

实验 CB1 迈克尔逊干涉实验（激光干涉）

【实验目的】

- 1. 了解迈克尔逊干涉仪的构造、原理和调节方法；
- 2. 学习用迈克尔逊干涉仪测量单色光波长的方法；
- 3. 学习用迈克尔逊干涉仪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	SGM-3
2	He-Ne 激光器	1	
3	透明薄片	1	
4	螺旋测微计	1	

【原理概述】

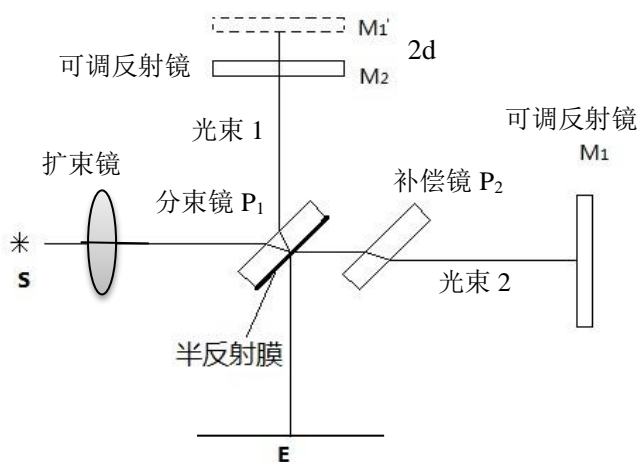
详细请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中实验 A7“迈克尔逊干涉实验（激光干涉）”的内容。另补充内容如下：

一、迈克尔逊干涉仪工作原理

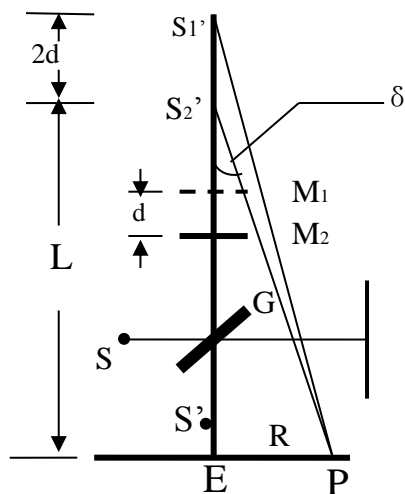
迈克尔逊干涉仪的工作原理如图（一）所示。从光源 S 发出的光束经扩束镜扩束后，射在分束镜 P<sub>1</sub> 的半透半反射膜上，将光束分为两部分：一部分从 P<sub>1</sub> 半反射膜处反射，射向平面镜 M<sub>1</sub>；另一部分从 P<sub>1</sub> 透射，射向平面镜 M<sub>2</sub>。因 P<sub>1</sub> 和全反射平面镜 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 均成 45° 角，所以两束光均垂直射到 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 上，经反射后再在观察屏 E 处相遇。

若不存在补偿镜 P<sub>2</sub>，则光束 1 共经过 P<sub>1</sub> 三次，而光束 2 只经过 P<sub>1</sub> 一次。放置与分束镜 P<sub>1</sub> 材质、厚度完全一样的补偿镜 P<sub>2</sub> 后，光束 2 也经过透镜三次，故两束光的光程差就只需计算在空气中的光程差即可。

在光路中，M<sub>1</sub>' 是 M<sub>1</sub> 被 P<sub>1</sub> 半反射膜反射所形成的虚像，在观察屏 E 处观察时候，相当于两光束分别从 M<sub>1</sub>' 和 M<sub>2</sub> 发射而来，迈克尔逊干涉仪产生的干涉条纹如同 M<sub>2</sub> 和 M<sub>1</sub>' 之间的空气薄膜（厚度为 2d）所产生的干涉条纹图样完全等效。



图(一)



图(二)

## 二、点光源产生的非定域干涉条纹

光源为点光源时，它向空间发射球面波，经反射镜  $M_1$ 、 $M_2$  反射后，相当于由两个虚光源  $S_1'$  和  $S_2'$  发出，如图(二)所示，但两光源的距离是  $M_1$ 、 $M_2$  的两倍 ( $2d$ )。若采用激光作为光源，则  $S_1'$  和  $S_2'$  发出的球面波在它们相遇的空间处处相干。若用平面屏观察干涉图样，在不同的位置和方向可观察到圆、椭圆、双曲线、直线等条纹。这种干涉现象称为“非定域干涉”。若观察屏垂直于  $S_1'$  和  $S_2'$  的连线，对应的干涉图样是一组同心圆，圆心在  $S_1'$  和  $S_2'$  连线的延长线和屏的交点  $E$ 。

观察屏上，离中心  $E$  点远处某一点  $P$ ， $EP$  的距离为  $R$ ，则两束光的光程差为

$$\Delta L = \sqrt{(L+2d)^2 + R^2} - \sqrt{L^2 + R^2}$$

当  $L \gg d$  时，展开上式并略去二级无穷小项  $d^2/L^2$ ，则有

$$\Delta L = 2Ld/\sqrt{L^2 + R^2} = 2d\cos\delta \quad (2)$$

式中  $\delta$  是圆形干涉条纹的倾角。所以亮纹条件为

$$2d \cos \delta = k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

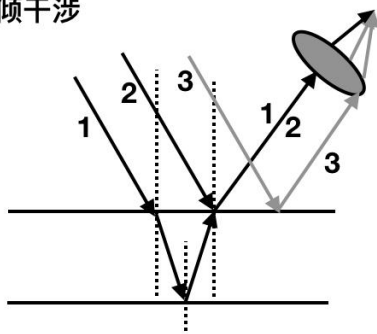
由此式可知，对于同一级干涉条纹而言，当  $k$ 、 $\delta$  一定时，如果  $d$  逐渐减小，则  $\cos \delta$  将增大，即  $\delta$  角逐渐减小。也就是说，对于同一级（第  $k$  级）条纹，当  $d$  减小时，该圆环半径  $R$  减小，看到的现象是干涉圆环内缩，并从观察屏中心“消失”；如果  $d$  逐渐增大，看到的现象将是干涉圆环向外扩大，且从观察屏中心又重新“出现”新的圆环。每改变一个圆环，相当于  $S_1'$  和  $S_2'$  的光程差改变了一个波长  $\lambda$ 。假设反射镜  $M_1$  移动的距离为  $d$ ，相应的中央“冒出”或“消失”的圆环数目为  $N$ ，则光程差变化为

$$2d = N\lambda \quad (4)$$

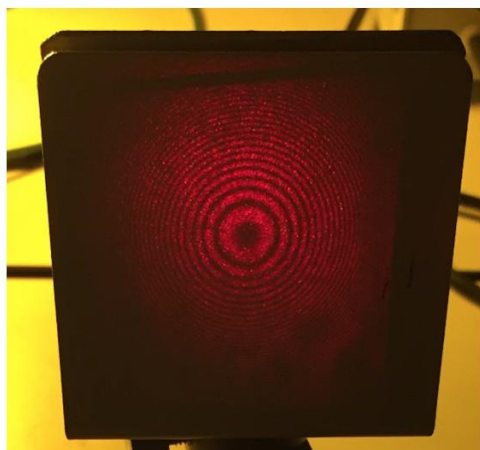
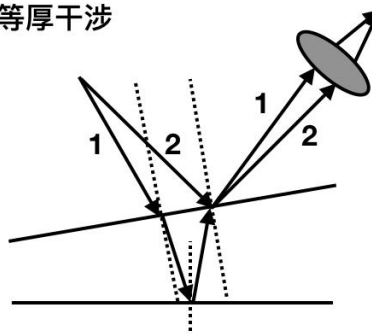
上式中， $d$  为反射镜  $M_1$  移动的距离，结合圆环变化数目  $N$ ，可得光波的波长

$$\lambda = 2d/N \quad (5)$$

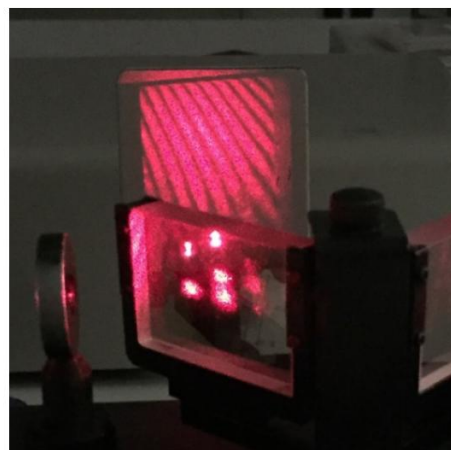
等倾干涉



等厚干涉



图（三） 等倾干涉条纹（圆环）



图（四） 等厚干涉条纹

### 三、定域干涉——等厚干涉条纹

请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中“实验 A7 迈克尔逊干涉及应用（激光干涉）”中的【实验原理】第 3 点“等倾干涉条纹”及相关光学教材。

### 四、定域干涉——等厚干涉条纹

请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中“实验 A7 迈克尔逊干涉及应用（激光干涉）”中的【实验原理】第 4 点“等厚干涉条纹”及相关光学教材。

### 五、利用等倾干涉条纹（旋转样品法）测量透明薄片的折射率

请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中“实验 A7 迈克尔逊干涉及应用（激光干涉）”中的【实验原理】第 5 点“利用等倾干涉测透明薄片的折射率”。

### 【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 或半导体激光器(注意不要直射眼睛),但先不安装扩束镜,调节出射激光束平行于光学平台,并使激光束从分束镜  $P_1$  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 He-Ne 激光器激光的波长

- 1) 记录此时 M1 处精密测微头的读数  $d_i$ ;
- 2) 旋转 M1 处精密测微头来移动 M1,使得观察屏上的圆环数目发生变化,中心处每“出现”(或“消失”)50 个圆环时记录一次精密测微头的读数  $d_i$ ,共记录 5 组  $d_i$ ;
- 3) 用逐差法求出 M1 移动的距离  $d$ ,结合  $N=50$ ,利用(5)式求得 He-Ne 激光器激光的波长  $\lambda$  (理论值是  $\lambda = 632.8\text{nm}$ )。

注意:

- a) 精密测微头的读数需考虑放大倍数 40。
- b) 旋转测微螺旋时,保证方向一致。
- c) 测量时使测微螺旋处于读数的中间区域。这时测微头的读数与动镜的移动量之间的关系最接近线性。
- d) 回程间隙是改变机械仪器运动方向时发生的细微滑动。在开始计数之前先将测微计转一圈,随后继续按同样方向旋转测微计并计数。这样可以大大消除测微计的回程 间隙所引起的误差。

### 3. 用旋转样品法测量透明薄片的折射率 $n$

- 1) 重复步骤 1,调节干涉仪并使之产生等倾干涉条纹;
- 2) 在分束镜  $P_1$  和反射镜 M1 之间的可旋转底座上放置一块透明薄片(玻璃或有机片),薄片与光路垂直;
- 3) 旋转底座,记录旋转角度  $\theta$  与干涉条纹(圆环)的变化数目  $N$  (每隔  $N = 40$  个圆环时记录一次旋转角度  $\theta_i$ ,共记录 3 组  $\theta_i$ );
- 4) 用螺旋测微计测量三次透明薄片的厚度  $t$ ,利用《基础物理实验(沈韩主编)》中第 227 页式(A7.8)求得透明薄片的折射率  $n$  (对于玻璃,理论值是  $n = 1.51$  左右)。

**【思考题】**

1. 什么是光的相干性？怎样才能获得相干光？
2. 什么是“相干长度”和“相干时间”？如何计算光的相干长度和相干时间？
3. 迈克尔逊干涉仪能观察到干涉条纹的条件是什么？
4. 什么是非定域干涉？什么是定域干涉？什么是等倾干涉？什么是等厚干涉？
5. 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，并设计具体实验方案。
6. 尝试根据下图推导《基础物理实验(沈韩主编)》中第 227 页透明薄片的折射率公式(A7.8)  
(设转动  $\theta$  角时干涉圆环变化数为  $N$  个)。

