

实验 CB1+ 迈克尔逊干涉及应用（白光干涉）

【实验目的】

1. 观察等倾、等厚干涉现象及调节白光干涉条纹；
2. 学习用迈克尔逊干涉仪测量钠光谱波长差的方法；
3. 学习用白光干涉测量透明薄片折射率的方法；
4. 用迈克尔逊干涉仪测量多种光源的相干长度；

【仪器用具】

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	精密干涉仪	1	SGM-3
2	He-Ne 激光器	1	
3	钠钨双灯	1	
4	汞灯	1	
5	透明薄片	1	
4	螺旋测微计	1	

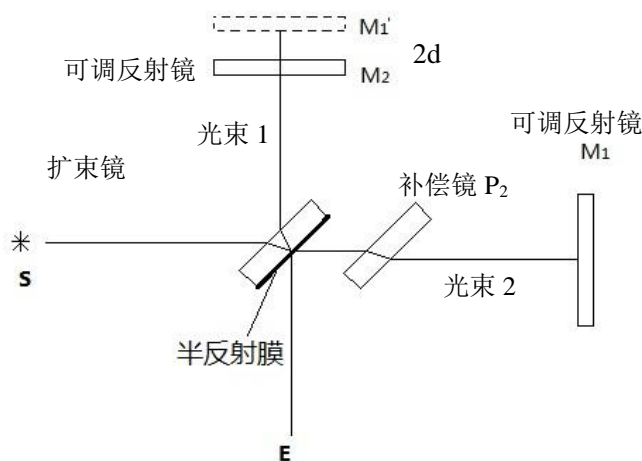
【原理概述】

详细请参考《基础物理实验（沈韩主编）》中实验 B9 的内容。另补充内容如下：

一、测钠双黄线的波长差

钠黄光含有两种波长相近的光 ($\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$)。采用钠灯作光源时，两条谱线形成各自的干涉条纹，在视场中的两套干涉条纹相互叠加。由于波长不同，同级条纹之间会产生错位 (λ_1 的某一级的暗条纹可能会和 λ_2 的另一级的亮条纹重合)。在移动反射镜 M1（光程差发生变化）过程中，干涉条纹会出现清晰与模糊的周期性变化，称为“光拍现象”。其原理如下。

当 M1 与 M2 平行时，记 M1 的虚像 M1' 与 M2 之间的距离 d，则两束光在观察屏（视场）E 中心处的光程差为 $L = 2d$ 。对波长为 λ_1 的入射光，由光的干涉条件可知：当 $L = k_1 \lambda_1$ (k_1 为整数) 时，在视场 E 中心处干涉加强；当 $L = (k_2 + 1/2) \lambda_2$ (k_2 为整数) 时，在视场



图（一）迈克尔逊干涉仪光路图

E 中心处干涉减弱。

视场 E 中心处 λ_1 和 λ_2 两种单色光干涉条纹相互叠加。若逐渐增大 M1 与 M2 的间距 d，当 λ_1 的第 k_1 级亮条纹和 λ_2 的第 k_2 级暗条纹相重合时（见图（二）A 处），叠加而成的干涉条纹清晰度最低，此时干涉条纹出现第一次模糊，记录此时的光程差为 L_A ，有

$$L_A = k_1 \lambda_1 = (k_2 + 1/2) \lambda_2 \quad (1)$$

若继续增大 M1 与 M2 的间距，使得视场 E 中心处的光程差增加至 L_B ，此时 λ_1 的第 $(k_1 + n)$ 级亮条纹和 λ_2 的第 $(k_2 + n)$ 级亮条纹相重合（见图（二）B 处，图中 $n = 3$ ），叠加而成的干涉条纹亮度最高，此时干涉条纹恢复清晰。

继续增大 M1 与 M2 的间距，使得视场 E 中心处的光程差增加至 L_C ，此时 λ_1 的第 $(k_1 + m)$ 级亮条纹和 λ_2 的第 $(k_2 + m - 1)$ 级暗条纹相重合时（见图（二）C 处，图中 $m = 5$ ），叠加而成的干涉条纹清晰度再次出现最低，此时干涉条纹出现第二次模糊，记录此时的光程差为 L_C ，有

$$L_C = (k_1 + m) \lambda_1 = [k_2 + (m - 1) + 1/2] \lambda_2 \quad (2)$$

设干涉条纹出现一次模糊→清晰→模糊的变化时，反射镜 M1 的移动距离为 Δd ，(2) 式减 (1) 式可求得 A 处和 C 处前后的光程差变化为

$$\Delta L_{CA} = L_C - L_A = 2\Delta d = m \lambda_1 = (m - 1) \lambda_2 \quad (3)$$

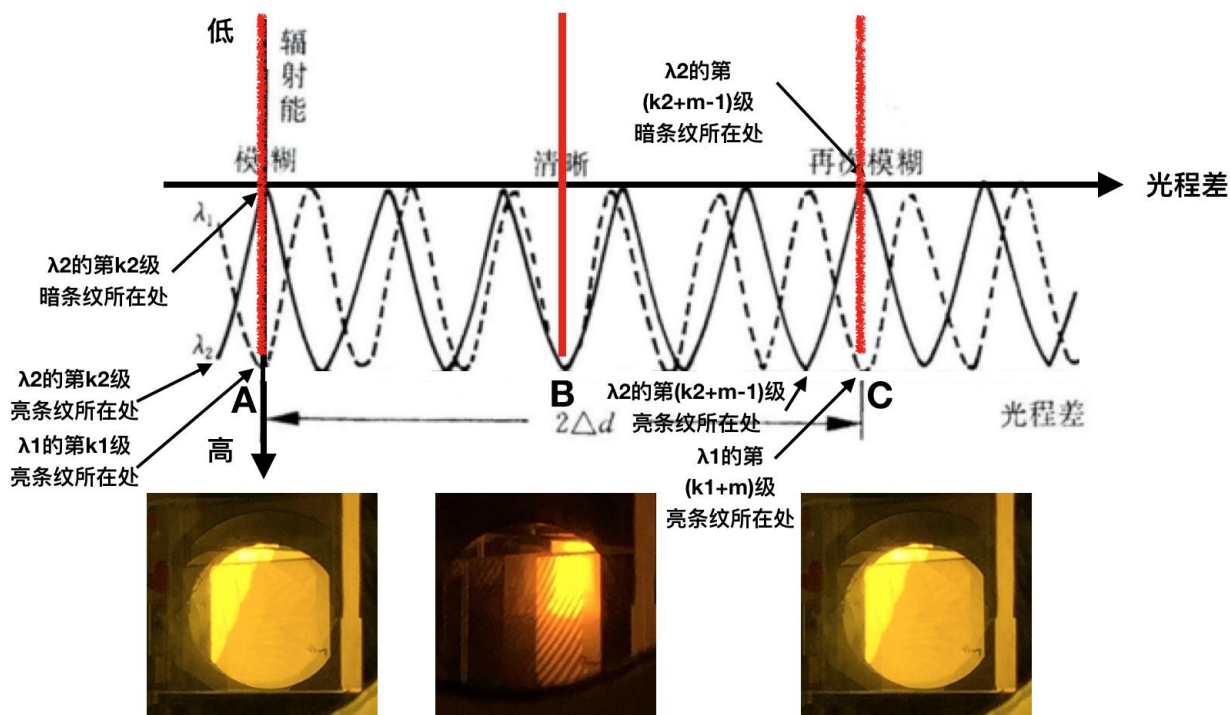
上式最后一个等式移项可得

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_2 / m \quad (4)$$

(3) 式倒数第二个等式移项得 $m = 2\Delta d / \lambda_1$ ，代入 (4) 式得

$$\Delta\lambda \equiv \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2\Delta d} = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d} \quad (5)$$

$\bar{\lambda} = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$ 为钠双黄线波长的平均值。记录下干涉条纹出现一次“模糊→清晰→模糊”的变化时，反射镜 M1 移动的距离 Δd ，结合钠双黄线的平均波长 $\bar{\lambda}$ ，即可利用 (5) 式求得钠双黄线的波长差 $\Delta\lambda$ 。



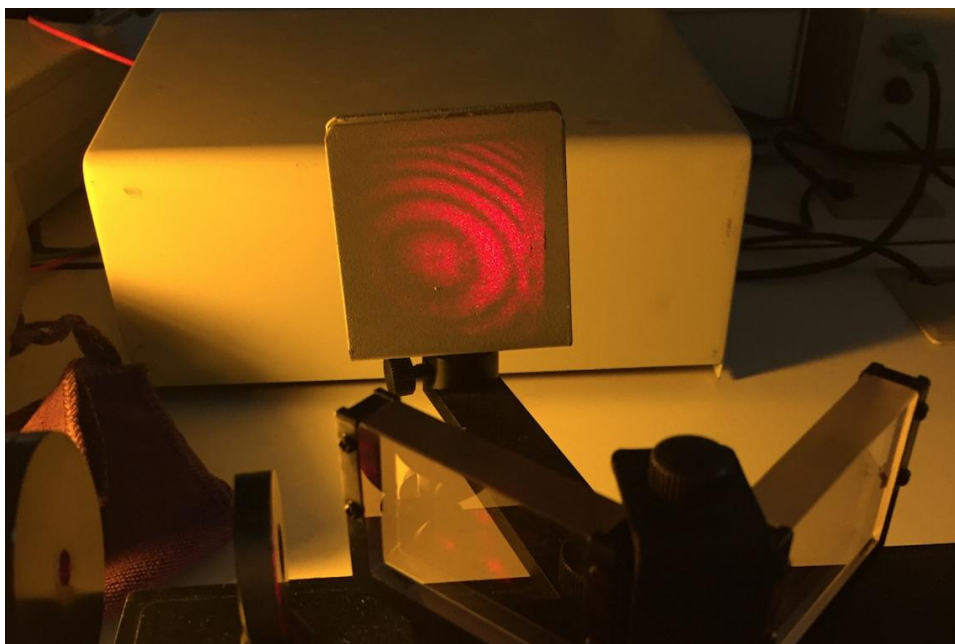
图（二）“光拍”现象及其原理

二、白光干涉的调节，并测定透明薄片的厚度 t 或者折射率 n

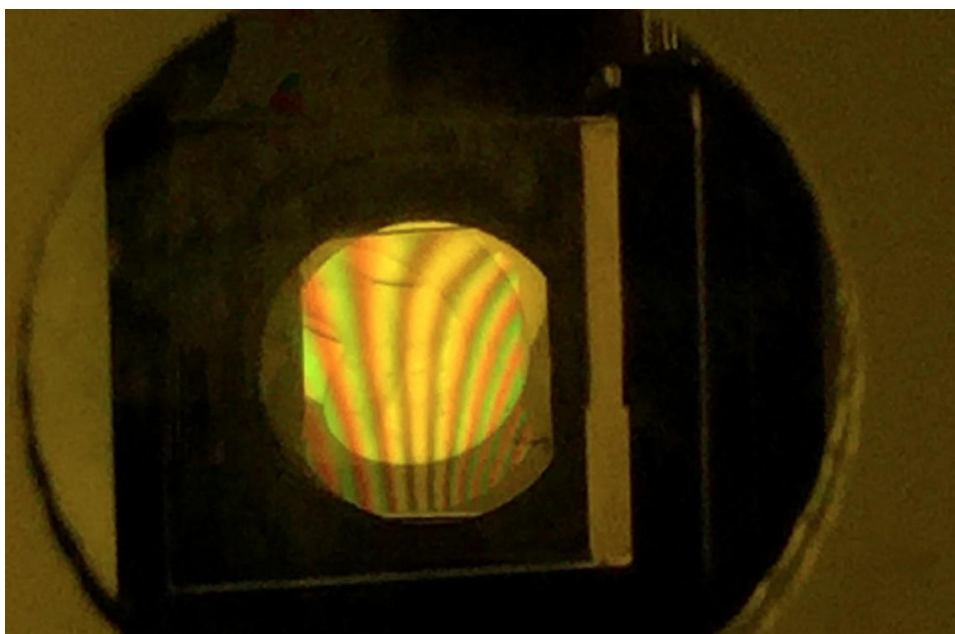
在迈克尔逊干涉实验中，如图（一）所示，先采用激光光源（安装上扩束镜），调节出定域等倾干涉圆环。再调节可移动反射镜 M1 的预置测微头，减小两干涉臂的光程差 L （此过程中干涉圆环不断内缩，在观察屏中心 E 处不断“消失”），直至观察屏上只剩下几个较粗的干涉圆环（或圆环几乎消失，如图（三）所示）。这时候意味着两干涉臂的光程差 L 近似等于零。【提示：调节可移动反射镜 M1 的预置测微头的过程中，会出现干涉圆环中心偏离观察屏中心的现象，这是因为由于仪器制造工艺等原因，光束经分束镜 P_1 分束后，不是严格地垂直入射到两反射镜的缘故。故反射镜 M1 的移动距离较大时，会出现干涉条纹跑偏的现象。这时候可以轻微地调节反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得干涉圆环的中心始终保持在观察屏 E 中心附近，如图（三）所示。】

这时候撤掉扩束镜，并换上扩散的白光光源（本实验中采用节能灯管代替），把观察屏

翻到背后有玻璃的一面，然后微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉（调节 M2 的倾斜度），此时应能在玻璃镜（视场）中观察到彩色的条纹，此即为“白光等厚干涉条纹”。微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得在视场中心处的彩色条纹之间还可观察到一条全黑的条纹，称为“中心暗纹”（如图（四）所示）。观察到此现象后，可缓慢移动 M1 镜（及反射镜 M2 背面的三个螺钉）



图（三） 两干涉臂光程差几乎为零时，观察屏上只有少数几个等倾干涉圆环



图（四） 两干涉臂光程差几乎为零时，视场中的白光干涉的彩色条纹及其中心暗纹

然后在反射镜 M1 与分束镜 P₁ 之间放上折射率为 n ，厚度为 t 的透明薄片，且尽量使薄片与 M1 镜平行，则此时两干涉臂的光程差要比原来增大

$$\Delta L = 2t(n - 1) \quad (6)$$

放上透明薄片后，透过观察屏玻璃观察透明薄片处，可以看到视场中的白光干涉彩色条纹消失。此时如果将反射镜 M1 镜（【注意：此时不能再动可调反射镜 M2】）向前朝分束镜 P₁ 方向移动一段距离 Δd ，使得 $\Delta d = \Delta L / 2$ （这时候相当于虚光源 S₁' 和 S₂' 距离减小 $2\Delta d = \Delta L$ ，刚好是插入透明薄片后增加的光程差），则白光彩色干涉条纹重新出现（注意要调节反射镜 M1 镜的预置测微头，使得中心暗纹移到视场中央）。此时有

$$\Delta d = t(n - 1) \quad (7)$$

测出 M1 镜的移动量 Δd ，若已知透明薄片的厚度 t ，则可由 (7) 式可求出透明薄片的折射率 n ；反之，若已知透明薄片的折射率 n ，可求出透明薄片的厚度 t 。

三、测量汞灯光源的相干长度（设计）

请自行就相关实验原理进行调研，并设计具体实验方案。

【基本测量仪器介绍】

详细请参考仪器说明书及《基础物理实验（沈韩主编）》中第 228 页图 A7.7。

【实验内容和步骤】

1. 调节迈克尔逊干涉仪，使产生定域等倾干涉条纹

- 1) 安装并打开 He-Ne 激光器（注意不要直射眼睛），但先不安装扩束镜，使激光束从分束镜 P₁ 的中心附近入射；
- 2) 调节可调反射镜 M2 背面的三个螺钉，使得 M1 和 M2 反射的光点的最亮处在观察屏 E 上重合；
- 3) 装上扩束镜（以获得点光源），此时应能在观察屏上看到等倾干涉条纹（如观察不到，则可微调固定激光器的螺钉，使得光束能顺利通过扩束镜）。

2. 测量钠双黄线的波长差

- 1) 调节可移动反射镜 M1 的预置测微头，减小两干涉臂的光程差 L （此过程中干涉圆环不断内缩，在观察屏中心 E 处不断“消失”），直至观察屏上只剩下几个较粗的干涉圆环（或圆环几乎消失，如图（三）所示）。这时候两干涉臂的

光程几乎相等, 光程差近似等于零。【提示: 调节可移动反射镜 M1 的预置测微头的过程中, 会出现干涉圆环中心偏离观察屏中心的现象, 这是因为由于仪器制造工艺等原因, 光束经分束镜 P₁ 分束后, 不是严格地垂直入射到两反射镜的缘故。故反射镜 M1 的移动距离较大时, 会出现干涉条纹跑偏的现象。这时候可以轻微地调节反射镜 M2 背面的三个螺钉, 使得干涉圆环的中心始终保持在观察屏 E 中心附近, 如图 (三) 所示】:

- 2) 不安装扩束镜。改用钠灯, 灯前装有毛玻璃使光散射。观察屏改为平面玻璃反射镜;
- 3) 从观察屏的玻璃中观察, 仔细调节 M2 镜后的三颗倾斜度调节螺钉和 M1 镜的位置, 可观察到黄黑相间的直线状的等厚干涉条纹;
- 4) 调节预置测微头, 移动反射镜 M1, 观察条纹“模糊→清晰→模糊”的周期变化过程, 记录每一次干涉条纹“模糊”时候预置测微头的读数, 随后计算出 M1 镜移动的距离 Δd ;
- 5) 根据 (5) 式计算钠双黄线的波长差 $\Delta\lambda$ (【提示: 钠双黄线波长的理论值分别为 $\lambda_1 = 589.0 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 589.6 \text{ nm}$ 】)。

3. 利用白光干涉测定透明薄片的厚度 t 或折射率 n

- 1) 重复步骤 1 和步骤 2 的 (1), 用 He-Ne 激光作为光源, 调出等倾干涉圆环。移动反射镜 M1, 使条纹变宽变稀, 至观察屏上只有少数几个圆环, 至此两干涉臂的光程几乎相等;
- 2) 撤掉扩束镜, 并换上扩散的白光光源 (本实验中采用节能灯管代替), 把观察屏翻到背后有玻璃的一面, 然后微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉 (调节 M2 的倾斜度), 此时应能在玻璃镜 (视场) 中观察到彩色的直线状的条纹;
- 3) 微调可调反射镜 M2 背面的三个螺钉, 使得在视场中心处的彩色条纹之间还可观察到一条全黑的条纹, 称为“中心暗纹” (如图 (四) 所示)。观察到此现象后, 可缓慢移动 M1 镜 (及反射镜 M2 背面的三个螺钉), 使中心暗纹移到视场中央, 并记录下此时反射镜 M1 预置测微头的读数 d_2 ;
- 4) 在分束镜 P₁ 和反射镜 M1 间安装透明薄片并与光路垂直, 彩色条纹及其间的暗纹消失。缓慢调节反射镜 M1 的预置测微头 (注意此时不要再调节 M2 背面的三颗螺钉), 缩小 M1 和 P₁ 之间的距离, 直到重新观察到彩色条纹。再缓慢移动 M1 镜 (及反射镜 M2 背面的三个螺钉), 使中心暗纹移到视场中央。记录下此时反射镜 M1 预置测微头的读数 d_1 , 计算 M1 移动的距离 $\Delta d = d_2 - d_1$;
- 5) 用螺旋测微计测量薄片的厚度 t , 结合 Δd , 根据式 (7) 计算薄片的折射率 n 。

【思考题】

1. 如何测量汞灯光源的相干长度？请自行就相关实验原理进行调研，并设计具体实验方案。