

实验三十六 光源的时间相干性

罗俊熙*

北京大学物理学院 学号: 2000012508

摘 要: 光的相干性可以分为空间上的及时间上的, 时间上的相干性体现在波列的长度, 这次实验会测量几种不同的光源的相干长度, 加深对时间相干性的理解, 并测定汞黄双线的波长差。

关 键 字: 光源、相干长度、相干时间

March 25, 2022

*Email: 2000012508@stu.pku.edu.cn

§1 实验概要

§1.1 实验目的

1. 观测几种光源的相干长度，加深对光源时间相干性的理解
2. 测定汞黄双线的波长差

§1.2 实验仪器

迈克尔逊干涉仪，氦氖激光器，汞灯，白炽灯，小孔光阑，扩束透镜，黄干涉滤波片，颜色玻璃。

§1.3 实验原理

光源的时间相干性是由于原子发光的断续性，使得在分振幅干涉中 (特别是在迈克尔逊干涉仪)，两列波叠加可能并不是由同一列波分解出来，导致当光程差到达一定程度的时候，干涉的现象消失，也就是衬比度下降为零。在本次实验中，我们测量光源的相干长度 ΔL_{max} ，然后可以测量出光源的相干时间，并利用公式：

$$\Delta L_{max} = k(\lambda_0 + \frac{\delta\lambda}{2})$$

§2 实验数据及分析

§2.1

1. 测量白光的相干长度：

进行本次实验前，要调整光路。首先利用“近调高低，远调俯仰”的法则，使得氦氖激光器能够水平入射干涉仪，并使激光打在干涉仪两面镜子的中央。然后调节两面镜子的方位，使得反射的激光能够原路返回激光器。如此一来，使得两面镜子是相互垂直。然后加入扩束器，转动粗调手轮，使得在屏幕上出现同心圆环的干涉条纹，一直转动粗调手轮，使得圆环被吞进原型，使得干涉条纹变粗变疏。之后微调 M_2 镜子的方位，使得其虚像 M_2' 和 M_1 之间产生一个小夹角，加入白光灯以及磨砂玻璃，慢慢调出彩色的干涉条纹。

此时 M_1 的位置是

$$d_0 = 50.427 \text{ mm}$$

而且只看到了一级的条纹，也就是 $k = 1$ 。在这里取白光波长为

$$\lambda_1 = 550 \text{ nm}$$

再利用 $\Delta L_{1max} \approx k\lambda_1$, 可以得到

$$\Delta L_{1max} \approx 5.5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

相干时间 t 为

$$t_1 = \frac{\Delta L_{1max}}{c} = 1.84 \times 10^{-15} \text{ s}$$

2. 测量白光经历橙色玻璃滤光后的相干长度

在上述的基础上, 以经橙色玻璃滤光后的白光为入射光。在 $d_0 = 50.427 \text{ mm}$ 的位置转动微调手轮。由光学的知识, 条纹会平移, 观察经过视场中心的干涉条纹, 可以观察到 23 级的条纹。在这里取波长 $\lambda_2 = 625 \text{ nm}$ 。可以得到

$$\Delta L_{2max} \approx 1.44 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$t_3 = 4.79 \times 10^{-14} \text{ s}$$

3. 测量白光经历黄干涉滤波片后的相干长度和之前一样, 只是用黄干涉滤波片代替橙色玻璃, 可以观察到 60 级的条纹。在这里取波长 $\lambda_3 = 578 \text{ nm}$, 可以得到

$$\Delta L_{3max} \approx 3.45 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$t_3 = 1.17 \times 10^{-13} \text{ s}$$

4. 测量低压汞灯黄光的相干长度从 $d_0 = 50.427 \text{ mm}$ 开始, 先调成等倾干涉, 在视场中央出现一系列同心圆, 然后转动粗调手轮。由于汞黄光是双线结构, 在观测的过程中会看到一系列等间距的拍, 有一个周期性的变化, 但是可见度会越来越低。直到到了 d_{max} , 可见度降为零, 也就是衬比度为零。在本次实验中测到的 d_{max} 为

$$d_{max} = 66.291 \text{ mm}$$

利用公式

$$\Delta L_{4max} = 2(d_{max} - d_0)$$

可以得到

$$\Delta L_{4max} \approx 31.728 \text{ mm}$$

$$t_4 = 1.058 \times 10^{-10} \text{ s}$$

5. 测量汞黄双线的波长差 $\Delta\lambda$ 在等光程处附近, 单方向缓慢移动粗调手轮, 改变光程差, 可以多次看到拍的现象以及可见度为零的点。依次记录可见度为零时, M_1 镜子的位置读数 d_i , 数据如下表所示:

Table 1: 衬比度为最低时位置实验数据表

i	1	2	3	4	5	6	7
$d_i(\text{mm})$	50.463	50.544	50.621	50.704	50.785	50.865	50.944

对上述数据做最小二乘法, 可以得到以下方程:

$$y = 0.08x + 50.38$$

$$r = 0.9999$$

拟合的图像如下:

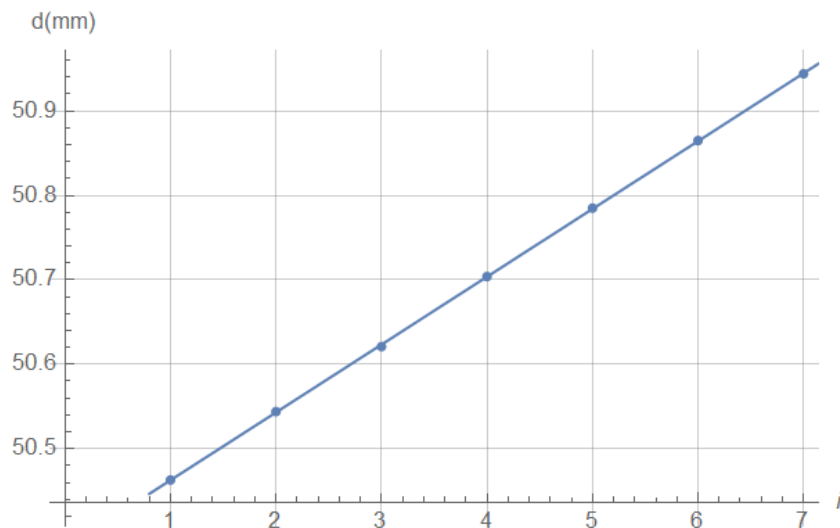


Figure 1: 衬比度最低时位置拟合图

由此可以得到

$$\Delta d = 0.08 \text{ mm}$$

在这里取波长 $\lambda_5 = 578.01 \text{ nm}$, 利用公式

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

可以得到

$$\Delta\lambda = 2.09 \text{ nm}$$

6. 利用光电自动记录画出的干涉图, 测量 $\Delta\lambda$

干涉图由实验室提供, 可以数出干涉条纹数目 $\Delta k = 270$ 。利用公式

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

可以得到

$$\Delta\lambda = 2.14 \text{ nm}$$

由此可见, 两种方法测量的 $\Delta\lambda$ 十分接近。

§2.2 思考题

1. 用汞黄双线的光照明干涉仪, 为什么可见度随光程差做周期变化? 而且逐渐衰减到零? 讨论这个问题可以简化模型, 假设照射的光是两个频率不一样的单色光进行非相干叠加。可以得到叠加之后的衬比度为

$$\gamma = \left| \frac{\sin(\pi \frac{L}{L_0})}{\pi \frac{L}{L_0}} \right|$$

其中 L_0 是相干长度, L 是光程差。从上面的公式可以解释可见度, 其实就是衬比度为什么会做周期性变化, 以及随着光程差增大而衰减到零。

2. 本次实验的误差来源

判断条纹是不是消失是具有很大的主观性, 而且每一次观测的结果都不一定一样。实验使用的迈克尔逊干涉仪有比较大的空程差, 逆时针和顺时针扭动粗调手轮所测得的数据有比较大的区别。干涉条纹的观测有机会不在视场中心, 在数条纹个数时容易有误差。

§2.3 感想

本次实验是上学期迈克尔逊干涉仪实验的后续，经过本次实验进一步加深了对于迈克尔逊干涉仪的认识，同时对时间相干性这一个深刻的物理概念有了更加深入地体会。感谢老师在本次实验的指导，并且检查了实验中的数据。