

4.1 迈克尔逊干涉仪调节与应用

迈克尔逊干涉仪是一种典型的分振幅的双光束干涉装置。它是较理想的教学仪器，可以用来研究多种干涉现象，并可进行较精密的测量。同时它又是近代干涉装置的原型。

一、实验目的的要求

1. 了解迈克尔逊干涉仪的结构、掌握其调节使用的方法。
2. 通过实验考察等倾干涉、等厚干涉形成的条件、花纹特点、变化规律及相互间的区别，加深对干涉理论的理解。
3. 利用迈克尔逊干涉仪测钠光波长和钠光双线波长差。
4. 观测等厚干涉条纹和钠光源的相干长度。

二、仪器用具

迈克尔逊干涉仪，钠光灯，带有小孔的光屏。

三、实验原理

（一）迈克尔逊干涉仪光路

迈克尔逊干涉仪是一种分振幅双光束的干涉仪。图一是迈克尔逊干涉仪的光路图，从扩展光源 S 射来的光，到达平行平板 G_1 上（此板后表面是镀有半反射膜，镀有铬）后分成两部分，反射光 1 在 G_1 处反射后向着 M_1 前进，透射光 2 透过 G_1 后向着 M_2 前进，这两列光分别在 M_1 和 M_2 上反射后逆着各自的入射方向返回，最后都到达 E 处，既然这两列光波来自光源上同一点 O ，所以是相干光，因而眼睛在 E 处可观察到干涉条纹， G_2 是补偿板，其材料和厚度与 G_1 相同，是为了保证两束光在玻璃中光程相等而设置的。

由于光在分光板 G_1 的第二面上反射，使 M_2 在 M_1 附近形成一平行 M_1 的虚像 M'_2 ，因而光在迈克尔逊干涉仪中自 M_1 和 M_2 的反射，相当于自 M_1 和 M'_2 的反射，所以在迈克尔逊干涉仪中所产生的干涉与厚度为 d 的空气膜所产生的干涉是等效的。

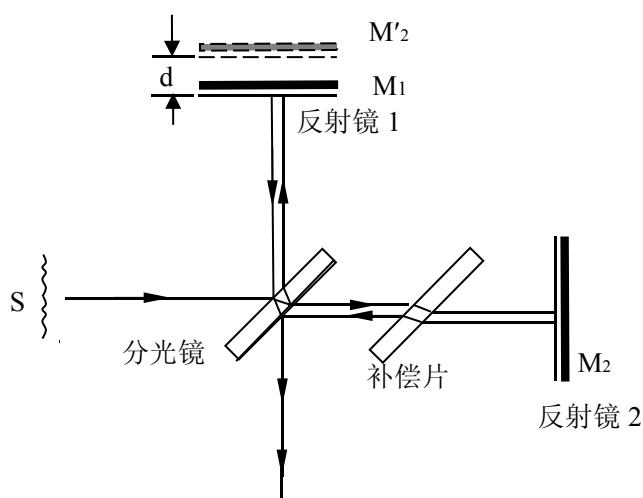
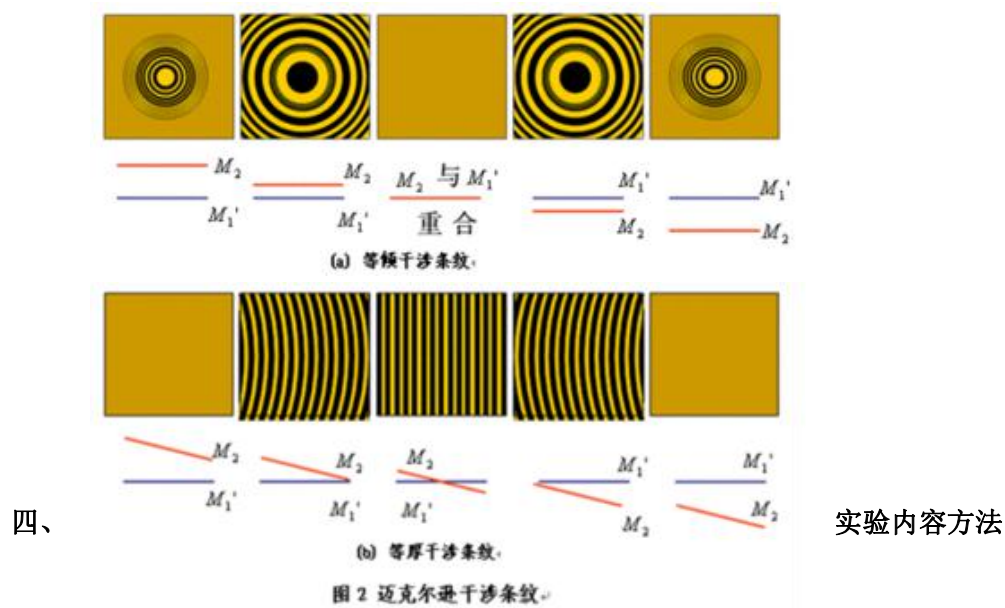


图 一

另外，反射镜 M_2 是固定不动的， M_1 可在精密导轨上前后移动，从而改变反射光 1 和透射光 2 两光束之间的光程差。精密导轨与 G_1 成 45° 角。为了使光束 1 与导轨平行，光源应垂直导轨方向射向迈克尔逊干涉仪。

（二）干涉花纹的图样



四、

实验内容方法

练

习一 用迈克尔逊干涉

仪测定钠光波长

当 M_1 与 M_2' 相互平行时，所得图样为等倾干涉，干涉条纹的形状，决定于具有相同入射角的光，在垂直于观察方向的平面上光的分布轨迹，如图二所示，在垂直观察方向的光源平面 S 上，自 O 点为中心的圆周上各点发出的光具有相同的倾角 i_k ，如果在 L 处放一会聚透镜，在透镜焦平面上放一光屏 p ，则在屏上可以看到一组同心圆环。

干涉条纹的位置取决于光程差，只要光程差有微小的变化，就可以明显地看出条纹的移动。而 M_1 和 M_2' 两反射光波的光程差为

$$\Delta = 2d \cos i_k \quad (1)$$

其中 i_k 为人射光在平面镜上的入射角，对于第 K 级亮条纹则有

$$2d \cos i_k = k\lambda \quad (2)$$

而干涉条纹级别以圆心为最高，这时

$$i_k = 0$$

$$\Delta = 2d = k\lambda \quad (3)$$

当移动 M_1 使 d 增加时，圆心的级别就越来越高，可以看到环形条纹一个个从中心“冒”出来。反之，当 d 减小时，环形条纹向中心一个个“缩”进去。每“冒”出或“缩”进一个条纹， d 就增加或减少 $\lambda/2$ ，所以只要数出冒出或缩入的条纹数，即可得到平面镜 M_1 ，以波长 λ 为单位而移动的距离。显然，若有 N 个条纹从中心冒出时则表明 M_1 相对于 M_2' 移远了 Δd 。

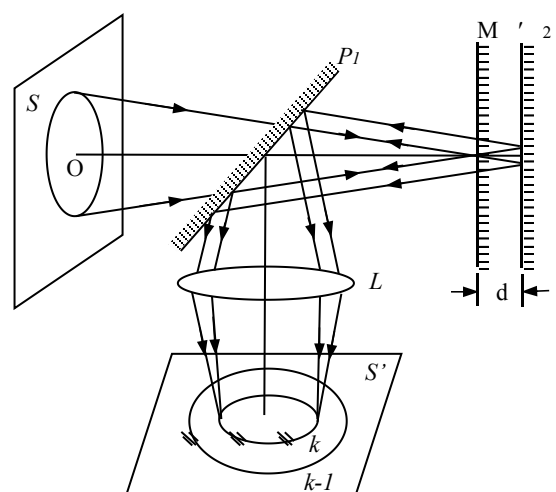


图 二

$$\Delta d = N \cdot \lambda / 2 \quad (4)$$

反之，若有 N 个条纹缩入时，则表明 M_1 相对于 M_2' 移近了同样的距离。因而，精确地测出 M_1 移动的距离 Δd ，就可以由(4)式，计算入射光波的波长 λ 。

实验步骤和要求：

1. 仔细阅读实验讲义中迈克尔逊干涉仪的结构原理和调节方法与注意事项。
2. 点亮钠光灯，使之照射在 S 前的毛玻璃屏上，造成均匀扩展光源，以便加强条纹的亮度，在毛玻璃屏与分光板 G_1 之间放一带小孔的光屏，在 E 处进行观察（参考图一）如果仪器未调整好，即 M_1 与 M_2' 不平行，则在视场中看到的小孔的双影，此时必须细心调 M_2' （或 M_1 ）镜背后的三个螺旋，以改变 M_2 （或 M_1 ）镜的方位，直到双影在水平方向和铅垂方向完全重合。一般情况，取去小孔光屏，即可看到干涉条纹，然后轻轻调节 M_2 镜旁的微调螺旋使条纹成圆环形。而且当眼睛上下左右移动时各圆大小不变，仅仅是圆心随眼睛移动，这时我们看到的是等倾干涉条纹。
3. 按仪器调整中应注意的方法，正确将手柄搬到“合”的位置，旋转微动手轮开始进行计数。首先记录 M_1 镜最初位置 d_1 （读数为：干涉仪左边毫米尺上毫米刻度的整数部分加仪器正面刻度盘精确到 0.01 毫米的小数部分加仪器右侧微动手轮精确到 0.0001 毫米的小数部分和 0.00001 位的估读数）。然后轻轻旋转微动手轮数到条纹冒出（或缩进）100 个时，停止旋转，再记录 M_1 镜位置 d_2 ，则 $d = |d_2 - d_1|$ 为 100 个条纹 M_1 镜的移动距离，最后代入公式（4）计算出钠光波的波长。

数据记录及处理：

测钠光的波长

（单位：mm）

项目 数值 次数	d_1	d_2	$\Delta d = d_1 - d_2 $	N	$\lambda = \frac{2\Delta d}{N}$
1					
2					
3					
4					
5					
平均					

4. 重复上述步骤五次，取其平均值 $\bar{\lambda}$ ，并计算测量误差，最后将测得波长表示为 $\lambda = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda$ ，并与理论值比较，计算其相对误差。

练习二 利用圆形条纹测钠光 D 双线的波长差

以钠光灯作为光源，当 M_2 与 M_2' 镜相互平行时，得到明暗相间的圆形干涉条纹。因为钠光源包含有波长差 λ 很小的两种波长 λ_1 和 λ_2 因而会有这种现象，当两列相干波的光程差恰为 λ_1 整数倍，而同时又为 λ_2 的半整数倍时，有：

$$\Delta = K_1 \lambda_1 = (K_2 + 1/2) \lambda_2 \quad (5)$$

即当 λ_1 光波生成亮环的地方，恰好是 λ_2 光波生成暗环的地方。如果这两列光波强度相等，则由定义，在这些地方条纹的视见度为零。从某一视见度为零到相邻的下一视见度为零，恰好是一种波长的亮条纹和另一种波长的暗条纹颠倒。即如果第一次视见度为零时 λ_1 为亮条纹，那么第二次它即为暗条纹。也就是光程差的变化 Δ 对 λ_1 是半个波长的奇数倍，同时对 λ_2 也是半个波长的奇数倍。又因这个奇数是相邻的故得：

$$\Delta = K \frac{\lambda_1}{2} = (K+2) \frac{\lambda_2}{2} \quad (6)$$

式中 K 为奇数，由此得：

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} = \frac{2}{K} = \frac{\lambda_1}{\Delta} \quad \text{所以：} \quad \Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\Delta} \approx \frac{\bar{\lambda}^2}{\Delta} \quad (7)$$

对于视场中心来说，设 M_1 镜在相继两次视见度为零时移过 Δd ，则由此而引起的光程差的变化 Δ 应等于 $2\Delta d$ ，所以

$$\Delta \lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d} \quad (8)$$

只要知道两波长平均值 $\bar{\lambda}$ 和 M_1 镜移动的距离 Δd ，就可以求出两波长的波长差 $\Delta \lambda$ 。

(钠光双线的平均波长 $\bar{\lambda} = 589.3\text{nm}$)

数据记录及处理：

测钠光 D 双线波长差 $\bar{\lambda} = 589.3\text{nm}$ (单位：mm)

项目 数值 次数	d_1	d_2	Δd	$\Delta \lambda = \frac{\bar{\lambda}^2}{2\Delta d}$
1				
2				
3				
4				
平均				

实验步骤和要求：

1. 调好圆形条纹，缓慢移动 M_1 镜，使视场中心视见度为最小，记下 M_1 镜的位置 d_1 ，再沿原来的方向移动 M_1 镜，直到相邻的一个视见度为最小时记下 M_1 镜位置 d_2 ，即得两相邻视见度为零时 M_1 镜移动距离 $\Delta d = |d_2 - d_1|$

2. 按上述步骤重复三次，求得 Δd 的平均值，代入公式(8)计算钠光 D 双线波长差 $\Delta \lambda$ ($\bar{\lambda}$ 取 589.3nm)。

**练习三 观测等厚干涉条纹和钠光源的相干长度（选作）

1. 移动 M_1 镜，使 M_1 镜与 M_2' 镜大致重合，调 M_2 的三个微调螺旋使 M_1 和 M_2' 有一个很小的角度，视场中出现直线干涉条纹，干涉条纹间距与夹角成反比，夹角太大，条纹变得很密以至于观察不到条纹。将条纹间距取 1 毫米左右，移动 M_1 镜观察条纹由弯曲变直再变弯曲的过程。

2. 在干涉条纹变直的位置上，取去钠光灯换白炽灯，缓慢地移动 M_1 镜，在某位置可观察到彩色直条纹，条纹中心就是 M_1 和 M_2' 镜的交线。记录此时 M_1 镜位置 d_0 。由于白光的干涉条纹只有数条，所以必须耐心调节才能观察到，如果 M_1 镜移动过快，条纹一晃而过不易看到。

3. 在上述情况下，换钠光灯，旋转粗动手轮。使 M_1 镜沿 d 增加的方向移动，并注意观察，直至干涉现象不存在为止，记下此时 M_1 镜的位置 d ，则相干长度 $L_m = 2(d - d_0)$ 。

五、问题，思考题

1. 比较 He—Ne 激光加扩束器产生的同心圆条纹与钠灯加毛玻璃做光源、在迈克尔逊干涉仪上产生的等倾干涉条纹有何区别？

2. 如何由干涉条纹的疏密变化、条纹的“冒”出或“陷”进来判断 M_2' 与 M_1 的间距 d 的大小及 M_1 在 M_2' 前后的位置？

3. 为什么用眼睛观察等倾干涉条纹时，干涉条纹的中心会随眼睛平移，而干涉条纹的直径不变？

4. 如何在迈克尔逊干涉仪上调出等厚干涉条纹？

六、知识拓展

迈克尔逊干涉仪的最著名应用即是它在迈克尔逊-莫雷实验中对以太风观测中所得到的零结果，这朵十九世纪末经典物理学天空中的乌云为狭义相对论的基本假设提供了实验依据。除此之外，由于激光干涉仪能够非常精确地测量干涉中的光程差，在当今的引力波探测中迈克尔逊干涉仪以及其他种类的干涉仪都得到了相当广泛的应用。激光干涉引力波天文台(LIGO)等诸多地面激光干涉引力波探测器的基本原理就是通过迈克尔逊干涉仪来测量由引力波引起的激光的光程变化，而在计划中的激光干涉空间天线(LISA)中，应用迈克尔逊干涉仪原理的基本构想也已经被提出。迈克尔逊干涉仪还被应用于寻找太阳系外行星的探测中，虽然在这种探测中马赫-曾特干涉仪的应用更加广泛。迈克尔逊干涉仪还在延迟干涉仪，即光学差分相移键控解调器(Optical DPSK)的制造中有所应用，这种解调器可以在波分复用网络中将相位调制转换成振幅调制。