

物理实验报告



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

学号：12311004 姓名：刘达洲 日期：2025.3.14 时间：周五下午

1 实验名称：迈克尔逊干涉仪

2 实验原理

2.1 迈克尔逊干涉仪的结构与工作原理

迈克尔逊干涉仪的光路结构如图 1 所示，主要组成部分包括：

- 分光板 A：表面镀有半反射膜，将入射光分为强度相等的反射光（光束 1）和透射光（光束 2）
- 补偿板 B：材料与厚度同 A 板，用于补偿两束光在玻璃中的光程差
- 平面反射镜 M1、M2：M1 与精密丝杆相连可移动，M2 固定不动

光源 S 发出的光经分光板 A 分成两束相干光：

- 光束 1：反射至 M1，经反射后再次透过 A 到达接收器
- 光束 2：透射至 M2，经反射后通过 A 的半反射膜反射至接收器

补偿板 B 的作用是使两束光在玻璃介质中的光程相等。当使用白光光源时，补偿板不可或缺。两束光在空间相遇时，由于光程差不同产生干涉现象。

2.2 干涉条纹形成原理

点光源 S 经系统分光后等效为两个虚光源 S_1 和 S_2 ，其间距为 $2h$ （ h 为 M1 与 M2 镜像 M2' 的间距）。任意点 P 的光程差可表示为：

$$\Delta = \sqrt{(Z + 2h)^2 + R^2} - \sqrt{Z^2 + R^2} \quad (1)$$

当满足 $h \ll Z$ 时，进行泰勒展开近似得到：

$$\Delta \approx \frac{2hZ}{\sqrt{Z^2 + R^2}} \left[1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta - \dots \right] \quad (2)$$

$$\approx 2h \cos \delta \left(1 + \frac{h}{Z} \sin^2 \delta \right) \quad (3)$$

在观察屏垂直于 S_1S_2 连线的特殊情况下，干涉图样为同心圆条纹。中心处（ $\delta = 0$ ）光程差最大，对应干涉级次最高。当移动 M1 改变 h 时，中心条纹发生“吞吐”现象。

2.3 波长测量原理

设中心处连续出现 N 个条纹变化时，M1 移动距离为 Δh ，则有：

$$2\Delta h = N\lambda \quad (4)$$

可得波长计算公式：

$$\lambda = \frac{2\Delta h}{N} \quad (5)$$

通过测量 Δh 并记录对应条纹变化数 N ，即可计算入射光波长。实验采用逐差法处理数据以提高测量精度。

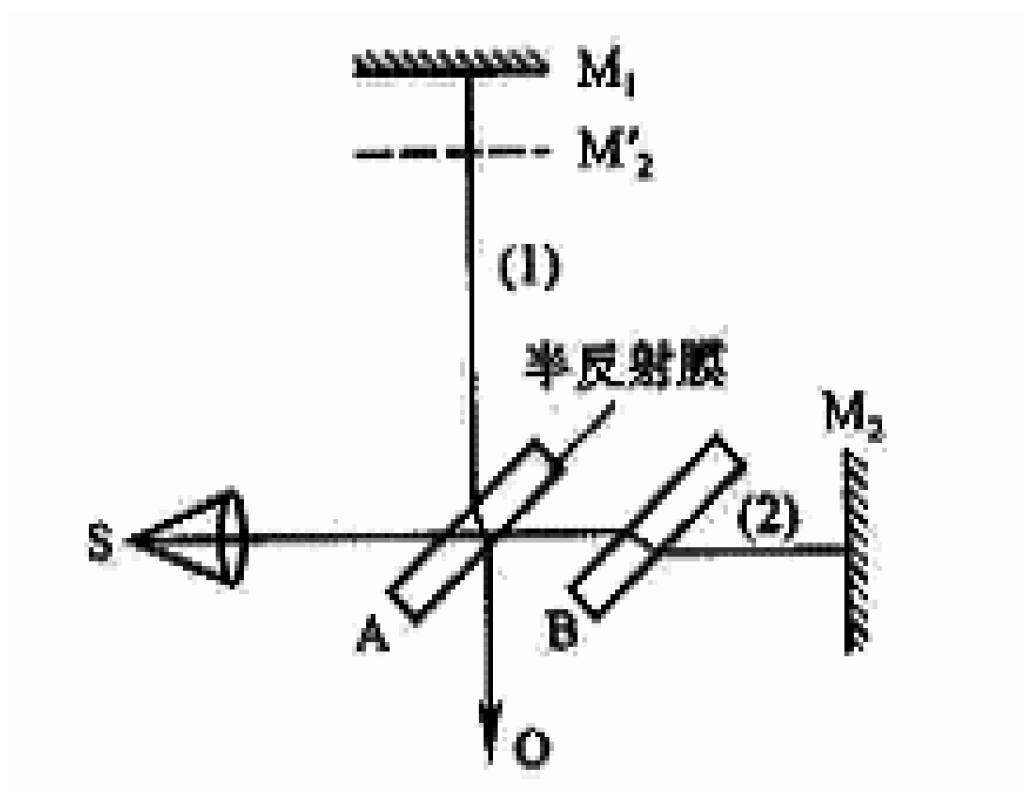


图 1: 迈克尔逊干涉仪光路图

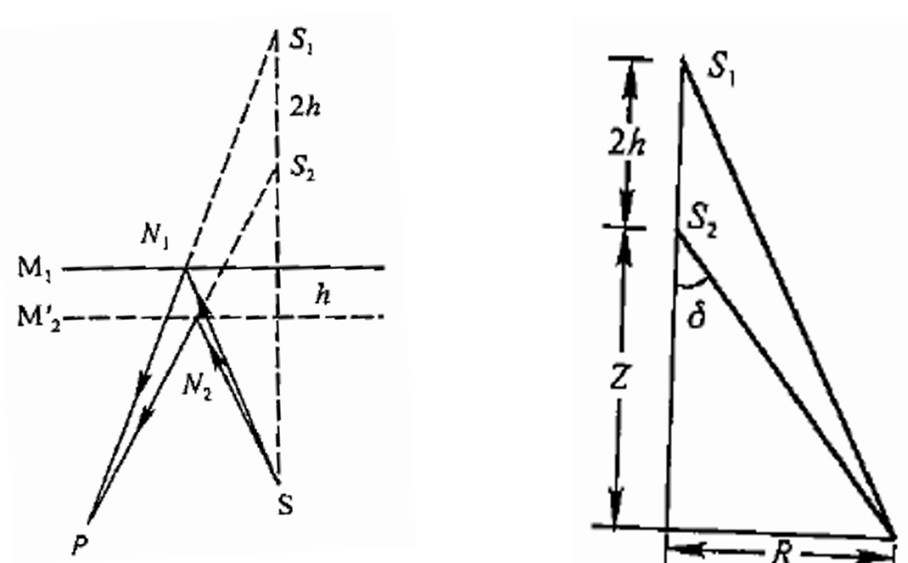


图 2: 干涉条纹形成几何关系

3 实验仪器

- 迈克尔逊干涉仪主体
- He-Ne 激光器
- 扩束透镜组

4 实验内容与数据

4.1 实验仪器调试

1. 光路粗调：

- 开启 He-Ne 激光器，调整光束高度与干涉仪中心平齐
- 目测调节固定镜 M2 的倾角螺丝，使两反射镜法线近似对称
- 插入扩束透镜，在观察屏上形成均匀光斑

2. 精细调整：

- 微调 M2 镜的水平和垂直微调螺丝，直至出现同心圆干涉条纹
- 旋转粗动手轮消除空程，确保移动镜 M1 平稳移动

4.2 干涉条纹观测

干涉观测：

- 当 M1 与 M2' 严格平行时，观察到明暗相间的同心圆条纹
- 轻推移动镜方向，观察中心条纹“吞吐”现象

4.3 实验数据记录

实验中每累计 50 个条纹变化记录一次移动镜位置 d ，共测量 12 组数据（累计 550 个条纹）。原始数据记录如下：

表 1: 迈克尔逊干涉实验数据记录表

测量次数	d 值 (mm)	条纹变化数 n
1	61.00970	50
2	61.02723	50
3	61.04366	50
4	61.05968	50
5	61.07617	50
6	61.09316	50
7	61.10946	50
8	61.12674	50
9	61.14310	50
10	61.15900	50
11	61.17508	50
12	61.19123	50

5 数据处理

5.1 逐差法计算波长

采用六组间距数据进行逐差计算：

$$\lambda = \frac{2}{50} \times \frac{(d_7 - d_1) + (d_8 - d_2) + (d_9 - d_3) + (d_{10} - d_4) + (d_{11} - d_5) + (d_{12} - d_6)}{6 \times 6} = 636 \text{ nm} \quad (6)$$

5.2 光程差不确定度计算

1. A 类不确定度计算：

$$u_A(\Delta d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta d_i - \overline{\Delta d})^2}{n(n-1)}} = 0.25 \mu\text{m}$$

其中 $n = 6$, $\overline{\Delta d} = 0.0992 \text{ mm}$

2. B 类不确定度（仪器误差）：

$$u_B(\Delta d) = \sqrt{\Delta_{\text{前}}^2 + \Delta_{\text{后}}^2} = \sqrt{2\Delta_{\text{仪}}^2} = 0.071 \mu\text{m}$$

3. 合成不确定度：

$$u_c(\Delta d) = \sqrt{t_p * u_A^2 + K_p * u_B^2} = \sqrt{1.96 * (0.00033)^2 + 1.96 * (0.0000289)^2} = 0.360 \mu\text{m}$$

5.3 波长不确定度计算

通过误差传递公式：

$$u(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{u(\Delta d)}{\Delta d}\right)^2 + \left(\frac{u(N)}{N}\right)^2}$$

当条纹计数误差 $u(N) = 0.5$ 时：

$$u(\lambda) = 636 \times \sqrt{\left(\frac{0.00036}{0.2958}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{550}\right)^2} = 2.5 \text{ nm}$$

5.4 相对误差计算

参考波长 $\lambda_0 = 632.8 \text{ nm}$ ：

$$\text{相对误差} = \left| \frac{\bar{\lambda} - \lambda_0}{\lambda_0} \right| \times 100\% = \left| \frac{636.0 - 632.8}{632.8} \right| \times 100\% \approx 0.51\% < 1\%$$

6 实验结论

- 测得激光波长 $\lambda = (636 \pm 2.5) \text{ nm}$
- 相对误差 $0.51\% < 1\%$ ，满足实验精度要求

7 误差分析

- 仪器读数误差
- 条纹计数视差误差
- 环境振动干扰

8 思考题解答

1. 分光板作用及倾斜影响：

- 作用：将入射光分为强度相等的两束光（透射光与反射光）
- 倾斜影响：导致两束光光程差不对称，引起椭圆/弯曲干涉条纹

2. 实验步骤：

- (a) 调整干涉仪获得清晰条纹
- (b) 记录初始条纹位置 N_0
- (c) 在移动镜前垂直插入待测薄膜
- (d) 观察条纹移动总数 $N = |N_1 - N_0|$
- (e) 用椭圆偏振仪精确测量薄膜厚度 t
- (f) 计算折射率： $n = \frac{N\lambda}{2t} + 1$, 其中 λ 为光的波长