

# 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, 迈克耳孙干涉仪, 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

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

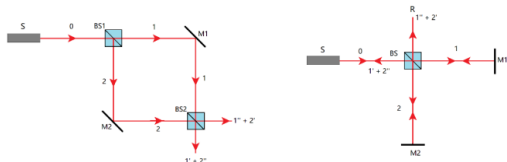
由于 $\lambda$ 很短, 微小的位移或折射率变化就可以产生可观的干涉条纹变化, 因此光的干涉经常用于精密测量。

## 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

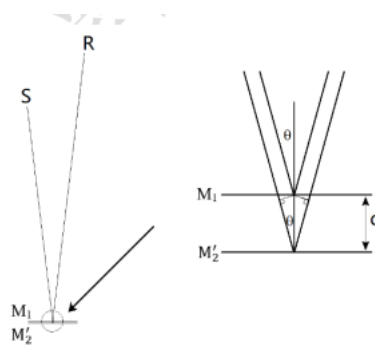


#### 2.1.2 等倾干涉

为了观察到等倾干涉条纹,  $M1, M2$  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  $M1$  和  $M2'$  反射到  $R$  的两条光

线的光程差。

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



### 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  $M1$  的位置, 通过直线拟合可以测量光的波长。

#### 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

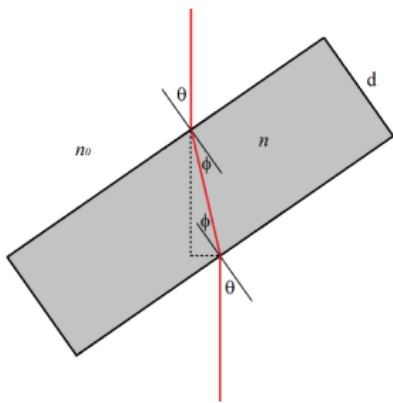
调节动镜位置找到白光干涉。然后在一条光路中放入待测透明薄膜并使光垂直穿过，引入额外的光程差为

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

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

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

### 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

$$\delta s(\theta) = 2(nL - n_0L_0)$$

由几何关系

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

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

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

## 3 实验内容

### 3.1 搭建迈克耳孙干涉仪，观察等倾干涉条纹。

搭建迈克尔逊干涉仪有以下反思：

1. 首先保证激光器接近水平状态，并不需要严格的水平，因为我们只需要让两路光线相干，可以通过调节反射镜的角度来抵消微小的倾斜。保持激光器水平可以使调节反射镜光路的工作更轻松。

2. 加入扩束镜使激光扩束前，调节反射镜，尽量让光程差相近，使其在光屏上所成激光点聚焦于一点。此时已经可以在光屏上观察到微小的干涉条纹。

3. 加入扩束镜后再对反射镜进行调节，使等倾干涉条纹出现在中心位置。

### 3.2 利用等倾干涉测量激光的波长。

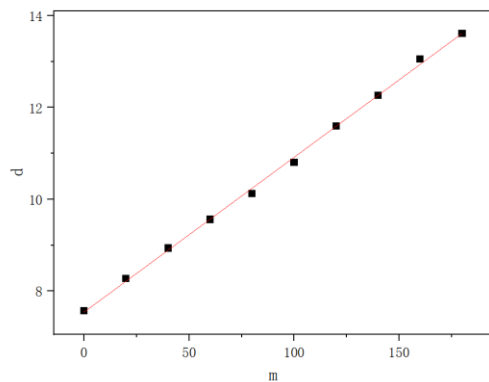
第一次测量每“涌出”20个条纹记录一次动镜的位置  $d$

实验数据如表

变化条纹个数 $m$	动镜位置 $d(10^{-5}m)$
0	7.571
20	8.269
40	8.933
60	9.560
80	10.119
100	10.799
120	11.595
140	12.265
180	13.059

线性拟合如图

方程	$d = \alpha m + \beta$
截距	$7.54111 \pm 0.04554$
斜率	$0.03375 \pm 4.26508E-4$
Pearson's r	0.99936
R 平方 (COD)	0.99872



由

$$\lambda = 2n_0\alpha$$

得

$$\lambda = 0.03375 \times 2 \times 10^{-5}m = 675.0nm$$

取

$$\lambda_{真} = 632.8nm$$

相对误差

$$\Delta\lambda = \frac{|\lambda - \lambda_{\text{真}}|}{\lambda_{\text{真}}} \times 100\% = 6.67\%$$

该结果的误差较大, 原因可能是条纹变化过程中的计数错误, 实际涌出的条纹大于 20 个引入的误差较多。如图中第 5, 6, 9 个数据点明显偏离直线。

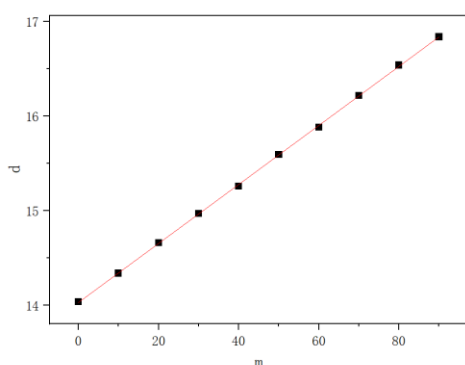
为减小实验误差, 第二次测量每“涌出”10 个条纹记录一次动镜的位置  $d$

实验数据如表

变化条纹个数 $m$	动镜位置 $d(10^{-5}\text{m})$
0	14.039
10	14.340
20	14.660
30	14.970
40	15.260
50	15.595
60	15.885
70	16.220
80	16.540
90	16.840

线性拟合如图

方程	$d = \alpha m + \beta$
截距	$14.03065 \pm 0.00658$
斜率	$0.03121 \pm 1.23255E-4$
Pearson's r	0.99994
R 平方(COD)	0.99988



得

$$\lambda = 0.03121 \times 2 \times 10^{-5}\text{m} = 624.2\text{nm}$$

相对误差

$$\Delta\lambda = \frac{|\lambda - \lambda_{\text{真}}|}{\lambda_{\text{真}}} \times 100\% = 1.35\%$$

该结果的误差在可接受范围内, 实验结果较为成功。

### 3.3 利用等倾干涉测量空气的折射率。

利用气室改变其中任意一路光线的光程  
实验结果如表中所示

条纹变化数量 $\Delta l$	压强改变量 $\Delta P(\text{kPa})$	$\Delta l/\Delta P(\text{kPa})$
5	8.1	0.6173
5	7.8	0.6410
6	9.6	0.6250
6	9.3	0.6452
5	8.1	0.6173
6	9.5	0.6316
5	8.2	0.6098
5	8.2	0.6098

$$\overline{\left(\frac{\Delta l}{\Delta P}\right)} = 0.6246\text{kPa}^{-1}$$

由

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

得

$$\alpha = \frac{624.2\text{nm}}{2 \times 80.36\text{mm}} \times 0.6246\text{kPa}^{-1}$$

由

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

$T$  取  $(25 + 273.15)\text{K}$

计算得

$$n_s = 1.000268$$

## 4 复习思考题

1. 在迈克耳孙干涉仪中, 当两束光相消干涉时, 是否违反能量守恒定律?

宏观上:

干涉光场中任意一点的光强可以写为

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

由于干涉项全空间积分为 0, 故光强全空间积分后为  $I_1 + I_2$

在相消干涉的区域, 两束光的振幅相互抵消, 导致光强的减弱。在其他区域, 光强增强。在这个过程中, 并没有发生能量的净损失, 整个系统的能量守恒。

微观上<sup>[2]</sup>: 量子力学允许存在涨落。

电磁波能量子, 它的波矢 $k$ 并不是确定值, 而总是有一个展宽 $\Delta k$ , 不存在完全单色的光。涨落效应使得两列波的相干长度并不是无穷远, 而是有限值, 在某区间能量是单个四倍, 而在另一些地方能量却是零。

如此一来, 在全空间全时间的平均上看, 能量总是守恒的, 只是在空间中通过能流, 从“零区间”流到“四倍区间”, 或说从低于平均值的区间流到高于平均值的区间。这只是便于理解。实际上光子的波动性让能量在时域上的平均就是两倍。

## 2. 调节干涉仪反射镜的位置如何影响等倾干涉条纹的特征?

1. 调节其中一个或两个反射镜的位置, 会改变两个光路的光程差。等倾条纹的间距改变。
2. 调整反射镜的角度会影响干涉条纹在光屏上的位置, 等倾干涉的圆心位置会移动。

## 3. 如何利用迈克耳孙干涉仪验证偏振方向互相垂直的两束光无法干涉?

安装迈克耳孙干涉仪后, 在两路光路上插入偏振片, 调整偏振片的角度, 利用光功率计确定两者消光, 保证两束光的偏振方向互相垂直。观察此时的干涉条纹。

旋转其中一条光路上的偏振片, 观察干涉条纹的变化。

若消光时, 未观察到明显的干涉条纹; 旋转偏振片时出现了明显的干涉条纹; 旋转 $180^\circ$

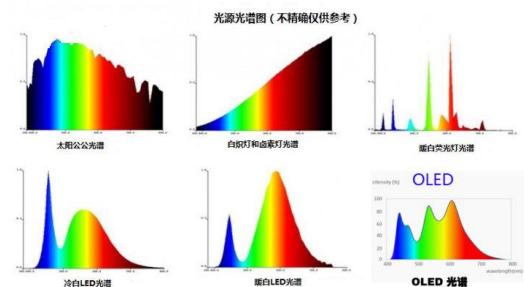
干涉条纹再次消失, 则说明偏振方向互相垂直的两束光无法干涉。

## 4. 用 LED 做光源, 而且将迈克耳孙干涉仪调至接近等光程点, 此时干涉光的光谱分布会有什么表现? 说明原因。

干涉光的光谱分布表现为不连续的彩色条纹。

LED 光源是一种宽谱光源, 包含多个波长的光。当这样的光源通过迈克耳孙干涉仪时, 不同波长的光波发生干涉, 产生一系列彩色条纹。

由于 LED 的光谱较宽, 导致在干涉条纹中可能观察到相对较宽的彩色条带。



## 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
- [2] Celestial.  
<https://www.zhihu.com/question/325311533/answer/690174389>

# 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