

实验十 迈克尔逊干涉仪的调整与使用

光的干涉现象是光的波动性的一种表现。当一束光被分成两束，经过不同路径再相遇时，如果光程差小于该束光的相干长度，将会出现干涉现象。迈克尔逊干涉仪是一种利用分割光波振幅的方法实现干涉的精密光学仪器。自 1881 年问世以来，迈克尔逊曾用它完成了三个著名的实验：否定“以太”的迈克尔逊—莫雷实验，光谱精细结构和利用光波波长标定长度单位。迈克尔逊干涉仪结构简单、光路直观、精度高，其调整和使用具有典型性。根据迈克尔逊干涉仪的基本原理发展的各种精密仪器已广泛应用于生产和科研领域。

【实验目的】

1. 了解迈克尔逊干涉仪的结构原理和调节方法；
2. 观察非定域干涉、定域等倾干涉、等厚干涉及白光干涉现象；
3. 测量光波波长，了解条纹可见度等概念的物理意义。

【实验原理】

1. 迈克尔逊干涉仪的结构原理

迈克尔逊干涉仪的典型光路如图 1 所示。

图中 M_1 和 M_2 是两面平面反射镜，分别装在相互垂直的两臂上。 M_1 位置固定而 M_2 可通过精密丝杆沿臂长方向移动； M_2 倾角固定而 M_1 的倾角可通过背面螺丝调节。 G_1 和 G_2 是两块完全相同的玻璃板，在 G_1 的后表面上镀有半透明的银膜，能使入射光分为振幅相等的反射光和透射光，称为分光板。 G_1 和 G_2 与 M_1 和 M_2 成 45° 角倾斜安装。由光源发出的光束，通过分光板 G_1 分成反射光束 1 和透射光束 2，分别射向 M_2 和 M_1 ，并被反射回到 G_1 。由于两束光是相干光，从而产生干涉。干涉仪中 G_2 称为补偿板，是为了使光束 2 也同光束 1 一样地三次通过玻璃板，以保证两光束间的光程差不致过大(这对使用单色性不好的光源是必要的)。

由于 G_1 银膜的反射，使在 M_2 附近形成 M_1 的一个虚象 M_1' 。因此，光束 1 和光束 2 的干涉等效于由 M_2 和 M_1' 之间空气薄膜产生的干涉。

2. 等倾干涉(定域干涉)

如图 2 所示，波长为 λ 的光束 y 经间隔为 d 的上下两平面 M_2 和 M_1' 反射，反射后的光束分别为 y_1 和 y_2 。

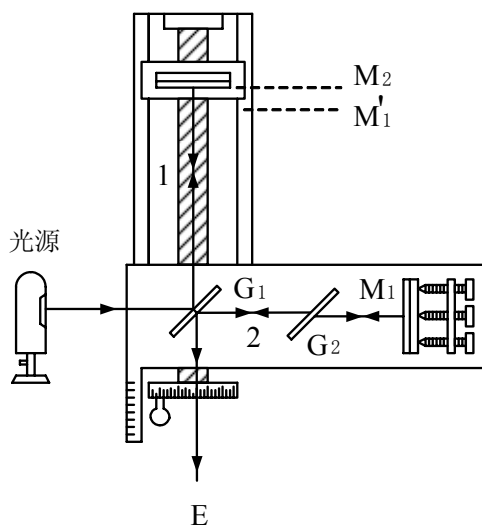


图 1 迈克尔逊干涉仪的典型光路

设 y_1 经过的光程为 l , y_2 经过的光程为 $l + \Delta l$, Δl 即为这两束光的光程差 ($\Delta l = \overline{AB} + \overline{BD}$), 如果入射角为 θ , 则

$$\Delta l = 2d \cos \theta$$

当

$\Delta l = 2d \cos \theta = k\lambda$ 时, 为亮纹

$\Delta l = 2d \cos \theta = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ 时, 为暗纹

其中 k 为整数, 称干涉级序数, 与某条干涉条纹对应.

M_1' 、 M_2 上下表面平行时, 可以观察到明暗相间的圆形条纹, 这种干涉叫等倾干涉. M_2 镜每移动增加或减少 $\lambda/2$ 距离, 视场中心就吐出一个环纹或吞进一个环纹. 视场中干涉条纹变化或移过的数目 ΔN 与 M_2 移动距离 Δd 间的关系是:

$$\Delta d = \Delta N \times \lambda / 2 \quad (1)$$

上式表明, 已知 M_2 移动的距离, 并记录 ΔN , 就可确定光的波长.

观察干涉圆环的环心, 如增大 d , k 也增大, 环心的级次也增大, 环心不断吐出环纹,

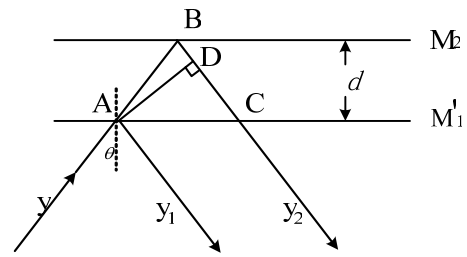
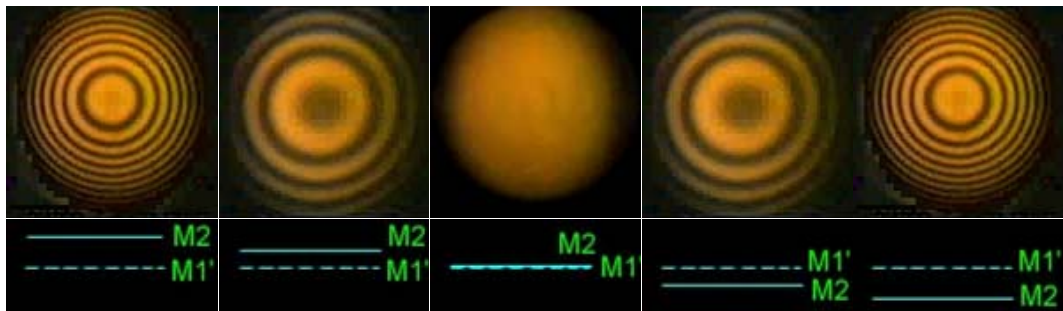
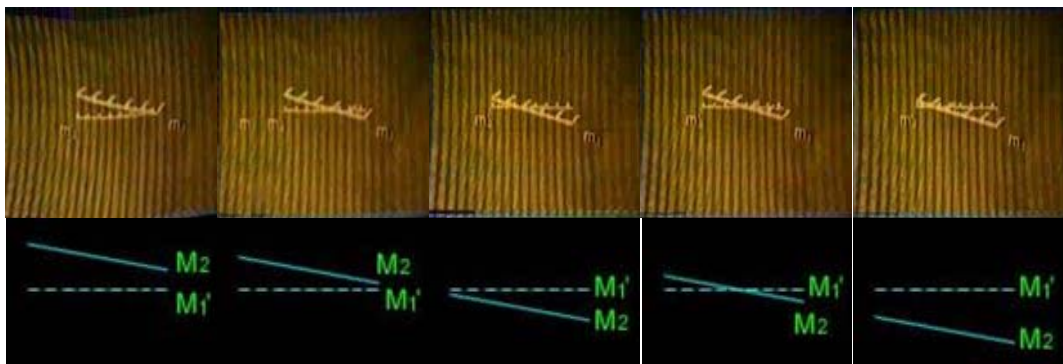


图2 等倾干涉光路图



(a)



(b)

图3 干涉条纹

环纹增多变密；如减小 d ，则发生相反的情景，环心不断吞进环纹，条纹减少变疏（见图 3 (a)）。

如果 M_1' 和 M_2 不平行，这时就能观察到等厚直条纹（有时微有弯曲，见图 3 (b)）。

当由双单色波组成的光源(或是由一定波长范围的实际光源)发出的光束入射至迈克尔逊干涉仪时，观测到的干涉条纹随光程差的变化（变动 M_2 的位置），干涉条纹的视见度将发生周期性的变化。若光源包含两种波长接近的光 λ_1, λ_2 ，如满足

$$\begin{aligned}
 2d &= k\lambda_1, && \text{干涉条纹为亮纹} \\
 2d &= k\lambda_2 + \frac{\lambda_2}{2}, && \text{干涉条纹为暗纹} \\
 \frac{2d}{\lambda_2} - \frac{2d}{\lambda_1} &= \frac{1}{2} && (2)
 \end{aligned}$$

则 λ_1 的亮纹与 λ_2 的暗纹相互叠加，视场模糊。

当 d 改变为 d' ，并满足

$$\begin{aligned}
 2d' &= k'\lambda_1, && \text{干涉条纹为亮纹} \\
 2d' &= k'\lambda_2 + \lambda_2, && \text{干涉条纹为亮纹}
 \end{aligned}$$

视场中条纹变得清晰。

当 d' 改变为 d'' ，并满足

$$\begin{aligned}
 2d'' &= k''\lambda_1, && \text{干涉条纹为亮纹} \\
 2d'' &= k''\lambda_2 + \frac{3\lambda_2}{2}, && \text{干涉条纹为暗纹} \\
 \frac{2d''}{\lambda_2} - \frac{2d''}{\lambda_1} &= \frac{3}{2} && (3)
 \end{aligned}$$

视场中条纹又变得模糊。这样视场中的条纹由模糊到清晰又到模糊。

由式 (3) - (2) 得

$$2\Delta d \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 1 \quad (4)$$

其中 $\Delta d = d'' - d$ ，因为 λ_1, λ_2 接近， $\lambda_1\lambda_2 = \lambda^2$ ，

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

由上式可知，如测出相邻两次条纹模糊时 M_2 的移动距离 Δd 则可得到双单色波的波长差 $\Delta\lambda$ 。

3. 非定域干涉

如图 4 所示，一个点光源 S 发出的光束经干涉仪 M_1' 和 M_2 反射后，相当于由两个虚光源 S_1 和 S_2 发出的相干光束， S_1 和 S_2 间的距离为 M_1' 和 M_2 间距两倍，将观察屏放入光场叠加区的任何位置处，都可观察到干涉条纹，这种条纹称为非定域干涉条纹。

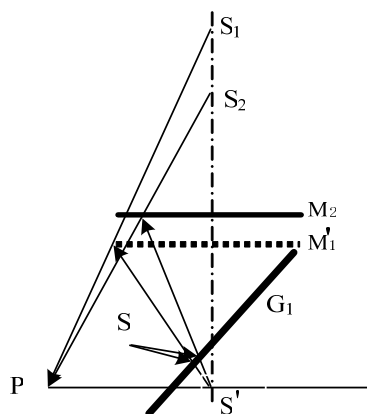


图 4 非定域干涉

【实验仪器】

WSM-100 型迈克尔逊干涉仪、钠灯、毛玻璃屏、CCD、透镜、计算机系统、激光器、扩束镜、白炽灯。

【实验内容】

1. 调整迈克尔逊干涉仪观察等倾干涉条纹

在钠光灯管前覆盖一毛玻璃片，即成为扩展面光源。先移动 M_1 使之与 M_2 离 G_1 的距离大致相等，然后将一小孔板覆在毛玻璃上，形成点光源，并使小孔与 G_1 等高，此时在 E 处可观察到分别被 M_1 与 M_2 及 G_1 反射的光点像。当微动 M_1 背后的螺丝时，可发现某一亮点随之移动，旋动不同的螺丝，可使亮点向不同方向移动。只要使两个最亮的像点在视场中心的位置完全重合，就说明 M_1 与 M_2 已接近严格平行。此时取下小孔板，一般即可观察到干涉条纹。若看不到条纹或条纹非常模糊，则可再稍许改变一下 M_2 的位置，甚至重新放上小孔板，再检查两个亮点的重合情形，直至能观察到干涉条纹为止。

若发现干涉条纹不是同心圆环或条纹的圆心不在视场中央，则还需仔细微调 M_1 背面的螺丝(动作必须极其轻缓)，以获得同心圆环状条纹。当观察眼睛上下、左右移动时，如果条纹出现“吞”、“吐”等现象，则还必须进一步细调水平拉簧螺丝或垂直拉簧螺丝，直至条纹的“吞”、“吐”变化基本消失并与视场中心对称为止。这时 M_1 与 M_2 严格平行，呈现出典型的等倾干涉条纹。

在 E 处放置透镜和 CCD，仔细调节透镜和 CCD 的位置，直到计算机屏幕上出现清晰的等倾干涉条纹。

2. 测定钠光的波长

观察到等倾干涉条纹后，移动 M_2 的位置，可观察到干涉条纹从圆环中心“吞”入或“吐”出现象，记录与干涉条纹“吞”入或“吐”出 50 条($\Delta N = 50$)相对应的 Δd 值，至少测六次以上。根据(1)式用逐差法计算钠灯光波波长的实验值。(数据表格自拟)。

3. 测定钠双线(D_1 , D_2)的波长差

移动 M_2 的位置，测出相邻两次条纹模糊时 M_2 的移动距离 Δd ，重复 3 次，取其平均，依据(5)式计算钠双线的波长差 $\Delta\lambda$ 。

4. 观察非定域干涉现象

调节激光器出射激光的方位，使激光束垂直照射到 G_1 上，在E处用毛玻璃屏接收，可观察到分别被 M_1 与 M_2 及 G_1 反射的激光斑，当微动 M_1 背后的螺丝时，可发现某一亮点随之移动，旋动不同的螺丝，可使亮点向不同方向移动。只要使两个最亮的像点在视场中心的位置完全重合，就说明 M_1 与 M_2 已接近严格平行。

用扩束镜扩展激光束，即在毛玻璃屏上可观察到弧形条纹，仔细微调 M_1 背面的螺丝（动作必须极其轻缓），以获得同心圆环状条纹。移动 M_2 的位置，可观察到干涉条纹从圆环中心“吞”入或“吐”出现象。

5. 观察白光干涉现象

移动 M_2 的位置，使干涉条纹变疏，变粗。当毛玻璃屏上只剩下极少数圆环时，微调 M_1 背面的一个螺丝，使 M_1 与 M_2 形成一个很小的角度，干涉圆环变成弧形条纹，

缓慢移动 M_2 的位置，当弧形条纹的曲率半径的方向发生变化（凸变凹）时，即为 $d = 0$ 附近，此时换上白光光源，继续缓慢移动 M_2 的位置，直到视场中出现彩色条纹。

【注意事项】

1. 不能用手触摸各光学元件。
2. 调节 M_1 背后的螺丝和微调螺钉时均应缓缓旋转。
3. 不要让激光直射入眼。

【思考题】

1. 试根据迈克尔逊干涉仪的光路，说明各光学元件的作用，并简要叙述调出等倾干涉、等厚干涉和白光干涉条纹的条件及程序。
2. 如何利用干涉条纹“吞”、“吐”现象，测定单色光的波长？
3. 在根据干涉条纹视见度周期变化的规律测定钠双线波长差的方法中，你是如何理解视见度的变化规律？
4. 试总结迈克尔逊干涉仪的调整要点及规律。
5. 在观测等倾干涉条纹，使 M_1 与 M_2 逐渐接近时，干涉条纹将越来越疏，试描述并说明在零光程处所观察到的现象。