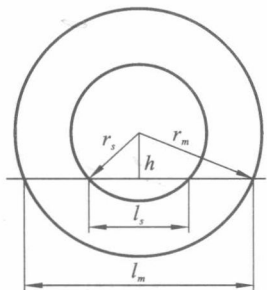


图 1-6 牛顿环弦长计算示意图

$$\delta = 2ne_K + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} K\lambda, & K = 1, 2, \dots \\ (2K+1)\frac{\lambda}{2}, & K = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (1-14)$$

对于空气劈尖, 折射率 $n=1$, 所以, K 级暗纹相对的空气厚度为

$$e_K = \frac{K}{2}\lambda \quad (K = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-15)$$

实验中, 为了测量薄片厚度或金属丝的直径 d , 根据式(1-15), 只要数出垫起物所在处的干涉级 N , 就可求得 $d=e_N$, 但在几厘米长的劈尖上, 干涉条纹的数量很大, 不易全部数出。所以, 可以先测量少量干涉条纹 N_0 (10 条或 20 条) 的总宽度 L_0 , 求得单位长度上的条纹数 $n_0=N_0/L_0$, 再测出劈尖总长度 L , 则可推算劈尖总干涉条纹数:

$$N = n_0 L = \frac{N_0}{L_0} L \quad (1-16)$$

由式(1-15)和式(1-16), 薄片的厚度为

$$d = e_N = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{N_0}{L_0} L \quad (1-17)$$

四、实验内容

1. 牛顿环测平凸透镜曲率半径

(1) 在自然光下用肉眼观察牛顿环仪, 可以看到干涉条纹, 如果干涉条纹的中心光斑不在金属框的几何中心, 可通过调节位于金属边框上的三个螺钉, 使其大致位于边框中心。螺钉适当旋紧即可, 切不可过紧, 以免损坏牛顿环仪, 也不可太松, 太松时在测量过程中如果装置晃动, 会使中心光斑发生移动, 无法进行准确测量。

(2) 将调节好的牛顿环仪放在显微镜载物台上。将显微镜镜筒大致移动到标尺的中间部位, 将牛顿环仪的中心暗斑放于物镜下方。

(3) 点燃钠光灯, 调节升降支架, 使其大致与半透半反镜等高。将显微镜底座窗口内的反射镜背向光源, 仅仅利用半透半反镜的反射光对牛顿环仪进行照亮。在显微镜下边观察边调节半透半反镜, 使显微镜的视野明亮并照度均匀。其调节要点是: ①调节倾斜角度约为 45° , 使目镜视场中观察到的光线亮度最大。②左右不均, 应旋转半透半反镜; 上下不均, 应调节钠光灯升降支架, 改变光线在反光镜上的入射点, 使反射光垂直照射到牛顿环仪上。显微镜的调节分为目镜聚焦和物镜聚焦。调节目镜, 使目镜视场中能够清晰地看到十字叉丝, 松开目镜锁紧螺钉转动目镜, 使十字叉丝中的一条叉丝与标尺平行, 另一条叉丝用来测定位置。因反射光干涉条纹产生在空气薄膜的上表面, 显微镜应对上表面调焦才能找到清晰的干涉图像。调节调焦手轮, 先让套在物镜上的半透半反镜靠近但不要接触牛顿环仪, 然后缓缓升起镜筒, 直至看到清晰的干涉条纹并不出现视差为止。

(4) 调节牛顿环的位置, 使环中心落在显微镜视野的中央。平移读数显微镜, 观察待测的各环左右是否都在读数显微镜的读数范围之内。

(5) 测量暗条纹的直径 D_K : 如图 1-8 所示, 首先选定两个暗条纹的环纹序数 M 、 S 值 (如取 $M=25$, $S=15$), 调节横移手轮, 使显微镜左移, 并同时数暗条纹的环纹序数 (中心暗斑序数为 0)。直到 $K=27$ 环, 然后反转横移手轮, 使得显微镜的纵向叉丝与 $K=25$ 环相切, 记下此时

标尺上的位置读数 $x_{M左}$ 。然后,保持横移手轮的转向,同时倒着数数,使纵向叉丝与 $K=15$ 环相切,记下此时的读数 $x_{S左}$ 。继续保持横移手轮的转向,使显微镜越过牛顿环中心右移,当越过中心后,同时数暗条纹级数 K ,纪录右边第 S 环和 M 环位置的读数 $x_{S右}$ 、 $x_{M右}$,则 M 环与 S 环的直径分别为

$$D_m = x_{M右} - x_{M左}, \quad D_s = x_{S右} - x_{S左}$$

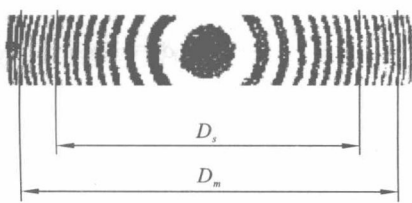


图 1-8 牛顿环直径测量

为减小环形不规整带来的误差,将牛顿环仪旋转若干角度,重复测量六次。将数据填入数据记录表 1-1 中。

2. 劈尖干涉测量薄纸的厚度 d

- (1)用劈尖装置(见图 1-1(b),装置已固定,不要调)取代牛顿环装置放入显微镜下。
- (2)调整劈尖装置的方向,使干涉条纹与目镜中的纵叉丝平行。左右移动显微镜观察,看干涉条纹、纸条边沿、两玻璃片的接触端(此处应可看见破玻璃碴口)三者是否大体上相互平行,若斜交较严重,可能是纸条厚度不均匀,则应重新安装劈尖装置。
- (3)仿照牛顿环的测量,读出两玻璃片的接触端和纸条边沿的位置 $x_{触}$ 、 $x_{纸}$,则劈尖长度 $L = |x_{纸} - x_{触}|$,重复测量六次(应克服回程差)。
- (4)任选起始条纹,测量 21 根暗条纹($N_0=20$)的起始位置和终止位置 x_0 、 x_{20} ,首尾之间的距离 $L_0 = |x_0 - x_{20}|$ (注意:起始条纹数为 0),重复测量六次(应克服回程差)。将实验数据填入数据记录表 1-2 中。

五、数据记录与计算

入射光波长 $\lambda = (5.893 \pm 0.01) \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

1. 牛顿环测平凸透镜曲率半径 R

取 $M=25$, $S=15$,将六次测量的结果记入表 1-1 中。计算六次测量的 D_m 、 D_s 值,取其平均值。根据式(1-12)计算曲率半径 R 。

2. 劈尖干涉测量 d

取 N_0 等于 20,将六次测量的结果记入表 1-2 中。计算六次测量的 L_0 、 L 值,取平均值,根据式(1-17)计算纸条厚度 d 。

表 1-1 牛顿环测曲率半径

次数	1	2	3	4	5	6
$x_{M左}/\text{mm}$						
$x_{S左}/\text{mm}$						
$x_{S右}/\text{mm}$						
$x_{M右}/\text{mm}$						
$D_m = x_{M右} - x_{M左}$						
$D_s = x_{S右} - x_{S左}$						

表 1-2 劈尖干涉测量薄纸的厚度

次数	1	2	3	4	5	6
x_0/mm						
x_i/mm						
$x_{\text{触}}/\text{mm}$						
$x_{\text{纸}}/\text{mm}$						
$L_0 = x_i - x_0$						
$L = x_{\text{纸}} - x_{\text{触}}$						

六、注意事项

1. 对准误差的克服

牛顿环条纹以及劈尖干涉产生的平行条纹均有一定的宽度,理想测量时,应将叉丝对准条纹最暗处即条纹中心,但由于很难判断中心位置从而造成对准误差。测量时,采用如图 1-9 所示的方法可以减小对准误差。另外,取较大的环序数来测量可以减小对准误差。

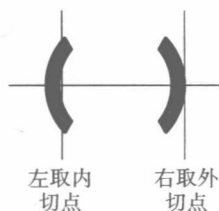


图 1-9 对准误差的克服

2. 视差的克服

视差的成因是由于物像平面与叉丝平面不共面,如图 1-10(b)所示。当眼睛移动时,显微镜视野中看到的牛顿环的像相对于叉丝发生了移动。为了准确测量,必须保证在一组数据的测量过程中眼睛不晃动,但这是难以做到的。所以必须消除视差,使物像平面与叉丝平面共面,如图 1-10(a)所示。方法是仔细调节调焦手轮。

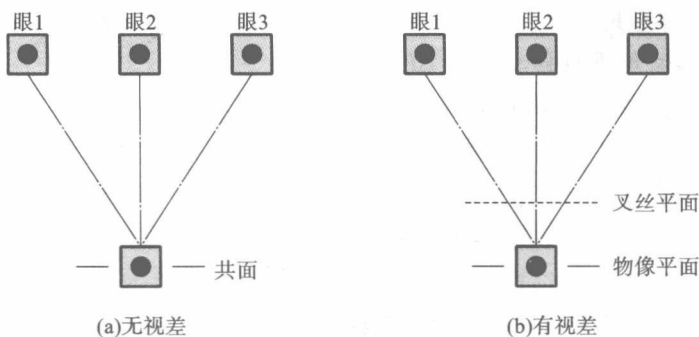


图 1-10 视差克服示意图

3. 回差的克服

回差是由于螺母齿轮和螺杆齿轮之间的间隙造成的,如图 1-11 所示。当想改变显微镜镜组的移动方向时,需要反向旋转横移手轮,带动螺杆反方向移动,但由于螺母和螺杆之间的间隙,刚开始时,螺母并不移动,即螺尺上读数准线对准的刻度值在改变,但显微镜镜组以及叉丝的位置并没有改变。为了克服回差,必须保证在测量同一组 $x_{M\text{左}}$ 、 $x_{S\text{左}}$ 、 $x_{S\text{右}}$ 、 $x_{M\text{右}}$ 的过程中,每

读一个数之前,横移手轮保持同一转向。

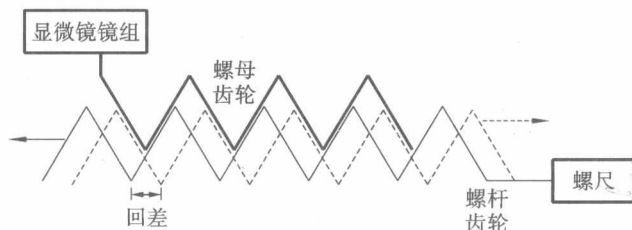


图 1-11 回差成因示意图

4. 显微镜手轮刻度与标尺刻度不匹配

正常情况下,显微镜的横移手轮螺尺上的读数对准 0 时,标尺上的读数对准线应对准某一刻度。但由于很多显微镜的度数系统未校准,存在显微镜手轮刻度与标尺刻度不匹配的系统误差。当此系统误差较小时,不影响最后的计算,因为只需要求出 $x_{K右}$ 和 $x_{K左}$ 的差值,二者相减将消除系统误差。但当系统误差接近 0.5 mm 时,会影响度数,容易出现读数错误。例如,标尺上的读数对准线对准某一刻度时,横移手轮螺尺上的读数对准线对准 48。在一次读数时,标尺上的读数对准线非常靠近 20,螺尺上的读数对准线对准 51,读数应读 19.51 还是 20.51 呢?在这种情况下,解决方法是,每次读数时,确保读得的值比根据标尺上的读数对准线看到的值要大一些。那么对于例中的情况,应读 20.51,因为 20.51 比标尺上的读数对准线对准的 20 要大。还是这一个读数系统,标尺上的读数对准线非常接近 20.7,螺尺上的读数对准线对准 28,这时读数应读 21.28 而不是 20.28。因为 21.28 比标尺上的读数对准线对准的 20.7 要大。

5. 避免叉丝垂直移动距离与显微镜镜组横向移动距离不等

测量前应使十字叉丝中的横叉丝与标尺平行,纵叉丝用来测定位置。当横叉丝与标尺不平行时,在横向移动显微镜镜组时,其移动距离 Δl 将与叉丝垂直移动距离 $\Delta l'$ 不等,如图 1-12 所示。而 Δl 为利用读数系统测得的暗环直径, $\Delta l'$ 为实际的暗环直径。横叉丝与标尺夹角越大,产生的误差就越大。

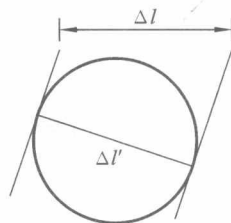


图 1-12 叉丝垂直移动距离与显微镜移动距离

6. 避免读数错误

在测量同一组数据时,不可移动或转动牛顿环仪和劈尖,否则会造成读数错误。

7. 劈尖装置的上、下面位置不能颠倒

在进行劈尖干涉实验中,应注意劈尖装置有上、下面,不能上、下面颠倒放置,否则会由于边框挡住入射光造成劈尖总长 L 的测量错误。另外,应正确定位纸边和两玻璃片的接触端的位置。在显微镜目镜里看清楚纸边和两玻璃片的接触端时的物镜焦距与看清楚干涉条纹时略有不同,应重新调焦。当难以确定这两个边沿位置时,可用小纸条挫成细卷,放到这两个边沿位置,然后在目镜中寻找细纸卷,借助细纸卷来进行定位。

七、思考题

- (1) 牛顿环测曲率半径实验,在读数显微镜的调节中,目镜中的纵向叉丝应处在什么状态?
- (2) 为什么不考虑入射光在平凸透镜上表面反射光和下表面反射光之间的干涉?
- (3) 在读数显微镜的目镜中,看到的是左边明亮、右边很暗,是什么原因造成的?如何调整?
- (4) 如何用牛顿环仪来测透明液体的折射率?

实验 2 迈克尔逊干涉实验

迈克尔逊干涉仪是由迈克尔逊和莫雷设计制造出来的一个经典精密光学仪器,在近代物理和近代计量技术中都有着重要的应用。通过迈克尔逊干涉的实验,可以熟悉迈克尔逊干涉仪的结构并掌握其调整方法,认识电光源非定域干涉条纹的形成与特点,并利用干涉条纹的变化测定光源的波长和空气的折射率。

一、实验目的

- (1) 了解迈克尔逊干涉仪的结构、原理和调节方法。
- (2) 利用迈克尔逊干涉仪测量 He-Ne 激光器的波长。
- (3) 了解空气折射率与压强的关系,并测量标准气压下空气的折射率。

二、实验仪器

迈克尔逊干涉仪;He-Ne 激光器;升降台;扩束镜;压力测定仪;空气室($L=95\text{ mm}$);气囊(1个);橡胶管(导气管 2 根)。

三、实验原理

1. 迈克尔逊干涉仪的光路

图 2-1 为迈克尔逊干涉仪实物图。迈克尔逊干涉仪的光路图如图 2-2 所示。 M_1 、 M_2 是一对精密磨光的平面反射镜, M_1 的位置是固定的, M_2 可沿导轨前后移动。 G_1 、 G_2 是厚度和折射率都完全相同的一对平行玻璃板,与 M_1 、 M_2 均成 45° 。 G_1 的一个表面镀有半反射、半透射膜,使射到其上的光线分为光强度差不多相等的反射光和透射光,故 G_1 称为分光板。

从光源 S 发出的一束光射在分光板 G_1 上,将光束分为两部分:一部分从 G_1 半反射膜处反射,射向平面镜 M_2 ;另一部分从 G_1 透射,射向平面镜 M_1 。因 G_1 和全反射平面镜 M_1 、 M_2 均成 45° ,所以两束光均垂直射到 M_1 、 M_2 上。从 M_2 反射回来的光,透过半反射膜;从 M_1 反射回来的光,为半反射膜反射。二者汇集成一束光,在 E 处即可观察到干涉条纹。光路中另一平行平板 G_2 与 G_1 平行,其材料厚度与 G_1 的完全相同,以补偿两束光的光程差,称为补偿板。在光路中, M_1' 是 M_1 被 G_1 半反射膜反射所形成的虚像,两束相干光相当于从 M_1' 和 M_2 反射而来,迈

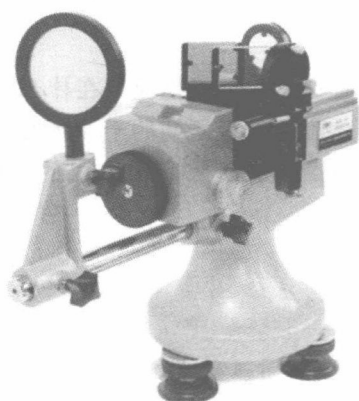


图 2-1 迈克尔逊干涉仪实物图

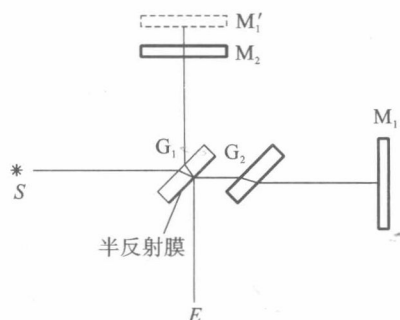


图 2-2 迈克尔逊干涉仪光路图

迈克尔逊干涉仪产生的干涉条纹如同 M_2 和 M_1' 之间的空气膜所产生的干涉条纹一样。

2. 单色光波长的测定

本实验用 He-Ne 激光器作为光源,如图 2-3 所示,激光通过短焦距透镜 L 汇聚成一个强度很高的点光源 S ,射向迈克尔逊干涉仪,点光源经平面镜 M_1' 、 M_2 反射后,相当于由两个点光源 S_1' 和 S_2' 发出的相干光束。 S' 是 S 的等效光源,是经半反射面 A 所成的虚像。 S_1' 是 S' 经 M_1' 所成的虚像。 S_2' 是 S' 经 M_2 所成的虚像。由图 2-3 可知,只要观察屏放在两点光源发出光波的重叠区域内,都能看到干涉现象,故这种干涉称为非定域干涉。

如果 M_2 与 M_1' 严格平行,且把观察屏放在垂直于 S_1' 和 S_2' 的连线上,就能看到一组明暗相间的同心圆干涉环,其圆心位于 $S_1'S_2'$ 轴线与屏的交点 P_0 处,从图 2-4 可以看出 P_0 处的光程差 $\Delta L = 2d$,屏上其他任意点 P' 或 P'' 的光程差近似为

$$\Delta L = 2d \cos \varphi \quad (2-1)$$

式中: φ 为 S_2' 射到 P'' 点的光线与 M_2 法线之间的夹角。所以亮纹条件为

$$2d \cos \varphi = K\lambda \quad (K = 0, 1, 2, \dots) \quad (2-2)$$

由式(2-2)可知,当 K 、 φ 一定时,如果 d 逐渐减小,则 $\cos \varphi$ 将增大,即 φ 角逐渐减小。也就是说,同一 K 级条纹,当 d 减小时,该圆环半径减小,看到的现象是干涉圆环内缩;如果 d 逐渐增大,同理看到的现象是干涉条纹外扩。对于中央条纹,若内缩或外扩 N 次,则光程差变化为 $2\Delta d = N\lambda$ 。式中, Δd 为 d 的变化量,所以有

$$\lambda = 2\Delta d / N \quad (2-3)$$

通过此式,则能用变化的条纹数目求出光源的波长。

3. 空气折射率的测定

若在迈克尔逊干涉仪 L_2 臂上加一个长为 L 的气室,如图 2-5、图 2-6 所示,则两束光到达 O 点形成的光程差为

$$\delta = 2(L_2 - L_1) + 2(n - 1)L \quad (2-4)$$

保持空间距离 L_2 、 L_1 、 L 不变,折射率 n 变化时, δ 随之变化,即条纹级别也随之变化(根据光的干涉明暗条纹形成条件,当光程差 $\delta = K\lambda$ 时为明纹)。以明纹为例,有

$$\delta_1 = 2(L_2 - L_1) + 2(n_1 - 1)L = K_1\lambda \quad (2-5)$$

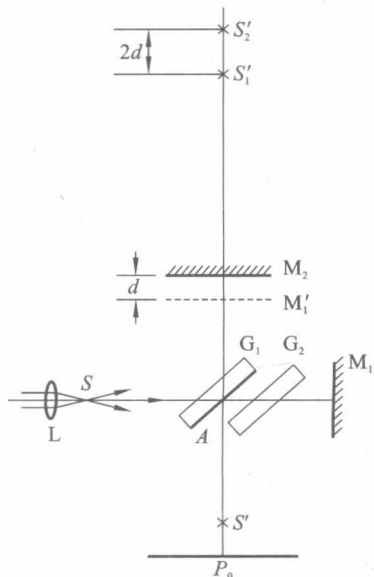


图 2-3 点光源干涉光路图

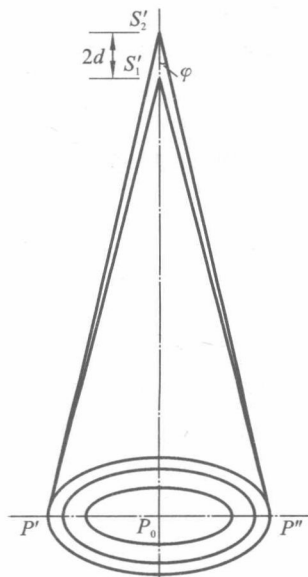


图 2-4 点光源非定域干涉



图 2-5 迈克尔逊干涉仪(带空气室、压力测定仪)

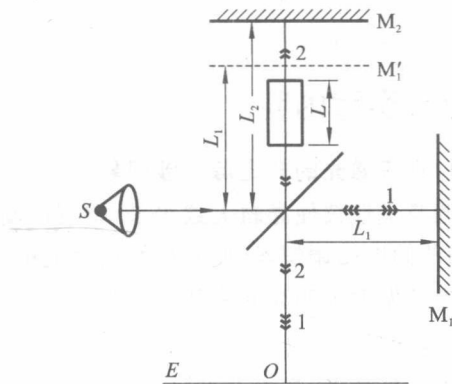


图 2-6 加入气室的光路图

$$\delta_2 = 2(L_2 - L_1) + 2(n_2 - 1)L = K_2\lambda \quad (2-6)$$

令 $\Delta n = n_2 - n_1$, $m = (K_2 - K_1)$, 将上两式相减得折射率变化与条纹数目变化关系式:

$$2\Delta nL = m\lambda \quad (2-7)$$

当气室内压强由大气压 p_b 变到 0 时, 折射率由 n 变化到 1, 屏上某点(观察屏的中心 O 点)条纹变化数为 m_b , 即

$$n - 1 = m_b\lambda / (2L) \quad (2-8)$$

通常在温度处于 $15 \sim 30^\circ\text{C}$ 时, 空气折射率可用下式求得

$$(n-1)_{t,p} = \frac{2.8793 \times p}{1 + 0.003671 \times t} \times 10^{-9} \quad (2-9)$$

式中: t 为温度, $^\circ\text{C}$; p 为压强, Pa 。在室温下, 温度变化不大时, $n-1$ 可以看成是压强的线性函数。