

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-8

实验题目：迈克尔孙干涉仪

实验目的：了解迈克尔孙干涉仪的原理、结构和调节方法，观察非定域干涉条纹，测量氦氖激光的波长，并增强对条纹可见度和时间相干性的认识。

实验原理：1、迈克尔孙干涉仪的结构和原理

原理图图如右上图所示。光源 S 发出的光射向 A 板而分成 (1) (2) 两束光，这两束光又经 M_1 和 M_2 反射，分别通过 A 的两表面射向观察处 O，相遇而发生干涉，B 作为补偿板的作用是使 (1) (2) 两束光的光程差仅由 M_1 、 M_2 与 A 板的距离决定。

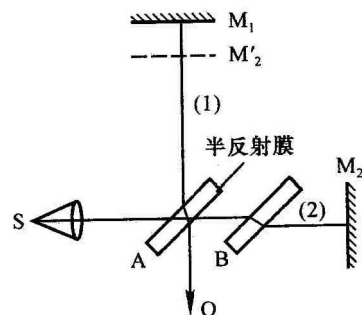


图 3.1.1-1 迈克尔孙干涉仪的原理图

2、点光源产生的非定域干涉

干涉光路图和计算图如右下图，据此计算光程差的具体形式：

$$\begin{aligned}\Delta &= \sqrt{(Z+2h)^2 + R^2} - \sqrt{Z^2 + R^2} \\ &= \sqrt{Z^2 + R^2} \left[\left(1 + \frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2}\right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]\end{aligned}$$

把小括号内的部分展开取低阶项：

$$\begin{aligned}\Delta &= \sqrt{Z^2 + R^2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2} \right)^2 + \dots \right] \\ &\approx \frac{2hZ}{\sqrt{Z^2 + R^2}} \left[\frac{Z^3 + ZR^2 + R^2h - 2h^2Z - h^3}{Z(Z^2 + R^2)} \right]\end{aligned}$$

$$= 2h \cos \delta \left[1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta - \frac{2h^2}{Z^2} \cos^2 \delta - \frac{h^3}{Z^3} \cos^2 \delta \right]$$

由于 $h \ll Z$ ，所以 $\Delta = 2h \cos \delta \left(1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta \right)$

若中心处是亮的，则 $\Delta_1 = 2h_1 = m\lambda$ 。改变光程差，中心处再次变为亮的，则 $\Delta_2 = 2h_2 = (m+n)\lambda$

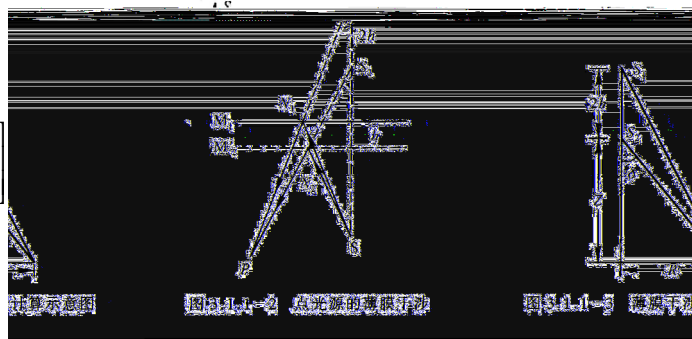
于是有 $\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{1}{2}(\Delta_2 - \Delta_1) = \frac{1}{2}n\lambda$ 。

据此由 M_1 移动的距离 Δh 和数出相应吞进（或吐出）的环数就可求得波长。

3、条纹的可见度

光源使用两种波长的光时（波长相差很小），当光程差为 $L = m\lambda_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_2$ 时，两种光产生的条纹为重叠的亮纹和暗纹，使光的可见度降低。移动 M_1 ，在光程差 $L + \Delta L = (m + \Delta m)\lambda_1 = \left(m + \Delta m + \frac{3}{2}\right)\lambda_2$ 时，可见度最小。其间光程差变化

$\Delta L = \Delta m \cdot \lambda_1 = (\Delta m + 1)\lambda_2$ 。化简后有 $\Delta\lambda = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\Delta L} = \frac{\lambda^2}{\Delta L}$ 。由此计算出波长差。



计算示意图

图 3.1.1-2 点光源的薄膜干涉

图 3.1.1-3 薄膜干涉

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-8

4、时间相干性问题

时间相干性是光源相干程度的一个描述。以入射角 $i=0$ 为例。光程差 $L=2d$ ，当 d 增加到某一值 d' 时，干涉条纹变模糊。 $L_m=2 d'$ 定义为相干长度。若光中心波长为 λ_0 ，谱线宽为 $\Delta\lambda$ ，

$$\text{则 } L_m = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}, \text{ 相干时间 } t_m = \frac{L_m}{c} = \frac{\lambda_0^2}{c\Delta\lambda}。$$

5、透明薄片折射率（厚度）的测量

（1）白光干涉条纹

只有用白光才能判断出中央条纹，从而确定 $d=0$ 的位置。

（2）固体透明薄片折射率或厚度的测量

视场中出现中央条纹后， M_1 与 A 之间放入折射率为 n ，厚度为 l 的透明物体，程差增大 $\Delta L = 2l(n-1)$ ，中央条纹消失。

将 M_1 向 A 移动 $d = \frac{\Delta L}{2}$ ，中央条纹重新出现，测量 d 与 l ，由 $d = l(n-1)$ 可以求出 n 。

实验仪器：迈克尔孙干涉仪、He-Ne 激光器、短焦距透镜

实验内容：1、观察非定域干涉条纹

- （1）打开 He-Ne 激光器，使激光束基本垂直 M_2 面，在光源前放一小孔光阑，调节 M_2 上的三个螺钉（有时还需调节 M_1 后面的三个螺钉），使从小孔出射的激光束，经 M_1 与 M_2 反射后在毛玻璃上重合，这时能在毛玻璃上看到两排光点一一重合。
- （2）去掉小孔光阑，换上短焦距透镜而使光源成为发散光束，在两光束程差不太大时，在毛玻璃屏上可观察到干涉条纹，轻轻调节 M_2 后的螺钉，应出现圆心基本在毛玻璃屏中心的圆条纹。
- （3）转动鼓轮，观察干涉条纹的形状，疏密及中心“吞”、“吐”条纹随程差的改变而变化的情况。

2、测量 He-Ne 激光的波长

采用非定域的干涉条纹测波长。缓慢转动微动手轮，移动 M_1 以改变 h ，利用式（2） $\Delta h = \frac{1}{2} n \lambda$

可算出波长，中心每“生出”或“吞进”50 个条纹，记下对应的 h 值。 N 的总数要不小于 500 条，用适当的数据处理方法求出 λ 值。

实验数据：

n	刻度 r_n (mm)	n	刻度 r_n (mm)
0	40.56819	250	40.48712
50	40.55170	300	40.47110
100	40.53527	350	40.45492
150	40.51900	400	40.43895
200	40.50299	450	40.42300

数据处理：

采用逐差法处理数据。取间隔为 5 相减：

$$x_1 = r_0 - r_{250} = 40.56819 \text{mm} - 40.48712 \text{mm} = 0.08107 \text{mm}$$

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-8

$$x_2 = r_{50} - r_{300} = 40.55170\text{mm} - 40.47110\text{mm} = 0.08060\text{mm}$$

$$x_3 = r_{100} - r_{350} = 40.53527\text{mm} - 40.45492\text{mm} = 0.08035\text{mm}$$

$$x_4 = r_{150} - r_{400} = 40.51900\text{mm} - 40.43895\text{mm} = 0.08005\text{mm}$$

$$x_5 = r_{200} - r_{450} = 40.50299\text{mm} - 40.42300\text{mm} = 0.07999\text{mm}$$

上述 x_i 的平均值

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} = \frac{0.08107 + 0.08060 + 0.08035 + 0.08005 + 0.07999}{5} \text{mm} = 0.08041\text{mm}$$

根据公式以及 $n=5 \times 50=250$ 可以知道 (x 就是公式中的 h):

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{x}}{125} = \frac{0.08041}{125} \text{mm} = 6.433 \times 10^{-4} \text{mm}$$

测量列 x_i 的标准差：

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sqrt{\frac{\sum_i (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(0.08041-0.08107)^2 + (0.08041-0.08060)^2 + (0.08041-0.08035)^2 + (0.08041-0.08005)^2 + (0.08041-0.07999)^2}{5-1}} \text{mm} \\ &= 0.00044\text{mm} \end{aligned}$$

取 $P=0.68$ ，查表得 t 因子 $t_p=1.14$ ，那么不确定度的 A 类评定为：

$$t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = 1.14 \times \frac{0.00044}{\sqrt{5}} \text{mm} = 0.00022\text{mm}$$

仪器的最大允差 $\Delta_{\text{仪}}=0.0001\text{mm}$ ，按照正态分布算：

$$u_B = \frac{\Delta}{C} = \frac{0.0001}{3} \text{mm} = 0.00003\text{mm}$$

取 $P=0.68$ ，就有 $k_p=1$ 。

那么合成不确定度：

$$U_x = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{5}})^2 + (k_p u_B)^2} = \sqrt{0.00022^2 + (1 \times 0.00003)^2} \text{mm} = 0.00022\text{mm}, P = 0.68$$

根据不确定度的传递公式，有：

$$U_\lambda = \frac{U_x}{125} = \frac{0.00022}{125} \text{mm} = 1.8 \times 10^{-6} \text{mm}, p = 0.68$$

所以最终结果可以表示成：

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm U_\lambda = (643.3 \pm 1.8) \text{nm}, P = 0.68$$

另外，可以利用 ORIGIN 作图进行处理：

实 验 报 告

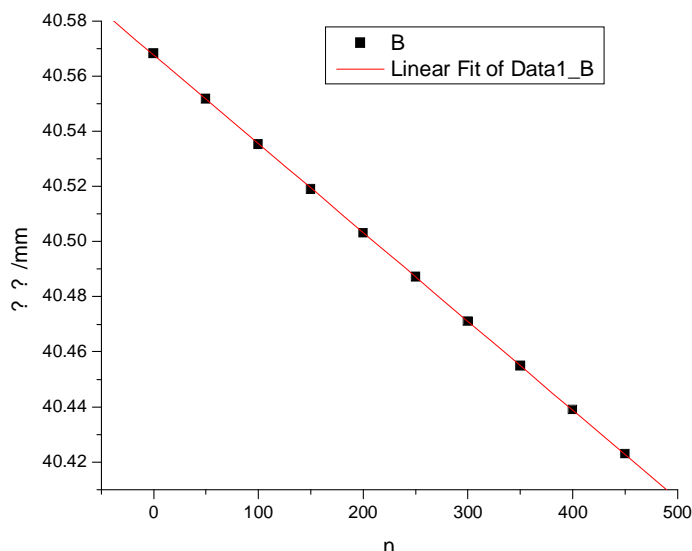
评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-10-8



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
-----------	-------	-------

A	40.5677	1.61739E-4
---	---------	------------

B	-3.22095E-4	6.05928E-7
---	-------------	------------

R	SD	N	P
---	----	---	---

-0.99999	2.75181E-4	10	<0.0001
----------	------------	----	---------

根据图象和数据可以知道 $-2B = -2 \times (-3.221 \times 10^{-4}) \text{ mm} = 644.2 \text{ nm}$ 。(误差分析略)

- 实验小结：
- 1、本实验属于光学实验，原理比较简单，操作难点在于仪器的调节和实验现象的观察。
 - 2、实验现象受外界干扰很大，桌子的轻微晃动也会造成实验现象的观察失误，应该注意避免。
 - 3、实验中应注意保持向同一边转动转轮，避免回程差。
 - 4、根据计算机处理数据来看，和逐差法结果吻合较好。

思考题：如果把干涉仪中补偿板 B 去掉，会影响哪些测量？那些测量不受影响？

Sol：补偿板 B 的作用是使光程差仅由 M_1 、 M_2 的位置决定，若去掉 B，那么光程差还受到平行板厚度、倾角、折射率等因素的影响。综合分析可以知道，这样的话会使各个刻度的测量带来影响，而对于圆环数 N 则没有影响。