

实验三十六 光源的时间相干性 实验报告

物理学院 庄易诚

2024 年 6 月 2 日

目录

1 实验流程与数据记录	2
2 数据处理	2
2.1 测定各种光源的相干时间	2
2.1.1 测量白光的相干长度与相干时间	2
2.1.2 橙光与黄光的相干时间测量	3
2.1.3 汞黄光相干时间的测量	3
2.2 汞双黄线波长差的测量	4
2.2.1 通过连续测量汞黄光“拍”周期的大小测量波长差	4
2.2.2 通过测量汞黄光一个“拍”周期内条纹的吞吐数目测量波长差	5
3 分析与讨论	5
3.1 误差分析	5
3.2 实验收获	6

1 实验流程与数据记录

1. 调节光路，实现激光的非定域干涉，并把圆环的数量调到 3-5 个。
2. 换用眼睛观察，实现等倾干涉，直至条纹不再吞吐。
3. 此时调节一个镜子到不平行，调节粗调鼓轮，改变光程差，在条纹快要变直时换用白光光源照明，继续调节，实现白光的等厚干涉。此时在视场里可以看到彩色的平行直条纹。将最亮的白条纹调至视场中央，记录白光的等光程位置 $d_0 = 51.372\text{mm}$ ，左右两侧各可见一条白色条纹。
4. 分别加入橙色玻璃和黄色滤光片，并使照明最佳，记录中心位置到看不见条纹时移过视场中心的条纹数，数出橙色玻璃对应的条纹数为 14 条，黄色滤光片对应的条纹数为 65 条。
5. 加入汞灯和黄色滤光片，单向调节粗调鼓轮，记录七个衬比度极小的位置，数据见下表。（实际测量记录了 9 个，展示全部数据）

级数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d/mm	51.353	51.278	51.187	51.104	51.016	50.944	50.862	50.786	50.695

表 1: 衬比度极小值位置表

6. 继续调节，直至条纹完全消失，此时读出 $d_f = 28.301\text{mm}$ 。

2 数据处理

2.1 测定各种光源的相干时间

2.1.1 测量白光的相干长度与相干时间

实验中，白光的等厚干涉结果如下图所示。

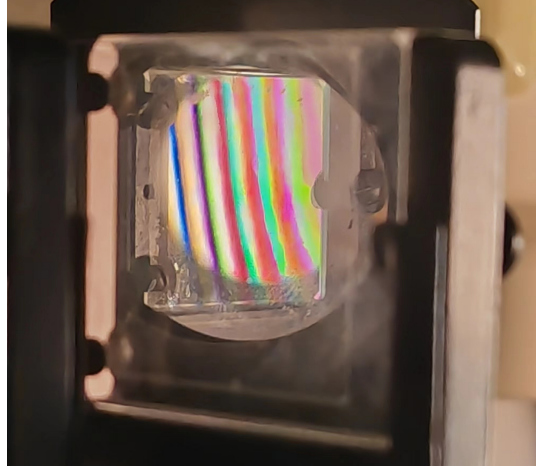


图 1: 白光的等厚干涉的干涉条纹

白色条纹的条数为:

$$k_1 = 1$$

白光波长取平均波长 $\lambda_1 = 550 \text{ nm}$, 故白光的相干长度与相干时间为:

$$\Delta L_{1max} = k_1 \lambda_1 = 0.55 \mu m$$

$$t_1 = \frac{\Delta L_{1max}}{c} = 1.83 \times 10^{-15} \text{ s} = 1.83 \text{ fs}$$

2.1.2 橙光与黄光的相干时间测量

橙光和黄光的条纹数分别为:

$$k_2 = 14(\text{橙光}) \quad k_3 = 65(\text{黄光})$$

橙光与黄光波长分别取 $\lambda_2 = 625 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 578 \text{ nm}$, 故测得橙光与黄光的相干长度和相干时间为:

$$\Delta L_{2max} = 8.750 \mu m \quad t_2 = 2.92 \times 10^{-14} \text{ s} = 29.2 \text{ fs}$$

$$\Delta L_{3max} = 37.570 \mu m \quad t_3 = 1.25 \times 10^{-13} \text{ s} = 125 \text{ fs}$$

2.1.3 汞黄光相干时间的测量

利用白光确定的等光程位置为:

$$d_0 = 51.372 \text{ mm}$$

当移动镜子至完全看不清条纹时的位置为:

$$d_f = 28.301 \text{ mm}$$

故测得汞黄光相干距离与相干时间为：

$$\Delta L_{4max} = 2 |d_f - d_0| = 46.142 \text{ mm}$$

$$t_4 = \frac{\Delta L_{4max}}{c} = 1.54 \times 10^{-10} \text{ s} = 154 \text{ ps}$$

2.2 汞双黄线波长差的测量

2.2.1 通过连续测量汞黄光“拍”周期的大小测量波长差

衬比度极小的位置如下表所示：

级数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d/mm	51.353	51.278	51.187	51.104	51.016	50.944	50.862	50.786	50.695

表 2: 衬比度极小值位置表

以 n 为横轴， d 为纵轴作图，如下图，进行线性拟合，结果为

$$d = kn + b$$

$$k = -0.08197 \text{ mm}$$

$$r = -0.9998$$

因此：

$$\Delta d = |k| = 81.97 \mu\text{m}$$

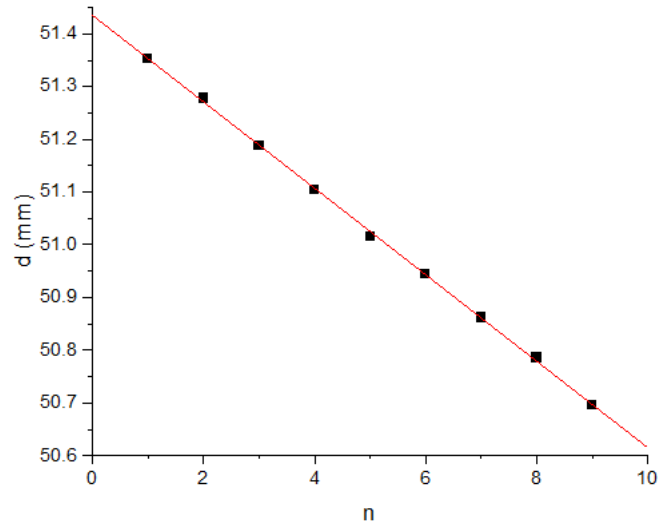


图 2: 衬比度极小位置图

斜率的不确定度为 (由于随机误差远大于仪器精度产生的不确定度, 故只考虑 A 类不确定度)

$$\sigma_d = \Delta d \sqrt{\frac{r^{-2} - 1}{9 - 2}} = 0.7 \mu\text{m}$$

黄光波长取平均波长

$$\lambda = 578.05 \text{ nm}$$

因此波长差的计算值与不确定度为

$$\Delta\lambda_1 = \frac{\lambda^2}{2\Delta d} = 2.038 \text{ nm}$$

$$\sigma_{\Delta\lambda_1} = \frac{\sigma_d}{\Delta d} \Delta\lambda_1 = 0.017 \text{ nm}$$

因此通过连续测量“拍”周期的大小测得的波长差的结果为

$$\Delta\lambda_1 = (2.037 \pm 0.017) \text{ nm}$$

2.2.2 通过测量汞黄光一个“拍”周期内条纹的吞吐数目测量波长差

两个波节之间的振荡次数为

$$\Delta k = 273$$

故波长差为

$$\Delta\lambda_2 = \frac{\lambda}{\Delta k} = 2.117 \text{ nm}$$

近似认为 $\sigma_{\Delta k} = 2$

$$\sigma_{\Delta\lambda_2} = \sigma_{\Delta k} \frac{\Delta\lambda_2}{\Delta k} = 0.016 \text{ nm}$$

因此通过测量汞黄光一个“拍”周期内条纹的吞吐数目所测得的波长差的结果为:

$$\Delta\lambda_2 = (2.117 \pm 0.016) \text{ nm}$$

二者测量结果较为接近, 可见测量的结果大致准确。

3 分析与讨论

3.1 误差分析

测量相干长度和相干时间时, 实验的方法并不严格, 并且数条纹的方法是主观的, 这会带来一定的误差, 因此这只是一种估算, 在数量级上合理。

测量汞双黄线波程差时, 两种方法分析测量的相对误差为 (以第二种为基准)

$$e = \left| \frac{\Delta\lambda_1 - \Delta\lambda_2}{\Delta\lambda_2} \right| \times 100\% \approx 3.8\%$$

而用第一种方法不确定度对应的相对误差为 0.8%(利用贝塞尔公式估算出的随机误差)。同时考虑到不确定度允许的范围内, 二者的值并无交叠, 这说明实验存在着一定的系统误差, 可

以看出第一种方法的系统误差更大。可能是在测量过程中，条纹的衬比度是由肉眼判断，有一定误差。尤其是在长时间注视条纹之后，人眼会产生疲劳，增大误差。此外，人眼对移动的条纹比静止的条纹要敏感，这会导致人眼判断不准。

3.2 实验收获

实验中，我用了大量时间调出白光等厚干涉并找到等光程点，这个过程中由于过于急躁导致迈克尔逊干涉仪被晃动，最终只能重调，这说明做光学实验沉着而细心，循序渐进的重要性，也说明初始的调节对光学实验的重要性。调出等厚干涉后很快便完成了实验。此外，做实验应兼顾效率和精度，以此决定什么时候粗调，什么时候细调，以及什么时候应该调快一些，什么时候应该更细致一点。