

学号: 11910104 姓名: 王奕童 日期: 2020 年 04 月 24 日 星期五下午

迈克尔逊干涉仪

一、实验目的

1. 学习迈克尔逊干涉仪的光路结构和工作原理。
2. 使用迈克尔逊干涉仪测量He-Ne激光波长。

二、实验仪器

迈克尔逊干涉仪, He-Ne激光器, 扩束镜, 毛玻璃等。

三、实验原理

阅读讲义, 画出光路结构图及等效光路图, 简要概括实验原理, 并推导波长计算公式。

一、光路结构与等效光路图

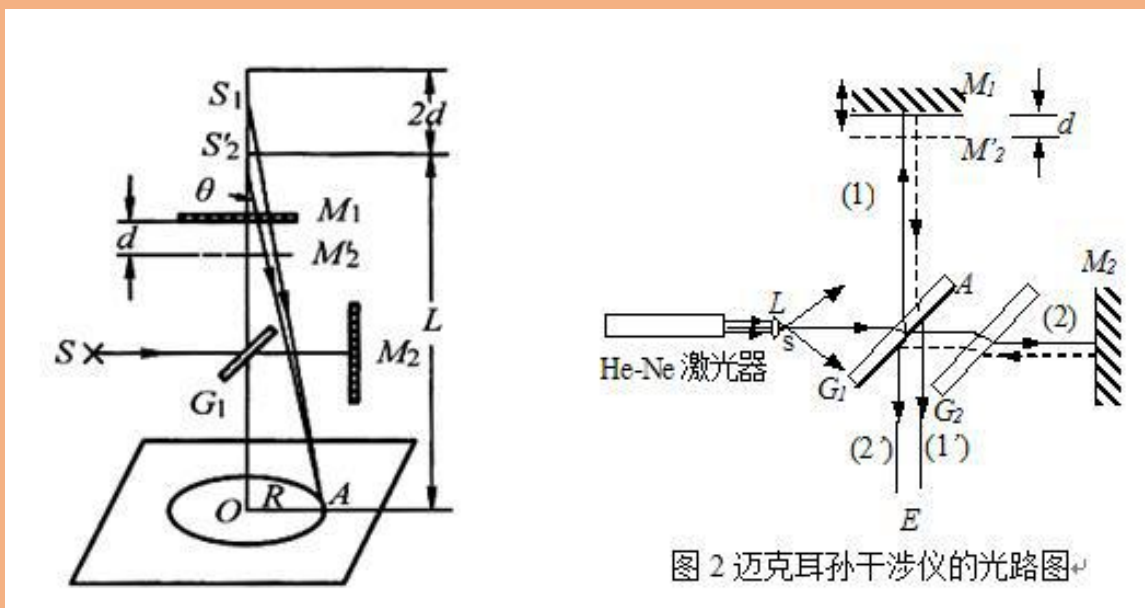


图 2 迈克耳孙干涉仪的光路图

二、实验原理

迈克尔逊干涉仪的原理图如一中图2所示。A、B(G_2)为材料、厚度相同的平行板，A的一面镀上半反射膜， M_1 和 M_2 是平面反射镜， M_2 是固定的， M_1 与精密丝杆相连，可以前后移动。 M_1 和 M_2 后各有两个或三个小螺丝调节其方位。

光源S发出的光射向A板而分成强度近似相等的两部分：反射部分1射到 M_1 ，经 M_1 反射后再次透过A进入接收器；透射部分2射到 M_2 ，经 M_2 反射后再经A的半反射膜反射到接收器。这两束相干光束中各光线光程差不同，它们相遇时产生一定的干涉图样。为了使入射光线具有各种倾角，光源是扩展的。玻璃板B(G_2)起到补偿光程的作用：反射光束1通过玻璃板A前后共三次，而透射光束2只通过A一次；有了B(G_2)，透射光束将往返通过它两次，从而使两束光在玻璃煤质中的光程完全相等。如果光源是单色的，补偿与否无关紧要，但在使用白光时，就非有补偿板不可了。

从O 处向 A 处观察, 除看到 M_1 镜外, 还可以通过 A 的反射膜看到 M_2 的虚像 M_2' 。从观察者看来, 点光源 S 发出的光束经干涉仪产生的干涉图样, 就好像两相干光束是从 M_1 和 M_2' 反射而来的, 看到的干涉图样与 M_1 和 M_2' 间的“空气层”产生的一样。调节 M_1 和 M_2 后面的旋钮, 使得 M_1 和 M_2' 十分精准地平行, 就会看到圆形的等倾干涉条纹; 如果 M_1 和 M_2' 有微小的夹角, 观察者就会在它们表面附近看到楔形“空气层”的等厚干涉条纹。前后移动 M_1 , 可以改变 M_1 和 M_2' 间的“空气层”的厚度, 而干涉图样发生相应的变化。

2、干涉条纹

点光源 S 发出的光束, 经干涉仪等效薄膜表面 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, 如图 2 所示。若原来空气膜厚度 (即 M_1 和 M_2' 之间的距离) 为 h , 则两个虚光源 S_1 和 S_2 之间的距离为 $2h$, 显然只要 M_1 和 M_2' 足够大, 在点光源同侧的任一点 P 上, 总能有 S_1 和 S_2 的相干光线相交, 从而在 P 点处可观察到干涉现象, 因而这种干涉是非定域的。

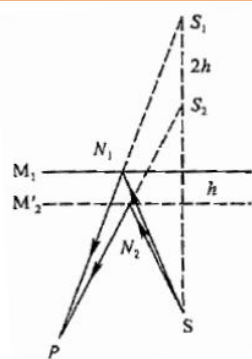


图 2 点光源的薄膜干涉

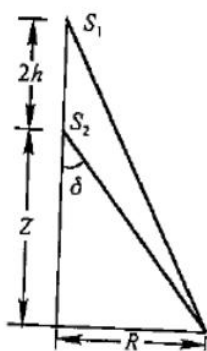


图 3 薄膜干涉计算示意图

若 P 点在某一条纹上，则由 S_1 和 S_2 到达该条纹任意点的光程差 Δ 是一个常量，故 P 点所在的曲面是旋转双曲面，旋转轴是 S_1 、 S_2 的连线。显然，干涉图样的形状和观察屏的位置有关。当观察屏垂直于 S_1 和 S_2 的连线时，干涉图是一组同心圆，如图 3 所示，任意一点 P 的光程差 Δ

$$\begin{aligned}\Delta &= \sqrt{(Z+2h)^2 + R^2} - \sqrt{Z^2 + R^2} \\ &= \sqrt{Z^2 + R^2} \left[\left(1 + \frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]\end{aligned}$$

把小括号内展开，则得到：

$$\begin{aligned}\Delta &= \sqrt{Z^2 + R^2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{4Zh + 4h^2}{Z^2 + R^2} \right)^2 + \dots \right] \\ &\approx \frac{2hZ}{\sqrt{Z^2 + R^2}} \left[\frac{Z^3 + ZR^2 + R^2h - 2h^2Z - h^3}{Z(Z^2 + R^2)} \right] \\ &= 2h \cos \delta \left[1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta - \frac{2h^2}{Z^2} \cos^2 \delta - \frac{h^3}{Z^3} \cos^2 \delta \right]\end{aligned}$$

由于 $h \ll Z$ ，所以

$$\Delta = 2h \cos \delta \left(1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta \right) \quad (1)$$

从式中可以看出，在 $\delta = 0$ 处，即干涉环的中心处，光程差有极大值，即中心处干涉级次最高。如果中心处是亮的，即 $\Delta_1 = 2h_1 = m\lambda$ 。若改变光程差，使中心处仍是亮的，则

$\Delta_2 = 2h_2 = (m+n)\lambda$ ，我们得到

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{1}{2} (\Delta_2 - \Delta_1) = \frac{1}{2} n\lambda \quad (2)$$

即 M_1 和 M_2 之间的距离每改变半个波长，其中心就“生出”或“消失”一个圆环，两平面反射镜之间的距离增大时，中心就“吐出”一个个圆环；反之，距离减小时中心就“吞进”一个个圆环；同时条纹之间的间隔（即条纹的稀疏）也发生变化，由 (2) 式 $\Delta h = \frac{1}{2}n\lambda$ 可知，只要读出干涉仪中 M_1 移动的距离 Δh 和数出相应吞进（或吐出）的环数就可求得波长。

三、波长公式推导

由二可知 $\Delta h = \frac{1}{2}n\lambda$ ，可以推出波长 $\lambda = \frac{2\Delta h}{n}$ ，其中本次实验中 $n = 50$

四．实验内容

1. 观察非定域干涉条纹：

(1) 调整光路，使 M_1 和 M_2 垂直，（即 $M_1 \perp M_2'$ ）

打开 He-Ne 激光器，使激光束基本垂直 M_2 面，在光源前放一小孔光阑，调节 M_2 上的三个螺钉（有时还需调节 M_1 后面的三个螺钉），使从小孔出射的激光束经 M_1 与 M_2 反射后在毛玻璃上重合，这时能在毛玻璃上看到两排光点一一重合。

(2) 去掉小孔光阑，换上短焦距透镜而使光源成为发散光束，在两光束光程差不太大时，在毛玻璃屏上可观察到干涉条纹，轻轻调节 M_2 后的螺钉，应出现圆心基本在毛玻璃屏中心的圆条纹。

(3) 转动鼓轮，观察干涉条纹的形状，疏密及中心“吞”、“吐”条纹随光程差的改变而变化的情况。

2．测量 He-Ne 激光的波长：

采用非定域的干涉条纹测波长：缓慢转动微动手轮，移动 M_1 以改变 h ，中心每“生出”或“吞进”

物理实验报告



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

n=50 个条纹，记下对应的 h 值。利用下式

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{1}{2}(\Delta_2 - \Delta_1) = \frac{1}{2}n\lambda$$

即可计算波长。为提高测量精度，要求连续记录不少于 10 个 h 值（即条纹连续变化不小于 N=500 条），用逐差法处理，进而求出 λ 值。

原始数据(未修正)

数据序号	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
数据 (单位: mm)	29.62698	29.63281	29.65868	29.67448	29.68031
数据序号	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}
数据 (单位: mm)	29.70610	29.71226	29.73810	29.74391	29.76974
数据序号	h_{11}	h_{12}	h_{13}		
数据 (单位: mm)	29.78555	29.79136	29.81718		

根据本实验的实验数据图片，发现有一些图片中存在微调手轮和刻度盘零点不对齐的问题，需要对实验数据进行修正。

原始数据(修正后)(修正数据: $h_1, h_3, h_4, h_6, h_8, h_{10}, h_{11}, h_{13}$)

数据序号	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
数据 (单位: mm)	29.61698	29.63281	29.64868	29.66448	29.68031
数据序号	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}

物理实验报告



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

数据 (单位: mm)	29.69610	29.71226	29.72810	29.74391	29.75974
数据序号	h_{11}	h_{12}	h_{13}		
数据 (单位: mm)	29.77555	29.79136	29.80718		

数据处理

1. 用逐差法处理原始数据, 求得 Δh 。要写明公式、代入过程、计算结果及单位。

答: 实验中共 13 组数据(修正后), 为取偶数组数据, 去除中间的数据 h_7 , 还剩余 12 组数据。

现对剩余 12 组数据使用逐差法:

相减的两组数据 ($h_1 \sim h_6$ 、 $h_8 \sim h_{13}$) 两两相减项差的组数为 7, 共 6 组:

$$\Delta h = \frac{\sum_{k=8}^{13} h_k - \sum_{j=1}^6 h_j}{6 \times 7}$$

$$\sum_{k=8}^{13} h_k = h_8 + h_9 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_{13}$$

$$\begin{aligned} \text{其中, } &= (29.72810 + 29.74391 + 29.75974 + 29.77555 + 29.79136 + 29.80718) \text{ mm} \\ &= 178.60044 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^6 h_j = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$\begin{aligned} &= (29.61698 + 29.63281 + 29.64868 + 29.66448 + 29.68031 + 29.69610) \text{ mm} \\ &= 177.93936 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta h = \frac{\sum_{k=8}^{13} h_k - \sum_{j=1}^6 h_j}{6 \times 7} = \frac{178.60044 - 177.93936}{6 \times 7} \text{ mm} = 0.015740 \text{ mm}$$

得到 $\Delta h = 0.015740 \text{ mm}$

2. 计算 He-Ne 激光波长 λ 。

答: 由 1, 得到 $\Delta h = 0.015740 \text{ mm}$

又因为 $\Delta h = \frac{1}{2} n \lambda$, 得到 $\lambda = \frac{2 \Delta h}{n}$, 其中 $n = 50$ 。

$$\therefore \lambda = \frac{2 \Delta h}{n} = \frac{2 \times 0.015740 \text{ mm}}{50} = 6.2960 \times 10^{-4} \text{ mm} = 629.60 \text{ nm}$$

得到 $\lambda = 629.60 \text{ nm}$

3.计算相对误差。He-Ne激光波长理论值632.8nm。

答：由 2，得到 $\lambda = 629.60nm$

相对误差公式： $\delta = \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} \times 100\%$ ，其中 $\lambda_0 = 632.8nm$

$$\therefore \delta = \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} \times 100\% = \frac{|629.60nm - 632.8nm|}{632.8nm} \times 100\% = 0.5057\%$$

得到相对误差 $\delta = 0.5057\%$

实验分析

定性分析本实验误差来源及改进措施

(1) 误差来源分析:

- ①实验中干涉条纹可能出现抖动, 源于迈克尔逊干涉仪本身仪器的震动;
- ②实验中干涉条纹过细, 有可能直接影响读数精确性;
- ③实验中对 h 值进行读数时, 有可能存在读数的偶然误差;
- ④实验中两反射镜 M_1 和 M_2 不一定严格垂直, 有可能形成的并非等倾干涉, 而是等厚干涉, 也会对波长 λ 测量带来误差;
- ⑤实验中两折射镜之间可能有微小的夹角, 导致形成的是等厚干涉, 而不是等倾干涉, 对波长 λ 测量带来误差;
- ⑥实验操作规范方面: 实验中可能在读数前对粗调鼓轮没有校准零点; 实验中也有可能对粗调鼓轮进行转动时细调鼓轮也有相应的转动; 实验中有可能出现细调鼓轮的反转, 不满足细调鼓轮的单向调节, 有可能出现回程误差等等。

(2) 改进措施:

- ①增加减震装置并且改善实验环境条件, 有条件的话改进迈克尔逊干涉仪本身, 提高仪器的抗振动干扰性能;
- ②调节旋钮, 使条纹间距离适当靠近, 以容易计算条纹变化时的个数;
- ③采取多次对 h 值进行读数取平均值的做法, 以减小读数的偶然误差;
- ④使用水平仪和垂直铅锤来使两反射镜 M_1 和 M_2 更加趋于严格垂直;
- ⑤实验时注意对两折射镜的平行关系进行修正, 以减小实验误差;
- ⑥实验中注意实验操作的规范性: 读数前需要对仪器刻度校准零点; 保证对粗调鼓轮进行转动时细调鼓轮不发生相应的转动; 中途细调鼓轮不能反转, 避免回程误差等等。

实验结论

简要概括实验内容及结果。

答：

(1) 实验内容：本次实验使用了迈克尔逊干涉仪，He-Ne 激光器，扩束镜，毛玻璃等实验仪器，进行了非定域条纹的观察和 He-Ne 激光波长的测量。

(2) 实验结果：本次实验观察到了非定域条纹疏密及中心“吞”、“吐”条纹随光程差的改变而变化的情况、测得 He-Ne 激光波长为 629.60nm，相对误差为 0.5057%。

通过本次实验，学习了迈克尔逊干涉仪的光路结构和工作原理，掌握了使用迈克尔逊干涉仪测量 He-Ne 激光波长的方法，学习了修正迈克尔逊干涉仪零点不对齐的情况的数据和利用逐差法来缩小误差的数据处理方法。

思考题

如果把干涉仪中的补偿板 B 去掉,会影响到哪些测量?哪些测量不受影响?为什么?

答: 本实验的光路图如下所示。

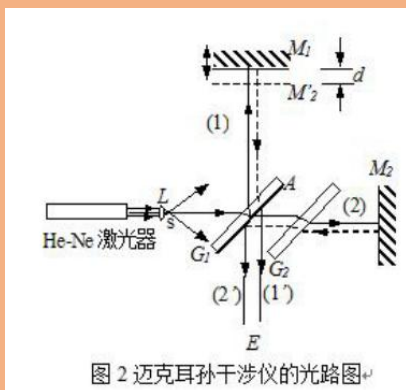


图 2 迈克耳孙干涉仪的光路图

(1) 影响测量量: 非单色光源(如白光)实验的所有刻度测量量

(2) 不受影响测量量: 单色光源(如 He-Ne 激光)实验的所有刻度测量量; 实验中圆环个数 n

(3) 原因: ①在非单色光源(如白光)实验中, 干涉仪中补偿板 B 使得光线 (1) 和 (2) 穿过等厚玻璃板的次数相等, 从而补偿光程差。在实验中如果去掉补偿板 B, 将会影响到 h_1 和 h_2 的测量。实验中补偿板 B 的作用是 (1) 补偿光程和 (2) 消色差, 并且主要作用是消色差。若去除补偿板 B, 那么光程差还会受到平行板厚度、倾角、折射率等因素的影响, 因此会对各个刻度的测量量带来影响。对于非单色光而言, 各种光的波长不同势必会引起不同的光程差, 去除补偿板 B 会使得无法实现各种光程差被补偿;

②单色光源(如 He-Ne 激光)实验中, 单色光源使得玻璃的色散可以忽略不计, 不需要考虑色散带来的影响, 不需要通过补偿板 B 来消除色差, 故去除补偿板 B 不会对单色光源(如 He-Ne 激光)实验的所有刻度测量量带来影响;

③实验中 M_1 和 M_2 之间的距离每改变半个波长, 其中心就“生出”或“消失”一个圆环, 两平面反射镜之间的距离增大时, 中心就“吐出”一个个圆环; 反之, 距离减小时中心就“吞进”一个个圆环。因此实验中去掉补偿板不会对圆环个数 n 的测量带来影响。