

一. 实验目的

1. 了解迈克尔逊干涉仪的原理与结构
2. 学习迈克尔逊干涉仪的调节和使用方法, 并使用迈克尔逊干涉仪测定氦、氖激光的波长
3. 测定钠光源的相干长度

二. 实验仪器

1. 仪器用具

迈克尔逊干涉仪, 氦-氖激光器, 透镜, 望远镜

三. 实验原理

1. 干涉条纹的形成原理

迈克尔逊干涉仪

单色扩展光源 S 射来的光经分光板 P 分成 1、2 两束光, 反射光 1 向 M_1 前进, 透射光 2 向 M_2 前进, 这两束光分别在 M_1 、 M_2 上反射后逆着各自的入射方向返回并会合形成两束相干光, 在 E 处即能观察到这两束光的干涉现象。 M_2 镜由于 P 板背面的反射, 在 M_1 附近形成一个平行于 M_1 的虚像 M_2' , 因此光来自 M_2 和 M_1 的反射等效于来自 M_2' 和 M_1 的反射 (M_1 和 M_2' 的距离为 d), 其产生的干涉图样与厚度为 d 的空气膜所产生的干涉图样一样。当 M_1 和 M_2' 不平行时 (即 M_1 和 M_2 不完全相互垂直) 所产生的干涉是等厚干涉, 当 M_1 和 M_2' 平行时 (即 M_1 和 M_2 相互垂直) 所产生的干涉是等倾干涉。

在调节迈克尔逊干涉仪的过程中, M_1 和 M_2 之间有一个从不完全互相垂直到严格垂直的过程, 因此, 相应的干涉条纹也就有一个从等厚干涉到等倾干涉的变化过程。所以, 我们在观察条纹变化的时候会发现从直条纹 \rightarrow 弧形条纹 \rightarrow 同心圆环的变化现象。从图 3-23-5 上看, 自 M_1 和 M_2' 反射的倾角同为 θ 的光线 1 和光线 2 存在着光程差, 它们的光程差为

$$\Delta = AC + CB - AD = \frac{d}{\cos\theta} + \frac{d}{\cos\theta} - 2d \tan\theta \sin\theta = 2d \left(\frac{1}{\cos\theta} - \frac{\sin^2\theta}{\cos\theta} \right) = 2d \cos\theta \quad (3-23-1)$$

由式 (3-23-1) 可知, 光程差 Δ 由 d 和 θ 所决定, 当 M_2 与 M_1 的间隔 d 一定时, 光程差 Δ 仅由 θ 决定, 对于具有相同入射角的光线在垂直观察方向平面上的等倾干涉图样轨迹是由一组同心圆条纹组成, 条纹中心的亮、暗由两束光的光程差决定。当光程差 $\Delta = 2d \cos\theta = k\lambda$ ($k=1, 2, \dots$) 时, 条纹中心出现的是亮纹; 当光程差 $\Delta = 2d \cos\theta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ ($k=1, 2, \dots$) 时, 条纹中心出现的是暗纹。 d 一定时, θ 愈小, k 愈大, 干涉圆环的中心处对应着 $\theta=0$ 的光线, 即圆环中心对应干涉级的级数 k 最高。当 d 增加 $\frac{\lambda}{2}$ 时, k 对应增加一级, 光程差 Δ 相应增加一个波长。对于某一确定的干涉级 k 对应的入射角 θ_k 变大, 该级干涉条纹向 θ_k 变大的方向移动, 圆环好像从中心向外“冒出”。每当 d 增大 $\frac{\lambda}{2}$ 时, 从中心“冒出”一个圆环; 反之, 当 d 减少时, 圆环向中心“陷入”, 且每当 d 减少 $\frac{\lambda}{2}$ 时, 向中心“陷入”一个圆环。因而只要数出“冒出”或“陷入”的圆环数目 Δm , 即可得到平面反射镜 M_1 移动的距离 Δd 。

$$\Delta d = \Delta m \frac{\lambda}{2}$$

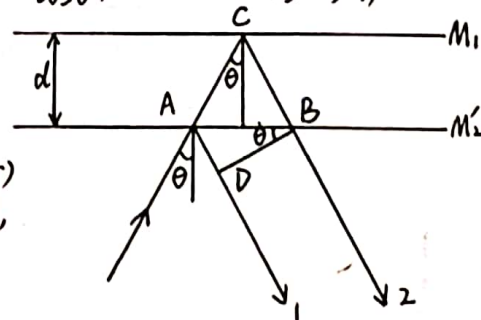


图 3-23-5 自 M_1 和 M_2' 反射的两路光波的光程差



光源的相干长度

光源存在一定的相干长度的两种解释。一种解释是：实际光源发射的光波不是无穷长的谐波波列，当两相干波列的光程差等于零时，两波列的光程差不大时，两波列部分重叠，这时干涉条纹的可见度下降。当两波列的光程差大于波列长度时，一波列已全部通过，而另一波列却尚未到达，两波列没有机会重叠，这时干涉条纹消失。因此两相干波列的光程差等于波列长度时，该光程差是产生干涉的最大光程差。我们称这最大的光程差的相干长度 $L_{\max} = 2l$

相干长度的另一种解释是：实际光源发射的单色光源不是绝对的单色光，而是有一定的波长范围。假设光波的中心波长为 λ_0 ，单色光是由波长 $\lambda_0 \pm \frac{\Delta\lambda}{2}$ 范围的光波所组成，由波的干涉原理可知，每一波长的光对应着一套干涉条纹，随着 d 的增大， $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 和 $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 两套干涉条纹逐渐错开，当错开一个条纹时，干涉条纹完全消失，即

$$L_{\max} = k(\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}) = (k+1)(\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2})$$

得到 $k \approx \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda}$ ，即相干长度 $L_{\max} \approx \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda}$ ，相干时间 $t_{\max} = \frac{L_{\max}}{c\Delta\lambda}$

可见光源的单色性越好， $\Delta\lambda$ 越小，相干长度就越大，相干时间也越长。对于钠光双黄线 589.0nm 和 589.6nm 两条谱线，可表示为 $\lambda_1 = \lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ ， $\lambda_2 = \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ ， $\lambda_0 = 589.3\text{nm}$ ，则 $\Delta\lambda = \frac{\lambda_2^2 - \lambda_1^2}{2(d_2 - d_1)}$ (3-23-6)

上式中 d_1, d_2 为钠光双黄线干涉条纹相邻两次最模糊时所对应的 M_1 读数，可由式 (3-23-6) 求出钠光谱线的精确结构。

四. 实验内容

1. 测量氦-氖激光的波长

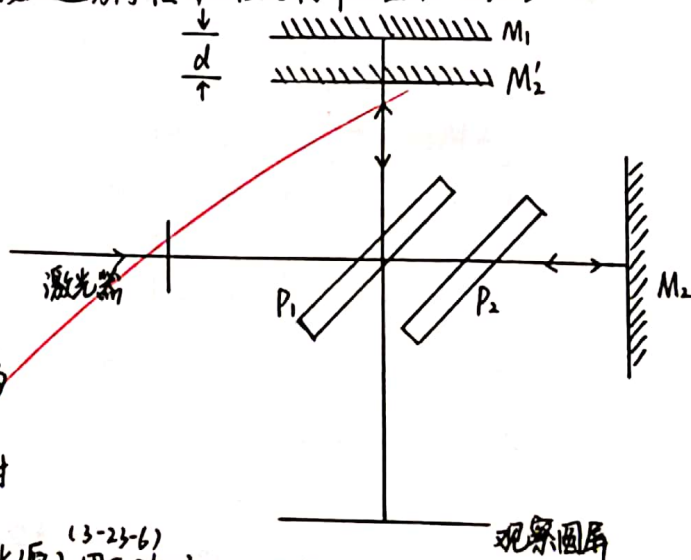
(1) 读数系统的调整：因为微调手轮时粗调螺旋随之转动，而转动粗调螺旋时微调手轮不随之转动，所以为使读数指示正确需“调零”。调零之前需先消除空程误差。调整方法是：沿某一方向（如顺时针）转动微调手轮，使“0”刻度线和准线对齐，然后沿同一方向转动粗调螺旋，从读数窗内观察使某一刻线和其准线对齐。在以后的测量中必须按上述方向转动，否则将带入空程误差。

(2) 粗调反射光点位置：先观察平面镜反射光点，是否落在激光器出射口附近。若反射光点离激光器出射口太远，应先调节激光器位置及干涉仪底座在水平调节螺丝，使反射光点分布在激光器的出射口附近。如图 3-23-6 所示使氦-氖激光束大致垂直 M_2 入射到干涉仪上，观察分别由 M_1, M_2 平面镜反射的两组光点，同时调节 M_1 及 M_2 平面镜背后的两个螺丝，使两组光点，中间最亮的反射光点重合，此时 M_1 与 M_2 大致互相垂直。

(3) 微调干涉仪 M_1 位置及底脚螺丝，使最亮的反射光点落入激光器出射口。

(4) 放上焦距透镜（将激光扩束，使光源成为扩展光源），用毛玻璃作为观察屏，即可观察到直（或弧形）的干涉条纹，然后再调节 M_2 的微调螺丝 ② 或 ③，使光斑中心出现清晰的同心圆环的干涉条纹，这时说明 M_1 与 M_2 严格平行。

(5) 移动 M_1 使 d 改变，数出“冒出”或“陷入”的条纹数 Δm ，算出 d 的变化值 Δd ，代入公式 $\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta m}$ 即可求出波长值，测量取 $\Delta m = 50$ 为一组，连续测量六次。



2. 测量钠光源的相干长度

在测量氦-氖激光波长的基础上, 移动 M_1 的距离, 使 M_1 与 M_2 基本上重合(如何判断?), 去掉氦-氖激光器透镜, 换上钠光灯, 则可直接观察到清晰的干涉条纹, 记下此时 M_1 的位置。慢慢转动粗调螺旋, 可以看到条纹可见度呈周期性变化, 同时可看到条纹越来越密, 可见度越来越小, 记下这时 M_1 的位置。前后两次位置的读数相减, 得到 Δd , 便可计算得到钠光源相干长度 $L_{\max} = 2l = 2\Delta d$ 。

五. 数据记录.

数据序号	1	2	3	4	5	6
$d_{\text{前}}$						
$d_{\text{后}}$						
Δd						
Δm	50	50	50	50	50	50
$\lambda(\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta m})$						

$d_{\text{前}}$	
$d_{\text{后}}$	
Δd	
$L_{\max} = 2l = 2\Delta d$	

Data n	1	2	3	4	5	6
x_0/mm	45.51718 45.6	45.54122	45.56658	45.58203	45.59892	45.61521
x/mm	45.54122	45.56658	45.58203	45.59892	45.61521	45.63142
$d = x - x_0 $		0.01536	0.01545	0.01689	0.01629	0.01621
λ/nm			0.0006180		0.0006516	0.0006484
现象						
$\bar{\lambda}/\text{nm}$						

7.	8.	9.	10.
45.63142	45.64728	45.66431	45.67611 45.67981
45.64728	45.66431	45.67981	45.69611
0.01586	0.01703	0.01550	0.01630
λ : 0.0006344	0.0006442	0.0006200	0.0006524

$\bar{\lambda}$: 0.0006375



扫描全能王 创建

数据处理

$\Delta m = 50$

Data \ n	1	2	3	4	5	6
x_0/mm	45.56658	45.59892	45.61521	45.63142	45.66431	45.67981
x/mm	45.58203	45.61521	45.63142	45.64728	45.67981	45.69611
$d = x - x_0 $	0.01545	0.01629	0.01621	0.01586	0.01550	0.01630
λ/nm	0.0006180	0.0006516	0.0006484	0.0006344	0.0006200	0.0006524
现象	陷入	陷入	陷入	陷入	陷入	陷入
$\bar{\lambda}/\text{nm}$	0.0006375					

以序号1为例: $d = |x - x_0| = |45.58203 - 45.56658| = 0.01545 \text{ mm}$

$$\lambda_1 = \frac{2d}{\Delta m} = \frac{2 \times 0.01545}{50} \approx 0.0006180 \text{ mm (保留4位有效数字)}$$

其余5组同理可求 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^6 \lambda_i}{6} = \frac{0.0006180 + 0.0006516 + 0.0006484 + 0.0006344 + 0.0006200 + 0.0006524}{6} \approx 0.0006375 \text{ mm (保留4位有效数字)}$$

A类不确定度:

$$G_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}}$$

$$G_{\bar{\lambda}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}}$$

间接测量量

$$U_A = t_p G_{\bar{\lambda}} = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}}$$

($\nu = n-1 = 5, p = 0.683, t_p = 1.11$)

$$= 1.11 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{5 \times 6}}$$

$$\approx 8 \times 10^{-6} \text{ mm (保留1位有效数字, 只进不舍)}$$

$$\lambda = \bar{\lambda} \pm U_A = 0.0006375 \pm 8 \times 10^{-6} \text{ mm} = 637.5 \pm 8 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{标}} = 632.8 \text{ nm}$$

$$E = \frac{|\bar{\lambda} - \lambda_{\text{标}}|}{\lambda_{\text{标}}} \times 100\% = \frac{|637.5 - 632.8|}{632.8} \times 100\% \approx 0.8\% \text{ (与不确定度相似, 只进不舍)}$$

七. 误差分析

- ① 空程误差没能完全消除
- ② 读数时存在随机误差
- ③ 因为实验器材受环境中的振动等因素的干扰(按压桌面等)产生偏差



扫描全能王 创建

八. 思考题

1. M_1 的移动引起 M_1 和 M_2' 之间距离的改变, 导致光程差发生变化, 干涉条纹形状有所不同。直条纹时, M_1 与 M_2' 相交, 得到等厚干涉条纹, 然后两者间距增大, 倾角和厚度对光程差的变化起作用, 此时为弧形条纹, 随间距继续增大, 变为同心圆。
2. 两面镜子不平行, 入射光线与反射光线未完全重合
调节两面镜子上的旋钮, 使所有两像都重合
3. 由主尺、读数窗、带刻度的微调手轮来确定, 主尺读到毫米, 读数窗读到 0.01mm , 微调手轮读到 0.0001mm , 并估读到 0.00001mm , 三组数字共同组成 M_1 的位置

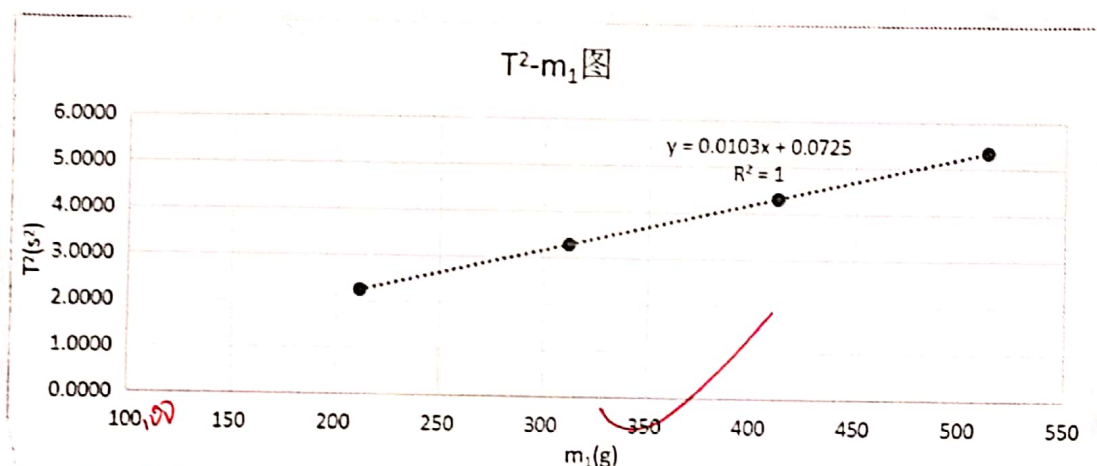




廈門大學

XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN CABLE: 0633 P.C: 361005



由图可知 $y = 0.0103x + 0.0725$

$\therefore \Delta T^2 = 5.3430 - 2.2488 = 3.0942 (s^2)$ 斜率 $\frac{\Delta T^2}{\Delta m_1}$, $\Delta T^2, \Delta m_1$ 皆为 5 位有效数字
 $\Delta m_1 = 512.67 - 211.72 = 300.95 (g)$

\therefore 斜率取 5 位有效数字, 斜率 $= 0.010277 (s^2/g)$

\therefore 截距 b 与 m_1 为加减关系

$\therefore b$ 与 m_1 有相同的末位数量级, $b = 0.07 (g)$

\therefore 正确方程式为 $T^2 = 0.010277 m_1 + 0.07$

$\therefore T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m_1 + \frac{4\pi^2}{k} m_0$

$\therefore \frac{4\pi^2}{k} = 0.010277, \frac{4\pi^2}{k} m_0 = 0.07$

$k = \frac{4\pi^2}{0.010277} \times 10^{-3} \approx 3.8414 (N/m)$

$m_0 = \frac{0.07}{0.010277} \approx 7g$

k 的误差: $E_k = \frac{|3.8423 - 3.8414|}{(3.8423 + 3.8414)/2} \times 100\% \approx 0.024\%$ 首位为 2, 保留 2 位有效数字, 只进不舍

m_0 的误差: $E_{m_0} = \frac{|7 - 7.150|}{(7 + 7.150)/2} \times 100\% \approx 2.2\%$



扫描全能王 创建



廈門大學
XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN CABLE: 0633 P.C: 361005

实验总结

本次实验使用气垫导轨所产生的漂浮作用,在忽略空气粘滞力的影响下,为其上的振子运动提供水平方向摩擦力近似为零的实验条件,从而使弹簧振子系统做近似简谐振动,并采用光电计时的方法测量时间,使实验现象更直观、测量更精确。

九. 误差分析

- ① 光电门置于滑块平衡点,约53cm处,控制振幅18.00cm、20.00cm、22.00cm、24.00cm,但各别测量过程中,未完全将振子移到精准位置
- ② 气垫导轨喷出的气体随实验时间逐渐升温,会增大摩擦系数,从而影响实验数据准确性

4/ 2019.11.15



扫描全能王 创建