

# 普通物理学实验 II

## 电子实验报告

实验名称：等厚干涉

指导教师：乐静飞

班级：图灵 2303

姓名：张晋恺

学号：3230102400

实验日期：2024年 12 月 04 日 星期 三 上午

浙江大学物理实验教学中心

# 一、实验综述

## 1.1 实验背景

等厚干涉是光学干涉的一种形式，通过观察光波在不同介质中的传播路径差异，来研究光波的干涉现象。等厚干涉的实验背景可以追溯到 19 世纪初期，当时英国物理学家托马斯·杨（Thomas Young）首先提出了光波干涉的概念，并进行了著名的双缝干涉实验。自此以来，光学干涉技术得到了广泛的应用，包括光学测量、光学成像、光纤通信等领域。

等厚干涉实验的主要目的是研究光波在不同介质中的传播特性，通过观察干涉图样来确定介质的厚度和折射率。这种技术在材料科学、光学制造和质量控制等领域具有重要的应用价值。

本实验通过观察牛顿环和劈尖干涉现象，来加深对等厚干涉的理解。

## 1.2 实验原理

### 1.2.1 牛顿环

牛顿环是等厚干涉的一种特殊形式，出现于平凸透镜和平面镜之间的空隙中。当光波通过平凸透镜和平面镜之间的空隙时，会形成干涉图样，这些图样呈现为同心圆环状，这些圆环即为牛顿环。牛顿环的出现是由于光波在不同介质中的传播路径差异所致。通过观察牛顿环的图样，可以测量平凸透镜的曲率半径和折射率。

测量平凸透镜的曲率半径。光路图如下

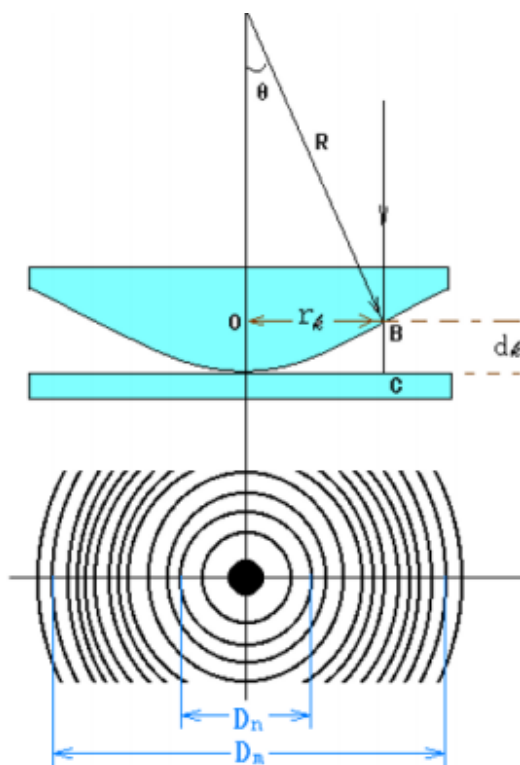


图 1: 牛顿环光路图

$$R^2 = (R - d)^2 + r^2$$

$$d^2 = \frac{r^2}{2R}$$

$$\text{产生暗纹条件: } 2ne + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\text{第} m \text{ 级暗纹的半径: } r_m = \sqrt{mR\lambda}$$

$$\text{第} n \text{ 级暗纹的半径: } r_n = \sqrt{nR\lambda}$$

$$\text{则曲率半径为: } R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m - n)\lambda}$$

### 1.2.2 劈尖

劈尖是一种特殊的等厚干涉现象，它是由于光波在劈尖两侧的不同介质中的传播路径差异所致。当光波通过劈尖两侧的不同介质时，会形成干涉图样，这些图样呈现为交替的明暗条纹。通过观察劈尖的干涉图样，可以测量劈尖的厚度和折射率。劈尖的等厚干涉现象在材料科学、光学制造和质量控制等领域具有重要的应用价值。

本实验中，我们可以测量平薄膜的厚度。

光路图如下：

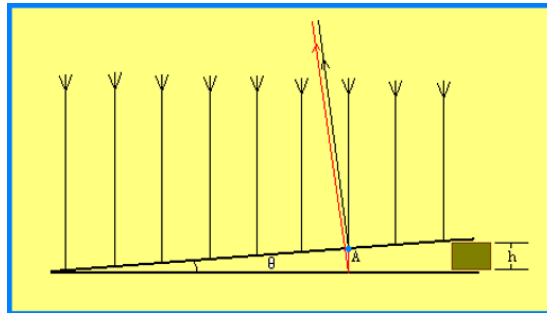


图 2: 劈尖光路图

计算公式为

$$\text{相邻明纹暗纹对应厚度变化: } \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

$$\text{连续变化 } N \text{ 条明纹或者暗纹对应厚度: } e = N \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

$$N = nL \quad (n \text{ 为单位长度的条纹数}) \quad (3)$$

$$10 \text{ 条条纹的平均间距: } \bar{s} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} [|s(i+10)| - s(i)] \quad (4)$$

$$n = \frac{10}{\bar{s}} \quad (5)$$

$$e = \frac{50L\lambda}{\sum_{i=1}^{10} [|s(i+10)| - s(i)]} \quad (6)$$

实验总体光路为

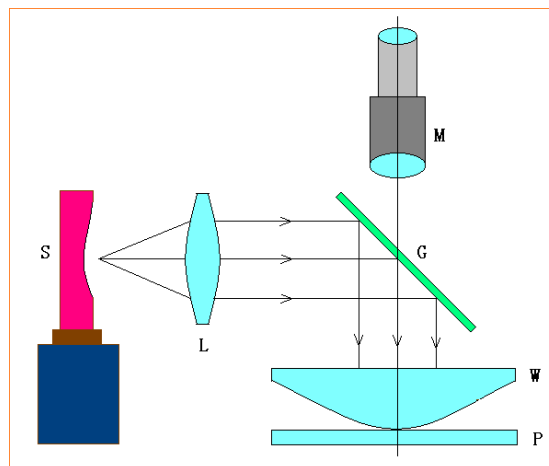


图 3: 实验总体光路图

## 二、 实验内容

首先调整显微镜，有以下几点要求

- 钠灯与物镜筒平行，相距约 20cm
- 底部的反光镜需要关闭
- 显微镜一开始需要位于中间位置
- 测量时，显微镜需要从左到右移动，或者从右到左移动，不能逆向移动

### 2.1 牛顿环实验

实验步骤如下

1. 打开钠灯，并调整遮光玻璃板，使显微镜在更强的黄光下可见。
2. 调整显微镜，使牛顿环清晰可见，然后轻微旋转牛顿环设备所在的木箱，使叉丝触摸牛顿环。
3. 然后，旋转手轮，使显微镜管在一个方向移动，例如，从牛顿环的中心到一个相对较远的圆圈，例如第 17 个圆圈。然后，移动到第 12 个圆圈开始测量读数，继续移动到第 11 个、第 10 个、第 9 个、第 8 个、第 7 个等圆圈，并读取每个圆圈。测量第三个圆圈后，继续向左移动，通过中心，并继续向左移动，读取第 3 到第 12 个圆圈的读数。记录相应的读数，并计算牛顿环的直径。

4. 最后，使用前面的公式计算镜面曲率半径  $R$ 。

### 2.1.1 实验数据

表 1: 实验数据表

圈数 $k$	$D_{left}$ mm	$D_{right}$ mm	$D_{right} - D_{left}$ mm	$D_k^2$ mm <sup>2</sup>
12	21.459	27.093	5.634	31.73
11	21.564	26.983	5.418	29.35
10	21.696	26.870	5.177	26.80
9	21.812	26.748	4.936	24.36
8	21.939	26.625	4.686	21.96
7	22.070	26.513	4.443	19.74
6	22.222	26.390	4.168	17.37
5	22.401	26.228	3.827	14.64
4	22.538	26.065	3.527	12.43
3	22.747	25.863	3.116	9.70
2	22.932	25.615	2.683	7.20
1	23.122	25.303	2.181	4.76

得到相隔五圈直径平方差 (mm<sup>2</sup>) 为

$$D_{12}^2 - D_6^2 = 31.73 - 17.37 = 14.36$$

$$D_{11}^2 - D_5^2 = 29.35 - 14.64 = 14.71$$

$$D_{10}^2 - D_4^2 = 26.80 - 12.43 = 14.37$$

$$D_9^2 - D_3^2 = 24.36 - 9.70 = 14.66$$

$$D_8^2 - D_2^2 = 21.96 - 7.20 = 14.76$$

$$D_7^2 - D_1^2 = 19.74 - 4.76 = 14.98$$

由公式

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m - n)\lambda}$$

带入得到

$$R_1 = 1.013m$$

$$R_2 = 1.042m$$

$$R_3 = 1.022m$$

$$R_4 = 1.036m$$

$$R_5 = 1.079m$$

平均半径为

$$R = \frac{1.013 + 1.042 + 1.022 + 1.036 + 1.079}{5} = 1.038m$$

计算 A 类不确定度为

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (R_i - R)^2}{5(5-1)}} = 0.009m$$

最终结果为

$$R = 1.038 \pm 0.009m$$

## 2.2 劈尖实验

将牛顿环替换为劈尖，测量长度之后，移动显微镜，测量十组不同的数据。

### 2.2.1 实验数据

实验数据如下首先测得劈尖长度为

$$L = 47.239mm$$

x	标尺读数 $s_{x+10}$ mm	标尺读数 $s_x$ mm	$s_{x+10} - s_x(mm)$
1	$s_1 = 27.446$	$s_{11} = 29.790$	2.344
2	$s_2 = 27.723$	$s_{12} = 29.953$	2.230
3	$s_3 = 27.715$	$s_{13} = 29.535$	2.320
4	$s_4 = 28.394$	$s_{14} = 30.704$	2.310
5	$s_5 = 28.485$	$s_{15} = 30.804$	2.319
6	$s_6 = 28.664$	$s_{16} = 30.925$	2.261
7	$s_7 = 28.762$	$s_{17} = 31.065$	2.303
8	$s_8 = 28.912$	$s_{18} = 31.243$	2.331
9	$s_9 = 29.015$	$s_{19} = 31.463$	2.248
10	$s_{10} = 29.205$	$s_{20} = 31.641$	2.436

带入公式计算  $\bar{e}$

$$\bar{e} = \frac{50L\lambda}{\sum_{i=1}^{10} [|s(i+10) - s(i)|]} = 0.554mm$$

计算 A 类不确定度  $\mu_A$

$$\mu_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (e_i - \bar{e})^2}{10(10-1)}} = 0.007mm$$

$\mu_B$  为

$$\mu_B = \frac{0.004}{\sqrt{3}} = 0.002mm$$

最终合成不确定度为

$$\mu = \sqrt{\mu_A^2 + \mu_B^2} = 0.007mm$$

最终结果为

$$e = 0.554 \pm 0.007mm$$

## 2.3 误差分析

### 2.3.1 牛顿环实验

在牛顿环实验中，可能的误差来源包括：



1. 测量环数的误差：在计数环数时，可能会出现计数错误，影响最终结果的精度。
2. 环径测量的误差：测量环径时，可能会出现测量工具的误差或操作者的误差，影响最终结果的精度。
3. 环的不均匀性：牛顿环的形状和大小可能不均匀，这可能会影响测量结果的精度。
4. 环的位置误差：在测量时，如果环的位置不正确，可能会影响测量结果的精度。
5. 环的形状变化：在测量过程中，如果环的形状发生变化，可能会影响测量结果的精度。
6. 显微镜的误差：在测量过程中，显微镜的误差可能会影响测量结果的精度。
7. 读数误差：在读数时，可能会出现读数错误，影响最终结果的精度。

### **2.3.2 劈尖实验**

在劈尖实验中，可能的误差来源包括：

1. 测量劈尖距离的误差：在测量劈尖距离时，可能会出现测量工具的误差或操作者的误差，影响最终结果的精度。
2. 劈尖位置误差：在测量时，如果劈尖的位置不正确，可能会影响测量结果的精度。
3. 显微镜的误差：在测量过程中，显微镜的误差可能会影响测量结果的精度。
4. 读数误差：在读数时，可能会出现读数错误，影响最终结果的精度。
5. 劈尖的不均匀性：劈尖的形状和大小可能不均匀，这可能会影响测量结果的精度。
6. 劈尖的形状变化：在测量过程中，如果劈尖的形状发生变化，可能会影响测量结果的精度。
7. 钠灯亮度变化：在测量过程中，钠灯的亮度可能会发生变化，影响测量结果的精度。

### 2.3.3 实验结论

本次实验较为顺利，实验结果较为理想。

## 三、 实验拓展

### 3.1 简述光的相干条件和获取相干光的方法

光的相干性是指两束光波之间的相位关系保持恒定的特性。相干光是指具有相干性的光波，它们能够产生稳定的干涉图样。以下是光的相干条件和获取相干光的方法：

#### 光的相干条件

1. **相位恒定**：两束光波的相位差必须保持恒定，才能产生稳定的干涉图样。
2. **相同频率**：光波必须具有相同的频率（或波长），以确保相位差恒定。
3. **相同偏振状态**：光波的偏振状态应相同，以避免偏振引起的干涉消失。
4. **相同传播方向**：光波的传播方向应尽可能一致，以便在相同的空间区域内干涉。

#### 获取相干光的方法

1. **单光源分束法**：使用一个光源，通过分束器将光束分成两束，这两束光天然具有相干性，因为它们来自同一光源。例如，使用分束器或半透镜。
2. **激光器**：激光器是相干光的常见来源，因为它们发出的光具有高度的相干性，频率和相位都非常稳定。
3. **双缝实验**：通过双缝实验，单一光源的光波通过两个狭缝后，形成两束相干光波。
4. **迈克尔逊干涉仪**：利用迈克尔逊干涉仪将单一光源的光分成两束，通过不同路径后再合并，形成相干光。
5. **光纤分束**：在光纤通信中，光纤可以用来分束和合并光波，保持相干性。

通过这些方法，可以获得相干光，用于各种光学实验和应用，如干涉测量、全息摄影等。

### 3.2 设计一个利用光的干涉法测量膨胀系数的实验系统

**实验原理** 利用光的干涉法测量材料的膨胀系数可以通过观察材料在温度变化时的长度变化来实现。干涉法的基本原理是利用光波的相位变化来测量微小的长度变化。当材料受热膨胀时，其长度发生变化，导致光程差的变化，从而引起干涉条纹的移动。通过测量干涉条纹的移动量，可以计算出材料的膨胀系数。

#### 实验步骤

1. 准备一个迈克尔逊干涉仪，将待测材料放置在其中一个臂上。
2. 使用激光器作为光源，确保光束经过分束器后分成两束。
3. 一束光经过固定臂，另一束光经过放置有待测材料的臂。
4. 加热待测材料，记录干涉条纹的移动。
5. 通过干涉条纹的移动量计算材料的长度变化。
6. 根据长度变化和温度变化，计算材料的膨胀系数。

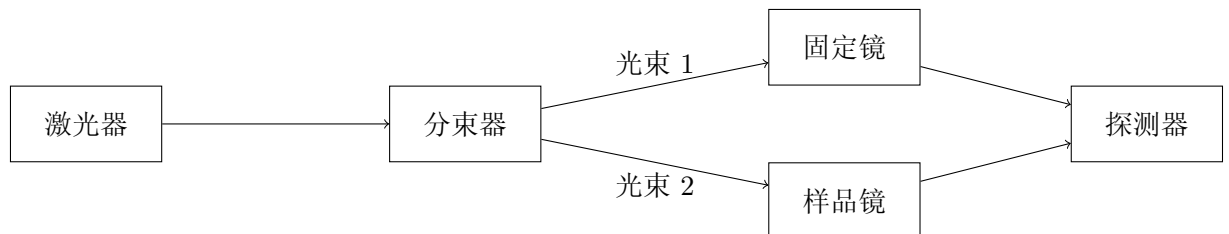


图 4: 利用光的干涉法测量膨胀系数的实验系统框图