

预习    操作记录		实验报告    总评成绩	

《大学物理实验》课程实验报告

学院：

专业：

年级：

实验人姓名(学号)：

参加人姓名：

日期：        年        月        日

室温：

相对湿度：

实验    迈克耳孙和法布里-珀罗两用干涉仪（SGM- 2 型）

一、    实验前思考题：

1. 什么是光的相干性？什么是相干长度和相干时间？
2. 迈克尔逊干涉仪能观察到干涉条纹的条件是什么？
3. 什么是等厚干涉？什么是等倾干涉？实现的条件是什么？

二、 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薄玻璃片折射率的方法。
- 4. 学习用迈克尔逊干涉仪测量空气折射率的方法。

三、实验仪器：

实验仪器	型号规格
氦氖激光器	
激光器架毛玻璃屏	
钠钨双灯	
气室	
气压表	
凸透镜	
小型显悬臂架、微镜	

四、 原理简述

(一) 迈克耳孙干涉仪

如图 3-20-1 所示，从光源 S 发出的光束射向背面镀有膜的分束器 BS，经该处反射和透射分成两路进行，一路被平面镜  $M_1$  反射回来，另一路通过补偿板 CP 后被平面镜  $M_2$  反射，沿原路返回，两光束在 BS 处会合发生干涉，观察者从 E 处可见明暗相间的干涉图样。 $M'_2$  是  $M_2$  的虚像，图示迈克耳孙干涉仪光路相当于  $M_1$  和  $M_2'$  之间的空气平行平板的干涉光路。平行于 BS 的补偿板与 BS 有相同的厚度和折射率，它使两光束在玻璃中的路程相等，并且使不同波长的光具有相同的光程差，所以有利于白光的干涉。

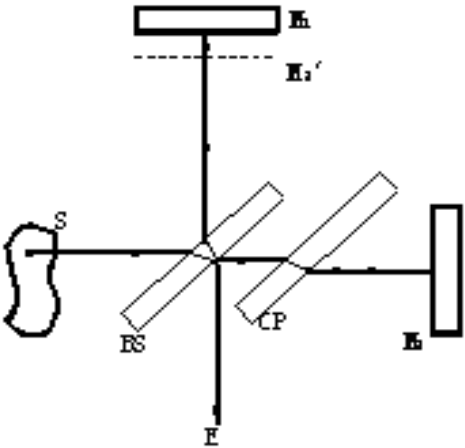


图 3-20-1 迈克耳孙干涉现象

这种干涉仪圆条纹的形成可用图 3-20-2 来说明。图中  $M'_2$  是仪器原有镜面经 BS 反射形成的虚像，与  $M_1$  平行。实际干涉仪中有好几次反射，为了简化，设想扩展光源位于观察者背后 L 处。它经过  $M_1$  和  $M'_2$  后形成  $L_1$  和  $L_2$  两个虚光源是相干的，因两者各对应点的相位在任何时刻都相同。设  $d$  为  $M_1$  和  $M'_2$  的距离，则二虚光源距离为  $2d$ ，因此，若  $d = \lambda/2$  的整数倍时从镜面法线方向反射的光线，相位都是相同的，但以某一角度从镜面反射的光线，相位一般并不相同，从两个对应点  $P'$  和  $P''$  到眼睛的光线有程差  $2d \cos \theta$ ，当  $M_1$  和  $M'_2$  平行时，二光线  $\theta$  角相同，二光线也

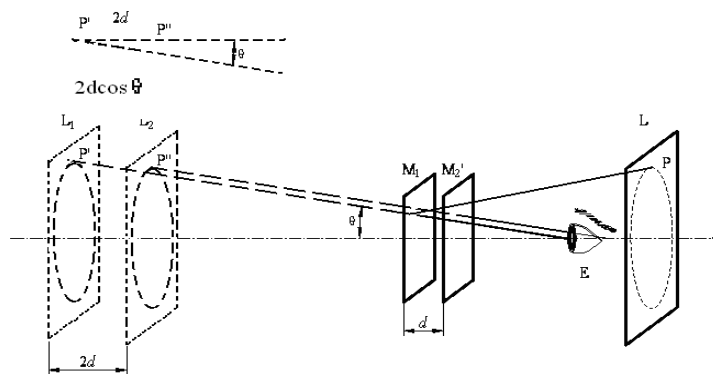


图 3-20-2 干涉仪圆条纹的形成

平行。因此，如用眼睛对平行光束调焦（这种情况下，特别是  $d$  很大时，最好用小望远镜），则当  $\theta$  满足

$$2d \cos \theta = m\lambda \quad (3-1)$$

时，它们就能相互加强而形成极大。对一定的  $m$ 、 $\lambda$  和  $d$  值， $\theta$  应是一个常量，所以极大点的轨迹形成圆环。圆心位于从眼睛到镜面的垂足上。

根据上述条件，当  $\theta$  减小，它的余弦随之增大，又会有比  $m$  大 1, 2... 的各级极大，于是屏上就会出现一系列各级极大的同心圆环。式 (3-1) 也适用于多光束干涉。

## (二) 法布里-珀罗 (F-P) 干涉仪

法布里-珀罗干涉仪是根据平行平板反射单色光的多光束叠加产生细窄明亮干涉条纹的基本原理制造的。如图 3-30-3 所示，F-P 干涉仪的主要部件是两块各有一面镀高反射膜的玻璃板  $G_1$  和  $G_2$ ，使镀膜面相对，夹一层厚度均匀的空气膜，利用这层空气膜就能够产生多光束干涉现象。来自光

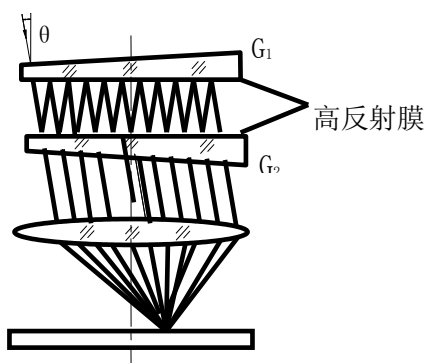


图 3-20-3 法布里-珀罗 (F-P) 干涉

源任一点的单色光以入射角  $\theta$  照射到平行平板上，这时的透射光是许多透过平板的平行光束的叠加。任一对相邻光束的光程差为

$$\delta = 2nd \cos \theta \quad (3-2)$$

并且由计算得出，透射光束叠加后的光强

$$I' = I_0 \frac{1}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2 \frac{\pi\delta}{\lambda}}$$

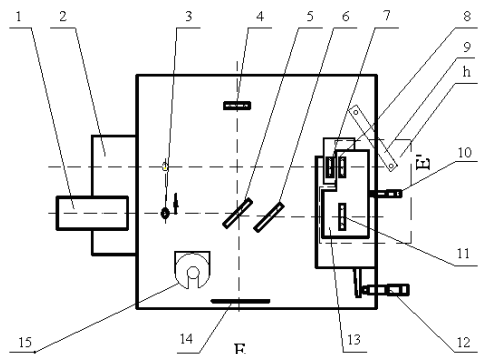
式中  $R$  是反射率。结果表明， $I'$  随  $\delta$  改变而变化。

当  $\delta = m\lambda$  ( $m=0, 1, 2\cdots$ ) 时， $I'$  为极大值。

当  $\delta = (2m' + 1)\lambda/2$  ( $m' = 0, 1, 2, \dots$ ) 时,  $I'$  为极小值。

### 五、实验仪器结构

SGM-2 型干涉仪是将迈克尔孙和法布里-珀罗两种干涉仪一体化地组装在一个平台式的基座上, 其台面是一块厚钢板, 起稳定作用, 如图 3-20-4 所示, 在基座的侧平板 2 上有



1-氦氖激光器 2-侧平板 3-扩束器 4-固定镜 5-分束器 6-补偿板 7-F-P 固定镜 8-F-P 动镜 9-旋臂架 10-动镜预置螺旋 11-动镜 12-测微螺旋 13-动镜拖板 14-毛玻璃屏 15-压力表座

图 3-20-4 SGM-2 型干涉仪

两个孔位, 可以按两种光路的需要安装并锁紧光源。图中 3 是扩束器, 本身可作二维调节, 并可按需在双杠式导轨上移动, 4 是迈克尔孙干涉仪的定镜 (参考镜), 法线方位可调, 5 是分束器, 内侧镀半透膜, 6 是补偿板, 材料和厚度与分束器相同, 5 和 6 这两块光学平板的位置出厂前已调好平行, 非特殊情况, 用户无需再调。7 和 8 是构成法布里-珀罗干涉仪的主要部件, 其中 7 固定安装, 而 8 与动镜 11 受预置螺旋 10 控制移动, 行程可达 10mm。测微螺旋 12 每转动 0.01mm, 动镜随之移动 0.0005mm。毛玻璃屏 14 用于接收迈克尔孙条纹, 以防强光刺眼。

仪器的传动部件分上下两层。图中 h 表示上层, 包括 8、10、11 和 13。上层便于预置动镜, 并受下层测微机构控制。

### 六、使用方法

#### (一) 迈克尔孙干涉仪

##### 1 获得干涉条纹

按图 3-20-4 所示, 将扩束器 3 转移到迈克尔孙光路以外, 装好毛玻璃屏 14。调节氦氖激光器支架, 配合“光靶”使光束平行于仪器的台面, 从分束器 5 平面的中心入射, 使各光学镜面的入射和出射点至台面的距离约为 70mm, 并以此为准, 调节平面镜  $M_1$  和  $M_2$  的倾斜, 使两组光点重合在毛玻璃屏中央。然后再将扩束器置入光路, 即可在毛玻璃屏上获得干涉条纹。

使用钠灯做光源时, 可在灯罩上置一针孔屏, 并调节 4 和 11, 同时直接向视场观察, 直到两组光点在适当水平上重合后, 移开针孔屏, 在光源和分束器之间插入毛玻璃屏, 即有干涉条纹出现。

##### 2 等倾干涉

面对毛玻璃屏上的激光干涉条纹, 仔细调节平面镜, 逐步把干涉环的圆心调到视场中央, 即可认为获得了等倾干涉图样。面对钠黄光产生的干涉圆环, 还须对  $M_1$  和  $M_2$  作更细致的调节, 直到眼睛上下左右移动时, 环心虽然也随之移动, 但无明暗变化, 即无干涉环涌出或消失, 所得一系列明暗相间的同心圆环即相当于某一厚度的平行空气膜产生的等倾干涉图样。

##### 3 等厚干涉

转动测微螺旋 10, 使动镜 11 向条纹逐一消失于环心的方向移动, 直到视场内条纹极少时, 仔细调节平面镜, 使其稍许倾斜, 转动测微螺旋, 使弯曲条纹向圆心方向移动, 可见陆续出现一些直条纹, 即等厚干涉条纹。

##### 4 白光干涉 (加配选购件钠钨双灯)

在等厚干涉产生直条纹之后, 使用钠钨双灯光源, 使钠黄光和白光分别照亮视场的上下两半, 向直条纹比较弯曲的一侧继续缓慢地转动测微螺旋, 待逐渐出现彩色条纹, 可在其中辨认出中央暗条纹, 这是光程差为零处的干涉。

##### 5 测氦氖激光波长

取等倾干涉条纹的清晰位置, 记下测微螺旋读数  $d$ , 沿此前方向转动测微螺旋, 同时默数冒出

或消失的条纹，每 50 环记一次读数，直测到第 250 环为止，用逐差法计算出  $\Delta d$ 。因每个环的变化相当于动镜移动了半个波长的距离，若观察到  $\Delta N$  个环的变化，则移动距离

$$\Delta d = \frac{\Delta N \lambda}{2}$$

故 
$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta N} \quad (5-1)$$

若  $\Delta d$  是从螺旋测微器直读值算出，则 (5-1) 式的右方乘比例系 0.05。

#### 6 测钠黄双线的波长差 (加配选购件钠钨双灯)

钠黄光含两种波长相近的单色光，所以在干涉仪动镜移动过程中，两种黄光产生的干涉条纹叠加的干涉图样会出现清晰与模糊的周期性变化 (光拍现象)。根据推导，钠黄双线的波长差

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

式中  $\bar{\lambda}$  为两种波长的平均值，可取上一实验的测量结果； $\Delta d$  是干涉图样出现一个清晰—模糊—清晰的变化周期内，平面镜和另一个平面镜的虚像之间空气膜厚度的改变量。实验中对光拍周期须作多次测量。

#### 7 透明介质薄片的折射率 (待测薄片用户自备)

用测微螺旋使平面镜  $M_2$  向分束器移动时调出白光干涉条纹，使中央条纹对准视场中的叉丝 (可画在光源与分束器之间的毛玻璃上) 记下动镜位置读数  $I_1$ ，在动镜前加入一片优质的透明薄片 (厚度  $< 1\text{mm}$ ) 之后，增加的光程差

$$\delta = 2d(n-1) \quad (5-3)$$

致使彩色条纹移出视场，沿原方向转动测微螺旋至彩纹复位时，补偿的光程差  $\delta' = \delta$ ，记下动镜位置  $I_2$ ，由  $I_1$  和  $I_2$  计算出  $\delta$ ，再用千分尺测出薄片的厚度，即可由上述关系计算出它的折射率  $n$ 。

#### 8 空气的折射率

用小功率激光器做光源，将内壁长  $l$  的小气室置于迈克尔孙干涉仪光路中，调节干涉仪，获得适量等倾干涉条纹之后，向气室里充气 (0—40 kPa. 或 0—300mmHg,  $1\text{mmHg} = 133.3\text{Pa}$ )，再稍微松开阀门，以较低的速率放气的同时，计数干涉环的变化数  $N$  (估计出 1 位小数) 至放气终止，压力表指针回零。在实验室环境里，空气的折射率

$$n = 1 + \frac{N\lambda}{2l} \times \frac{p_{\text{amb}}}{\Delta p} \quad (5-4)$$

其中激光波长  $\lambda$  为已知，环境气压  $p_{\text{amb}}$  (可取 101325 Pa)。

### (二) 法布里-珀罗干涉仪

#### 1 观察多光束干涉现象

将干涉仪整体转动  $90^\circ$ ，使 F-P 干涉仪面向实验者，观察位置转到  $E'$ 。转动预置螺旋，直到  $G_1$  和  $G_2$  两个镜面相距约 1mm。然后将氦氖激光管安置在 F-P 干涉仪光路上，毛玻璃屏插入旋臂架，置于观察位置  $E'$  处。若激光束在两个镜面之间反射后，在毛玻璃屏上形成一系列光点，须利用镜子的调节旋钮消除镜面间的倾斜角，使这些光点重合，就说明两镜面已近乎平行。这时将扩束器 BE 和推移到光路中，就能够从该系统 (图 3-20-5) 的轴向观察到一系列明亮细锐的多光束干涉圆环。经过细致调节，可将环心调到视场中央，并且在转动螺旋测微器观察干涉环陆续冒出或消失的过程中，基本上没有移动。

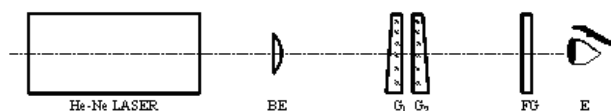


图 3-20-5 观察多光束干涉现象

## 2 测钠黄双线的波长差（配选构件凸透镜、显微镜及架）

按图 3-20-6 安排实验光路，低压钠灯发出的黄光照亮毛玻璃屏 FG，成为面光源。先参照前面的方法调出干涉环，经微调力求做到当眼睛上下左右移动时，中部圆环直径不发生变化。在移动动镜改变  $G_1$  和  $G_2$  距离（要注意避免两镜相碰）的过程中可以发现，由两种波长的黄光产生的两套干涉环，在某长度上会重合起来，在另一长度上，一套干涉环恰好夹在另一套干涉环中间（相互居中）。通过仔细观测，可以相当准确地测定这一居中位置或重合位置。

因透射光的加强条件为  $2d \cos \theta = m\lambda$

若只考虑环系中心处（ $\cos \theta = 1$ ），当一环系位于另一环系中间时，则有

$$2d_1 = m_1 \lambda_1 = \left(m_1 + \frac{1}{2}\right) \lambda_2 \quad (5-5)$$

其中  $\lambda_1 > \lambda_2$ 。当动镜继续移动，经过二环系重合，再度达到居中时，又有

$$2d_2 = m_2 \lambda_1 = \left(m_2 + \frac{1}{2}\right) \lambda_2 \quad (5-6)$$

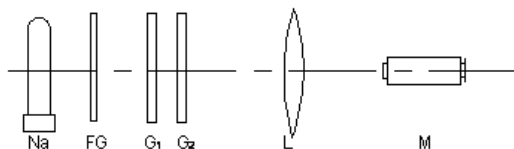
用式 (5-2) 减式 (5-1)，得

$$2(d_2 - d_1) = (m_2 - m_1) \lambda_1 = (m_2 - m_1) \lambda_2 + \lambda_2$$

若  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  相差很小，近似相等，则得

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \Delta\lambda = \frac{\lambda_1^2}{2(d_2 - d_1)} \quad (5-7)$$

其中  $\lambda_1^2$ ，对钠黄双线可取  $(589.3\text{nm})^2$ 。

Na：低压钠灯；FG：毛玻璃； $G_1, G_2$ ：F-P 反射镜；

L：凸透镜；M：小型显微镜

图 5-2

图 3-20-6 实验光路

实验测量前，在利用测微螺旋移动动镜，使  $G_1$  和  $G_2$  逐渐靠近的同时，密切注视两镜距离（避免碰触），直到相距大约  $0.5\text{mm}$  为止。此时，测微螺旋示值接近零（必要时可用预置螺旋调节）。钠黄光产生的两个环系大体上是重合的。然后，使动镜逐渐移开，两个环系也随之慢慢分开，直到一环系恰好位于另一环系中间时，记下测微螺旋读数  $d_1$ 。继续移远动镜，两套环系经过重合再次分开。当一环系重新位于另一环系中间位置时，记下测微螺旋读数  $d_2$ 。将  $d_1$  和  $d_2$  代入式 (5-3)，即可算得钠黄双线波长差  $\Delta\lambda$ 。本实验宜进行多次测量，取平均结果。

实验中必须仔细认准 F-P 干涉条纹的级。图 3-20-7

表示，钠黄光中两种波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ （ $\lambda_1 > \lambda_2$ ）形成的 F-P 干涉环的分离状态。无论是静止状态，还是变化过程之中，在中央形成的干涉级总是最高的。从中心向外依次

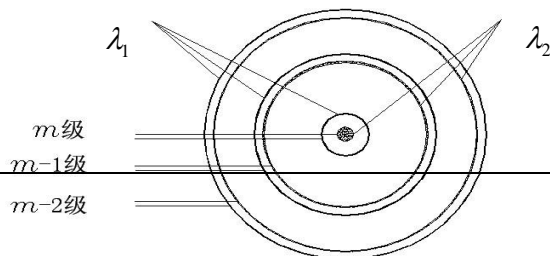


图 3-20-7

递减。为了确定上述的居中位置，需要判断的是  $m$  级的  $\lambda_1$  与内侧同级  $\lambda_2$  的距离是否与外侧  $m-1$  级  $\lambda_2$  的距离相等，或  $m-1$  级的  $\lambda_2$  与内侧  $m$  级  $\lambda_1$  的距离是否与  $m-1$  级外侧  $\lambda_1$  的距离相等。

七、实验内容及数据记录

1. 测氦氛激光器激光波长

先按照前面步骤干涉条纹，然后调成等倾干涉条纹，取等倾干涉条纹的清晰位置，记下测微螺旋读数  $d_0$ ，沿此前方向转动测微螺旋，同时默数冒出或消失的条纹，每 100 环记一次读数，直测到第 1000 环为止，用逐差法计算出  $\Delta d$ 。因每个环的变化相当于动镜移动了半个波长的距离，若观察到  $\Delta N$  个环的变化，则移动距离

$$\Delta d = \frac{\Delta N \lambda}{2}$$

故 
$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta N}$$

若  $\Delta d$  是从螺旋测微器直读值算出，则上式的右方乘比例系 0.05。

(1) 条纹变化数与动镜移动距离关系

条纹变化数 N	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
移动距离 mm										

(2) 计算波长。

2. 测量空气的折射率

- (1) 采用 He-Ne 激光，将气室安装至迈克尔逊干涉光路且窗口与光路垂直。
- (2) 调出干涉条纹。关闭气室阀门，向气室内充气至满偏（40kPa）。
- (3) 轻轻松开阀门，缓慢放气，同时记录气室压强  $P$  与干涉条纹的变化数  $N$ ，直至压力表指针归零。该步骤中缓慢放气的操作较难掌握，在没有升级设备的前提下，需反复练习几次。
- (4) 计算不同压强下空气的折射率，并作折射率~压强关系曲线。

(5) 气室玻璃窗之间的距离  $d =$  \_\_\_\_\_ cm

(6) 条纹变化数随气室压强的变化关系

气压表读数 $P / \text{mmHg}$										
条纹变化数 $N$										

气体折射率 $n$										
气压表读数 $P / \text{mmHg}$										
条纹变化数 $N$										
气体折射率 $n$										

方法一：作条纹变化数  $N$  随气室压强  $P$  的变化关系曲线，用外推法得到  $P=0$ （此时对应的压强为一大气压 1atm）时的条纹变化数  $N_0$ ，再计算出 1atm 下空气的折射率。

方法二：直接作折射率  $n$  随气室压强  $P$  的变化关系曲线，再求求 1atm 下空气的折射率。

上述两种方法任选一种进行数据处理，注意气压表测量的是气室内气体压强与环境压强的差值。

八、 氦氖激光器的安全使用

使用氦氖激光器做光源时，眼睛不可以直接面对光束传播方向凝视。接收观测激光干涉条纹，必须使用毛玻璃屏，不可用肉眼直接观察，以免视网膜受到伤害。

八、 仪器的维护和保养

(1) 实验室要求

仪器应安放在远离震源的干燥、清洁遮光的实验室使用，实验台要平稳、坚固。

(2 ) 光学零件

平常无须擦拭仪器的光学零件。必须擦拭时，先用清洁的软毛刷掸去灰尘，再用脱脂棉球滴上乙醇和乙醚混合液轻拭，禁止用手触及光学零件的透光表面。

(3) 传动机构

转动测微螺旋和调节螺丝时动作要轻，不要急促或斜向用力。不要拆卸传动机构，以免影响仪器正常使用。

不可随意拉动镜架的滑动座，以免受反弹力冲击，损坏顶尖，影响测量的正确度。

(4) 工作环境

在湿度大的季节，光学实验室宜安装去湿机，以防止光学零件发霉、生雾的发生，发现异常及时处理。