

实验名称：迈克尔孙分光仪的调节和使用

学生姓名：张一萌

学号：2313636

一、实验目的：

1. 了解迈克尔逊干涉仪的结构、原理和调节方法
2. 观察等倾、等厚干涉现象
3. 利用等倾干涉测量 He-Ne 激光光源的波长

二、实验原理：

1. 迈克尔孙干涉仪

迈克尔逊干涉仪是一个分振幅法的双光束干涉仪，其光路如图 4-5-1 所示，它由反射镜 M_1 、 M_2 、分束镜 P_1 和补偿板 P_2 组成。其中 M_1 是一个固定反射镜，反射镜 M_2 可以沿光轴前后移动，它们分别放置在两个相互垂直臂中；分束镜和补偿板与两个反射镜均成 45° ，且相互平行；分束镜 P_1 的一个面镀有半透半反膜，它能够将入射光等强度地分为两束；补偿板是一个与分束镜厚度和折射率完全相同的玻璃板。

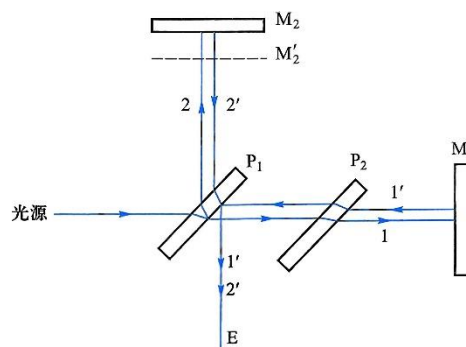


图 4-5-1 迈克尔孙干涉仪光路

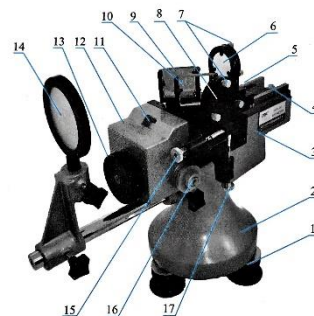


图 4-5-2 迈克尔孙干涉仪

1—调平螺钉；2—底座；3—机械台面；4—精密丝杠；5—导轨；6—可移动反射镜 M_2 ；7—倾斜螺钉；8—固定反射镜 M_1 ；9—分光板 G_1 ；10—补偿板 G_2 ；11—粗调手轮读数窗口；12—齿轮系统；13—粗调手轮；14—观察屏；15— M_1 的水平拉簧螺丝；16—微调手轮；17— M_1 的竖直拉簧螺丝

迈克尔逊干涉仪的结构如图 4-5-2 所示。镜 M_1 、 M_2 的背面各有三个螺丝，调节 M_1 、 M_2 镜面的倾斜度， M_1 的下端还附有两个互相垂直的微动拉簧螺丝，用以精确地调整 M_1 的倾斜度。 M_2 镜所在的导轨拖板由精密丝杠带动，可沿导轨前后移动。 M_2 镜的位置由三个读数尺所读出的数值的和来确定：主尺、粗调手轮和微调手轮。

如图 4-5-3 (a) 所示，多光束激光器提供的每条光纤的输出端是一个短焦距凸透镜，经其会聚后的激光束，可以认为是一个很好的点光源 S 发出的球面光波。 S'_1 为 M_1 及 G_1 反射后所成的像， S'_2 为 S 经 G_1 及 M_2 反射后所成的像。 S'_1 和 S'_2 为两相干光源，发出的球面波在其相遇的空间处处相干，为非定域干涉，在相遇处都能产生干涉条纹。空间任一点 P 的干涉明暗由 S'_1 和 S'_2 到该点的光程差 $\Delta = r_2 - r_1$ 决定，其中 r_2 和 r_1 分别为 S'_2 和 S'_1 到 P 点的光程。 P 点的光强分布的极大和极小的条件是

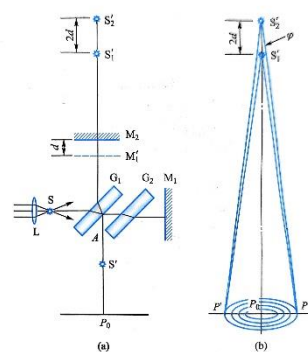


图 4-5-3 $S'_1S'_2$ 连线相垂直方向的非定域干涉

$$\begin{array}{lll} \Delta = k\lambda & (k = 0, 1, 2 \dots) & \text{亮条纹} \\ \Delta = (2k + 1)\lambda & (k = 0, 1, 2 \dots) & \text{暗条纹} \end{array} \quad (4-5-1)$$

2. 光的干涉原理

频率相同的两束光，当相位差为波长的整数倍时，波峰与波峰叠加，波谷与波谷叠加。即某点距两束光的波程差

根据三角函数公式，当相位差为 2π 的整数倍时，图像保持不变。

同理，两束光的光程差相差 λ 的整数倍时，始终是波峰遇波峰，波谷遇波谷，干涉增强，表现出亮点

$$\Delta = k\lambda$$

光程差：

$$\Delta = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i} + \frac{1}{2}\lambda$$

$\frac{1}{2}\lambda$ 是由于半波损失引入的附加项

当 d 、 n_1 、 n_2 固定，光程差只与倾角 i 有关，我们将这种干涉命名为等倾干涉。我们将薄膜上、下表面用平面反射镜来代替，并放置于空气中，此时 $n_1=n_2=1$ ，也没有半波损失，光程差计算公式可以简化为：

$$\Delta = 2d \cos i$$

3. 等倾干涉（He—Ne 激光波长的测定）

当 $\varphi=0$ 对应圆心位置，也是我们研究光圈吞吐的情况。

当 M'_1 与 M_2 平行时，将观察屏放在与 $S'_2S'_1$ 连线相垂直的位置上，可看到一组同心干涉圆条纹，如图 4-5-3（b）所示。

设 M'_1 与 M_2 间距离为 d ，则 S'_2 和 S'_1 距离为 $2d$ ， S'_2 和 S'_1 在屏上任一点 P 的光程差为

$$\Delta = 2d \cos \varphi$$

φ 为 S'_2 射到 P 点的光线与 M_2 法线的夹角。

当改变 d ，光程差也相应发生改变，这时在干涉条纹中心会出现“冒出”和“缩进”的现象。当 d 增加 $\lambda/2$ ，相应的光程差增加 λ ，在中心的条纹干涉级次由 k 变为 $k+1$ ，这样就会“冒出”一个条纹；当 d 减少 $\lambda/2$ ，相应的光程差减少 λ ，在中心的条纹干涉级次由 k 变为 $k-1$ ，这样就会“缩进”一个条纹。因此，根据“冒出”或“缩进”条纹的个数可以确定 d 的改变量，它可以用来进行长度测量，其精度是波长量级。当“冒出”或“缩进”了 N 个条纹， d 的改变量 δd 为：

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

即

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

三、实验仪器用具：

迈克尔逊干涉仪，He-Ne 多光束光纤激光器

四、操作步骤

1. 调节干涉仪，观察非定域干涉

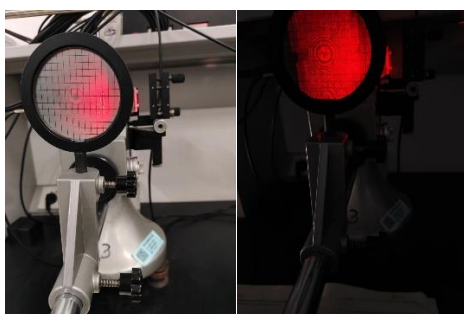
(1) 水平调节。调节干涉仪底脚螺丝，使仪器导轨平面水平，然后用锁紧圈锁住。

- (2) 等臂调节。调节粗调手轮移动 $M2$ 镜，让 $M1$ 、 $M2$ 镜与分光板 $G1$ 大致等距离。
- (3) 最亮点重合。打开激光开关，检查激光输出嘴的位置和方向，让光束垂直射向 $M1$ 的中心部位。将观察屏转向一侧并固定，带上墨镜，直接观察 $M2$ 镜，视野中呈现两排分别由 $M1$ 、 $M2$ 反射回来的亮点，找准每排亮点中最亮的那个点，分别调节 $M1$ 和 $M2$ 两个反射镜背后的调节螺丝（先调 $M1$ ，再调 $M2$ ），使两排亮点中最亮的光点严格重合，此时说明 $M1$ 已垂直于 $M2$ 。注意调节时调节螺丝的松紧要均衡，防止损坏调节螺丝。
- (4) 条纹移到屏中央。将观察屏转回原位置，若上一步的最亮点已经严格重合，则观察屏上可以观察到圆形干涉条纹，若没有条纹，可能是亮点没严格重合，或者条纹在屏幕边缘。调节粗调手轮使条纹大小、粗细适中，再轻微调节 $M1$ 镜上的水平或竖直拉簧螺丝，使圆形条纹的中心位于屏中央。
- (5) 观察非定域干涉。前后左右移动屏的位置和角度，发现干涉条纹的大小或形状发生变化，证明非定义域干涉是空间处处相干的。
- (6) 条纹特征与 d 的关系。调节粗调手轮前后移动 $M2$ ，观察条纹的“冒出”或“缩进”现象，判断 $M1'$ 与 $M2$ 之间的距离 d 是变大还是变小，并观察条纹的粗细、疏密和 d 之间的关系。

2. 测量激光波长

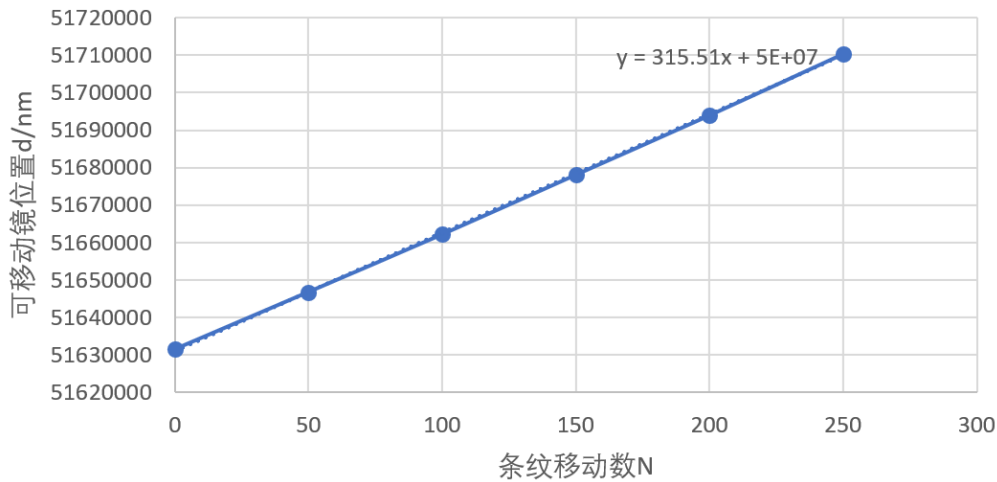
- (1) 仪器调零。因为旋转微调手轮时，粗调手轮随之变化，而旋转粗调手轮时微调手轮并不随之变化，所以测量前必须调零。方法如下：沿某方向（例如顺时针）将微调手轮调到零并记住旋转方向（为避免空程差，后面的测量都要沿此方向），沿同一方向旋转粗调手轮使之对准某一刻度，注意此后粗调手轮不要动。测量过程中若需要反方向旋转微调手轮，则一定要重新调零。
- (2) 测量并计算波长。沿刚才的方向旋转微调手轮，条纹每冒出或缩进 50 个记录相应的 $M2$ 的位置，连续记录 6 次以上，用最小二乘法计算激光的波长。

五、实验数据记录及处理：



条纹移动数 N	0	50	100	150	200	250
可移动镜位置 d/mm	51.63150	51.64680	51.66220	51.67812	51.69401	51.71042

d~N最小二乘法拟合曲线



$$\lambda_{\text{测}} = 2 \frac{\Delta d}{\Delta k} \approx 2 \times 315.51 = 631.02 \text{ nm} \approx 631.0 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{真}} = 632.8 \text{ nm}$$

$$\text{相对误差} \mu = \frac{|\lambda_{\text{真}} - \lambda_{\text{测}}|}{\lambda_{\text{真}}} = \frac{|632.8 - 631.0|}{632.8} \times 100\% \approx 0.2844\% \approx 0.28\%$$

六、思考题

1. 补偿板G2的作用是什么？

补偿板是一个与分束镜厚度和折射率完全相同的玻璃板。

作用是使两臂光程达到完全对称。

分束镜 G1 将入射光分为两束，其中射向 M2 的光路少一次在分束镜 G1 中的往返过程，这个过程会带来较大的光程差。补偿板与分束镜完全相同，可补偿该光路少的光程，从而使两臂光程完全对称。

2. 什么改变 Δd 只能朝一个方向？

迈克尔干涉仪由于内部是靠齿轮咬合的，而齿轮与齿轮之间存在间隙，在开始转动微调手轮的时候，齿轮和齿轮会慢慢咬紧，所以虽然微调手轮已经开始转动了，但是反射镜M1的位置其实没有变化。必须等齿轮完全咬紧后，反射镜的位置才能随着微调手轮的变化而变化。即为了避免空程差，改变 Δd 只能朝一个方向。

七、实验总结

在实验过程中，要注意避免激光直接入眼。

不能用手触摸各光学元件。

在观察干涉条纹时，在黑暗的环境中，才更容易观察。

同时，该实验仪器很灵敏，如果不能保持实验台的稳定很容易造成干涉条纹的不稳定，对观察造成影响。