

# 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 $\delta = 2d \cos \theta \left(1 + \frac{d}{L} \sin^2 \theta\right)$ ， $\theta$ 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 $\Delta d$ 时，极差 $\Delta k$ 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 $\Delta d$ 和 $\Delta k$ ，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： $2d_2 = (m + k + 0.5)\lambda_1 = (n + k)\lambda_2$

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 $\Delta d$ ，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

1) 利用水平调节螺丝，调干涉仪水平

2) 调整激光束与干涉仪的光路大致垂直

目测：①光源中心轴线大致垂直于定镜；

②打开钠光灯，调节镜背后的两颗螺丝，使定镜反射的光束返回光源。

3) 旋转粗动手轮，使动镜和定镜到镀膜面的距离大致相等。

4) 调节 $M_1 \perp M_2$

在透镜与分束板之间放置一个笔尖状的物体，调整定镜背的螺丝（，有时还需要调节动镜背面的螺丝），使两个镜子对笔尖的成像重合。此时，视野中出现一系列平行的干涉直条纹。进一步调整定镜上面的微调螺钉，使直条纹变成同心圆条纹。

5) 进一步微调定镜背后的螺丝，使得干涉条纹成像在无穷远处

观察同心圆条纹后，移动眼睛，如果条纹随着眼睛的移动出现吞吐，需要微调定镜背面的螺丝，直到条纹随着眼睛的移动不发生吞吐为之，此时，衍射条纹随着眼睛的移动一起动，但没有吞吐。

### 2. 测量钠光光源的波长

读出动镜 $M_1$ 所在的相对位置，记录动镜的位置读数。然后沿同一方向转动微调手轮，仔细观察屏上的干涉条纹涌出或陷入的个数，每隔 30 个条纹，记录一次动镜 $M_1$ 的位置，共记 10 组，读 10 个位置的读数，填入表格。注意：位置读数时可精确到 $10^{-4}mm$ ，估读到 $10^{-5}mm$

带入干涉公式中，计算光的波长。

用逐差法处理数据。

	$x_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x/\times 10^{-4}mm$											

### 3. 测量钠光的双线波长差

移动动镜，找出干涉条纹模糊的位置，记录动镜的位置读数，沿一个方向移动动镜，记录下一个干涉条纹模糊的位置，记录动镜的位置，记录若干组。

根据公式 $\Delta\lambda \approx \frac{\bar{\lambda}_{12}^2}{2\Delta d}$ 计算钠双黄线的波长差。

	1	2	3	4	5
$x/\times 10^{-4}mm$					

### 4. 观察白光彩色干涉条纹（选做）

1) 旋转粗动手轮移动动镜 $M_1$ ，找到干涉条纹涌出和陷入的分界点，此时 $d \approx 0$ 。

2) 将灯换成白光灯，即可观察白光的等倾干涉条纹。

3) 观察白光的等厚干涉条纹

在等倾干涉基础上，小心调节水平/垂直拉簧螺丝，使定镜 $M_2$ 倾斜直到整个视场条纹变为等轴双曲线形状，再极小心地旋转微调手轮找到中央条纹，其两侧对称分布着红橙黄绿青蓝紫的彩色条纹，记录观察到的条纹形状和颜色分布。

## 注意事项

1. 迈克尔逊干涉仪是精密光学仪器，使用时注意防震：测量时动作要轻、缓，尽量使身体离开实验台面，以防震动，不能触摸光学元件光学表面。

2. 动镜、定镜后的调节螺丝、拉簧不要旋得过紧，以防镜片受压变形和损坏。

3. 实验完毕应将螺丝、拉簧松开，以免镜面、拉簧变形。

4. 测量过程中防止回程误差：即调零结束后，测量开始时，应将微调鼓轮按原方向转几圈，直到干涉条纹开始涌出或陷入后才开始读数测量；测量过程中微调鼓轮只能沿一个方向旋转，一旦反转，数据无效，且须重新调整零点。

## 预习思考题

1. 调整激光束与干涉仪的光路大致垂直；旋转粗动手轮，使动镜和定镜到镀膜面的距离大致相等；调节 $M_1 \perp M_2$ ，在透镜与分束板之间放置一个笔尖状的物体，调整定镜背的螺丝（，有时还需要调节动镜背面的螺丝），使两个镜子对笔尖的成像重合。此时，视野中出现一系列平行的干涉直条纹。进一步调整定镜上面的微调螺钉，使直条纹变成同心圆条纹。进一步微调定镜背后的螺丝，使得干涉条纹成像在无穷远处观察同心圆条纹后，移动眼睛，如果条纹随着眼睛的移动出现吞吐，需要微调定镜背面的螺丝，直到条纹随着眼睛的移动不发生吞吐为之，此时，衍射条纹随着眼睛的移动一起动，但没有吞吐。

2. 表格画在实验步骤处。

3. 使薄膜恰好夹在 $M_1$ 和 $M_2'$ 之间，调节得到等倾条纹，则 $\delta = 2d \cos \theta = \frac{k\lambda}{n}$ ， $d$ 为薄膜厚度， $n$ 为折射率， $k$ 为整数。其余和测量光波波长的操作一样，得到一系列数据可以计算 $d$ ， $n$ 。