

迈克尔逊干涉仪的调节和使用

201711140236 物理系基地班 李励玮

实验仪器

迈克尔逊干涉仪、钠光灯、白光光源、透镜等

实验原理

两列频率相同振动方向相同和相位差恒定的相干光在空间相交区域发生相互加强或减弱现象，为光的干涉现象。实验室在一般将同一波长的光源采用分波阵面或分振幅两种方法获得，并使其在空间经不同路径后会和产生干涉。根据干涉条纹数目和间距的变化与光程差、波长等的关系式，可以测出微小长度变化（光波波长数量级）和微小角度变化。

迈克尔逊干涉仪中两束光光程差 $\delta = 2d \cos i = k\lambda$

1. 扩展光源产生的干涉图样（定域干涉）

1) 当 M_1 和 M_2' 严格平行时，产生等倾干涉条纹。

干涉条纹特点：

a. 明暗相间的同心圆条纹，条纹定域在无穷远（需要汇聚透镜成像在光屏上）；

b. 中心级次最高， $k = 2d/\lambda$

c. M_1 和 M_2' 之间距离 d 增大，条纹从中心向外涌出， d 减小，条纹从中间陷入。每涌出或陷入一个条纹， M_1 和 M_2' 之间距离 d 改变为 $\lambda/2$ 。涌出或陷入的交接点处为 $d = 0$ 的情况时无条纹。

d. 干涉条纹的分布是中心宽边缘窄， d 增大条纹变窄， $\Delta i_k = i_k - i_{k-1} \approx \frac{\lambda}{2di_k}$

2) 当 M_1 和 M_2' 之间有很小的倾角时，产生等倾干涉条纹。此时 $\delta = 2d \cos i \approx 2d(1 - i^2/2)$

a. 当入射角也较小时为等厚干涉，条纹定域在薄膜表面附近；

b. 在两镜面交线附近处， d 较小， i 的影响可以略去，干涉条纹是一组平行于 M_1 和 M_2' 交线的等间隔的直线条纹；

c. 在离 M_1 和 M_2' 交线较远处， d 较大， i 的影响不可以略去，干涉条纹变成弧形，且条纹弯曲的方向背向两镜面的交线。

3) 白光照射下的彩色条纹

对于白光，它含有不同波长的光，且相干长度较短，对干等倾干涉，需要在 d 接近零时才能观察到白光的干涉彩色条纹。

2. 实验仪器构成、原理及其操作步骤

1) 仪器构成

迈克尔逊干涉仪由底座、导轨、拖板部分、分束板和补偿板、定镜、动镜及其读数系统与若干附件构成。

底座由三个调平螺丝支撑，调平后可以锁紧螺钉以保持底座稳定。

导轨中，丝杆穿过螺母，当丝杆转动时，拖板前后移动带动固定在其上的移动镜在导轨面上移动。

分束板将入射光分为透射光、反射光；补偿板实现光干涉时两束光经过不同路径时光路的补偿。

动镜为一块精密的平面镜，表面镀金属膜，有较高的反射率，垂直地固定在拖板上，法线严格地与丝杆平行。倾角可用背面地两颗螺丝调节。各螺丝调节范围有限度。若螺丝过松，移动时可能因震动使镜面倾角变化；若过紧，导致条纹不规则。

定镜背后也有两螺丝，可粗调动镜取向。

其次，动镜还有两颗水平和垂直拉簧螺钉。水平拉簧螺钉使其在水平方向转过微小角度，使干涉条纹左右微动；通过调节垂直拉簧螺钉使其在垂直方向转过微小角度使干涉条纹上下微动。拉簧改变镜面的方位比动镜背面的螺丝小得多，故为微调螺钉。

读数系统包括转动部分，称为三级读数系统：最终读数应为机体侧面刻尺、粗调手轮、微调手轮读数窗读数三者之和，和一位估读。

2) 迈克尔逊干涉仪工作原理

实验通过对入射光分振幅形成双光束而形成干涉。

非定域干涉中，点光源经 M_1 和 M_2' 形成两个虚光源 S_1 和 S_2' ，到观察点光程差 $\delta = S_2'A - S_1A$ 。

当 $L \gg d$ 时，得到 $\delta = 2d \cos \theta \left(1 + \frac{d}{L} \sin^2 \theta\right)$ ， θ 为观察点的张角；舍去二阶无穷小，得到 $\delta = 2d \cos \theta$

当 $\delta = k\lambda$ 时，为亮纹； $\delta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ 时，为暗纹。 k 为整数。

当 M_1 和 M_2' 平行， d 为常数，这种由点光源所形成的圆环形干涉条纹在整个观察区域空间均可看到。在圆心处， $\theta = 0$ ，则 $2d = k\lambda$ ，则 d 作微小改变 Δd 时，极差 Δk 与之的关系为 $\Delta d = \Delta k \cdot \frac{\lambda}{2}$

当干涉图每增加或减少一级， d 就增加或减少半个波长。观察者目光固定在圆心，则可看到干涉条纹不断涌出或陷入。记录 Δd 和 Δk ，可计算 $\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta k}$

钠光包含两种波长非常接近的光，称为钠光的双黄线，可根据干涉条纹的明暗变化测量其波长差。

非相干叠加的条纹在 d 变化时交替出现“清晰”和“模糊甚至消失”的现象。

清晰： $2d_1 = m\lambda_1 = n\lambda_2$

模糊： $2d_2 = (m + k + 0.5)\lambda_1 = (n + k)\lambda_2$

$$\text{则得 } \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{4(d_2 - d_1)} \approx \frac{\bar{\lambda}_{12}^2}{4(d_2 - d_1)}$$

若从模糊到下一个模糊图像时， M_1 移动距离 Δd ，由对称性得 $\Delta \lambda \approx \frac{\bar{\lambda}_{12}^2}{2\Delta d}$

由于模糊区较宽，实际测量只需粗调手轮测出 3 到 4 个模糊区的间距来计算波长差。

实验内容与步骤

1. 迈克尔逊干涉仪的调节

2. 测量钠光光源的波长

实验数据：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x/mm	51.55600	51.54571	51.53672	51.52750	51.51861	51.50912	51.49962	51.49074	51.48190	51.47290
$\Delta d/mm$						0.04688	0.04609	0.04598	0.04560	0.04571
λ/nm						625.067	614.533	613.067	608.000	609.467

因此钠光光源的波长 $\lambda = 614.027nm$

不确定度：

$$U_A(\lambda) = \sqrt{\frac{(625.067 - 614.027)^2 + (614.533 - 614.027)^2 + (613.067 - 614.027)^2 + (608.000 - 614.027)^2 + (609.467 - 614.027)^2 + (625.067 - 614.027)^2}{5 \times 4}} = 3.00145$$

$$U_B(\lambda) = \frac{0.13333}{\sqrt{3}} = 0.07698$$

$$U(\lambda) = \sqrt{U_A(\lambda)^2 + U_B(\lambda)^2} = 3.00244$$

因此钠光光源的波长 $\lambda = (614.027 \pm 3.002)nm$

3. 测量钠光的双线波长差

实验数据：

	1	2	3	4
x/mm	52.01290	52.44290	52.76290	53.04524

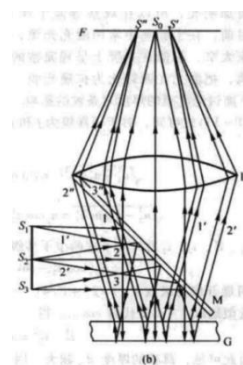
$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{\Delta d} = \frac{\lambda^2}{[(x_3 + x_4) - (x_1 + x_2)]/4} = 1.115nm$$

误差分析

1. 测量钠光光源波长时，吞或吐三十个条纹后，由于是人眼判断，可能与原来的各条纹的位置有差别，导致测得的 Δd 与实际值有差别。
2. 测量钠光的双线波长差时，由于我没有使用微调手轮使成像刚好模糊，与实际的模糊区域有一定差异，因此测得的 Δd 与实际值有差别，造成了较大的误差。

课后思考题

如图使用半透明玻璃片 M，将扩展光源 S 的光反射之后，射向薄膜 G，并让从薄膜反射回来的一部分光透过，再射到物镜 L 上，汇聚至焦平面 F 上便可以发生等倾干涉。



实验数据

2.	16	21	32	43	54	65	6
(mm)	51.56678	51.55600	51.54571	51.53672	51.52780	51.51861	51.50912
7.	8	9	10				
	51.49962	51.49074	51.4840	51.4720			
3.	10	1	2	3	4		
	51.19280	52.01290	52.44290	52.76290	53.04524		

12.5