

预习报告		实验记录		分析讨论		总成绩	
25		30		25		80	

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	2344016
日期：	2024/03/11	教师签名：	

CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

【实验报告注意事项】

- (1) 实验报告由三部分组成：
- (1) 预习报告：（提前一周）认真研读**实验讲义**，弄清实验原理；实验所需的仪器设备、用具及其使用（强烈建议到实验室预习），完成课前预习思考题；了解实验需要测量的物理量，并根据要求提前准备实验记录表格（第一循环实验已由教师提供模板，可以打印）。预习成绩低于 10 分（共 20 分）者不能做实验。
- (2) 实验记录：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（**用铅笔记录的被认为无效**）。**保持原始记录，包括写错删除部分，如因误记需要修改记录，必须按规范修改。**（不得输入电脑打印，但可扫描手记后打印扫描件）；离开前请实验教师检查记录并签名。
- (3) 分析讨论：处理实验原始数据（学习仪器使用类型的实验除外），对数据的可靠性和合理性进行分析；按规范呈现数据和结果（图、表），包括数据、图表按顺序编号及其引用；分析物理现象（含回答实验思考题，写出问题思考过程，必要时按规范引用数据）；最后得出结论。

实验报告就是将预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来，加上本页封面。

- (2) 每次完成实验后的一周内交**实验报告**（特殊情况不能超过两周）。
- (3) 除实验记录外，实验报告其他部分建议双面打印。

【安全注意事项】

- (1) 实验过程中，光源不要随意打开关闭；
- (2) 严禁用手触光学镜头的表面；
- (3) 严禁用强力和斜向力旋转测微头，这样会损坏测微头或其他部件；
- (4) 不要拆卸传动机构，以免影响仪器正常使用；
- (5) 实验过程中，数条纹时，避免桌面的振动。

目录

1	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 预习报告	3
1.1	实验目的	3
1.2	仪器用具	3
1.3	原理概述	3
1.4	实验前思考题	5
2	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 实验记录	7
2.1	实验内容和步骤	7
2.1.1	实验一测钠双黄线的波长差	7
2.1.2	实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 $t$ 或者折射率 $n$	9
2.2	实验过程中遇到的问题记录	10
3	CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 分析与讨论	11
3.1	实验数据分析	11
3.1.1	实验一测钠双黄线的波长差	11
3.1.2	实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 $t$ 或者折射率 $n$	11
3.2	实验后思考题	12

## CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉） 预习报告

## 1.1 实验目的

- (1) 观察等倾、等厚干涉现象及调节白光干涉条纹；
- (2) 学习用迈克尔逊干涉仪测量钠光谱波长差的方法；
- (3) 学习用白光干涉测量透明薄片折射率的方法；
- (4) 用迈克尔逊干涉仪测量多种光源的相干长度；

## 1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	精密干涉仪	1	SGM-3
2	He-Ne 激光器	1	—
3	钠钨双灯	1	—
4	汞灯	1	—
5	透明薄片	1	—
6	螺旋测微计	1	—

## 1.3 原理概述

## (1) 测钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光（ $\lambda_1 = 589.0nm$ ， $\lambda_2 = 589.6nm$ ）。采用钠灯作光源时，两条谱线形成各自的干涉条纹，在视场中的两套干涉条纹相互叠加。由于波长不同，同级条纹之间会产生错位（ $\lambda_1$  的某一级的暗条纹可能会和  $\lambda_2$  的另一级的亮条纹重合）。在移动反射镜  $M_1$ （光程差发生变化）过程中，干涉条纹会出现清晰与模糊的周期性变化，称为“光拍现象”。其原理如下。

设两条光路的光程差  $L = 2d$ ，由光的干涉条件可知：当  $L = k_1\lambda_1$ （ $k_1$  为整数）时，在视场  $E$  中心处干涉加强；当  $L = (k_2 + \frac{1}{2})\lambda_2$ （ $k_2$  为整数）时，在视场  $E$  中心处干涉减弱。

视场  $E$  中心处  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  两种单色光干涉条纹相互叠加。若逐渐增大  $M_1$  与  $M_2$  的间距  $d$ ，当  $\lambda_1$  的第  $k_1$  级亮条纹和  $\lambda_2$  的第  $k_2$  级暗条纹相重合时，叠加而成的干涉条纹清晰度最低，此时干涉条纹出现第

一次模糊，记录此时的光程差为  $L_A$ 。

若继续增大  $M_1$  与  $M_2$  的间距，使得视场  $E$  中心处的光程差增加至  $L_B$ ，此时  $\lambda_1$  的第  $(k_1 + n)$  级亮条纹和  $\lambda_2$  的第  $(k_2 + n)$  级亮条纹相重合，叠加而成的干涉条纹亮度最高，此时干涉条纹恢复清晰。

继续增大  $M_1$  与  $M_2$  的间距，使得视场  $E$  中心处的光程差增加至  $L_C$ ，此时  $\lambda_1$  的第  $k_1 + m$  级亮条纹和  $\lambda_2$  的第  $(k_2 + m - 1)$  级暗条纹相重合时，叠加而成的干涉条纹清晰度再次出现最低，此时干涉条纹出现第二次模糊，记录此时的光程差为  $L_C$ 。

设干涉条纹出现一次模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊的变化时，反射镜  $M_1$  的移动距离为  $\Delta d$ ，则  $A$  处和  $C$  处前后的光程差变化为  $\Delta L_{AC} = L_C - L_A = 2\Delta d = m\lambda_1 = (m - 1)\lambda_2$ ，则  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2/m$ ， $m = 2\Delta d/\lambda_1$ ，得到最后结果为：

$$\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$$

记录下干涉条纹出现一次“模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊”的变化时，反射镜  $M_1$  移动的距离  $\Delta d$ ，结合钠双黄线的平均波长，即可利用上式求得钠双黄线的波长差。

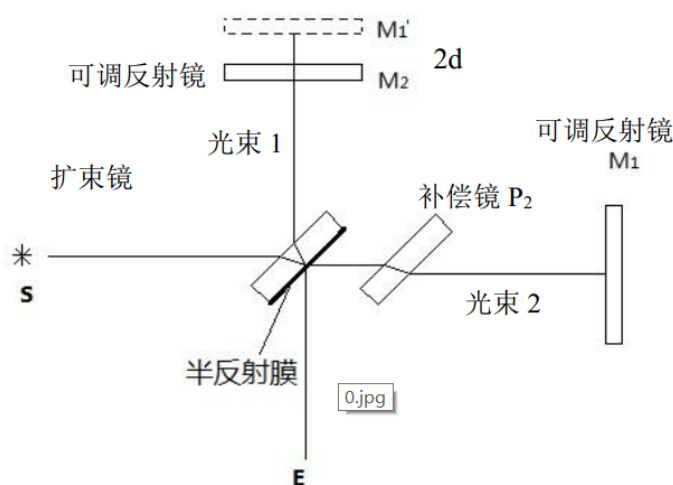


图 1: 迈克尔逊干涉仪光路图

## (2) 白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 $t$ 或者折射率 $n$

迈克尔逊干涉实验的变形实验中，首先使用激光光源和扩束镜调节出定域等倾干涉圆环，表示两干涉臂的光程差接近零。接着，换上扩散的汞灯光源，在观察屏翻到背后有玻璃的一面，微调可调反射镜  $M_2$  的倾斜度，调节干涉条纹直至只剩下非常粗大的干涉圆环。然后，换上扩散的白光光源，微调  $M_1$  的精密测微头，在玻璃镜（视场）中观察到彩色的条纹，称为“白光等厚干涉条纹”。接着，在反射镜  $M_1$  与分束镜  $P_1$  之间放上折射率为  $n$ ，厚度为  $t$  的透明薄片，两干涉臂的光程差增大为  $\Delta L = 2t(n - 1)$ ，透过观察屏玻璃观察透明薄片处，可以看到视场中的白光干涉彩色条纹消失。最后，将反射镜  $M_1$  向

前朝分束镜  $P_1$  方向移动一段距离  $\Delta d$ ，使得  $\Delta d = \Delta L/2$ ，此时白光彩色干涉条纹重新出现。通过测量  $M_1$  镜的移动量  $\Delta d$ ，可以根据  $\Delta d = t(n-1)$  计算出透明薄片的折射率  $n$  或厚度  $t$ 。

#### 1.4 实验前思考题

**思考题 1.1:** 如何测量透明溶液的折射率？请自行就相关实验原理进行调研，并设计合理试验方案。

可以使用迈克尔逊干涉仪测量透明溶液的折射率，方法简述如下：

- (1) 准备设备：设置迈克尔逊干涉仪，确保所有光学元件清洁并正确对准。
- (2) 校准干涉仪：在不放入样品的情况下，调整干涉仪直至观察到清晰的干涉条纹。
- (3) 放置样品：将装有透明溶液的比色皿放置在干涉仪的一臂中，确保比色皿平行于光束。
- (4) 观察条纹变化：开启干涉仪，观察由于溶液折射率不同而引起的干涉条纹移动。
- (5) 数据记录：记录条纹移动的数量，这与溶液的光程差有关。
- (6) 计算折射率：使用公式  $n = 1 + \frac{\lambda}{2d}$

其中  $n$  是折射率， $\lambda$  是光的波长， $d$  是比色皿的厚度， $m$  是条纹移动的数量。

测量折射率的方法还有多种，除了迈克尔逊干涉仪法外，还包括：

- 几何光学方法：利用斯涅尔定律，可以通过最小偏向角法或极限角法来测量折射率。这些方法通常需要一个透明的三棱镜样品。
- 波动光学方法：通过光程差和干涉现象来测量折射率，例如使用马赫干涉仪或法布里珀罗干涉仪。
- 分光光度法：这种方法通过测量样品的反射率和透射率来计算折射率。它可以进一步细分为菲涅耳公式法、布儒斯特定律法和接近垂直入射时的反射法。
- 椭圆偏振测量法：这种方法通过测量反射光的振幅比和相移来直接测量折射率，需要针对每种材料的特定光学模型。
- ATR 法：采用全反射原理，利用样品与棱镜的接触面发生反射，反射角与入射角之差与样品折射率之间存在固定的关系，从而计算出样品的折射率。
- 位移法：通过比较两种介质中一个光点的位置变化，计算出样品的折射率。具体方法包括折射平台法、折射浸渍法等。

每种方法都有其适用的情况和限制，选择合适的方法取决于样品的性质和实验条件。

**思考题 1.2:** 如何测量汞灯光源的相干长度？请自行就相关实验原理进行调研，并设计具体实验方案。

可以使用迈克尔逊干涉仪测量汞灯光源的相干长度，具体实验步骤如下：

- (1) 调整激光器：打开 He-Ne 激光器，调出清晰的等倾非定域干涉条纹。调节动镜 M2 的镜面调节螺丝，使观察屏上出现清晰的干涉条纹。
- (2) 汞灯光源的安装：撤掉激光器，换上低压汞灯光源。在汞灯光源与平面反射镜间放置毛玻璃，观察是否有直线条纹出现。
- (3) 观察干涉条纹：从 E 点位置用单眼观察 M2 的位置，检查是否有黑白相间的直线条纹。如果没有出现，则适当调节 M2 的镜面调节螺丝，直至视野中出现直线条纹。
- (4) 测量相干长度：向同一方向转动 M2 的微调鼓轮，使视野中的彩色直线条纹变弯曲。在条纹刚刚变弯曲的时刻，记下 M2 微调鼓轮的初始读数  $d_1$  和彩色直线条纹刚刚变弯曲时读数  $d_2$ 。相干长度即为
$$d = \frac{1}{2}(d_1 - d_2)$$

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	22344016
室温：	26℃	实验地点：	A505
学生签名：		评分：	
实验时间：	2024/03/14	教师签名：	

CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

实验记录

2.1 实验内容和步骤

2.1.1 实验一测钠双黄线的波长差

- (1) 首先调节迈克尔逊干涉仪，使产生定域等倾干涉条纹：

i. 安装并打开  $He - Ne$  激光器（注意不要直射眼睛），但先不安装扩束镜，使激光束从分束镜  $P_1$  的中心附近入射；

ii. 调节可调反射镜  $M_2$  背面的三个螺钉，使得  $M_1$  和  $M_2$  反射的光点的最亮处在观察屏  $E$  上重合；

iii. 装上扩束镜（以获得点光源），此时应能在观察屏上看到等倾干涉条纹（如观察不到，则可微调固定激光器的螺钉，使得光束能顺利通过扩束镜）。
- (2) 然后调节可移动反射镜  $M_1$  的精密测微头，减小两干涉臂的光程差  $L$ ，直至观察屏上只剩下几个较粗的干涉圆环或圆环几乎消失，这时候两干涉臂的光程几乎相等，光程差近似等于零。
- (3) 不安装扩束镜。改用钠灯，灯前装有毛玻璃使光散射。观察屏改为平面玻璃反射镜；
- (4) 从观察屏的玻璃中观察，仔细调节  $M_2$  镜后的三颗倾斜度调节螺钉和  $M_1$  镜的位置，可观察到黄黑相间的直线状的等厚干涉条纹；
- (5) 调节精密测微头，移动反射镜  $M_1$ ，观察条纹“模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊”的周期变化过程，记录每一次干涉条纹“模糊”时候精密测微头的读数，随后计算出  $M_1$  镜移动的距离  $\Delta d$ ，即可根据公式计算钠双黄线的波长差  $\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$

实验测得的数据为：

$$L_1 = 10.975mm \quad L_2 = 22.620mm \implies \Delta\lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d} = \frac{(589.3 \times 10^{-9})^2}{2 \times (\frac{(22.620 - 11.645) \times 10^{-3}}{40})} mm = 0.596nm$$

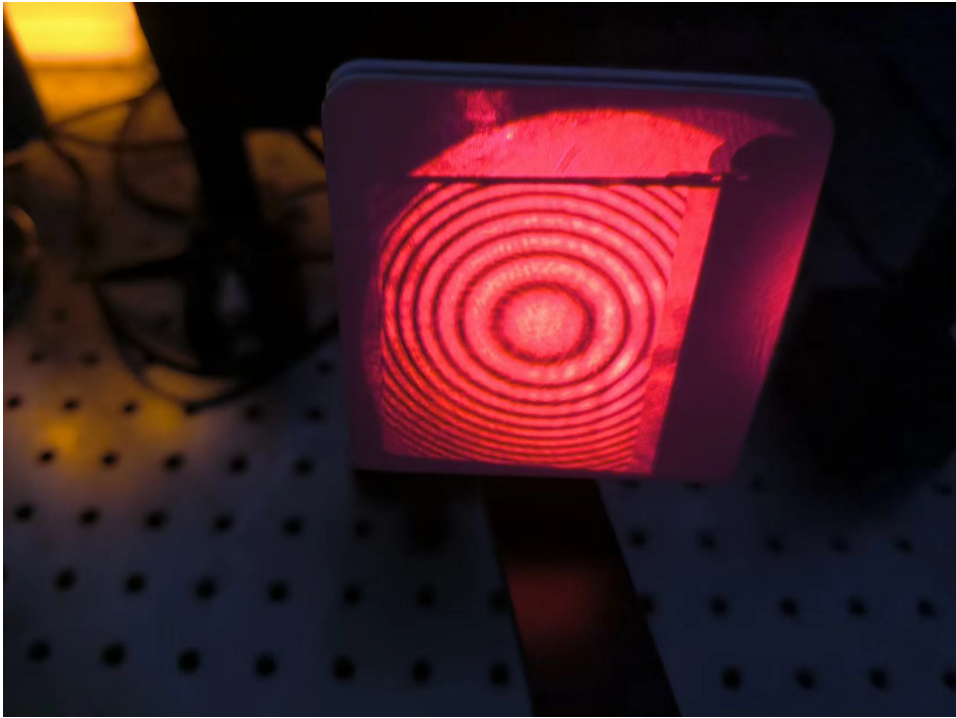


图 2: 激光光源的干涉图像

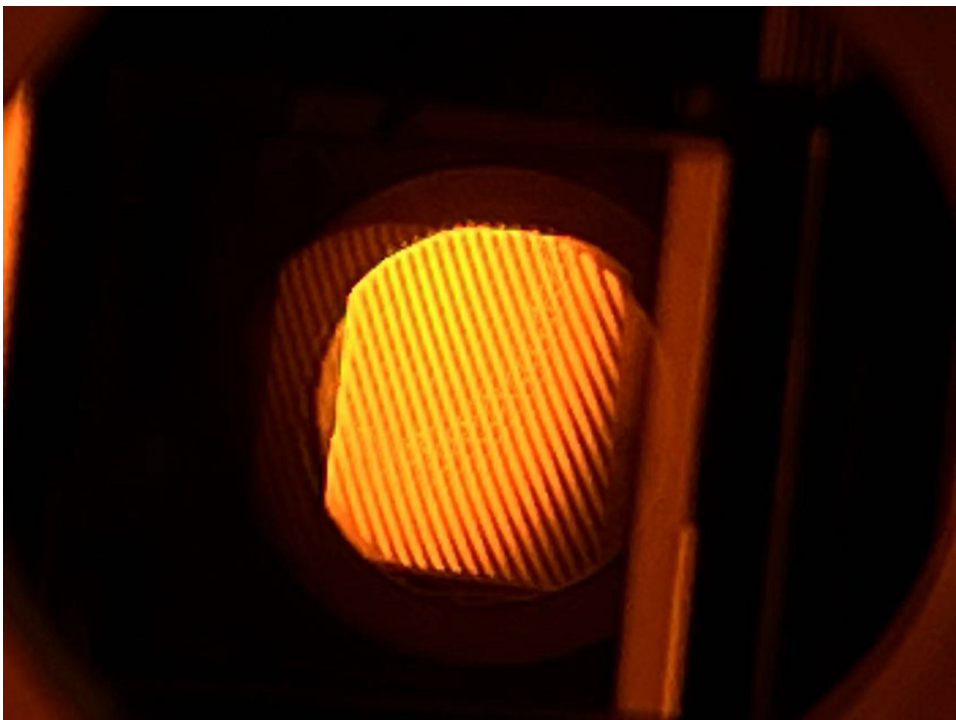


图 3: 钠黄光光源的干涉图像



### 2.1.2 实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 $t$ 或者折射率 $n$

- (1) 用相同的方法，使用  $He - Ne$  激光光源调节迈克尔逊干涉仪，使产生定域等倾干涉条纹。
- (2) 换上扩散的白光光源（本实验中采用溴钨灯加毛玻璃代替），微调  $M_1$  精密测微头，此时应能在玻璃镜（视场）中观察到彩色的条纹，此即为“白光等厚干涉条纹”。彩色条纹之间还可观察到一条全黑的条纹，称为“中心暗纹”。
- (3) 观察到此现象后，可缓慢调节  $M_1$  镜的精密测微头，使中心暗纹移到视场中央，并记录下此时反射镜  $M_1$  精密测微头的读数  $d_2$ ；
- (4) 在分束镜  $P_1$  和反射镜  $M_1$  间安装透明薄片并与光路垂直，彩色条纹及其间的暗纹消失。缓慢调节反射镜  $M_1$  的精密测微头（注意此时不要再调节  $M_2$  背面的三颗螺钉），缩小  $M_1$  和  $P_1$  之间的距离，直到重新观察到彩色条纹。再缓慢调节  $M_1$  镜，使中心暗纹移到视场中央。记录下此时反射镜  $M_1$  精密测微头的读数  $d_1$ ，计算  $M_1$  移动的距离  $\Delta d = d_2 - d_1$ ；
- (5) 用螺旋测微计测量薄片的厚度  $t$ ，结合  $\Delta d$ ，根据公式计算薄片的折射率  $n = 1 + \frac{\lambda}{2\Delta d}$ 。

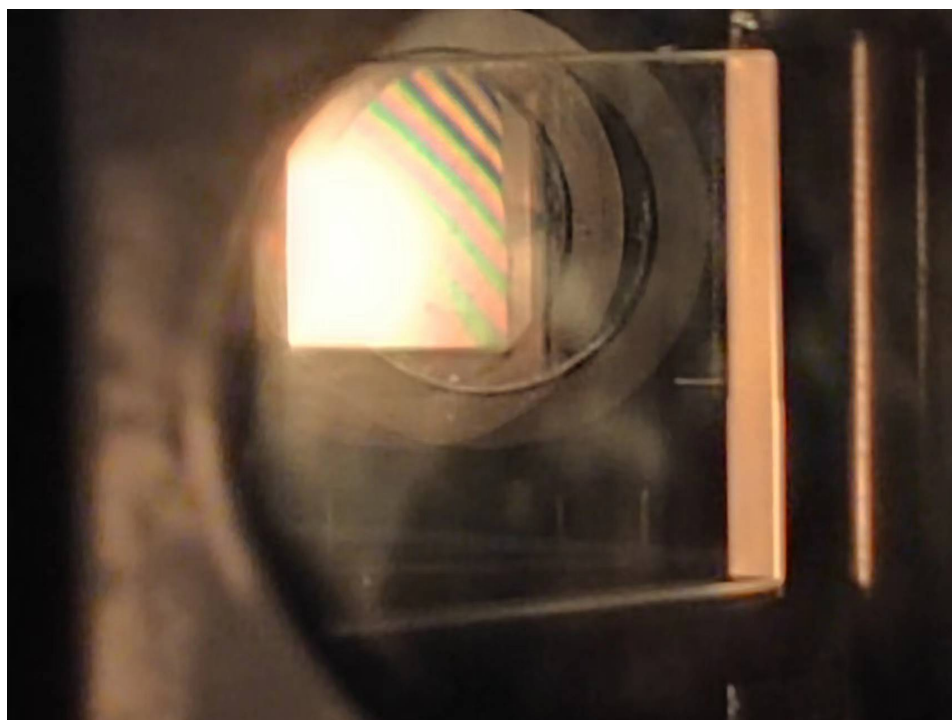


图 4: 白光光源的干涉图像

测量数据如下：

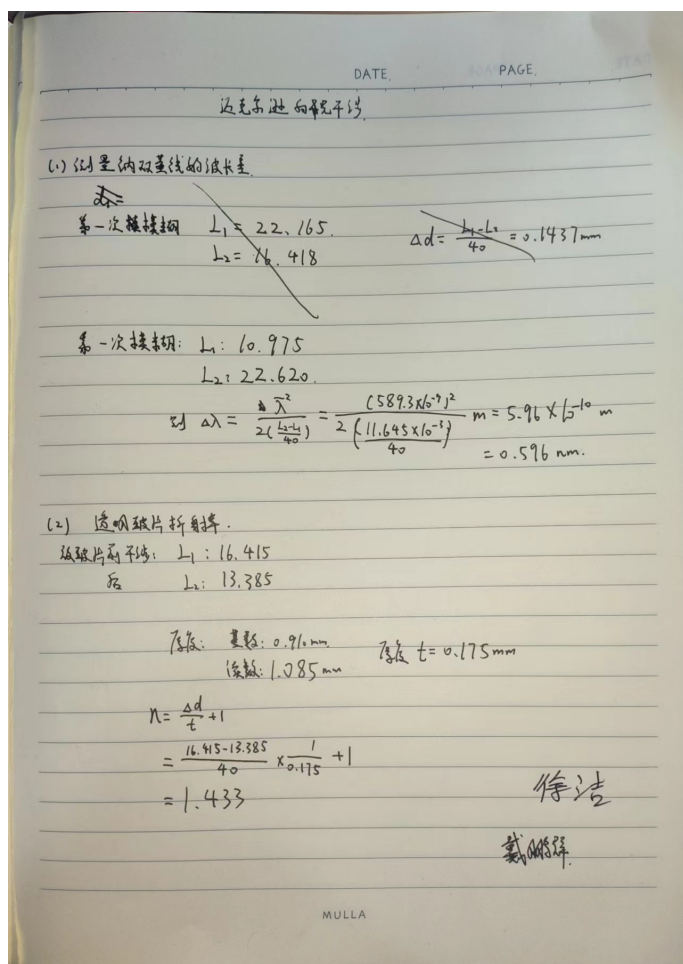
$$L_1 = 16.415mm \quad L_2 = 13.385mm$$

$$d_0 = 0.910mm \quad d_1 = 1.085mm \implies t = d_1 - d_0 = 0.175mm$$

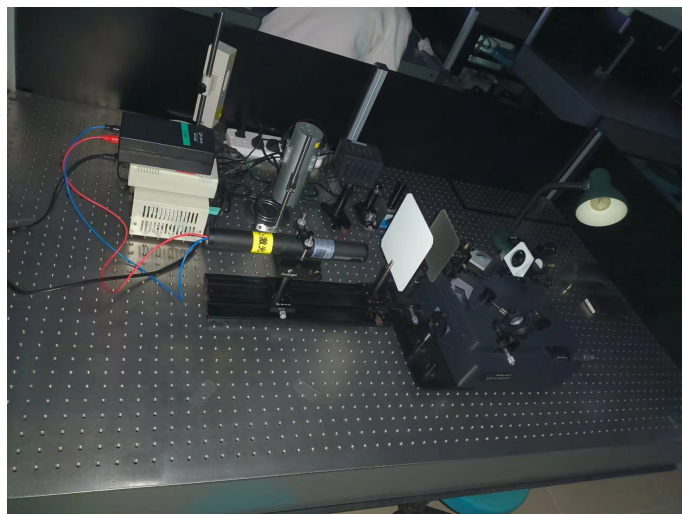
$$\implies n = \frac{\Delta d}{t} + 1 = \frac{16.415 - 13.385}{40 \times 0.175} + 1 = 1.433$$

## 2.2 实验过程中遇到的问题记录

- (1) 注意精密测微头存在  $\frac{1}{40}$  的杠杆，计算距离时要注意换算。
- (2) 在使用  $He-Ne$  激光光源，使其产生定域等倾干涉条纹，然后减小两干涉臂的光程差时，一定要保持干涉圆环的圆心始终保持在视场中心，这样能保证后面调节白光干涉时成功率更高。
- (3) ”模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊”的判断是非常主观的，建议先计算出理论值在开始读数。
- (4) 当使用精密测量探头时，最好确保读数位于整个量程的中间部分，在这一区间读数可以是精度最高，在两头读数精度偏低



(a)



(b)

图 5: 原始实验数据 + 整理后实验桌照片

专业：	物理学	年级：	2022 级
姓名：	戴鹏辉	学号：	22344016
日期：	2024/03/15	评分：	

CB1+

迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

分析与讨论

3.1 实验数据分析

3.1.1 实验一测钠双黄线的波长差

实验测得的数据为：

$$L_1 = 10.975mm \quad L_2 = 22.620mm \implies \Delta\lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d} = \frac{(589.3 \times 10^{-9})^2}{2 \times (\frac{(22.620 - 11.645) \times 10^{-3}}{40})} mm = 0.596nm$$

一直纳双黄线的波长分别为 589.0nm 和 589.6nm，则理论的纳双黄线为 0.6nm，则可计算相对误差为：

$$\eta = \frac{0.6 - 0.596}{0.6} = 0.67\%$$

则可认为在实验误差范围内，达到了实验目的。

可能的实验误差来源有：

(1)

实验中是通过”模糊 → 清晰 → 模糊”的过程来判断两条纳双黄线的光程差的，但是“清晰”与“模糊”本就是一个主观的判断，在判断读数时刻的过程就会引入误差。

(2)

计算公式  $\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1\lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$  本身就是有误差的，公式中的  $\lambda_1\lambda_2$  被  $\bar{\lambda}^2$  近似了，会引入一定的误差。

3.1.2 实验二白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度  $t$  或者折射率  $n$

测量数据如下：

$$L_1 = 16.415mm \quad L_2 = 13.385mm$$
$$d_0 = 0.910mm \quad d_1 = 1.085mm \implies t = d_1 - d_0 = 0.175mm$$
$$n = \frac{\Delta d}{t} + 1 = \frac{16.415 - 13.385}{40 \times 0.175} + 1 = 1.433$$

已知玻璃片的折射率为  $n = 1.5$ ，则可计算相对误差为：

$$\eta = \frac{1.5 - 1.433}{1.5} = 4.47\%$$

发现误差较大，可能的实验误差来源有：

- (1) 玻璃片可能没有完全与光路垂直，引入了系统误差。
- (2) 相较于钠黄光的干涉图像，白光干涉的图像很模糊，判断读数时刻也是一个较为主管的过程，也会引入误差。

### 3.2 实验后思考题

**思考题 3.1:** 当空气温度变化时，空气折射率也会发生变化，请思考如何测得空气折射率。

迈克尔逊干涉仪也可以测量空气的折射率，下面是实验方案：

- (1) 实验装置准备：准备迈克尔逊干涉仪、 $He-Ne$  激光器、气室组件、光阑、气压表和毛玻璃等。实验原理：迈克尔逊干涉仪利用两束相干光的干涉现象来测量光程差，从而计算出空气的折射率。当气室内的空气压强或温度变化时，会引起干涉条纹的移动，通过测量这些条纹的移动数量，可以计算出空气的折射率。
- (2) 实验步骤：
  - i. 粗调光路：确保激光束水平并且垂直入射到迈克尔逊干涉仪的反射镜  $M_1$  和  $M_2$  上。
  - ii. 细调光路：使用小孔光阑  $H$  调节光束，使之通过小孔并垂直入射在反射镜上。
  - iii. 调整干涉条纹：通过调整拉簧螺丝，使干涉条纹变粗、变疏，便于测量。
  - iv. 测量折射率：将气室抽成真空，然后缓慢充气，观察接收屏上的干涉条纹移动。记录气室内压强由 0 变到大气压强时的条纹变化数，利用公式计算空气的折射率。

$$n = 1 + \left( \frac{\Delta m \lambda}{2L} \right)$$

其中， $n$  是空气折射率， $\Delta m$  是干涉条纹移动的数目， $\lambda$  是光源波长， $L$  是气室的长度。

- (3) 数据处理：收集多组数据，计算平均值，以提高实验的准确性。
- (4) 注意事项：
  - i. 避免直接触摸光学表面。
  - ii. 实验中应保持安静，避免走动影响实验结果。
  - iii. 注意激光安全，避免直视激光束。

通过上述实验方案，可测量出空气的折射率。我们可以用这样的方法，记录下不同温度下，空气的折射率，并由此绘制出关系曲线，分析空气折射率与温度的关系。