

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 等厚干涉

实验桌号:

指导教师:

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 11 月 25 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告（10 分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

实验现象与原理：

本实验主要研究两种典型的等厚干涉现象：“牛顿圈”和“劈尖干涉”。它们均由单色光（钠光灯， $\lambda = 589.3\text{nm}$ ）垂直入射到透明薄膜（空气层）上，经上下表面反射的两束光在相遇处发生干涉及其光程差变化引起。

牛顿圈：将曲率半径很大的平凸透镜凸面放在平玻璃上，形成空气薄膜。产生以接触点为中心的明暗相间同心圆环。由于半波损失，中心为暗斑。其第k级暗纹半径满足 $r_k^2 = kR\lambda$ 。

劈尖干涉：两平玻璃板一端叠合，另一端垫入待测薄物（如细丝），形成楔形空气层。产生平行且等间距的直条纹。

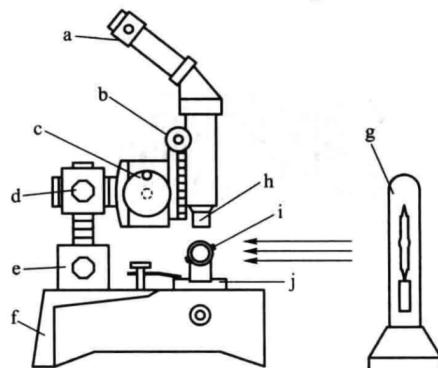


图 5 - 2 - 3

(a—目镜, b—物镜调焦滚轮, c—鼓轮读数盘, d—伸杆螺钉, e—升杆螺钉, f—底座, g—钠光灯, h—物镜, i—玻片架, j—样品盒)

图 1 实验装置 读数显微镜和钠光灯

实验方法与公式：利用读数显微镜测量干涉条纹的位置或直径。

1. 测透镜曲率半径R（牛顿圈）：测量第m圈和第n圈的直径 D_m 和 D_n ，利用逐差法公式消除接触点形变误差：

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

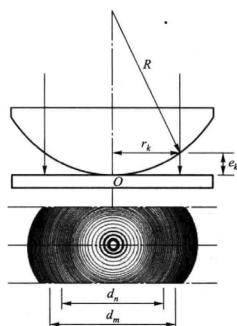


图 2 牛顿环

2. 测微小厚度 e (劈尖): 测量条纹间距。测出 N 条条纹的总宽度, 计算相邻条纹间距

$$\bar{s}。若两片玻璃接触处到被测物距离为L，则被测物厚度为: e = \frac{L\lambda}{2\bar{s}}$$

实验中通常取 20 条条纹计算:

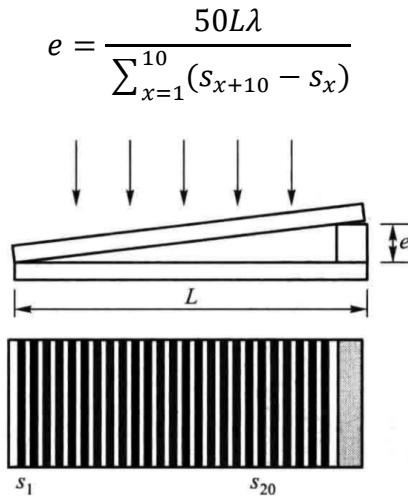


图 3 劈尖干涉

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点, 不超过 100 字。)

1. 理解等厚干涉 (牛顿圈和劈尖) 的形成原理及条纹分布规律。
2. 掌握读数显微镜的使用方法, 特别是如何正确读数及消除空程差。
3. 学会利用干涉法测量微小长度 (如薄膜厚度) 和曲面曲率半径的数据处理方法 (逐差法)。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点, 不超过 100 字。)

1. 消除空程差: 在使用读数显微镜测量时, 必须严格遵守“单向转动鼓轮”的原则, 中途不得回转, 否则会引入机械螺距误差。
2. 光路调节: 调节半反镜 (45° 倾斜) 及显微镜焦距, 使视野中能观察到清晰、明亮的干涉条纹, 且十字叉丝清晰聚焦。

二、原始数据（20 分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

(1) 牛顿环

a) 逐差法

表 1 牛顿环实验数据记录

圈数号 (k)	标尺读数		(d 右-d 左) /mm	直径平方 d^2 / mm^2	相隔六圈直径平 方数之差		R/m
	d 右 /mm	d 左 /mm			12-6	15.120	
12	22.939	28.659	5.720	32.718	12-6	15.120	1.069
11	23.048	28.521	5.473	29.954	11-5	15.223	1.076
10	23.119	28.414	5.295	28.037	10-4	15.292	1.081
9	23.289	28.369	5.080	25.806	9-3	15.244	1.078
8	23.425	28.159	4.734	22.411	8-2	15.153	1.071
7	23.554	28.032	4.478	20.052	7-1	15.239	1.077
6	23.693	27.888	4.195	17.598	平均值:	15.212	1.076
5	23.897	27.735	3.838	14.730			
4	24.008	27.578	3.570	12.745			
3	24.119	27.369	3.250	10.563			
2	24.375	27.069	2.694	7.258			
1	24.649	26.843	2.194	4.814			

根据逐差法公式:

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

最终求得 $R = 1.076m$

b) 画图法

画图法求曲率半径

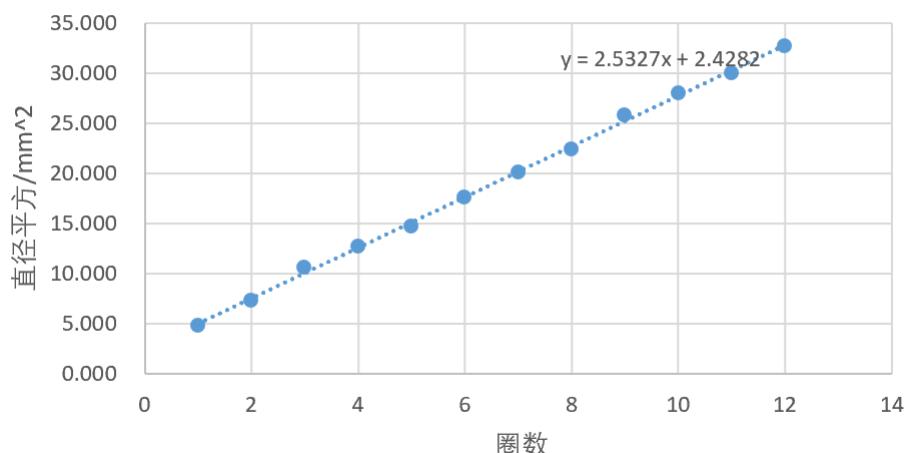


图 4 画图法求曲率半径

$$k = 2.53 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{k}{4\lambda} = 1.0733 \text{ m}$$

(2) 剃尖干涉

a) 逐差法

表 2 剃尖干涉实验数据记录

剃尖到待测薄膜边缘距离 L/mm		L1	L2	L2-L1(应在 40mm 左右)
		10.615	50.838	40.223
标尺读数 s/mm			$(s_{x+10} - s_x) / \text{mm}$	e/mm
s1	28.714	s11	31.362	2.648
s2	28.951	s12	31.589	2.638
s3	29.209	s13	31.859	2.650
s4	29.482	s14	32.163	2.681
s5	29.721	s15	32.404	2.683
s6	29.962	s16	32.648	2.686
s7	30.261	s17	32.941	2.680
s8	30.492	s18	33.162	2.670
s9	30.754	s19	33.403	2.649
s10	31.031	s20	33.712	2.681

根据公式:

$$e = \frac{50L\lambda}{\sum_{x=1}^{10} (s_{x+10} - s_x)}$$

求得 $e = 0.04445 \text{ mm}$

b) 画图法

画图法求薄膜厚度

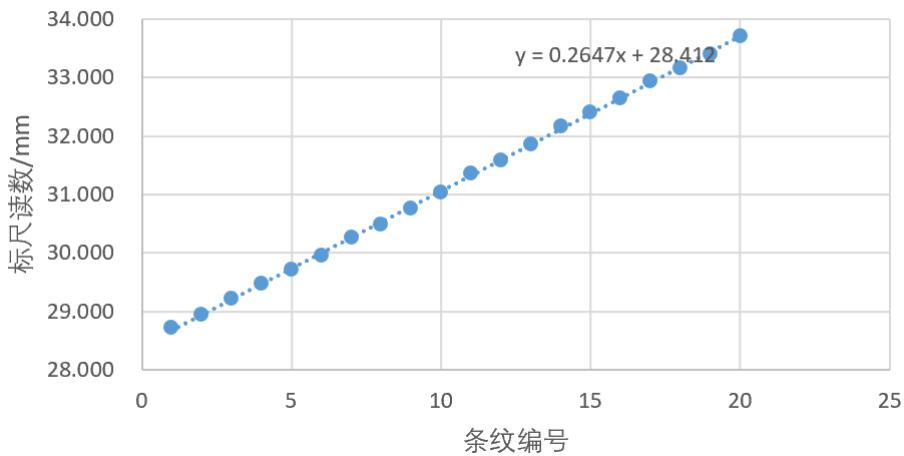


图 5 画图法求薄膜厚度

$$k = 0.2647$$

$$e = \frac{L\lambda}{2k} = \frac{40.223 \times 5.893 \times 10^{-4}}{2 \times 0.2674} \approx 0.04432 \text{ mm}$$

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

(1) 牛顿环

已知: 实验所用的牛顿环的曲率半径为 1m

a) 不确定度计算

根据不确定度计算公式:

$$u_A(R) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}}$$

求得 $u(R) \approx 0.0018 \text{ m}$

b) 误差分析

1、实验结果

逐差法求得

$$R_1 = (1.0760 \pm 0.0018) \text{ m}$$

根据末位对齐原则, 平均值保留的小数位数应与不确定度一致 (即小数点后 4 位), 修约为 1.0760m。

画图法求得

$$R_2 = 1.0733 \text{ m}$$

2、结果准确性分析

实验所给透镜的标称曲率半径为 1m。本实验逐差法测得的结果为 1.0753m, 作图法为 1.0733m, 数值上均略大于标称值。虽然结果存在一定偏差 (约 7%), 但实验的 A 类不确定度极小 (0.17%), 说明测量过程的重复性好, 数据的离散程度低。偏差的主要来源可能是透镜制造公差或系统误差, 而非操作随机误差。

3、误差来源定量分析

根据不确定度传递公式分析各物理量对最终结果的贡献:

(1) 干涉环直径的平方差 (D^2) 是最大的误差来源。在计算公式中, 直径 D 处于平方项, 且显微镜读数稍有偏差, 经过平方运算后误差会被放大。

(2) 波长 (λ) 视为真值, 其误差忽略不计。

4、误差产生的具体原因

A. 随机误差

读数判定误差:

牛顿环的干涉条纹具有一定宽度, 且越向边缘条纹越细但越模糊。在显微镜下判断“条纹中心”完全依赖人眼估读, 不同级数的对准精度不一致, 导致数据在拟合线附近波动。

B. 系统误差

接触点形变:

平凸透镜与平板玻璃接触点受重力及夹具压力作用, 发生微小弹性形变, 使得接触区域由理想的“点”变成“面”, 改变了干涉级次的实际半径分布。

空程差:

虽然实验要求单向转动, 但在实际操作中, 若在调节叉丝对准时发生极其微小的反转或手轮松动, 会引入螺距回程误差。

透镜非理想球面:

标称 $R=1\text{m}$ 是理论值，实际上透镜表面可能并非完美的球面，或者其曲率半径在制造时就存在正偏差。

(2) 裂尖干涉

已知：实验所用裂尖厚度在 $0.04\text{-}0.06\text{mm}$ 范围内

a) 不确定度计算

先计算 Δs 的 A 类和 B 类不确定度，再计算其合成不确定度：

$$u_A(\Delta s) = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\Delta s_i - \bar{\Delta s})^2} \approx 0.00577\text{mm}$$

$$u_B(\Delta s) = \frac{0.004\text{mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.00231\text{ mm}$$

$$u(\Delta s) = \sqrt{u_A^2(\Delta s) + u_B^2(\Delta s)} = \mathbf{0.006\text{mm}}$$

忽略 L 的不确定度，最后根据传递公式计算作为最终的不确定度：

$$\left(\frac{u(e)}{\bar{e}}\right)^2 = \left(\frac{u(L)}{\bar{L}}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta s)}{\bar{\Delta s}}\right)^2$$

由于 $\left(\frac{u(L)}{\bar{L}}\right)^2$ 很小，可忽略，最终不确定度的计算公式为：

$$u(e) = \frac{u(\Delta s)}{\bar{\Delta s}} \times \bar{e}$$

b) 误差分析

1、实验结果

逐差法求得

$$e_1 = (0.04445 \pm 0.00010)\text{mm}$$

画图法求得

$$e_2 = 0.04432\text{mm}$$

2、结果准确性分析

本实验测得的薄膜厚度在 0.044mm 左右，落在范围内。逐差法与作图法得到的结果非常接近，置信区间高度重合，表明实验数据处理方法正确，结果具有较高的可信度。

3、误差来源定量分析

根据不确定度合成公式分析：

(1) 条纹间距 (Δs) 的测量是误差的主要来源。由于条纹间距较小 (约 $2\text{-}3\text{mm}$)，测量 20 条条纹的总宽度时，起止点的对准误差分摊到每一条纹上虽然减小了，但仍占据相对不确定度的绝大部分。

(2) 裂尖长度 (L) 是次要误差来源。但由于 L 本身数值较大 (几十毫米)，其相对不确定度反而小于条纹间距测量的相对不确定度。

4、误差产生的具体原因

A. 随机误差

条纹计数与对准：

在连续移动显微镜测量 20 条条纹的过程中，长时间观测容易产生视觉疲劳，导致对第 1 条和第 21 条条纹中心的判断出现随机偏差。

B. 系统误差

玻璃板平整度：

理论公式假设两块玻璃板均为理想平面，但实际上玻璃表面可能存在微小的波浪形起伏，导致劈尖各处的空气隙厚度变化率不完全一致，使得干涉条纹并非严格的等间距直线。 L 值的定义界定：

测量公式中的 L 时，边界是一条模糊的界线，难以精确定位，导致 L 的测量存在固定系统偏差。

3. 实验探讨（10 分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本实验观测了牛顿环的同心圆环与劈尖干涉的平行条纹，验证了等厚干涉原理。过程中重点掌握了读数显微镜消除空程差的操作规范（单向转动）。通过逐差法处理测量数据，有效减小了随机误差并消除了接触点形变带来的系统误差，测得结果准确度较高。

四、思考题（10 分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

1、如果读数显微镜的叉丝不是准确地通过圆心，那么测出的直径实际上是弦长，这对测量结果有无影响？并解释原因。

无影响。

设圆环实际半径为 r ，测得的弦长为 l ，叉丝移动轨迹距离圆心的垂直距离为 h 。根据勾股定理可知： $r^2 = (l/2)^2 + h^2$

在实验数据处理中，曲率半径 R 的计算公式依赖于两个不同级数圆环直径（或半径）的平方差，即 $D_m^2 - D_n^2$ 。

代入弦长关系可见： $(l_m^2 + 4h^2) - (l_n^2 + 4h^2) = l_m^2 - l_n^2$ 。

计算过程中，常数项 h^2 会在相减时被消去。因此，只要测量过程中显微镜的移动方向保持水平且中途不改变垂直位置，测量弦长而非直径不会影响最终的实验结果

2、反射光干涉观察到牛顿环中央是暗斑，那么从透射方向观察，牛顿环中央是暗斑还是亮斑？

是亮斑。在反射光干涉中，光从空气膜射向平板玻璃发生反射时，会产生半波损失，引入 $\lambda/2$ 的附加光程差。在接触点处，空气膜厚度 $e \approx 0$ ，总光程差 $\delta = 2e + \lambda/2 = \lambda/2$ ，满足干涉相消条件，故呈现暗斑。而在透射光干涉中，干涉条纹是由直接透射的光与在空气膜内部反射两次后透射的光叠加形成的。这两束光虽然经过反射，但由于两次反射引起的相位变化相互抵消，此时在中心接触点处 $e \approx 0$ ，两束光的光程差 $\delta \approx 0$ ，满足干涉相长条件，故呈现亮斑。

此外，根据能量守恒定律，在不考虑介质吸收的情况下，入射光能量等于反射光能量与透射光能量之和。因此，反射光干涉条纹与透射光干涉条纹在强度分布上是互补的。当反射光在中心处满足干涉相消条件形成暗斑时，透射光在该处必然满足干涉相长条件，从而形成亮斑。

注意事项：

- 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
- “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。

3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” - “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后3天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制