吉林大学

国家级物理实验教学示范中心

National Demonstration Center for Experimental Physics Education (Jilin University)

实验成绩	
教师签字	
批改日期	

实 验 报 告

普通物理实验

实验题目：用牛顿环测球面的曲率半径

学 院：数学学院

学 号：10230524

姓 名：黎瀚文

组 别：A2 实验台号：3

时 间：2024 年 11 月 6 日 星期三 晚上

1 实验原理

凸透镜与平面玻璃板之间形成了空气薄膜，当波长为 λ 的单色光垂直投射到装置上时，空气薄膜上下表面反射的光波会发生干涉。对于第 k 级暗环，其半径为 $r_k^2 = \frac{R\lambda}{n}k$。由于任意两干涉环的半径平方差和干涉环的顺序无关，只与两环的序数差有关。故 $R = \frac{r_{k_2}'^2 - r_{k_1}'^2}{\lambda(k_2-k_1)}$

2 实验内容

1. 调节牛顿环仪的三个螺丝，使得形成的干涉纹位于正中心
2. 打开钠光灯并预热约 15 分钟
3. 将牛顿环仪放置在显微工作台上并使其中心对准显微镜筒的光轴
4. 调节目镜使得看到的叉丝最清晰，并调整其角度使竖叉丝与镜筒走向垂直。
5. 在离中心左侧第 5 环处记录读数 L_5'，往环中心方向连续移动并记录另一侧第 5 环位置 L_5 和第 25 环位置 L_{25}。随后反向移动并记录离中心第 5 环位置 L_5，越过中心后的第 5 环位置 L_5' 和第 25 环位置 L_{25}'。重复上述操作记录五组数据
6. 计算和的标准差，以及相关量的不确定度

3 注意事项

1. 注意实验前钠灯预热 15min；因为其含汞，所以不要摔倒地上；实验后注意关闭钠灯。
2. 注意调节牛顿环螺丝时不要拧得过紧或过松
3. 避免长时间查看，以免损坏眼睛
4. 只能从下往上移动镜筒，从旁边观察以避免镜筒压到牛顿环
5. 注意在实验过程测量一个方向数据时读数显微镜叉丝单向移动，以避免回程差

4 原始数据

表 1: 测量数据 (单位:mm)

组别	L_5'	L_5	L_{25}	$r_{k_2}+r_{k_1}$	$r_{k_2}-r_{k_1}$	L_5	L_5'	L_{25}'	$r_{k_2'}+r_{k_1'}$	$r_{k_2'}-r_{k_1'}$
1	15.727	11.301	8.661	7.066	2.640	11.382	15.789	18.475	7.093	2.686
2	15.720	11.312	8.657	7.063	2.655	11.380	15.783	18.471	7.091	2.688
3	15.715	11.309	8.661	7.054	2.648	11.370	15.790	18.475	7.105	2.685
4	15.726	11.310	8.655	7.071	2.655	11.357	15.791	18.478	7.121	2.687
5	15.722	11.303	8.657	7.065	2.646	11.369	15.782	18.485	7.116	2.703

实验中读数显微镜的最小分度值为 $0.001mm$

5 数据处理

上述实验过程中环数之差为 $k_2-k_1=20$，$k_2'-k_1'=20$ 得到平均值

$$\overline{r_{k_2}+r_{k_1}}=\frac{\sum r_{k_2}+r_{k_1}+\sum r_{k_2'}+r_{k_1'}}{10}=7.0845\ mm$$
$$\overline{r_{k_2}-r_{k_1}}=\frac{\sum r_{k_2}-r_{k_1}+\sum r_{k_2'}-r_{k_1'}}{10}=2.6693\ mm$$

$$R=\frac{r_{k_2}^2-r_{k_1}^2}{\lambda(k_2-k_1)}$$
$$R'=\frac{r_{k_2}'^2-r_{k_1}'^2}{\lambda(k_2'-k_1')}$$

带入上式表格中数据，且 $\lambda=598.3\ nm$ 得到

表 2: 计算得到曲率半径数值

R	1582.7456	1591.0627	1584.8457	1592.8648	1586.1183
R'	1616.4770	1617.2245	1618.6089	1623.4623	1631.9827

曲率半径均值 $\overline{R}$ 为

$$
\begin{aligned}
\overline{R} &= \frac{\sum_{i=1}^{5} R + \sum_{i=1}^{5} R'}{10} \\
&= \frac{1}{10} \times (1582.7456 + 1591.0627 + 1584.8457 + 1592.8648 + 1586.1183 + 1616.4770 + 1617.2245 + \\
&\quad 1618.6089 + 1623.4623 + 1631.9827)\ mm \\
&= 1604.5393\ mm
\end{aligned}
$$

标准偏差 S(R) 为

$$
\begin{aligned}
S(R) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R - \overline{R})^2}{10 \times (10-1)}} \\
&= 5.8998\ mm
\end{aligned}
$$

故求得上述牛顿环曲率半径为 $R = 1604.5393\ mm$, 标准偏差为 $S(R) = 5.8998\ mm$

A 类测量不确定度的计算

$$
\begin{aligned}
u_A(r_{k_2} + r_{k_1}) &= \sqrt{\frac{\sum \left((r_{k_2} + r_{k_1}) - \overline{r_{k_2} + r_{k_1}} \right)^2}{10 * 9}} = 0.0076\ mm \\
u_A(r_{k_2} - r_{k_1}) &= \sqrt{\frac{\sum \left((r_{k_2} - r_{k_1}) - \overline{r_{k_2} - r_{k_1}} \right)^2}{10 * 9}} = 0.0071\ mm
\end{aligned}
$$

B 类不确定度的计算

已知上述实验过程中读数显微镜的最小分度值为 $\Delta = 0.01mm$，则测量任意环的位置时，假设误差均匀分布

$$
u_B(L_k) = u_B(L'_k) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{\sqrt{3}}\ mm = 0.0058\ mm
$$

由不确定度传递公式

$$
\begin{aligned}
u_B(r_{k_2} + r_{k_1}) &= \sqrt{u_B(k_2)^2 + u_B(k_1)^2} = \sqrt{0.0058^2 + 0.0058^2}\ mm = 0.0082\ mm \\
u_B(r_{k_2} - r_{k_1}) &= \sqrt{u_B(k_2)^2 + u_B(k_1)^2} = \sqrt{0.0058^2 + 0.0058^2}\ mm = 0.0082\ mm
\end{aligned}
$$

合成不确定度的计算

$$
\begin{aligned}
u_c(r_{k_2} + r_{k_1}) &= \sqrt{u_A^2(r_{k_2} + r_{k_1}) + u_B^2(r_{k_2} + r_{k_1})} = \sqrt{0.0076^2 + 0.0082^2}\ mm = 0.0112\ mm \\
u_c(r_{k_2} - r_{k_1}) &= \sqrt{u_A^2(r_{k_2} - r_{k_1}) + u_B^2(r_{k_2} - r_{k_1})} = \sqrt{0.0071^2 + 0.0082^2}\ mm = 0.0108\ mm
\end{aligned}
$$

由标准的不确定度传递公式

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$
$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\frac{\partial f}{\partial x_i})^2 u_{c(x_i)}^2}$$

结合 $R = \frac{r_{k_2}^2 - r_{k_1}^2}{\lambda(k_2 - k_1)}$ 得到

$$u_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial(r_{k_2} + r_{k_1})}\right)^2 u_c^2(r_{k_2} + r_{k_1}) + \left(\frac{\partial R}{\partial(r_{k_2} - r_{k_1})}\right)^2 u_c^2(r_{k_2} - r_{k_1})}$$
$$\frac{u_R}{R} = \sqrt{\left(\frac{u_c(r_{k_2} + r_{k_1})}{\overline{r_{k_2} + r_{k_1}}}\right)^2 + \left(\frac{u_c(r_{k_2} - r_{k_1})}{\overline{r_{k_2} - r_{k_1}}}\right)^2}$$

带入 $R = 1604.5393\ mm$、$u_c(r_{k_2} + r_{k_1}) = 0.0112\ mm$、$u_c(r_{k_2} - r_{k_1}) = 0.0108\ mm$、$\overline{r_{k_2} + r_{k_1}} = 7.0845\ mm$、$\overline{r_{k_2} - r_{k_1}} = 2.6693\ mm$ 可得

$$u_R = \sqrt{\left(\frac{0.0112}{7.0845}\right)^2 + \left(\frac{0.0108}{2.6693}\right)^2} \times 1604.5393\ mm$$
$$u_R = 6.9700\ mm$$

由 $p = 0.955$，对应的置信概率 $K_p = 2$。代入上述数据及公式 $U_i = K_p \times u_i$ 可得其扩展不确定度如下:

$$U_R = K_p \times u_R = 2 \times 6.9700\ mm = 13.9400\ mm$$

故得到曲率半径 $R = 1604.5393 \pm 13.9400\ mm$，$p = 0.955$

6 拓展实验

6.1 将钠光灯替换为手机手电筒的白光光源，观察到的现象

观察到明暗相间的彩色圆环。

原因：白光是由多种色光混合而成，且波长各不相同，每种单色光独立发生干涉，最终形成了彩色的圆环

6.2 移除半反镜，组成投射式牛顿环，观察到的现象与之前有何不同

中心从暗斑变成亮斑; 亮斑与暗斑的亮度差异下降了，同心圆环不如之前清晰，但仍然存在; 新的同心圆环的亮暗交替，并且与原来相比暗纹变为亮纹，亮纹变为暗纹

7 思考题

7.1 牛顿环干涉条纹形成的两个反射表面以及产生条件

牛顿环形成的干涉条纹发生在凸透镜凸表面和玻璃板的平面, 其干涉条纹由光线在这两个面之间反射形成。产生的条件是两束光振动方向相同、波长相同、相位差恒定且能够在空间中相遇

7.2 牛顿环干涉条纹的中心暗亮的情况

干涉形成的牛顿环，其中心的亮暗取决于透镜和平面玻璃板所夹介质的折射率。当介质的折射率小于玻璃的折射率时，由于半波损失，形成暗斑。当介质的折射率大于玻璃的折射率时，形成亮斑。并且在透射情形下，光经过玻璃板上表面与透镜下表面后发生相长干涉，从而形成亮斑

7.3 干涉条纹相邻暗（亮）环之间的距离分析

在越靠近中心的位置，相邻暗（亮）环之间的距离越大；越远离中心，相邻暗（亮）环之间的距离越小

7.4 为什么说测量显微镜测量的是牛顿环的直径，而不是显微镜内被放大了的直径？改变显微镜的放大倍率是否会影响测量结果

因为读数时并不是通过显微镜，而是在外面读取镜筒所处的位置。放大只是为了更加准确的确定镜筒所应该停在的位置。改变倍率不会改变测量结果，但是提高放大倍率能够提高测量的精确度

7.5 如何用等厚干涉原理检验光学平面的表面质量

用等厚干涉原理检验光学平面的表面质量时，如果表面质量良好，发生干涉后呈现的现象会是规则的明暗相间的同心圆环；如果表面质量不好，则发生干涉后呈现的明暗条纹会在特定位置发生不规则的弯曲，无法形成规整的同心圆。发生不规则弯曲的位置即为质量出现问题的位置