

## B9 迈克耳孙干涉仪及其应用（白光干涉）

实验人：黄子维 20980066

合作者：黄睿杰 20980062

实验时间：2021.9.23 星期四 上午 室温：29°C 相对湿度：62%

### 【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. 学习用迈克耳孙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。

### 【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	KF-WSM
2	He-Ne 激光器	1	/
3	钠钨双灯	1	/
4	透明薄片	1	/

### 【实验原理】

#### 1. 测量钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光。

**光拍现象** 采用钠灯作光源，在干涉仪动镜移动过程中，干涉条纹会出现清晰与模糊的周期性变化。

**钠双黄线的波长差** 干涉条纹出现一次模糊 → 清晰 → 模糊的变化时， $M_1$  镜移动的距离为  $\Delta d$ ，则钠双黄线波长差为：

$$\Delta\lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$$

## 2. 利用白光干涉测定透明薄片的厚度或折射率

### 白光等厚条纹

- 先采用激光光源，调节出等倾干涉圆环，再减小两反射臂的光程差，直至等倾圆环几乎消失，此时两臂光程差相等。
- 换上扩散的白光光源，并微调可调反射镜的倾斜度，则可在视场中观察到彩色的条纹，此即为白光等厚干涉条纹。
- 缓慢移动  $M_1$  镜，使中心暗纹移到视场中央。中心暗纹：彩色条纹中间的全黑条纹。

### 测量薄片折射率

1. 放置薄片：在  $M_1$  镜和  $G_1$  镜间平行放置厚度为  $t$ ，折射率为  $n$  的透明薄片，则光程差增大  $\Delta L = 2t(n - 1)$
2. 补偿光程：向  $G_1$  镜方向移动  $M_1$  镜，当移动距离  $\Delta d = \frac{\Delta L}{2}$  时，光程差被补偿，中心暗纹和彩色条纹重新出现，则  $\Delta d = t(n - 1)$

## 【实验装置】

### 1. 迈克耳孙干涉仪光路图

光路图如图1所示。测定钠双黄线波长差时，应将氦氖激光器换成钠光源并移去观察屏和薄片。测定薄片折射率时，应将氦氖激光器换为白光光源并移去观察屏。

- $M_1$ ：可移动反射镜
- $M_2$ ：固定反射镜
- $G_1$ ：分光镜
- $G_2$ ：补偿镜

## 【实验内容及步骤】

### 1. 用氦氖激光器调出等倾干涉图像

- 安装干涉仪，扩束镜先不安装。
- 调节  $He - Ne$  激光器的高度和倾斜度，使激光束从分束镜的中心入射。

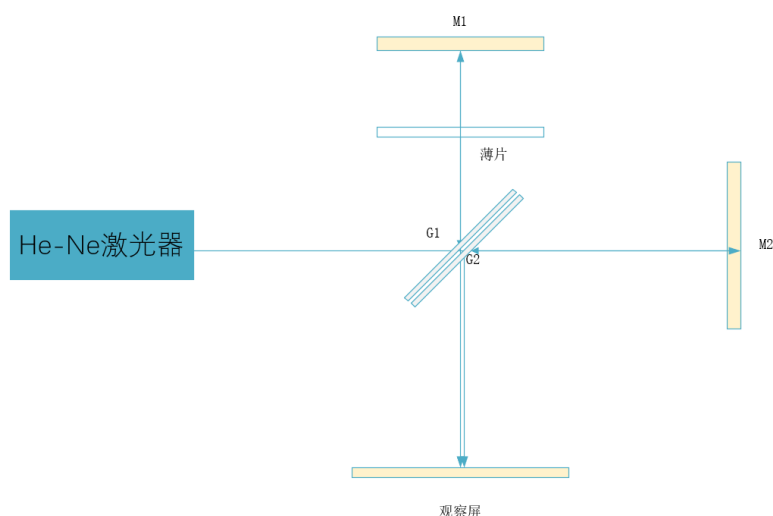


图 1: 迈克耳孙干涉仪

- 调节  $M_1$  和  $M_2$  反射镜的倾斜度调节螺钉，使各镜面的入射和出射点高度与分束镜接近， $M_1$  和  $M_2$  反射的光点在观察屏中央重合。
- 装上扩束镜，观察干涉条纹。

## 2. 测量钠双黄线波长差

1. 用  $He - Ne$  激光，调出干涉圆环。移动反射镜  $M_1$ ，使条纹变宽变稀，至观察屏上只有少数几个圆环，此时两干涉臂的光程几乎相等。
2. 改用灯前装有毛玻璃的钠灯，拆除观察屏。
3. 肉眼观察，仔细调节  $M_2$  镜的倾斜度调节螺钉和  $M_1$  镜的位置，可观察到黄黑相间的直线状等厚干涉条纹。
4. 调节移动  $M_1$  镜，观察条纹模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊的周期变化过程，记录每周期移动距离  $\Delta d$ ，依此计算钠双黄线波长差。

## 3. 白光干涉的调节并测透明薄片的折射率

1. 用  $He - Ne$  激光，调出干涉圆环。移动反射镜  $M_1$ ，使条纹变宽变稀，至观察屏上只有少数几个圆环，此时两干涉臂的光程几乎相等。
2. 改用灯前装有毛玻璃的汞灯，拆除观察屏。
3. 肉眼观察，仔细调节  $M_2$  镜的倾斜度调节螺钉和  $M_1$  镜的位置，可观察到彩色的直线状等厚干涉条纹。

4. 在分束镜和动镜间垂直光路安装透明薄片，彩色条纹消失。缓慢调节精密测微头，缩小  $M_1$  和  $G_1$  之间的距离，重新观察到彩色条纹，记录  $M_1$  移动的距离  $\Delta d$
5. 用螺旋测微计测量薄片的厚度  $t$ ，计算薄片的折射率。

## 【数据处理及分析】

### 1. 测量钠双黄线波长差

条纹模糊  $\rightarrow$  清晰  $\rightarrow$  模糊周期中：

条纹完全模糊时  $M_1$  的位置 (mm)：

[12.360, 12.665, 12.940, 13.245, 13.525, 13.800, 14.105, 14.395, 14.680, 14.975, 15.270]

条纹相邻两次模糊  $M_1$  移动的距离  $\Delta d$ (mm)：

[0.305, 0.275, 0.305, 0.280, 0.275, 0.305, 0.290, 0.285, 0.295, 0.295]

平均值为  $\Delta d = 0.291mm$ ，标准差为  $0.012mm$ 。取  $\bar{\lambda} = 589.3nm$ ，代入公式  $\Delta\lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$  计算得  $\Delta\lambda = 0.597nm$

A 类不确定度为  $S_a = 0.024nm$ ，B 类不确定度为  $S_b = 0.012nm$ ，合成不确定度为  $S = 0.027nm$ 。

故

$$\Delta\lambda = 0.597 \pm 0.03nm$$

计算代码见：[1. 测量钠双黄线波长差计算代码](#)

### 2. 白光干涉的调节并测透明薄片的折射率

#### 测量薄片厚度

薄片厚度测量值 (mm)：

[0.160, 0.151, 0.185, 0.154, 0.152]

平均值  $t = 0.160mm$ ，标准差  $0.014mm$

### 利用白光干涉测量薄片折射率

白光干涉的中心暗条纹实验结果如图2

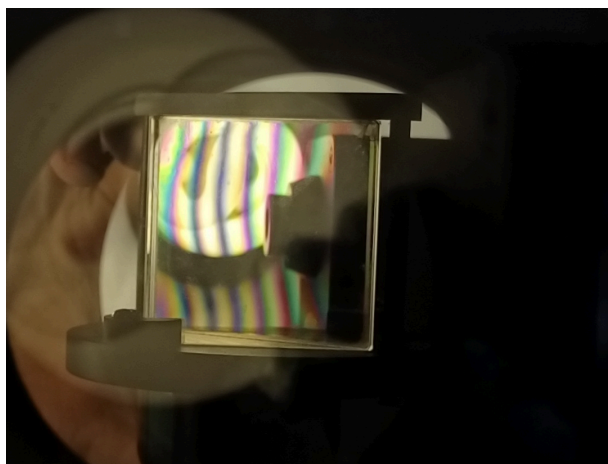


图 2: 中心暗条纹

实验结果如表1

EXP	放置薄片后 $M_1$ 位置/mm	放置薄片前 $M_1$ 位置/mm	距离差值/mm
1	12.320	12.398	0.078
2	12.318	12.399	0.081
3	12.321	12.396	0.075

表 1: 放置薄片前后出现干涉条纹所对应  $M_1$  镜位置以及差值

$\Delta d$  平均值为  $0.078mm$ ，标准差为  $0.003mm$ 。

代入  $n = \frac{\Delta d}{t} + 1$  计算得  $n = 1.486$

A 类不确定度为  $S_a = 0.046$ ，B 类不确定度为  $S_b = 0.040$ ，合成不确定度为  $S = 0.062$ ，故

$$n = 1.486 \pm 0.06$$

计算代码见：2. 白光干涉的调节并测透明薄片的折射率计算代码

### 【思考题】

1. 如何测量透明溶液的折射率？请提出实验方案并说明其合理性。

答：旋转样品法。

1. 组装迈克耳孙干涉仪，将可固定在旋转底座上的方形透明液槽置于动镜  $M_1$  和分束镜  $G_1$  之间。液槽宽度为  $t$

2. 分别进行空槽与装液两次实验,两次实验转动相同角度,分别记录条纹变化数  $\Delta N_1$  和  $\Delta N_2$ , 则修正后的条纹变化数为  $\Delta N = \Delta N_1 - \Delta N_2$

3. 则 
$$n = \frac{t \sin^2 \theta}{2t(1 - \cos \theta) - \Delta N \lambda} + (1 - \cos \theta - \frac{\Delta N \lambda}{2t})$$

合理性：由于透明溶液需要容器装载，而容器壁将会引入额外光程差，因此设计空槽与装液两次实验，得到修正的条纹变化数，将能够消除这部分误差，提高结果准确性。

## 2. 当空气的温度改变时，空气的折射率也会改变的，怎样去测量空气的折射率？

答：利用恒温装置控制温度，利用迈克耳孙干涉仪分别测定在不同温度下空气的折射率，测得多组数据后拟合空气折射率随温度变化关系曲线，外推得到特定温度对应的空气折射率。

## 【主要计算代码】

### 1. 测量钠双黄线波长差计算代码

```

1 d = df2.mean()[0]*1e6
2 # mean & std of each measurements
3 Sd = df2.std()[0]*1e6
4
5 # Diff
6 ds = sp.symbols('ds')
7 delta_lam = 589.3**2/(2*ds)
8 subs = {'ds':d}
9 delta_lam_d = sp.diff(delta_lam, 'ds').evalf(subs=subs)
10
11 # S
12 Sa = ((Sd*(delta_lam_d))**2)**(1/2)
13 u = 0.01*1e6/(3**(1/2))
14 Sb = ((u*delta_lam_d)**2)**(1/2)
15 S = ((Sa)**2 + (Sb)**2)**(1/2)
16 print('Sa=□\nSb=□\nS=□'.format(Sa, Sb, S))

```

### 2. 白光干涉的调节并测透明薄片的折射率计算代码

```
1 # mean & std of each measurements
2 delta_d = 0.078
3 t = 0.160
4 Sdelta_d = 0.003
5 St = 0.014
6
7 # Diff
8 delta_ds, ts = sp.symbols('delta_ds ts')
9 n = 1+delta_ds/ts
10 subs = {'delta_ds': delta_d, 'ts': t}
11 n_delta_d, n_t = tuple(sp.diff(n, i).evalf(subs=subs)
12                        for i in ['delta_ds', 'ts'])
13 print(n_delta_d, n_t)
14
15 # S
16 Sa = ((Sdelta_d*n_delta_d)**2 + (St*n_t)**2)**(1/2)
17 u = 0.01/(3**(1/2))
18 Sb = ((u*n_delta_d)**2 + (u*n_t)**2)**(1/2)
19 S = ((Sa)**2 + (Sb)**2)**(1/2)
20 print('Sa={}\nSb={}\nS={}'.format(Sa, Sb, S))
```

## 【项目源码】

[SYSU-PHY-EXP/B9 Michelson interference II.Jeg-Vet\(github.com\)](#)