

预习报告		实验记录		总成绩	
30		50		80	

专业：	物理学类	年级：	2023 级
姓名：	姚昊廷	学号：	22322091
日期：	2025.3.18	教师签名：	

光学像差 I

【实验报告注意事项】

1. 实验报告由三部分组成：
- (a) 预习报告：阅读**实验讲义**，弄清实验原理，了解实验需要测量的物理量，完成预习思考题。将预习报告带到实验室并在开始实验前由实验教师或助教检查。预习成绩低于 10 分（共 20 分）者不能做实验。

(b) 实验记录与分析：认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名（**用铅笔记录的被认为无效**）。**保持原始记录，包括写错删除部分**。离开前请实验教师或助教检查记录并签名。
2. 本实验报告可提前打印出来，当场记录分析完成交给带实验的老师，课后无需再提交。若当场完成不了，则请课后完成，再扫描并通过 seelight 提交。

3. 【安全注意事项】

- (a) 实验中避免激光器伤到眼睛
- (b) 避免用手直接接触镜片的光学面
- (c) 安装镜片时需 在光学平台上尽量靠近台面 的高度操作，以免失手跌落摔碎镜片
- (d) 实验平台配件所用固定螺钉需拧紧，以免镜架晃动；但不可过紧，以免损坏
- (e) 实验前需按仪器清单检查光学元件是否齐全，实验结束后按照顺序放回元件盒

目录

1	光学像差 I 预习报告	3
1.1	实验目的	3
1.2	仪器用具	4
1.3	原理概述	5
1.4	预习思考题	5
2	光学像差 I 实验记录	7
2.1	实验内容、步骤、结果	7
3	光学像差 I 分析与讨论	8
3.1	分析与讨论	8
3.2	实验后思考题	8
	Appendices	9

光学像差 I 预习报告

1.1 实验目的

1. 了解七种几何像差产生的原理、基本规律；
2. 了解各种像差对光学成像质量的影响；
3. 掌握慧差、色差产生的原理及其测量表征；
4. 掌握光学系统的基本调试方法；

1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数（型号，测量范围，测量精度等）
1	激光光源	1	$\lambda=632.6\text{nm}$
2	激光器夹持器	1	3 维调整
3	显微物镜	1	$10\times/0.25$
4	针孔	1	$\phi 100\mu\text{m}$ 或 $\phi 50\mu\text{m}$
5	五维调整机构	1	装配显微物镜和针孔用
6	衰减片 1	1	0.0001（衰减系数），装在镜框中
7	衰减片 2	1	0.01（衰减系数），装在镜框中
8	双凸透镜 1	1	焦距 $f=300\text{mm}$ ，装在透镜/反射镜座中
9	平凸透镜 2	1	焦距 $f=100\text{mm}$ ，装在透镜/反射镜座中
10	平凸透镜 3	1	焦距 $f=150\text{mm}$ ，装在透镜/反射镜座中
11	白屏	1	SZ-13，一面白屏，一面带坐标纸
12	成像相机	1	大恒的 MER-130-30UM 或元启智能的 REV-13AMU2C
13	数据线	1	图像采集数据线
14	计算机	1	台式或笔记本，安装有成像相机图像采集软件
15	光学导轨	1	长度 1 米，带刻度
16	二维平移台	4	行程 $>10\text{mm}$
17	平移滑块	1	
18	支杆	3+5	50mm 长和 75mm 长
19	磁性表座	4	
20	旋转调整台	1	可调角度 $>\pm 5^\circ$
21	白光灯	1	GY-6 型，亮度可调，即溴钨灯
22	滤光片 1	1	透光波长：435nm
23	滤光片 2	1	透光波长：630nm

1.3 原理概述

1. 色差

- (a) 原理：色差源于光学材料对不同波长（颜色）光的折射率差异（即色散现象）。
- i. 折射率与波长的关系：光学材料的折射率随波长增大而减小（正常色散）。例如，蓝光（短波长）折射率较高，红光（长波长）折射率较低。
 - ii. 焦点位置偏移：

- A. 轴向色差（纵向色差）：不同波长的光通过透镜后，蓝光因折射率大，会聚在更靠近透镜的焦点；红光折射率小，焦点更远离透镜。这导致同一物体发出的光在光轴方向上形成多个焦点，成像模糊。
- B. 横向色差（倍率色差）：不同波长的光在成像平面上的放大率不同。例如，红光可能比蓝光成像稍大，导致物体边缘出现彩色镶边（如紫边或红边）。

2. 慧差

- (a) 原理：慧差是离轴点光源通过光学系统时，因透镜不同区域对光线的折射不对称导致的像差。
 - i. 离轴光线的折射差异：当光线从光轴外某点（离轴点）入射时，通过透镜不同环带区域（如边缘与中心）的光线折射角度不同。
 - A. 透镜边缘区域的入射角较大，折射后偏离理想成像点的程度更显著。
 - B. 中心区域的折射较接近理想路径，但边缘区域的折射光线会形成偏离主光轴的聚焦点。
 - ii. 彗星状光斑的形成：
 - A. 离轴光线经透镜不同环带折射后，无法汇聚于同一点，而是沿主光线方向形成一系列逐渐扩散的焦点。
 - B. 例如，透镜边缘的光线聚焦点离主光线更远，形成“彗尾”；中心区域光线形成“彗头”，最终成像为头部明亮、尾部渐暗的不对称光斑。
 - iii. 视场角的影响：慧差随视场角（光线与光轴的夹角）增大而加剧，在广角镜头或大孔径系统中尤为明显。

色差本质是色散导致不同颜色光的传播路径分离。

慧差本质是离轴光线因透镜区域折射差异形成的非对称像差。两者均破坏成像的清晰度和准确性，但其物理根源分别在于材料的波长依赖性和几何光学的不对称性。

1.4 预习思考题

思考题 1.1：慧差与孔径、视场的关系？

慧差的严重程度与光学系统的孔径（光束口径）和视场（光线离轴角度）密切相关，在实际光学系统中，慧差的综合影响可表示为：

$$\text{慧差} \propto (\text{孔径})^3 \times (\text{视场角})^2$$

透镜边缘区域的入射角较大，孔径越大，边缘光线与中心光线的折射差异越显著。慧差的幅度与孔径的三次方成正比（即与孔径直径的立方相关）。离轴光线偏离光轴越远，通过透镜不同区域的折射路径差异越大，导致成像点的不对称扩散更显著。慧差的幅度与视场角（光线与光轴的夹角）的平方成正比。

思考题 1.2：产生色差原因？列举几种消色差的方法

色差是由于光学材料的折射率随波长变化（色散效应）引起的像差，表现为不同颜色的光无法汇聚到同一焦点。消除方法主要有：

1. 复合透镜：组合两种不同色散特性的材料（如冕牌玻璃和火石玻璃），利用其相反的色散特性抵消色差。
2. 使用特殊材料（如萤石、ED 超低色散玻璃），其色散曲线更平缓，折射率对波长依赖性更低。
3. 通过三片或更多透镜组合（使用三种不同色散材料），将红、绿、蓝三色光的焦点对齐，进一步消除二级光谱（残余色差）。
4. 非球面表面可优化不同区域的光路，减少因球面曲率导致的色散累积效应。
5. 缩小光圈（减小有效孔径），减少边缘光线的参与，降低色散差异的影响。
6. 利用衍射光栅的色散特性与折射透镜的色散相反，抵消色差。
7. 通过图像处理算法（如 Adobe Lightroom、相机机内校正），识别并消除照片中的色差（如紫边修正）。
8. 减少透镜表面的反射损失，抑制因多次反射引起的杂散光（间接缓解色差）。

思考题 1.3：针孔滤波的工作原理

针孔滤波是一种基于空间频率选择的光学滤波技术，其核心原理是通过物理小孔对光波的传播路径或空间频率成分进行限制，从而实现噪声抑制、分辨率提升或特定模式的提取。

空间滤波：光波携带的信息包含不同方向（空间频率）的成分。针孔作为空间滤波器，通过限制光束的传播角度或截取特定区域的光场，选择性地允许某些空间频率通过，阻挡其他成分。

物理限制：小孔的直径决定了允许通过的光波的最大空间频率（即截止频率），孔径越小，截止频率越低，高频成分被阻挡。

专业：	物理学类	年级：	2023 级
姓名：	姚昊廷	学号：	22322091
室温：	22°C	实验地点：	A505 A4
学生签名：		评分：	
实验时间：	2025.3.4	教师签名：	

光学像差 I 实验记录

2.1 实验内容、步骤、结果

专业:	物理学	年级:	2023 级
姓名:	姚昊廷	学号:	22322091
日期:	2025.3.4		
评分:		教师签名:	

光学像差 I 分析与讨论

- 3.1 分析与讨论
- 3.2 实验后思考题

Appendices