

# 实验二十二 迈克尔逊干涉仪 实验报告

1400012141

邵智轩

周二下午3组11号

2016年12月27日

## 1 实验现象描述与解释

### 1.1 迈克尔逊干涉仪的调节

把固定镜 $M_2$ 的两个微动螺丝 $U'_2$ 放在中间位置，以便往两头都有调节余量。把 $M_1$ 镜及 $M_2$ 镜后的3个小螺钉 $U_1$ 和 $U_2$ 拧合适，使3个螺钉受力情况差不多，不太松或太紧。

把激光器调水平：把光阑放到激光器前不远处，调节光阑高度使光线正好通过小孔。将光阑移远，调节激光器仰角使光束靠近乃至正好通过小孔。重复几次上述步骤，直到移近移远光束都恰好通过小孔，则此时激光器光束已调水平且其与小孔位于同一高度。

令激光束垂直于导轨且射到 $M_2$ 的中央部位，然后把一小孔光阑 $P$ 放在光源前面，使光束通过小孔射到 $M_2$ 上。调节 $M_2$ 后面的3个螺钉（此时不妨用小卡片挡住 $M_1$ ），使反射像和小孔重合。然后同样地调节 $M_1$ 后面的3个螺钉（此时不妨用小卡片挡住 $M_2$ ），使反射像（一排光点中居中的最亮点）和小孔重合。

### 1.2 非定域干涉圆条纹和椭圆条纹

在光阑 $P$ 与分束板 $G_1$ 间加一显微目镜，调节目镜位置使光线尽可能照向 $M_2$ 的中央部位。

用光屏 $E$ 接收干涉条纹。仔细调节 $M_2$ 的两个微动螺丝 $U'_2$ ，使 $M_1$ 和 $M_2$ 平行，干涉条纹的圆心大致位于光屏 $E$ 的中央。此时两个虚光源的连线和光屏 $E$ 垂直，可以观察非定域的圆条纹。

稍稍转动屏 $E$ ，可以接收到椭圆条纹。

转动粗调手轮，使 $M_1$ 镜移动。当两虚光源的间距 $d$ 增大时，条纹向外吐。即特定级次 $k_1$ 条纹的半径 $r_{k_1}$ 增大，圆心处条纹级次升高。当两光源的间距 $d$ 减小时，条纹向内吞。即特定级次 $k_1$ 条纹的半径 $r_{k_1}$ 减小，圆心处条纹级次减小。该现象可用公式 $2d(1 - \frac{r_{k_1}^2}{2z^2}) = k_1\lambda$ 解释。此外，干涉条纹中间稀边缘密。调节两虚光源的距离 $d$ ， $d$ 越小条纹越稀， $d$ 越大条纹越密。这一点易用干涉条纹间距公式 $\Delta r = \frac{\lambda z^2}{2r_k d}$ 解释。

### 1.3 非定域直条纹和双曲条纹

在调出非定域干涉圆条纹图样的基础上，转动粗调手轮，使 $M_1$ 与 $M_2$ 的距离 $d$ 减小，圆条纹变得稀而粗，直到光屏 $E$ 上只留下一到两个条纹。

用微动螺丝 $U'_2$ 调节 $M_2$ 的俯仰（或偏转），使 $M_1$ 与 $M_2$ 有一夹角，两虚光源连线与光屏 $E$ 的不再垂直。则可看到圆条纹变为椭圆条纹。

转动粗调手轮调节两虚光源距离 $d$ ，使弯曲条纹往圆心方向移动，椭圆条纹逐渐过渡到双曲条纹，双曲条纹又向直线过渡。当调到两虚光源的连线与光屏E几乎平行时，可看到直条纹。继续沿相同方向转动粗调手轮，条纹又会向另一边弯曲，从直线过渡到双曲条纹。

#### 1.4 定域干涉等倾条纹

在非定域干涉下转动粗调手轮减小两虚光源距离 $d$ ，使圆条纹粗而疏。

把毛玻璃散射屏放在显微目镜L和分束板 $G_1$ 之间，产生扩展光源。用聚焦到无穷远的眼睛代替光屏观察圆条纹。

进一步调节 $M_2$ 的微动螺丝 $U'_2$ ，使眼睛上下左右移动时，各圆的大小不变，圆心不“吞”“也不”吐“，而仅仅是圆心随眼睛的移动而移动。此时产生的是严格的等倾干涉条纹，定域在无穷远。每一个圆条纹对应一恒定的倾角 $\theta$ 。

转动粗调手轮使 $M_1$ 在导轨上移动，可观察到圆条纹的吞吐。由于两镜面反射的双光束光程差为

$$\Delta L = 2d \cos \theta$$

其中 $\theta$ 为入射角。在圆心处， $\theta = 0$ ，有

$$\Delta L = 2d = k\lambda$$

当移动 $M_1$ 使 $d$ 增加时，圆心处条纹的干涉级次升高，圆条纹向外吐；反之当 $d$ 减小时，条纹向内吞。每当吞（吐）一个条纹时， $d$ 就增加（减少） $\lambda/2$ 。

此外，还可观察到干涉条纹中间稀边缘密，且条纹随着 $d$ 的减小变得稀疏。这可以由相邻条纹的角距离公式

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

解释。

#### 1.5 定域干涉等厚条纹

用激光打在毛玻璃上产生的扩展光源照明干涉仪，在 $M_1$ ， $M'_2$ 大致重合的位置（圆条纹粗而疏），调节 $U'_2$ 使 $M_1$ ， $M'_2$ 有一很小夹角。

转动粗调手轮，使弯曲条纹往圆心方向移动，在视场中将出现直线干涉条纹。

移动 $M_1$ 镜，可以观察到干涉条纹从弯曲变直再变弯曲的现象。

#### 1.6 白光等厚干涉

在干涉条纹变直的附近，再加上白光光源（激光不关闭起参考作用），使 $M_1$ 镜继续沿原方向很缓慢地移动，直到视场中出现彩色条纹为止，这就使白光等厚干涉条纹。中间是白光条纹，两边是向外展开的彩色条纹，波长较长的如红光靠外。

条纹的对称中心就是 $M_1$ 与 $M_2$ 的交线。此时 $M_1$ 镜的位置就是 $M_1$ 与 $M_2$ 的重合位置，即等光程处。实验测得

$$d_0 = 35.94980\text{mm}$$

由于白光的干涉条纹数很少，所以 $M_1$ 镜的移动要非常仔细缓慢，否则白光干涉条纹会一晃而过。

## 1.7 实验照片记录

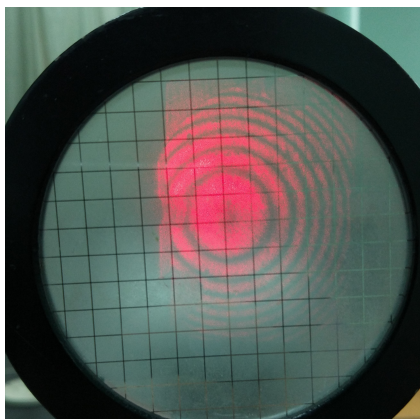


Figure 1: 非定域干涉圆条纹

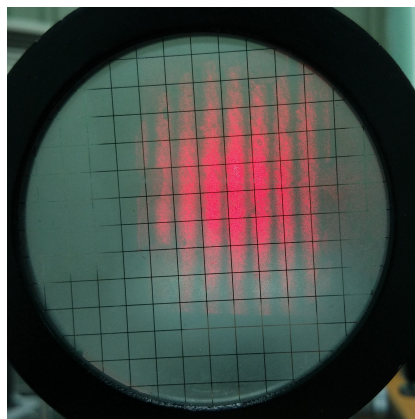


Figure 2: 非定域干涉直条纹

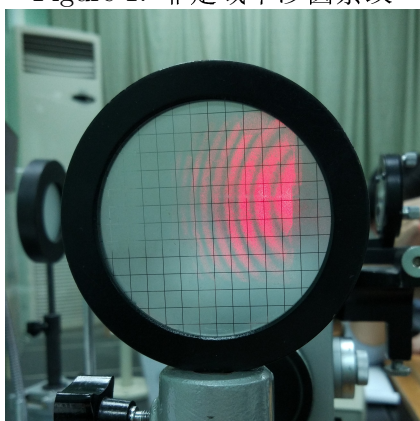


Figure 3: 非定域干涉双曲条纹

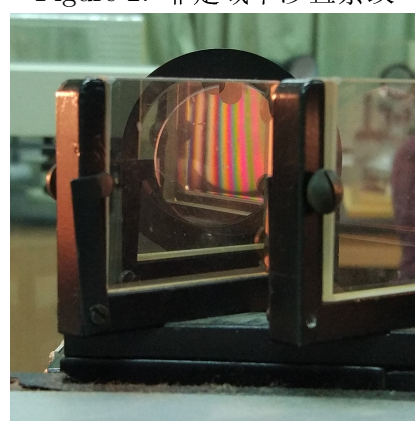


Figure 4: 白光等厚干涉条纹

## 2 空气折射率的测量

$$n = 1 + \frac{N\lambda}{2D} \cdot \frac{p}{|\Delta p|}$$

实验中，每次记录数据的干涉条纹吞吐数目 $N = 1$ ，小气室厚度 $D = 3.53\text{cm}$ ，He-Ne激光器波长 $\lambda = 632.8\text{nm}$ ，大气压强 $p = 1023\text{hPa}$ 。

Table 1: 光程改变半波长整数倍时气压的变化

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p/\text{hPa}$	1071	1105	1139	1168	1205	1242	1276	1308	1343
$\Delta p/\text{hPa}$		34	34	29	37	37	34	32	35

$$\bar{\Delta p} = 34.0\text{hPa}$$

$$\sigma_{\Delta p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta p_i - \bar{\Delta p})^2}{n(n-1)}} = 0.9 \text{hPa}$$

又  $e_{\Delta p} = 1 \text{hPa}$

$$\sigma_{\Delta p} = \sqrt{\sigma_{\bar{\Delta p}}^2 + (\frac{e_{\Delta p}}{\sqrt{3}})^2} = 1.1 \text{hPa}$$

$$\Delta p = (34.0 \pm 1.1) \text{hPa}$$

$$n = 1 + \frac{N\lambda}{2D} \cdot \frac{p}{|\Delta p|} = 1.0002696$$

又  $e_D = 0.01 \text{cm}$ ,  $e_p = 1 \text{hPa}$ , 激光器波长相对误差可忽略。

$$\sigma_D = \frac{e_D}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{cm}$$

$$\sigma_p = \frac{e_p}{\sqrt{3}} = 0.6 \text{hPa}$$

$$\sigma_n = (n-1) \sqrt{(\frac{\sigma_D}{D})^2 + (\frac{\sigma_p}{p})^2 + (\frac{\sigma_{\Delta p}}{\Delta p})^2} = 0.000008$$

$$n = 1.000270 \pm 0.000008$$

### 3 压电陶瓷压电常量的测量 $d$

$$\Delta L = N \frac{\lambda}{2} = d(L/t)U_f$$

实验中,  $\Delta N$  取 1, 即每吞吐 1 个条纹读 1 个数。则有

$$U_f = (\frac{\lambda t}{2Ld})N$$

实验中的仪器参数: 激光器波长  $\lambda = 632.8 \text{nm}$ ,  $L = 46 \text{mm}$ ,  $t = 1.0 \text{mm}$ 。

测得数据如下:

Table 2: 光程改变半波长整数倍时电压  $U_f$  的变化

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_f/\text{V}$	106.0	77.6	51.1	27.3	3.2	-20.7	-42.9	-62.7	-81.0

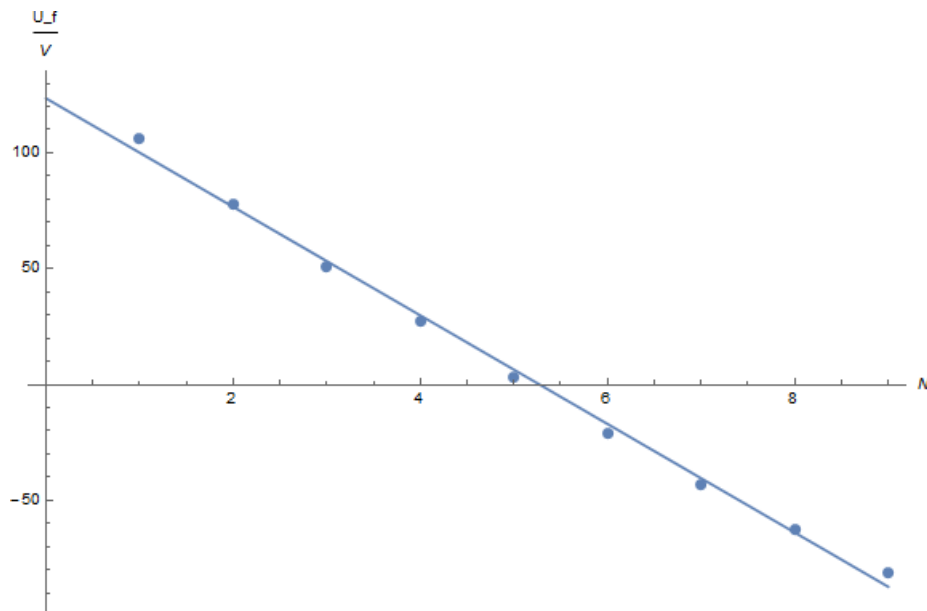


Figure 5: 压电陶瓷形变量与外加电压 $U_f$ 的变化关系

$$r = -0.9982$$

$$|k| = 23.42\text{V}$$

$$\frac{\sigma_k}{k} = \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 3\%$$

$$d = \frac{\lambda t}{2|k|L} = 2.94 \times 10^{-10}\text{m/V}$$

又 $e_t = 0.1\text{mm}$ ,  $e_L = 1\text{mm}$ , 激光器波长相对误差可略。

$$\sigma_d = d \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{e_L}{L}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{e_t}{t}\right)^2} = 0.2 \times 10^{-10}\text{m/V}$$

$$d \pm \sigma_d = (2.9 \pm 0.2) \times 10^{-10}\text{m/V}$$

## 4 收获与感想

迈克尔逊干涉仪设计十分巧妙。虽然在光学课上已经学过其原理，但只有亲身操作后才能更深切地理解。迈克尔逊干涉仪是精密的测长仪器，通过数条纹的吞吐可以看到任何测微尺都无法检测的长度（实际是光程）的变化。

这个实验在操作上具有比较强的技巧性，这主要体现在光路和仪器的调节，以及白光等厚干涉的观察上。经过本次实验，我锻炼了光学实验的一些基本方法（如激光器调水平），培养了使用激光时的安全意识，基本掌握了迈克尔逊干涉仪的使用方法，可谓受益匪浅。

此外，对定域以及非定域干涉的概念也有了更深刻的认识。