

光源的时间相干性

物理学院 2400011527 侯佳奇

2025 年 3 月 17 日

1 实验仪器

JDW3型He-Ne激光器、WSM-100 No.201097 迈克尔逊干涉仪、JYY18-1白光光源、橙/黄色滤光片、汞灯、钠灯。

2 实验现象及结论

2.1 白光的等厚干涉彩色条纹

先将迈克尔逊干涉仪调整到等倾干涉状态，调节粗调旋钮，使得两个镜面的距离缩短，条纹变粗变稀疏，当两个镜面基本重合之后，改变 M_2 的角度，使得人眼观察到的图像变为弯曲的直线。接下来调整转轮，观察到条纹逐渐变直再变弯曲。在条纹基本呈现直线时，加上白光。此时继续缓慢地转动转轮，当观察到白光的彩色条纹时，关闭激光器，调整白光彩色条纹到视野中心。

这时转动旋轮，最多可以观察到 $k_1 = 7$ 条干涉条纹。

$$\lambda_1 = 550\text{nm}, c = 3 \times 10^8\text{m/s}$$

$$\text{最大光程差} \Delta L_{1\max} \approx k_1 \lambda_1 = 3.85 \times 10^3\text{nm}$$

$$\text{相干时间} t = \frac{\Delta L_{1\max}}{c} = 1.28 \times 10^{-14}\text{s}$$

2.2 白光经橙色玻璃滤光

将橙色滤光片放在白光光源前，观察到的条纹数目为 $k_2 = 15$ 。

$$\lambda_2 = 625\text{nm}, c = 3 \times 10^8\text{m/s}$$

$$\text{最大光程差} \Delta L_{2\max} \approx k_2 \lambda_2 = 9.375 \times 10^3\text{nm}$$

$$\text{相干时间} t = \frac{\Delta L_{2\max}}{c} = 3.125 \times 10^{-14}\text{s}$$

2.3 白光经黄干涉片滤光

将黄色滤光片放在白光光源前，观察到的条纹数目为 $k_2 = 44$ 。

$$\lambda_3 = 578\text{nm}, c = 3 \times 10^8\text{m/s}$$

$$\text{最大光程差} \Delta L_{3\max} \approx k_3 \lambda_3 = 2.5432 \times 10^4\text{nm}$$

$$\text{相干时间} t = \frac{\Delta L_{3\max}}{c} = 8.477 \times 10^{-14}\text{s}$$

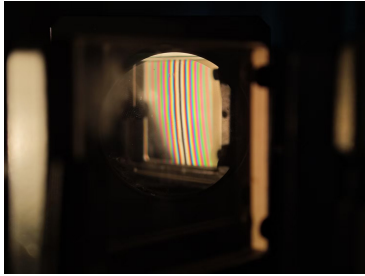


图 1: 白光的彩色等厚干涉条纹



图 2: 白光经黄干涉片滤光的等厚干涉图样

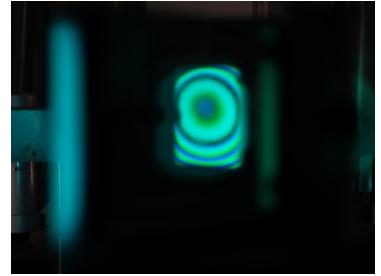


图 3: 低压汞灯的等倾干涉图样

2.4 测量低压汞灯的相干长度

$$\text{零级条纹对应的刻度} d_0 = 0.15\text{ mm}$$

$$\text{条纹消失时对应的刻度} d_{\max} = 17.12\text{ mm}$$

$$\text{最大光程差} \Delta L_{4\max} = 2(d_{\max} - d_0) = 2(17.12 - 0.15) = 33.94\text{ mm}$$

$$\text{相干时间} t = \frac{\Delta L_{\max}}{c} = 1.13 \times 10^{-10}\text{ s}$$

2.5 汞黄灯和钠光灯双线的波长差

原始数据:

拍的节点	1	2	3	4	5	6	7
d_i/mm	0.76726	0.85103	0.93862	1.01376	1.09823	1.18210	1.26298
Δk		234	283	261	248	261	257
拍的节点	1	2	3	4	5	6	7
d_i/mm	0.24878	0.52308	0.81186	1.11193	1.39210	1.68370	1.98084
Δk		632	625	620	635	618	638

2.5.1 方法一：直线拟合求出 Δd

使用origin进行线性拟合：

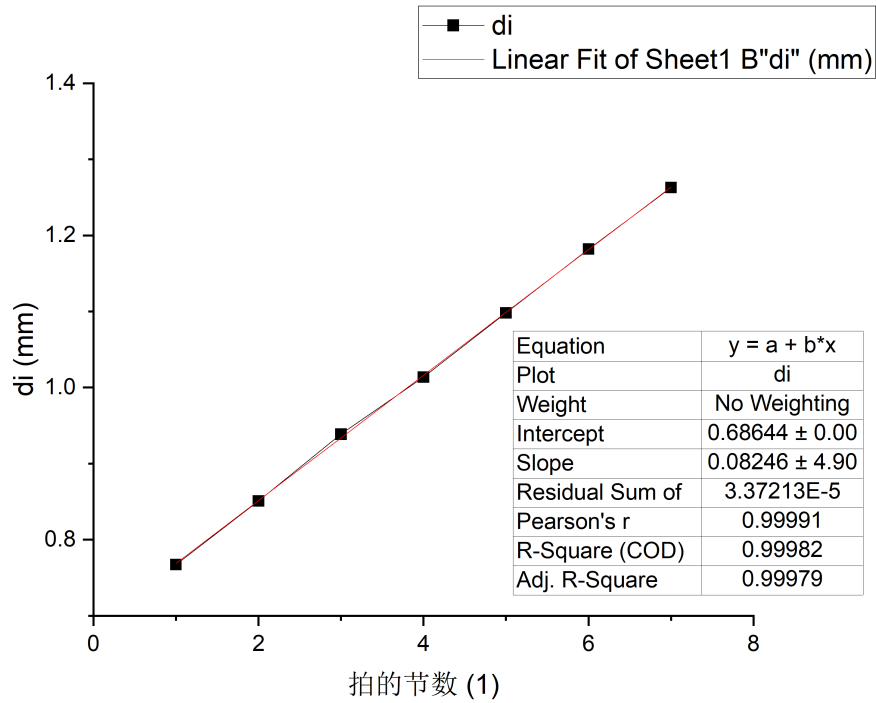


图 4: 汞黄双线

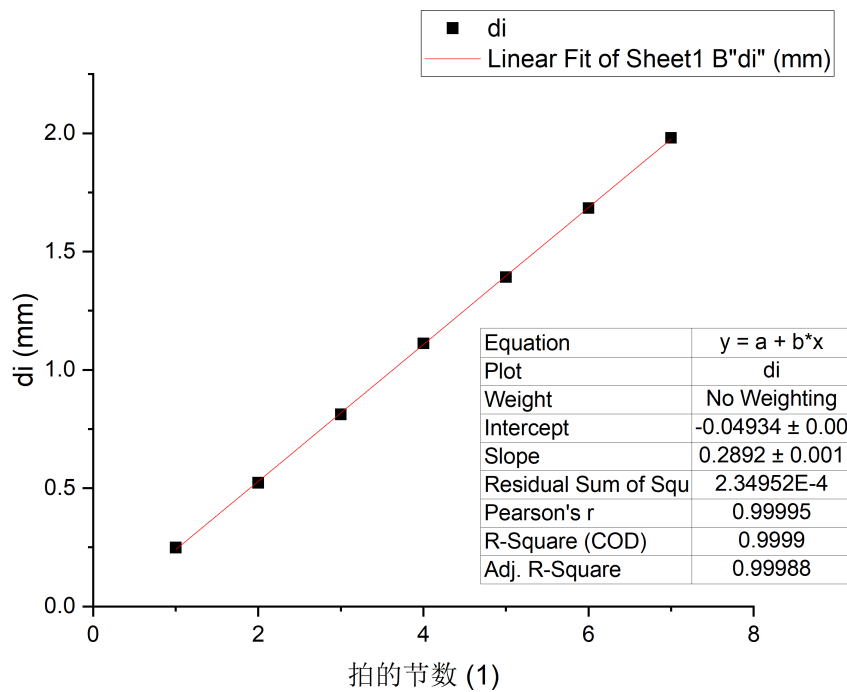


图 5: 钠光双线

对于汞黄双线，根据书上公式进行计算可得：

汞黄线的波长（平均值） $\lambda_1 = 578 \text{ nm}$

拟合直线的斜率为 $k = 0.08246$

$$r_1 = 0.99991$$

$$e_{d_i} = 0.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{k1,A} = \sqrt{\frac{\frac{1}{r_1^2} - 1}{n - 2}} = 4 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\sigma_{k1,B} = \frac{e_{d_i}}{\sqrt{3} \sqrt{\sum_{i=1}^7 (x_i - \bar{x})^2}} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k1,A}^2 + \sigma_{k1,B}^2} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\Delta d = k_1 = 0.08246 \text{ mm}$$

$$\Delta \lambda_1 \approx \frac{\lambda_1^2}{2 \Delta d} = \frac{(578 \text{ nm})^2}{2 \times 0.08246 \text{ mm}} = 2.037 \text{ nm}$$

$$\sigma_{\Delta \lambda_1} = \frac{\lambda_1^2}{2 \Delta d^2} \sigma_{\Delta d} = 0.2 \text{ nm}$$

$$\Delta \lambda_1 = (2.0 \pm 0.2) \text{ nm}$$

对于钠黄双线，同理进行计算可得：

钠黄线的波长（平均值） $\lambda_2 = 589.3 \text{ nm}$

拟合直线的斜率为 $k = 0.2892$

$$r_2 = 0.99995$$

$$e_{d_i} = 0.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{k2,A} = \sqrt{\frac{\frac{1}{r_2^2} - 1}{n - 2}} = 4 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\sigma_{k2,B} = \frac{e_{d_i}}{\sqrt{3} \sqrt{\sum_{i=1}^7 (x_i - \bar{x})^2}} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{k2,A}^2 + \sigma_{k2,B}^2} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\Delta d = k_1 = 0.2892 \text{ mm}$$

$$\Delta \lambda_2 \approx \frac{\lambda_2^2}{2 \Delta d} = \frac{(589.3 \text{ nm})^2}{2 \times 0.2892 \text{ mm}} = 0.600 \text{ nm}$$

$$\sigma_{\Delta \lambda} = \frac{\lambda_2^2}{2 \Delta d^2} \sigma_{\Delta d} = 0.02 \text{ nm}$$

$$\Delta \lambda_2 = (0.60 \pm 0.02) \text{ nm}$$

2.5.2 方法二：计数相邻暗条纹个数计算

对于汞黄双线：

$$\overline{\Delta k} = \sum_{i=1}^7 k_i = 257.3$$
$$\Delta \lambda_1 = \frac{\lambda_1}{\overline{\Delta k}} = \frac{578 \text{ nm}}{257.3} = 2.2 \text{ nm}$$

对于钠光双线：

$$\overline{\Delta k} = \sum_{i=1}^7 k_i = 628$$
$$\Delta \lambda_2 = \frac{\lambda_2}{\overline{\Delta k}} = \frac{589.3 \text{ nm}}{628} = 0.9 \text{ nm}$$

2.5.3 结果对比分析

经过查阅相关资料，汞黄双线波长 $\lambda_1 = 577.0 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 579.1 \text{ nm}$ ，钠光双线波长 $\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$ ， $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$ 。

对比之下发现，第一种方法计算出来的较为准确，第二种方法计算出来的结果较为偏大。原因可能是由于实验仪器的限制，我们并没有采取书上用光电自动记录图像的方法，而是采用最为原始的数条纹方法。这种方法因人的主观性极大，并且因为人眼持续时间有限，可能会数错或者少数。计算出来的结果也印证了这一点。

而直线拟合的方法较为精准，一是通过迈克尔逊干涉仪可以直接读出相应的刻度，二是直线拟合的过程也减小了误差。但是此实验由于可见度为零的位置的判定不可避免地存在人的主观性，所以误差来源主要来自于由于可见度为零的位置的判定的读数误差。但在此情况下，已经可以得到一个令人满意的结果了。

3 总结与反思

通过本次实验，我学会了如何通过迈克尔逊干涉仪来测量光源的时间相干性，通过实验我们发现，白光的时间相干性要远远小于单色光，并且老师的讲解也加深了我对于光源的时间相干性、以及更基本的不确定性原理的理解，加深了物理直觉。并且第二次使用迈克尔逊干涉仪的时候对其的使用和调节方法有了更进一步的掌握和熟练。第一次做迈干时，我花了大约三四十分钟才调节出白光干涉，但是这次很快就完成了仪器的调节也很快看见自己曾经觉得难如登天的白光干涉。同时，关于拟合直线部分，我再次加深了对不确定度计算的难点的掌握。