

# 迈克耳孙干涉仪的搭建与应用

陈依皓

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

**摘要:** 本次实验的目的是: 加深理解光的干涉以及光源的相干性; 学习利用分立元件搭建迈克耳孙干涉仪的方法; 学习利用迈克耳孙干涉仪测量微小物理量(波长、空气折射率等)的方法。

**关键词:** 干涉, 迈克尔逊干涉仪, 测量微小物理量

**中图分类号:** Oxx

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0000(0000)00-0000-00

## 1 引言

光的干涉指的是两列相干的光波叠加, 总光强会因它们的相位差而改变的现象。设两列光波干涉形成的光强

$$I = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \varphi$$

相位差 $\Delta \varphi$ 在空间各点不同, 导致总光强呈现亮暗分布的图样, 即干涉条纹。

两列光波初相位相同时, 相位差 $\Delta \varphi$ 与光程差 $\Delta s$ 的关系是

$$\Delta \varphi = 2\pi \frac{\Delta s}{\lambda}$$

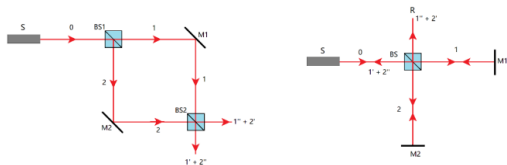
由于 $\lambda$ 很短, 微小的位移或折射率变化就可以产生可观的干涉条纹变化, 因此光的干涉经常用于精密测量。

## 2 实验原理

### 2.1 迈克耳孙干涉仪

#### 2.1.1 常见干涉仪

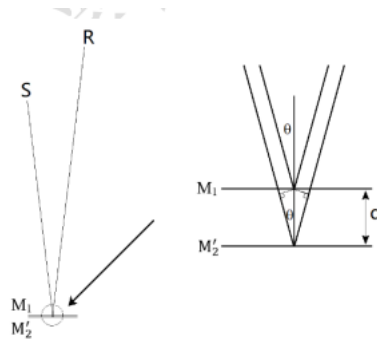
在实验室观察光的干涉需要将来自同一光源的光分成两路, 让它们经过不同路径后再汇合。*Mach-Zehnder*干涉仪与*Michelson*干涉仪光路图如图所示



#### 2.1.2 等倾干涉

为了观察到等倾干涉条纹,  $M_1, M_2$ 的取向需要相对分束膜镜像对称。两路光的光程差就是从 $S$ 出发, 经 $M_1$ 和 $M_2'$ 反射到 $R$ 的两条光线的光程差。

$$\Delta s = 2dn_0 \cos \theta$$



#### 2.1.3 等厚干涉

当膜 $M_1$ 和 $M_2'$ 的位置很接近(甚至存在交叠), 同时存在一定倾角时, 光程差主要由两个镜面之间空气层的厚度决定, 产生等厚干涉条纹

#### 2.1.4 白光干涉

对于白炽灯或发光二极管等非相干光源, 由于相干长度很短, 需要 $d$ 接近零时才能观察到干涉条纹

## 2.2 利用干涉仪进行测量

### 2.2.1 基本原理

对于单色光产生的等倾干涉, 中心点条纹的级次为

$$l = \frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{2dn_0}{\lambda}$$

移动镜 $M_1$ 的位置, 通过直线拟合可以测量光的波长。

对于非单色光, 而是包含两条波长很近的谱

线的情况,可以利用等倾干涉条纹测量波长差。

$$\Delta l = l_1 - l_2 = \frac{2n_0 d}{\lambda_1} - \frac{2n_0 d}{\lambda_2} \approx \frac{2n_0 d \Delta \lambda}{\bar{\lambda}^2}$$

$\Delta l$ 为整数则为亮条纹,半整数则为暗条纹,测量条纹数  $D$

$$D = \frac{\bar{\lambda}^2}{2n_0 \Delta \lambda}$$

只要能把物理量转化成光程差,就可以通过等倾干涉条纹的变化量来测量

### 2.2.2 测量空气折射率

空气的折射率相对真空折射率的增加量与空气的密度成正比

$$n - 1 = \alpha P$$

在一条光路中放置一个上下底面都安装有平面玻璃窗的圆柱体气室,使光束垂直穿过玻璃窗,使气室的压强改变  $\Delta P$ ,则光程改变

$$\delta S = 2L \Delta n = 2L \alpha \Delta P$$

这会引起等倾干涉条纹移动

$$\Delta l = \frac{\delta S}{\lambda} = \frac{2L \alpha}{\lambda} \Delta P$$

可得到  $\alpha$ , 联立理想气体状态方程

$$n_s = 1 + \frac{T}{T_0} \alpha P_0$$

### 2.2.3 白光干涉法测量薄膜折射率

调节动镜位置找到白光干涉。然后在一条光路中放入待测透明薄膜并使光垂直穿过,引入额外的光程差为

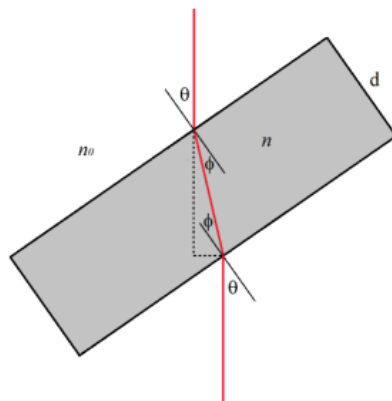
$$\delta = 2(n - n_0)d$$

这时白光干涉条纹消失。要再次出现白光干涉条纹,需要改变一个反射镜的位置补偿光

程差的改变,移动量  $\Delta = \frac{\delta}{2n_0}$ , 因此得

$$n = n_0 \left(1 + \frac{\Delta}{d}\right)$$

### 2.2.4 斜入射法测量材料折射率



将一块透明平板插入迈克耳孙光路,引入的额外光程差为

$$\delta s(\theta) = 2(nL - n_0 L_0)$$

由几何关系

$$\delta s(\theta) = 2d \left( \frac{n}{\cos \phi} - \frac{n_0 \cos(\theta - \phi)}{\cos \phi} \right)$$

从垂直入射开始旋转平板改变光程差,如果转到  $\theta$  时总共移动了  $k$  个条纹

$$n = n_0 + \frac{\left(n_0 \cos \theta + \frac{\epsilon}{2}\right) \epsilon}{n_0(1 - \cos \theta) - \epsilon} \quad \epsilon = k\lambda/2d$$

## 3 实验内容

3.1 搭建迈克耳孙干涉仪,观察等倾干涉条纹。

3.2 利用等倾干涉测量激光的波长。

3.3 利用等倾干涉测量空气的折射率。

3.4 观察白光干涉,测量薄膜(或玻璃片)的折射率。

3.5 利用斜入射法测量玻璃的折射率。

## 4 预习思考题

1. 两列光波能够产生干涉的条件是什么?

干涉是由两列相干光波叠加而产生的现象。两列光波能够产生明显的干涉,需要满足:

1. 两列光波必须是相干的,即它们的频率相同且具有固定的相位关系。
2. 两列光波的传播方向必须相同或足够接近。

2. 根据等倾干涉的光程差公式解释:(i)为

什么随着  $d$  的增大, 条纹间距会变小? (ii)  
条纹间距为什么里疏外密?

$$\Delta s = 2dn_0 \cos \theta$$

(i)

对于干涉级为  $j$  和  $j+1$  的两个相邻的亮条纹

$$2dn_0 \cos \theta_1 = \left(j + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$2dn_0 \cos \theta_2 = \left(j + 1 + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

两式相减得

$$n_0(\cos \theta_2 - \cos \theta_1) = \lambda/2d$$

$\theta$  为小量时

$$\theta_2 - \theta_1 = \lambda/n_0 d$$

可知  $d$  越大,  $\theta_2 - \theta_1$  越小, 相邻的亮条纹之间的距离越小, 条纹越密。

(ii)

由

$$2dn_0 \cos \theta = \Delta s$$

可知随着  $\theta$  的增大, 光程差变化越来越快, 由此条纹间距里疏外密。

3. 对于等倾干涉条纹, 改变接收屏的位置, 条纹如何改变? 改变扩束镜的位置呢?

如果接收屏靠近其中一侧, 光程差减小, 干涉条纹不断向中心“缩进”。

如果接收屏远离其中一侧, 光程差增大, 干涉条纹不断向中心“冒出”。

扩束镜的位置变化会改变入射光波的角度, 使得光程差发生变化, 引起干涉条纹的移动, 也可能导致整体条纹的形状发生改变。

4. 为了判断等倾干涉时哪一路的光程较长, 可以对光程差进行微扰, 比如按动光学面包板或用热的物体靠近一条光路, 观察干涉条纹如何变化。这样做的原理是什么? 应如何判断?

按动面包板或用热的物体靠近一条光路, 则这条光路的光程会发生变化(变大或变小?) 只需要根据干涉条纹的变化(缩进或涌出) 则可以判断该条光路是较长的一条还是较短的一条。

5. 为什么需要在光程差很小时才能观察到白光干涉? 光程差减小时等倾干涉条纹如何变化?

在光程差很小时, 光波的相干性要求相对容易满足, 才能产生明显的干涉。当光程差减小时, 等倾干涉条纹会变得更加密集, 条纹间距减小。

6. 对于斜入射法测量折射率, 如何根据干涉条纹变化规律判断正入射( $\theta = 0$ )?

正入射时额外光程差为极小值, 只需要观察干涉条纹缩进最多的情况(可以通过不断调整透明平板的角度) 此时即为正入射。

## 参考文献

[1] 北京师范大学物理实验教学中心. 普通物理实验讲义 II, 2023

## Construction and application of Michelson interferometer

CHEN Yi-hao

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The purpose of this experiment is to deepen the understanding of the interference of light and the coherence of light source; Learning the method of constructing Michelson interferometer with discrete elements; Learn how to measure small physical quantities (wavelength, refractive index of air, etc.) with Michelson interferometer.

**Key words:** Interference, Michelson interferometer, measures small physical quantities