

# 实验三十九 光源的時間相干性

罗俊熙\*

北京大学物理学院 学号: 2000012508

**摘 要：** 光的相干性可以分為空間上的及時間上的，時間上的相干性體現在波列的長度，這次實驗會測量幾種不同的光源的相干長度，加深對時間相干性的理解，並測定汞黃雙線的波長差。

**關 鍵 字：** 光源、相干長度、相干時間

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 實驗原理

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 實驗数据及分析

### §2.1

1. 測量白光的相干長度：

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。

此時  $M_1$  的位置是

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

而且只看到了一級的條紋，也就是  $k = 1$ 。在這裡取白光波長為

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

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

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

相干時間  $t$  為

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

## 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:** 觀比度為最低時位置实验数据表

$i$	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:

$$y = 0.08x + 50.38$$

$$r = 0.9999$$

## §2.2 测定光栅常量

以水银灯为光源，整体移动分光计对准光源，测出  $k = \pm 1$  级，波长为 546.07 nm 绿光的衍射角  $\phi_{+1}$  和  $\phi_{-1}$ ，重复测量 3 次后，求平均值  $\bar{\phi}_1$ ，进而求出  $d$ 。

以下为测量的数据

**Table 2:** 0 级衍射角实验数据表

n	左游标读数 $\theta'_0$	右游标读数 $\theta''_0$
1	264°15'	84°17'
2	264°16'	84°19'
3	264°16'	84°18'

继续测量绿线的  $k = \pm 1$  的衍射角得到:

**Table 3:** 绿线  $\pm 1$  级衍射角实验数据表

k	n	左游标读数		右游标读数		左右平均值
		$\theta'$	$\phi' = \theta' - \theta'_0$	$\theta''$	$\phi'' = \theta'' - \theta''_0$	$\phi = \frac{1}{2}(\phi' + \phi'')$
+1 级	1	283°22'	19°7'	103°25'	19°8'	19°7'30''
	2	283°22'	19°6'	103°26'	19°7'	19°6'30''
	3	283°22'	19°6'	103°26'	19°8'	19°7'
-1 级	1	245°10'	19°5'	65°10'	19°7'	19°6'
	2	245°10'	19°6'	65°11'	19°8'	19°7'
	3	245°11'	19°5'	65°10'	19°8'	19°6'30''

我们可以得到  $\bar{\phi} = 0.333576$ ，标准差为  $\sigma_\phi = 0.000152543$ ，那么  $\phi$  的实验值为

$$\phi = (0.3336 \pm 0.0002) \text{ rad}$$

又由光栅的衍射公式:

$$d \sin \phi = k\lambda$$

得到光栅的光栅常数  $d$  及空间频率  $f$ :

$$d = \frac{\lambda}{\sin \phi} = 1.66784 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$f = \frac{1}{d} = \frac{\sin \phi}{\lambda} = 599.579 \text{ mm}^{-1}$$

同样可以计算其光栅常数及频率的标准差  $\sigma_d, \sigma_f$

$$\sigma_d = \lambda \cdot \cot \phi \csc \phi \cdot \sigma_\phi = 0.000734194 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\sigma_f = \frac{1}{\lambda} \cdot \cos \phi \cdot \sigma_\phi = 0.263939 \text{ mm}^{-1}$$

最后可以得到  $d, f$  的实验值

$$d = (1.6678 \pm 0.0007) \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$f = (599.6 \pm 0.3) \text{ mm}^{-1}$$

## §2.3 测量未知光波波长及角色散率

用上述同样方法, 在  $k = \pm 1$  级时, 测量出水银灯的两条黄线 ( $y_1$ ) 及黄 ( $y_2$ ) 的衍射角  $\bar{\phi}_y 1$  和  $\bar{\phi}_y 2$ , 即可知道他们的波长  $\lambda_{y1}, \lambda_{y2}$  及其波长差  $\Delta\lambda$  值。

由于在第一次实验过程中, 仪器受外部因素影响, 故这里将会重新测量  $\theta_0$  来确定 0 级谱线的角位置。实验数据如下表:

Table 4: 0 级衍射角实验数据表

n	左游标读数	右游标读数
	$\theta'_0$	$\theta''_0$
1	275°38'	95°40'
2	275°39'	95°40'
3	275°39'	95°41'

测量后得到的数据如下表

Table 5: 双黄线  $\pm 1$  级衍射角实验数据表

谱线	k	n	左游标读数		右游标读数		左右平均值
			$\theta'$	$\phi' = \theta' - \theta'_0$	$\theta''$	$\phi'' = \theta'' - \theta''_0$	$\phi' = \frac{1}{2}(\phi' + \phi'')$
$y_1$	+1 级	1	295°54'	20°16'	115°59'	20°19'	20°17'30''
		2	295°54'	20°15'	115°58'	20°18'	20°16'30''
		3	295°54'	20°15'	115°59'	20°18'	20°16'30''
	-1 级	1	255°26'	20°12'	75°26'	20°14'	20°13'
		2	255°26'	20°13'	75°26'	20°14'	20°13'30''
		3	255°26'	20°13'	75°26'	20°15'	20°14'
$y_2$	+1 级	1	295°60'	20°22'	115°65'	20°25'	20°23'30''
		2	295°60'	20°21'	115°64'	20°24'	20°22'30''
		3	295°60'	20°21'	115°64'	20°23'	20°22'
	-1 级	1	255°20'	20°18'	75°20'	20°20'	20°19'
		2	255°20'	20°19'	75°20'	20°20'	20°19'30''
		3	255°20'	20°19'	75°21'	20°20'	20°19'30''

同上, 计算得到:

$$\phi_{y1} = (0.3535 \pm 0.0005) \text{ rad}$$

$$\phi_{y2} = (0.3552 \pm 0.0006) \text{ rad}$$

对  $k = \pm 1$  我们有光栅公式:

$$\lambda = d \sin \phi$$

代入计算得到:

$$\lambda_{y1} = 577.344 \text{ nm}$$

$$\lambda_{y2} = 579.98 \text{ nm}$$

也可以得到误差的数值:

$$\sigma_{\lambda_{y1}} = 1.1582 \text{ nm}$$

$$\sigma_{\lambda_{y2}} = 1.1632 \text{ nm}$$

最后写出两条黄线的波长实验值:

$$\lambda_{y1} = (577 \pm 1) \text{ nm}$$

$$\lambda_{y2} = (580 \pm 1) \text{ nm}$$

进一步求得波长差  $\Delta\lambda$  和衍射角差  $\Delta\phi$ :

$$\Delta\phi = (0.0017 \pm 0.0008) \text{ rad}$$

$$\Delta\lambda = (3 \pm 2) \text{ nm}$$

那么角色散率为:

$$D = \frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} = (6 \pm 5) \times 10^5 \text{ mm}^{-1}$$

## §2.4 分辨本领与光栅有效面积中的刻线数目的关系

用纳光灯代替水银灯, 把平行光管的狭缝调窄—直到在望远镜中能看到钠的两条 1 级黄色谱线, 整体移动分光计, 使黄线最亮, 用一可变的狭缝光阑, 套在平行光管的物镜上, 调节其宽度, 使其挡住光栅的一部份, 减少它有效面积内刻痕的数目  $N$ , 使两条黄谱线刚好能分辨, 然后使用测微显微镜测出两条钠黄谱线刚好能分辨时的狭缝光阑宽度  $l$ , 再计算  $R$ 。下面是三次测量的实验数据

**Table 6:** 刚好分辨时窄缝宽度实验数据表

n	窄缝左端位置 $x_1(\text{mm})$	窄缝右端位置 $x_2(\text{mm})$	缝宽 $l(\text{mm})$
1	28.132	26.382	1.750
2	36.968	35.346	1.622
3	38.319	36.780	1.539

计算出平均的缝宽为:

$$\bar{l} = (1.6 \pm 0.1) \text{ mm}$$

这时可以用光栅空间频率  $f$  计算出  $R$ :

$$R = kN = l \cdot f = 980 \pm 60$$

## §2.5 思考题

1. 使用公式 (31.1) 应保证甚么条件? 实验中是如何保证的? 如何检查条件是否满足?

答: 公式中应保证进入光栅的光是平行, 而且之后经一个透镜聚在焦平面, 实验中, 是通过分光计的望远镜来聚焦在眼球来观察的, 检查时应注意望远镜内的像是否清晰, 调节望远镜来使条件得到满足。

2. 光栅调节中, 放置光栅要求光栅平面垂直平分  $b_1b_2$  连线, 这是为甚么? 如果光栅平面仅仅与  $b_1b_2$  连线垂直, 但并不平分  $b_1b_2$  连线, 是否可以? 为甚么?

答: 问题一所提到, 在测量时由于望远镜会被旋转, 若不平分  $b_1b_2$  连线, 那么其焦点的位置并不固定, 造成误差。

3. 实验中如果两边光谱线不等高, 对测量结果有何影响?

答: 若光谱线不等高, 光栅所在平面与分光计平面有夹角, 那么光栅的有效光栅常数值会产生变化, 令光谱线的距离产生变化, 会导致测量结果出现系统误差。

4. 试说明光栅分光与三棱镜分光的光谱有何分别?

答: 三棱镜是通过光的色散来进行分光的, 在两条频率极接近的谱线下, 其色散率也相近, 因此其色分辨本领并不强, 而光栅则没有这个问题。

5. 两条很靠近的谱线若用光栅不能分辨开来, 问是否可以使它们经光栅后, 再用放大系统将它们分开?

答: 不可以, 因为光栅的分辨能力是受其几何结构所限制, 不能分辨的两束光是除了位置相近外, 强度也是相干的, 因此放大系统并不能消除这种物理限制。

6. 公式 (31.5) 与式 (31.6) 有何区别与联系? 公式 (31.3) 与式 (31.4) 有何区别与联系?

答: 从理论角度来说, 他们都是等价的, 但实际测量时由于不可能做到  $\Delta$  无限接近 0, 那么两公式之间就存在一定差异, 而且他们使用的物理变量也有差异, 测量难度上并不一样。

## §2.6 感想

这次实验使用分光计进行测量, 读数上存在一定的误差, 左右读数盘的数据并不严格相差 180 度, 导致后续测量误差很高。而且数据都是使用度分秒的方式记录, 在实验数据处理上十分麻烦, 使用 LaTeX 书写更为麻烦, 使用了相当多的时间来打好这份报告, 不过也是一个宝贵的学习经验。