# 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  $\Delta L_{max}$ ,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

$$d_0 = 50.427 \,\mathrm{mm}$$

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

$$\lambda_1 = 550 \, \mathrm{nm}$$

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

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

相干时间 t 为

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

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  $d_0 = 50.427 \, \mathrm{mm}$  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  $\lambda_2 = 625 \, \mathrm{nm}$ 。可以得到

$$\Delta L_{2max} \approx 1.44 \times 10^{-5} \,\mathrm{m}$$
  
 $t_3 = 4.79 \times 10^{-14} \,\mathrm{s}$ 

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  $\lambda_3=578\,\mathrm{nm}$ ,可以得到

$$\Delta L_{3max} \approx 3.45 \times 10^{-5} \,\mathrm{m}$$
  
 $t_3 = 1.17 \times 10^{-13} \,\mathrm{s}$ 

4. 测量低压汞灯黄光的相干长度从  $d_0 = 50.427 \, \mathrm{mm}$  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

$$d_{max} = 66.291 \,\mathrm{mm}$$

利用公式

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

可以得到

$$\Delta L_{4max} \approx 31.728 \,\mathrm{mm}$$

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

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

$\overline{i}$	1	2	3	4	5	6	7
$d_i(\mathrm{mm})$	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:

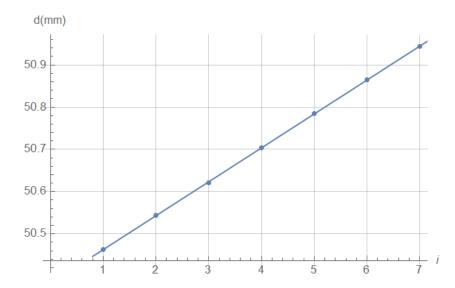


Figure 1: 衬比度最低时位置拟合图

由此可以得到

$$\Delta d = 0.08\,\mathrm{mm}$$

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

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

可以得到

$$\Delta \lambda = 2.09 \, \mathrm{nm}$$

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

$$\Delta \lambda = 2.14 \, \mathrm{nm}$$

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

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

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。