

## 实验 CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

### 【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；

### 【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	

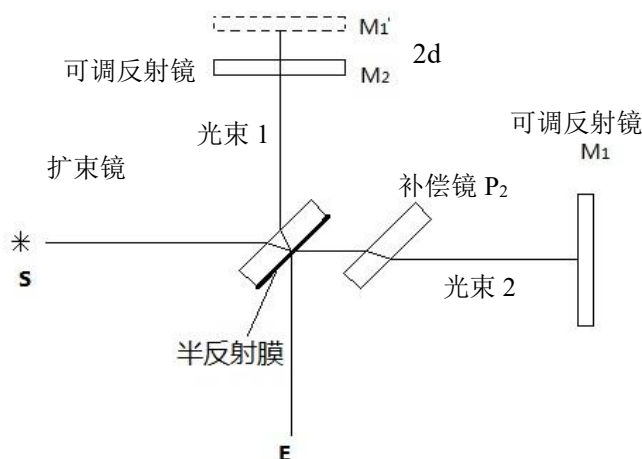
### 【原理概述】

详细请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中实验 B9 的内容（见附件）。另补充内容如下：

#### 一、测钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光（ $\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$ ）。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 M1（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。

当 M1 与 M2 平行时，记 M1 的虚像 M1' 与 M2 之间的距离  $d$ ，则两束光在观察屏（视场）E 中心处的光程差为  $L = 2d$ 。对波长为  $\lambda_1$  的入射光，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  $L = (k_2 + 1/2) \lambda_2$ （ $k_2$  为整数）时，在视场



图（一） 迈克尔逊干涉仪光路图

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 M1 与 M2 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（见图（二）A 处），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  $L_A$ ，有

$$L_A = k_1 \lambda_1 = (k_2 + 1/2) \lambda_2 \quad (1)$$

若继续增大 M1 与 M2 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（见图（二）B 处，图中  $n = 3$ ），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 M1 与 M2 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（见图（二）C 处，图中  $m = 5$ ），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  $L_C$ ，有

$$L_C = (k_1 + m) \lambda_1 = [k_2 + (m - 1) + 1/2] \lambda_2 \quad (2)$$

设干涉条纹出现一次模糊→清晰→模糊的变化时，反射镜 M1 的移动距离为  $\Delta d$ ，(2) 式减 (1) 式可求得 A 处和 C 处前后的光程差变化为

$$\Delta L_{CA} = L_C - L_A = 2\Delta d = m \lambda_1 = (m - 1) \lambda_2 \quad (3)$$

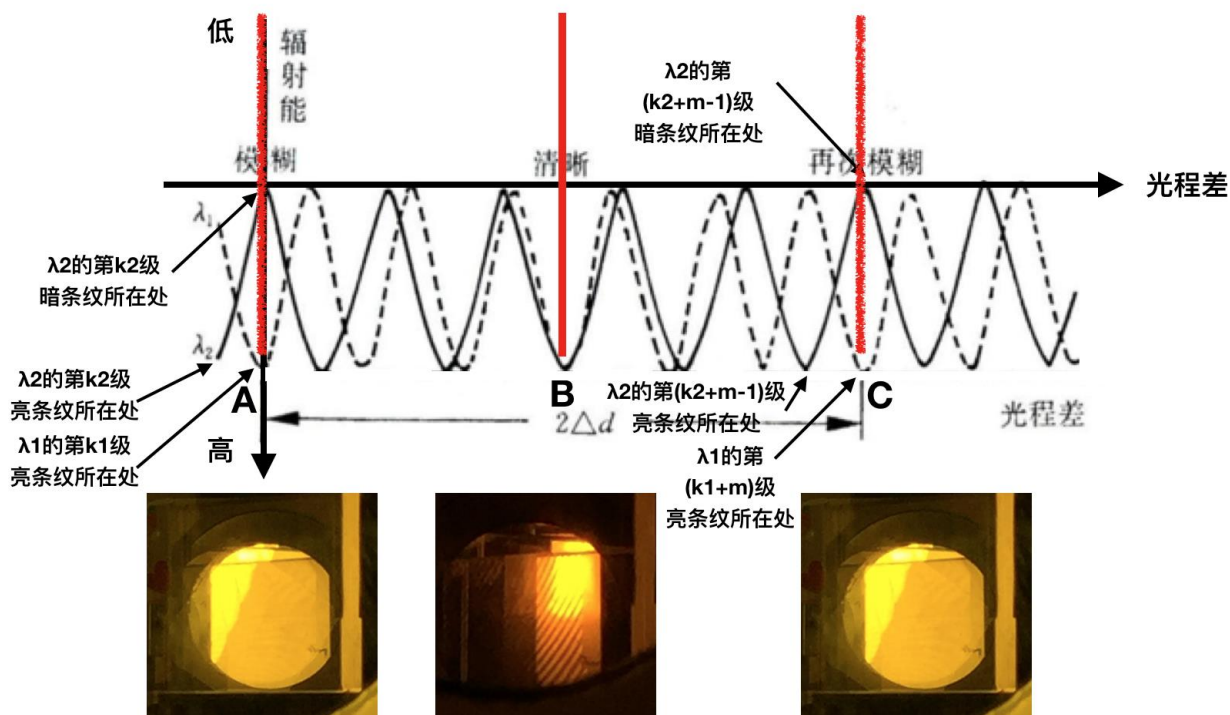
上式最后一个等式移项可得

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2 / m \quad (4)$$

(3) 式倒数第二个等式移项得  $m = 2\Delta d / \lambda_1$ ，代入 (4) 式得

$$\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d} \quad (5)$$

$\bar{\lambda} = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$  为钠双黄线波长的平均值。记录下干涉条纹出现一次“模糊→清晰→模糊”的变化时，反射镜 M1 移动的距离  $\Delta d$ ，结合钠双黄线的平均波长  $\bar{\lambda}$ ，即可利用 (5) 式求得钠双黄线的波长差  $\Delta\lambda$ 。



图（二）“光拍”现象及其原理

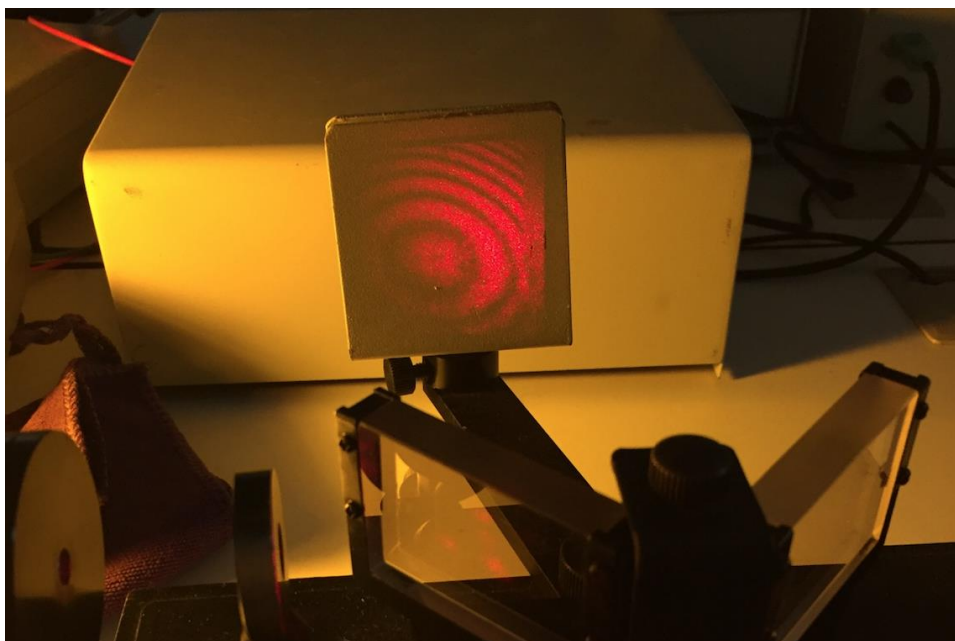
## 二、白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 $t$ 或者折射率 $n$

在迈克尔逊干涉实验中，如图（一）所示，先采用激光光源（安装上扩束镜），调节出定域等倾干涉圆环。再调节可移动反射镜 M2 的预置测微头，减小两干涉臂的光程差  $L$ （此过程中干涉圆环不断内缩，在观察屏中心 E 处不断“消失”），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，如图（三）所示）。这时候意味着两干涉臂的光程差  $L$  近似等于零。【提示：调节可移动反射镜 M2 的预置测微头的过程中，会出现干涉圆环中心偏离观察屏中心的现象，这是因为由于仪器制造工艺等原因，光束经分束镜  $P_1$  分束后，不是严格地垂直入射到两反射镜的缘故。故反射镜 M2 的移动距离较大时，会出现干涉条纹跑偏的现象。这时候可以轻微地调节反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得干涉圆环的中心始终保持在观察屏 E 中心附近，如图（三）所示。】

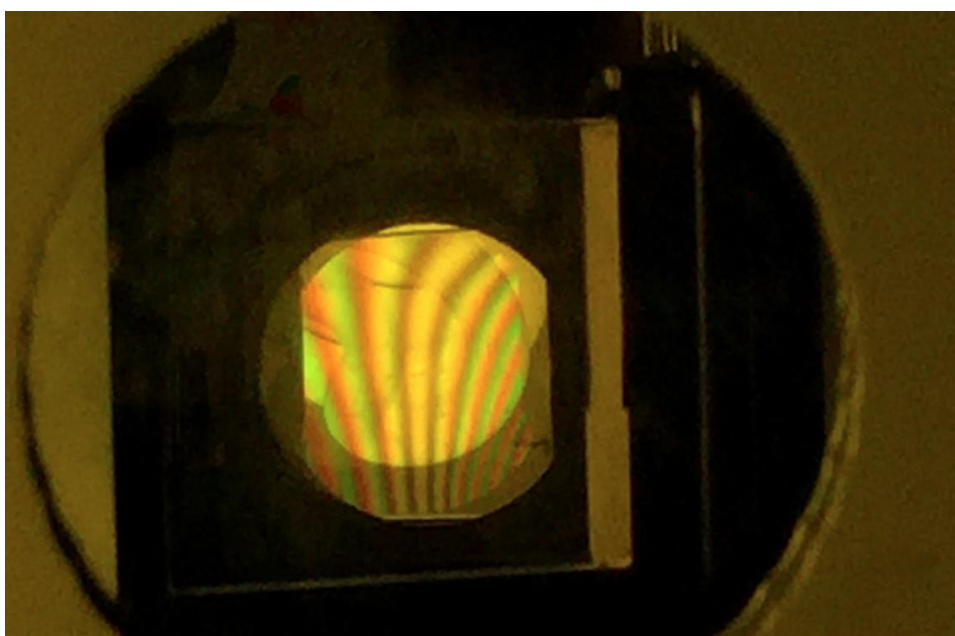
这时候撤掉扩束镜，换上扩散的汞灯光源(毛玻璃)，把观察屏翻到背后有玻璃的一面，

然后微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉（调节 M2 的倾斜度），此时应能在玻璃镜（视场）中观察到等倾干涉圆环。再调节可移动反射镜 M2 的预置测微头，减小两干涉臂的光程差  $L$ （此过程中干涉圆环不断内缩，在观察屏中心 E 处不断“消失”），直至观察屏上只剩下非常粗大的干涉圆环。

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 M1 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”。在视场中心处的彩色条纹之间还可观察到一条全黑的条纹，称为“中心暗纹”（如图（四）所示）。



图（三） 两干涉臂光程差几乎为零时，观察屏上只有少数几个等倾干涉圆环



图（四） 两干涉臂光程差几乎为零时，视场中的白光干涉的彩色条纹及其中心暗纹

然后在反射镜 M1 与分束镜 P<sub>1</sub> 之间放上折射率为  $n$ ，厚度为  $t$  的透明薄片，且尽量使薄片与 M1 镜平行，则此时两干涉臂的光程差要比原来增大

$$\Delta L = 2t(n - 1) \quad (6)$$

放上透明薄片后，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。此时如果将反射镜 M1 镜（【注意：此时不能再动可调反射镜 M2】）向前朝分束镜 P<sub>1</sub> 方向移动一段距离  $\Delta d$ ，使得  $\Delta d = \Delta L / 2$ （这时候相当于虚光源 S<sub>1</sub>' 和 S<sub>2</sub>' 距离减小  $2\Delta d = \Delta L$ ，刚好是插入透明薄片后增加的光程差），则白光彩色干涉条纹重新出现（注意要调节反射镜 M1 镜的精密测微头，使得中心暗纹移到视场中央）。此时有

$$\Delta d = t(n - 1) \quad (7)$$

测出 M1 镜的移动量  $\Delta d$ ，若已知透明薄片的厚度  $t$ ，则可由（7）式可求出透明薄片的折射率  $n$ ；反之，若已知透明薄片的折射率  $n$ ，可求出透明薄片的厚度  $t$ 。

### 三、测量汞灯光源的相干长度（设计）

请自行就相关实验原理进行调研，并设计具体实验方案。

#### 【基本测量仪器介绍】

详细请参考仪器说明书及《基础物理实验（沈韩主编）》中第 228 页图 A7.7。

#### 【实验内容和步骤】

##### 1. 调节迈克尔逊干涉仪，使产生定域等倾干涉条纹

- 1) 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<sub>1</sub> 的中心附近入射；
- 2) 调节可调反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得 M1 和 M2 反射的光点的最亮处在观察屏 E 上重合；
- 3) 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. 测量钠双黄线的波长差

- 1) 调节可移动反射镜 M1 的精密测微头，减小两干涉臂的光程差  $L$ （此过程中干涉圆环不断内缩，在观察屏中心 E 处不断“消失”），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，如图（三）所示）。这时候两干涉臂的

光程几乎相等，光程差近似等于零。【提示：调节可移动反射镜 M1 的精密测微头的过程中，会出现干涉圆环中心偏离观察屏中心的现象，这是因为由于仪器制造工艺等原因，光束经分束镜 P<sub>1</sub> 分束后，不是严格地垂直入射到两反射镜的缘故。故反射镜 M1 的移动距离较大时，会出现干涉条纹跑偏的现象。这时候可以轻微地调节反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得干涉圆环的中心始终保持在观察屏 E 中心附近，如图（三）所示】：

- 2) 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；
- 3) 从观察屏的玻璃中观察，仔细调节 M2 镜后的三颗倾斜度调节螺钉和 M1 镜的位置，可观察到黄黑相间的直线状的等厚干涉条纹；
- 4) 调节精密测微头，移动反射镜 M1，观察条纹“模糊→清晰→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 M1 镜移动的距离  $\Delta d$ ；
- 5) 根据（5）式计算钠双黄线的波长差  $\Delta\lambda$ （【提示：钠双黄线波长的理论值分别为  $\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$ 】）。

### 3. 利用白光干涉测定透明薄片的厚度 $t$ 或折射率 $n$

- 1) 重复步骤 1 和步骤 2 的（1），用 He-Ne 激光作为光源，调出等倾干涉圆环。调节预置测微头移动反射镜 M2，使条纹变宽变稀，至观察屏上只有少数几个圆环，至此两干涉臂的光程几乎相等；
- 2) 撤掉扩束镜，换上扩散的汞灯光源(毛玻璃)，把观察屏翻到背后有玻璃的一面，然后微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉（调节 M2 的倾斜度），此时应能在玻璃镜（视场）中观察到等倾干涉圆环。再调节可移动反射镜 M2 的预置测微头，减小两干涉臂的光程差  $L$ ，直至观察屏上只剩下非常粗大的干涉圆环。
- 3) 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 M1 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”。
- 4) 观察到此现象后，可缓慢调节 M1 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 M1 精密测微头的读数  $d_2$ ；
- 5) 在分束镜 P<sub>1</sub> 和反射镜 M1 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 M1 的精密测微头（注意此时不要再调节 M2 背面的三颗螺钉），缩小 M1 和 P<sub>1</sub> 之间的距离，直到重新观察到彩色条纹。再缓慢调节 M1 镜，使中心暗纹移到视场中央。记录下此时反射镜 M1 精密测微

头的读数  $d_1$ ，计算 M1 移动的距离  $\Delta d = d_2 - d_1$ ；

6) 用螺旋测微计测量薄片的厚度  $t$ ，结合  $\Delta d$ ，根据式 (7) 计算薄片的折射率  $n$ 。

### 【实验前思考题】

1. 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。

### 【实验后思考题】

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。

一组与测量值近似的 $(A, P)$ 值,就可得出薄膜厚度 $d$ 和折射率 $n$ 的数值.查表时应注意, $A$ 值所对应的 $(d, n)$ 值和 $P$ 值所对应的 $(d, n)$ 值要相同.

由于误差的原因,根据测量得到的 $(A, P)$ 值很难在表中找出对应相同的 $(d, n)$ 值,需适当放宽 $(A, P)$ 值的查找范围,找出一组近似的 $(d, n)$ 值.

每台椭偏仪标配有一本 $(A, P) - (d, n)$ 的标准数据表可查.氧化锆薄膜样品的厚度 $d \approx 78.0 \text{ nm}$ ,折射率 $n \approx 2.00$ ,若查表得到的 $(d, n)$ 值与此不符,则需重新测量.

### 【思考题】

- (1) 椭偏光法测量薄膜厚度和折射率的基本原理是什么?
- (2) 椭偏参数中 $\Psi$ 、 $\Delta$ 的物理意义是什么?实验调节应注意哪些问题?
- (3)  $1/4$ 波片的作用是什么?怎样确定 $1/4$ 波片主轴的方位?
- (4) 试分析本实验的主要误差来源.

## 实验 B9 迈克耳孙干涉及应用(白光干涉)

### 【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】

精密干涉仪, He-Ne 激光器, 钠钨双灯, 汞灯, 透明薄片.

### 【实验原理】

#### 1. 利用白光干涉测定透明薄片的厚度或折射率

在迈克耳孙干涉实验中,如图 A7.1 所示的原理,若先采用激光光源,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.这时如果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.在彩色条纹的中间还可观察到一条全黑的条纹,称为中心暗纹.观察到此现象后,可缓慢移动 $M_1$ 镜,使中心暗纹移到视场中央,然后在 $M_1$ 镜与分束镜 $P_1$ 之间放上折射率为 $n$ ,厚度为 $t$ 的透明薄片,且使薄片与 $M_1$ 镜平行,则此时光程差要比原来增大

$$\Delta L = 2t(n-1) \quad (\text{B9.1})$$

白光彩色条纹随即移出视场范围.如果将 $M_1$ 镜向前朝分束镜 $P_1$ 方向移动一段距离 $\Delta d$ ,使 $\Delta d = \Delta L/2$ ,则白光彩色干涉条纹重新出现(中心暗纹要移到视场中央),有

$$\Delta d = t(n-1) \quad (\text{B9.2})$$

测出 $M_1$ 镜的移动量 $\Delta d$ ,若已知厚度 $t$ ,可求出折射率 $n$ ;反之,若已知 $n$ ,可求出 $t$ .



## 2. 测钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光,若采用钠灯作光源,在干涉仪动镜  $M_1$  移动过程中,干涉条纹会出现清晰与模糊的周期性变化,称为光拍现象. 设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  $\Delta d$ , 则钠双黄线的波长差为

$$\Delta\lambda = \bar{\lambda}^2 / \Delta d \quad (\text{B9.3})$$

### 【实验内容及步骤】

1. 结合说明书,学习精密干涉仪的调节方法,用 He-Ne 激光器调节出等倾干涉条纹.

(1) 按图 A7.1 安装干涉仪,扩束镜(2)先不安装.

(2) 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.

(3) 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.

(4) 装上扩束镜,观察干涉条纹.

## 2. 钠双黄线波长差的测量

(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,两干涉臂的光程几乎相等.

(2) 不安装扩束镜. 改用钠灯,灯前装有毛玻璃使光散射,观察屏改为平面反射镜.

(3) 从反射镜中观察,仔细调节  $M_2$  镜后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的等厚干涉条纹.

(4) 调节移动  $M_1$ , 观察条纹模糊→清晰→模糊的周期变化过程,记录变化若干周期时  $M_1$  镜移动的距离  $\Delta d$ .

(5) 根据式(B9.3)计算钠双黄线的波长差.

## 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,两干涉臂的光程几乎相等.

(2) 不安装扩束镜. 改用汞灯,灯前装有毛玻璃使光散射,观察屏改为平面反射镜.

(3) 从反射镜中观察,仔细调节  $M_2$  镜后的倾斜度调节螺钉和  $M_1$  镜的位置,可观察到直线状的彩色干涉条纹.

(4) 在分束镜  $P_1$  和动镜  $M_1$  间安装透明薄片并与光路垂直,彩色条纹消失. 缓慢调节精密测微头,缩小  $M_1$  和  $P_1$  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,根据式(B9.2)计算薄片的折射率  $n$ .

### 【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.

(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?