

浙 江 大 学

物 理 实 验 报 告

实验名称: 等厚干涉

指导教师: 王彦杰

信箱号: 62

专 业: 自动化(控制)

班 级: 控制1901

姓 名: 孟世元

学 号: 3190104700

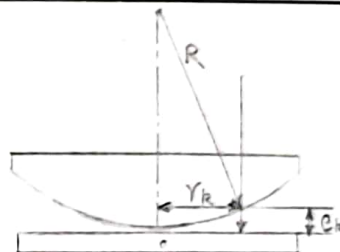
实验日期: 12 月 3 日 星期 四 上 午



- 【实验目的】
1. 理解牛顿圆和劈尖干涉条纹的成因
 2. 学习用等厚干涉法测量平透镜曲率半径和薄膜厚度
 3. 学会使用读数显微镜

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 牛顿环 如果把一块曲率半径相当大的平凸透镜的凸面放在一块很平的平玻璃上，那么在两玻璃面之间就形成类似劈尖形的空气薄层。如果将一束单色光垂直地投射进去，于是入射光在空气层上下两表面反射且在上表面相遇，在反射光中形成一系列以接触点O为中心的明暗相间的同心圆环叫牛顿环。其中，两束相干光的光程差为 $\delta = 2e_k n + \frac{\lambda}{2}$ 其中 n 为空气的折射率，实验中近似为1， $\frac{\lambda}{2}$ 为半波损失，满足明、暗圆的干涉条件分别是，



$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \quad (k=1,2,3,\dots) \quad (\text{明圆}) \\ \delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k=1,2,3,\dots) \quad (\text{暗圆}) \end{array} \right.$$

由几何关系可知 $R^2 = r_k^2 + (R - e_k)^2$

由 $R \gg e_k$ ，上式近似为： $e_k = \frac{r_k^2}{2R}$ 代入有 $r_k^2 = (2k-1)R\frac{\lambda}{2}$ (明圆)

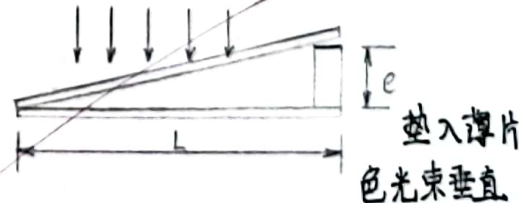
$$r_k^2 = k\lambda R \quad (\text{暗圆})$$

随着圆半径增加，条纹变密。由于接触点有灰尘或其他因素，每存在系统误差，可分别测量第 n 圆半径 r_n 和第 m 圆半径 r_m ($m > n$)

$$r_m^2 = m\lambda R + a \quad r_n^2 = n\lambda R + a \quad a \text{ 为引入误差项}$$

两式相减 $R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 即可求出 R

2. 劈尖 当两根片很平的玻璃叠合在一起，并在其中一端时，两玻璃片之间就形成夹角很小的空气薄膜。在单照射下，经空气薄膜上、下表面反射后两束反射光在薄膜上表面附近相遇并产生干涉，干涉条纹是间隔相等且平行于两玻璃交线的明暗交替的条纹。由于相邻两明条纹或暗条纹的光程差 δ 相差一个波长，所以相邻两明条纹或暗条纹在空气薄膜中对应的厚度差总是等于 $\lambda/2$ 。设劈尖到待测薄膜厚度 e 处的距离为 L ，在这段距离中明条纹或暗条纹数为 N ，劈尖厚度 $e = N\lambda/2$ ， $N = nL/\lambda$ ，所以 $e = nL\frac{\lambda}{2}$



任意取一条条纹，记录读数显微镜当前位置为 S_1 ，依次读取20条条纹的位置，其中每10条条纹平均间距值为 $\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^{10} (S_{x+i} - S_x)}{10}$

因为 $n = \frac{10}{\lambda}$ ，代入后为 $e = \frac{50L\lambda}{\sum_{i=1}^{10} (S_{x+i} - S_x)}$



【实验内容】(重点说明)

1. 读数显微镜系统调节 (1) 开启钠灯, 将牛顿环或劈尖样品盒放在玻片架下, 将玻片架放置在读数显微镜的物镜正下方 (2) 调整钠灯位置, 使钠光正对显微镜物镜 (3) 调节读数显微镜目镜, 使十字叉丝最清晰。调节物镜调焦滚轮, 同时转动玻片架上的玻片 (约向前方倾斜 45°), 使干涉条纹既清晰又明亮 (4) 转动鼓轮读数盘, 开始读取数据

2. 利用牛顿环测量平凸透镜曲面的曲率半径

把牛顿环样品盒放入玻片架内, 正对显微镜下方。点亮钠灯, 调节玻片使显微镜中可以看到较强黄光。调节显微镜使可以清晰地看到牛顿环, 然后微微移动盛放牛顿环装置的样品盒, 使叉丝与干涉条纹相切, 并旋转鼓轮读数盘, 使显微镜筒往一个方向移动, 如从牛顿环中心向右移到相当近的一圈, 譬如说是15圈, 然后向左移到第10圈开始测量读数, 继续向左移到9圈、8圈、7圈...并一一读数, 测到第1圈后, 仍向左移, 通过牛顿环中心, 继续左移读出第-1到-10圈的读数记下相应的读数, 算出牛顿环直径, 最后, 由 $R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 式求出透镜曲率半径 R

3. 测量薄片厚度

把夹有涤纶纸片的两平晶样品盒放入玻片架内, 正对显微镜下方。调整反光玻片方向使显微镜中看到较强黄光, 然后调节显微镜, 能看到清晰干涉条纹, 如看到条纹歪斜, 这说明两平晶间留有灰尘或涤纶纸片不平, 应用专用的擦镜纸把平晶再擦干净或轻轻压涤纶纸片不平, ~~再用专用擦镜纸~~使干涉条纹变回原来图像。在测量过程中要始终保持竖叉丝垂直显微镜筒标尺方向, 填写数据

实验器材:

【实验器材及注意事项】本实验的仪器主要由三部分组成: 样品架、单色光源和读数显微镜

1. 钠光灯 单色光源用的是钠光灯, 灯管内有双层玻璃泡, 装有少量氩气和钠。通电时加热灯丝, 氩气即放出淡紫色光, 钠受热后汽化, 渐渐放出强的黄光。钠光在可见光范围内两条谱线的波长分别为 589.6 nm 和 589.0 nm , 这两条谱线很接近, 所以可以把它视为单色光源, 并取其平均值 589.3 nm 为波长值。使用时应注意如下几点: (1) 点亮后需要等数分钟才会发出强黄光 (2) 每开关一次对灯的寿命很有影响的, 因此不要轻易开、关 (3) 钠光灯应垂直放置, 不得倾倒, 以免金属钠流动

2. 读数显微镜 读数显微镜在使用时应注意如下几点:

(1) 在测量时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, 以减少系统误差带来的影响 (4) 读数等于主刻度尺数据加鼓轮读数盘上数据, 并估读到 10^{-3} mm

注意事项: (1) 钠光灯需预热, 不要频繁开关钠光灯

(2) 使用钠光灯应注意安全, 不要碰倒使液体流出

(3) 读数显微镜的鼓轮只能往一个方向转, 防止回程差



【数据处理与结果】

测量牛顿环R值数据处理

$$D_{12}^2 - D_{14}^2 = 19.023 \text{ mm}^2$$

$$D_{17}^2 - D_9^2 = 18.665 \text{ mm}^2$$

$$D_{21}^2 - D_{13}^2 = 19.066 \text{ mm}^2$$

$$D_{16}^2 - D_8^2 = 18.445 \text{ mm}^2$$

$$D_{20}^2 - D_{12}^2 = 18.763 \text{ mm}^2$$

$$D_{15}^2 - D_7^2 = 18.628 \text{ mm}^2$$

$$D_{19}^2 - D_{11}^2 = 18.500 \text{ mm}^2$$

$$\overline{\Delta D^2} = 18.688 \text{ mm}^2$$

$$D_{18}^2 - D_{10}^2 = 18.414 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\frac{1}{10} \sum (D_{18}^2 - D_{10}^2)}{4.8 \cdot \lambda} = \frac{(19.023 + 19.066 + 18.763 + 18.500 + 18.414 + 18.665 + 18.445 + 18.628) \text{ mm}^2}{4.8 \cdot \lambda} = \frac{\overline{\Delta D^2}}{4.8 \cdot \lambda}$$

代入 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$

$$R = 0.991 \text{ m}$$

计算不确定度

$$\ln R = \ln(\overline{\Delta D^2})^{\frac{1}{2}} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta(\overline{\Delta D^2})}{(\overline{\Delta D^2})}$$

$$\Delta(\overline{\Delta D^2}) = \sqrt{\frac{\sum (D_{18}^2 - D_{10}^2 - \overline{\Delta D^2})^2}{8 \times (8-1)}} = 0.088 \text{ mm}^2$$

$$\Delta R = R \frac{0.088}{18.688} = 0.005 \text{ m}$$

∴ 牛顿环半径为 $R = (0.991 \pm 0.005) \text{ m}$

测量薄片厚度

有效的 $\ln - \ln$ 共 7 组

$$10 \text{ 条条纹平均间距 } \bar{S} = \frac{28.835 + 28.221 + 27.597 + 27.225 + 27.039 + 26.835 + 26.613}{7} \text{ mm}$$

$$\bar{S} = 27.489 \text{ mm}$$

$$\text{由 } e = \frac{50L\lambda}{\bar{S}}$$

$$\text{代入 } L = 4.25 \text{ cm} \quad \lambda = 589.3 \text{ nm}$$

$$\text{得 } e = 4.56 \times 10^{-5} \text{ m}$$

不确定度传导公式 $e = \frac{50L\lambda}{\bar{S}}$

$$\ln e = \ln 50 + \ln L + \ln \lambda - \ln \bar{S}$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \bar{S}}{\bar{S}}\right)^2}$$

由刻度尺测量最小分度值 0.1 cm

$$\Delta L = \frac{0.1 \text{ cm}}{\sqrt{3}}$$

$$L = (4.25 \pm 0.06) \text{ cm}$$

$$\Delta \bar{S} = \sqrt{\Delta S_A^2 + \Delta S_B^2}$$

$$\Delta S_A = \frac{0.004 \text{ mm}}{\sqrt{3}}$$

(由读数显微镜 A 类不确定度公式)

$$\Delta S_B = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \bar{S})^2}{7 \times (7-1)}}$$

$$\bar{S} = (27.489 \pm 0.298) \text{ mm}$$

$$\text{计算出 } \Delta e = 0.08 \times 10^{-5} \text{ m}$$

∴ 薄膜厚度为 $(4.56 \pm 0.08) \times 10^{-5} \text{ m}$



【误差分析】

1. 无论是牛顿环还是劈尖, 实验中的明、暗条纹分界线都有点模糊, 因此在用读数显微镜测量定位时很难精确定位, 会产生一定误差
2. 测量劈尖时条纹与读数显微镜难以达到精准垂直, 也会产生一定误差
3. 仪器本身不精确造成的误差
4. 实验者操作不规范, 读数失误造成的误差

【实验心得及思考题】

思考题

1. 如何消除读数显微镜引起的空程差?

答: 实验中应始终沿一个方向转动读数显微镜, 防止突然反方向转动时因读数显微镜齿轮咬合不紧密造成空程差

2. 为什么随着牛顿环半径增大, 条纹越来越密?

答: 牛顿环光程差相邻两亮/暗环半径满足 $r_1^2 - r_2^2 = \lambda R$ $r_1 - r_2 = \frac{\lambda R}{r_1 + r_2}$
 λR 为定值, 牛顿环半径增大后, $r_1 + r_2$ 增大, $\frac{\lambda R}{r_1 + r_2}$ 变小, 即 $r_1 - r_2$ 变小, 条纹越来越密

3. 在透射光中是否也可以观测干涉条纹?

答: 不可以。相干的光分别是在上、下表面反射的光, 而透射的只有一束光, 因此无法形成可以观测到的干涉条纹。

实验心得

本实验中一开始我逐条测量了劈尖产生明暗条纹, 在老师交流后我发现了自己的错误。改为每次累积 10 条条纹进行测量, 在与我原来的实验数据对比后果然误差减小了很多, 并且在推导不确定度时进一步体会到了叠加法减少 A 类不确定度使实验更精确, 可以说是加深了我对这方面知识的理解。



【数据记录及草表】

$\lambda = 589.3 \text{ nm}$

k	dn_1/mm	dn_2/mm	D/mm	k	dn_1/mm	dn_2/mm	D/mm
22	17.419	9.841	7.578	14	16.731	10.540	6.191
21	17.350	9.918	7.432	13	16.645	10.631	6.014
20	17.259	10.008	7.251	12	16.553	10.738	5.815
19	17.170	10.089	7.081	11	16.454	10.829	5.625
18	17.066	10.178	6.888	10	16.341	10.953	5.388
17	16.982	10.269	6.6713	9	16.210	11.072	5.138
16	16.886	10.368	6.518	8	16.101	11.198	4.903
15	16.829	10.459	6.370	7	15.976	11.291	4.685

n	l_n/mm	m	l_m/mm	$(l_m - l_n)/\text{mm}$
200	5.723 9.046	100	7.773 34.558	28.835
190	10.221 9.046	90	6.944 31.267	28.221
180	10.221 9.046	80	6.569 31.888	27.597
170	9.577 13.311	70	6.278 42.536	27.225
160	9.260 18.269	60	5.868 45.308	27.039
150	8.921 21.118	50	5.513 47.953	26.835
140	8.614 23.878	40	5.151 50.551	26.673
130	8.290 26.657	30		
120	7.930 29.382	20	由于读数显微镜已转到尽头 最后三组数据无法测得	
110	7.605 31.992	10		

$L = 4.25 \text{ cm}$

教师签字: 王彦杰

