浙江大学

物 理 实 验 报 告

实验名称： 棱镜偏向角特性

实验桌号： 4

指导教师： _____

班级： _____

姓名： _____

学号： _____ _____

实验日期： 2025 年 12 月 16 日 **星期** 二 **下午**

（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）

1. 实验目的与现象 本实验利用分光计测量三棱镜的顶角 A 和最小偏向角 δ_{min}，进而计算玻璃的折射率。**实验现象：**当汞灯光线通过三棱镜后，会被色散成紫、蓝、绿、黄等多色谱线。转动载物台改变入射角时，谱线在视场中并非单向移动，而是存在一个转折点（即最小偏向角位置）：当入射角增大，偏向角先减小；达到极小值后，随着入射角继续增大，偏向角反而增大。

2. 实验原理 **(1) 最小偏向角法测折射率原理推导**如图 1 所示，单色光以入射角 i_1 射入三棱镜，经两次折射后以 i_4 射出。在棱镜内部的小三角形中，由于顶角 A 与两折射面法线的夹角互补，且法线与界面的夹角为 $90°$，由几何关系可知：

$$A = i_2 + i_3 \tag{1}$$

光线的总偏向角 δ 定义为入射光线与出射光线的夹角，即两次偏折角之和：

$$\delta = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3) = i_1 + i_4 - (i_2 + i_3) = i_1 + i_4 - A \tag{2}$$

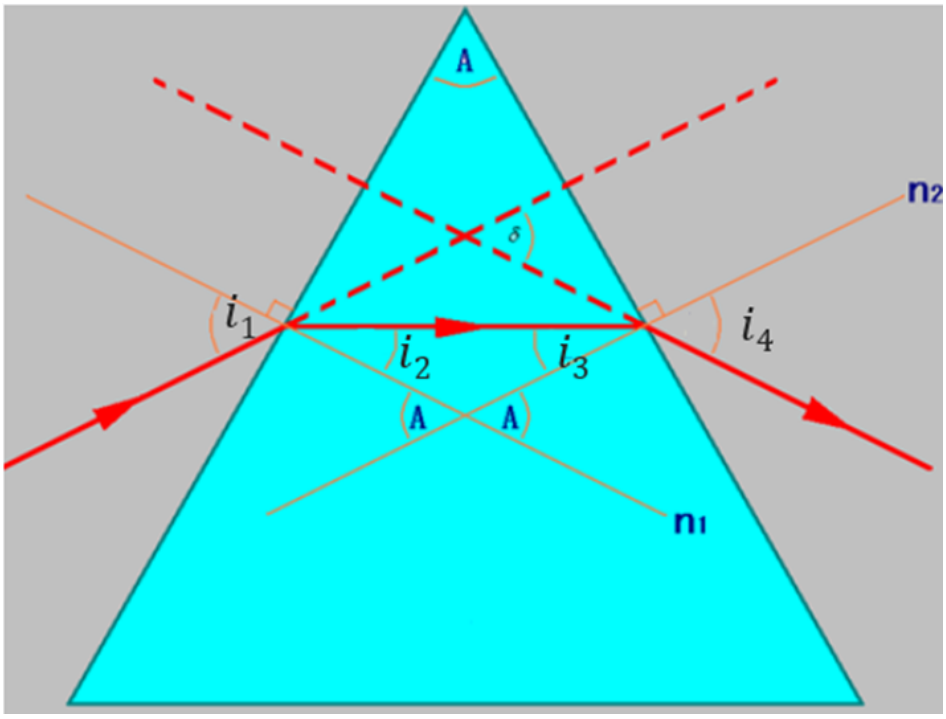


图 1: 三棱镜折射光路示意图

为了求偏向角的极小值，根据光路可逆性原理（或对 δ 求导），当光线在棱镜中对称传播时（即 $i_1 = i_4$），

偏向角 δ 达到极小值 δ_{min}。由折射定律 $n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{\sin i_4}{\sin i_3}$，当 $i_1 = i_4$ 时，必有 $i_2 = i_3$。此时可解得：

$$i_2 + i_3 = A \quad \Rightarrow \quad i_2 = \frac{A}{2} \tag{3}$$

$$i_1 + i_4 - A = \delta_{min} \quad \Rightarrow \quad 2i_1 - A = \delta_{min} \quad \Rightarrow \quad i_1 = \frac{A + \delta_{min}}{2} \tag{4}$$

将 i_1 和 i_2 代入折射定律 $n = \frac{\sin i_1}{\sin i_2}$，即得到本实验的核心计算公式：

$$n = \frac{\sin \frac{A+\delta_{min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \tag{5}$$

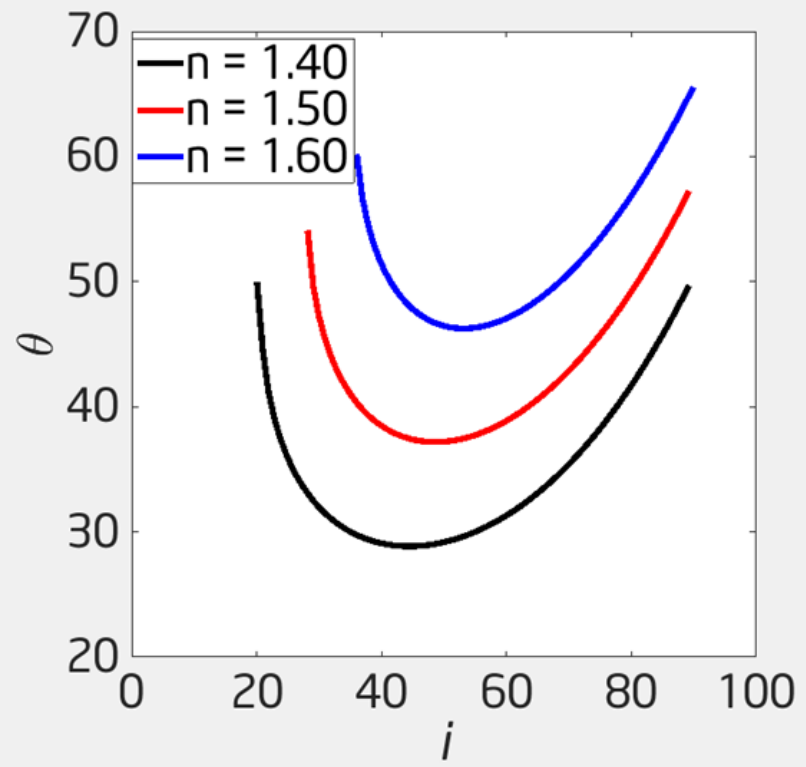


图 2: 偏向角 δ 随入射角 i_1 的变化曲线

(2) 顶角 A 的测量原理（自准直法/反射法）利用分光计的平行光管产生平行光，照射到三棱镜的两个光学面上。利用望远镜接收由光学面反射回来的光线，根据反射定律，通过测量两反射光线间的夹角或载物台转过的角度来计算顶角 A。

3. 实验方法

(1) **分光计调节：**这是实验的关键。需达到“三垂直”状态，即望远镜光轴 $\perp$ 仪器主轴，平行光管光轴 $\perp$ 仪器主轴，载物台平面 $\perp$ 仪器主轴。调节方法主要包括目镜调焦、自准直法调望远镜焦距、利用反射像调节载物台倾斜螺丝（各半调节法）。

(2) **数据测量：**

- 测顶角 A：固定望远镜，转动载物台（或固定载物台转动望远镜），使棱镜两侧面反射像依次与叉丝重合，读取角度 θ_1, θ_2。
- 测 δ_{min}：转动载物台寻找谱线移动的转折点，利用“左右读数法”消除偏心差。

2. 实验重点（3 分）

本实验的学习重点是：1. 掌握分光计的调节技巧，特别是各半调节法校正望远镜光轴与仪器主轴垂直。2. 深刻理最小偏向角的物理条件，并能在实验中准确判断光谱线移动的“逆转”时刻。3. 掌握利用双游标读数消除偏心误差的方法。

3. 实验难点（2 分）

1. **调节难度大**：分光计调节步骤繁琐，粗调（目测）与细调（自准直）需耐心配合，若粗调未到位，细调时很难在视场中找到反射像。2. **转折点捕捉**：在测量最小偏向角时，需同时操作载物台转动和望远镜跟踪，且要在谱线“将动未动”的瞬间准确读数，操作协调性要求高。

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。）

原始数据如图3所示。

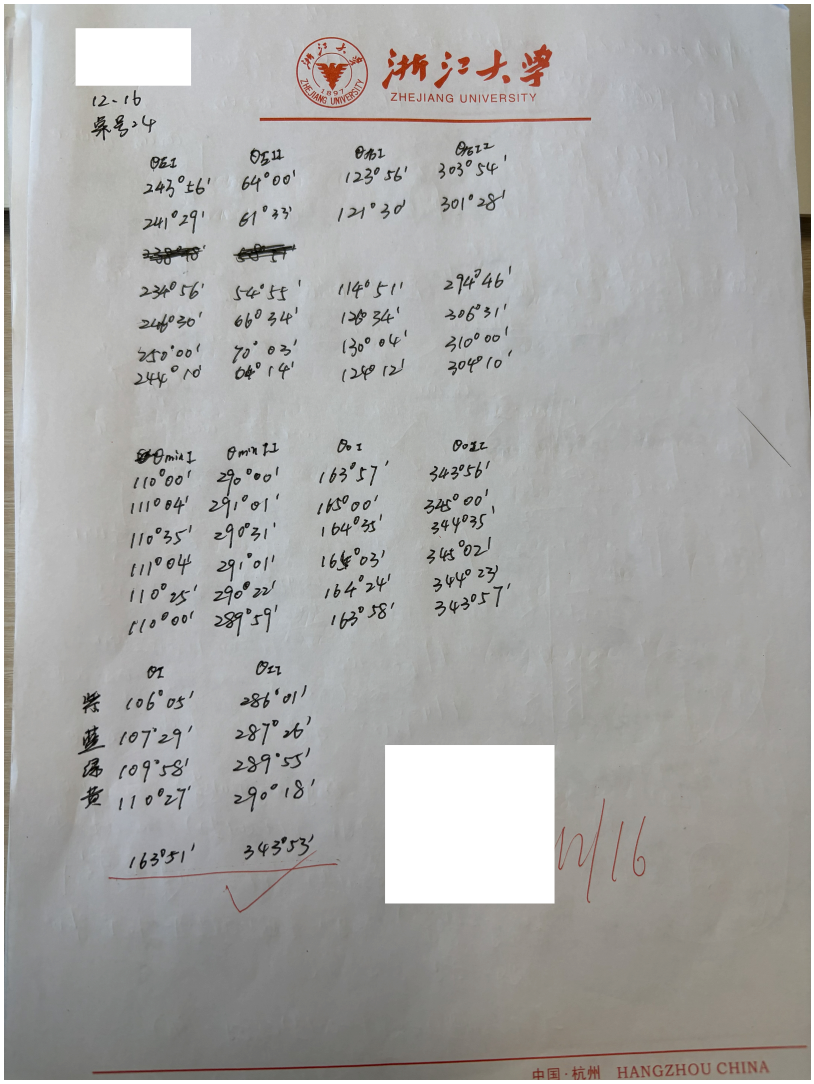


图 3: 原始数据记录

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。）
提取图3数据，得到下列表格

表 1: 分光计实验测量数据记录表（自准直法）

实验次数	方位左		方位右		$\lvert\theta_{左\,\mathrm{I}}-\theta_{右\,\mathrm{I}}\rvert$	$\lvert\theta_{左\,\mathrm{II}}-\theta_{右\,\mathrm{II}}\rvert$	$\angle A$ (取整)
	游标 I 窗 $\theta_{左\,\mathrm{I}}$	游标 II 窗 $\theta_{左\,\mathrm{II}}$	游标 I 窗 $\theta_{右\,\mathrm{I}}$	游标 II 窗 $\theta_{右\,\mathrm{II}}$			
1	243°56′	64°00′	123°56′	303°54′	120°00′	120°06′	60°02′
2	241°29′	61°33′	121°30′	301°28′	119°59′	120°05′	60°01′
3	234°56′	54°55′	114°51′	294°46′	120°05′	120°09′	60°04′
4	246°30′	66°34′	126°34′	306°31′	119°56′	120°03′	60°00′
5	250°00′	70°03′	130°04′	310°00′	119°56′	120°03′	60°00′
6	244°10′	64°14′	124°12′	304°10′	119°58′	120°04′	60°01′

$$\bar{A}=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}A_i=60°01' \tag{6}$$

表 2: 测顶三棱镜对汞灯绿光 $\lambda=546.0\mathrm{nm}$ 的最小偏向角

实验次数	θ_{min}		θ_0		$\lvert\theta_{minI}-\theta_{0I}\rvert$	$\lvert\theta_{minII}-\theta_{0II}\rvert$	δ_{min}
	I 窗	II 窗	I 窗	II 窗			
1	110°00′	290°00′	163°57′	343°56′	53°57′	53°56′	53°57′
2	111°04′	291°01′	165°00′	345°00′	53°56′	53°59′	53°58′
3	110°35′	290°31′	164°35′	344°35′	54°00′	54°04′	54°02′
4	111°04′	291°01′	165°03′	345°02′	53°59′	54°01′	54°00′
5	110°25′	290°22′	164°24′	344°23′	53°59′	54°01′	54°00′
6	110°00′	289°59′	163°58′	343°57′	53°58′	53°58′	53°58′

$$\bar{\delta}_{min}=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}\delta_i=53°59' \tag{7}$$

表 3: 不同波长光线的最小偏向角测量数据及色散曲线数据

波长 (颜色)	θ_{min}		θ_0		$\lvert\theta_{minI}-\theta_{0I}\rvert$	$\lvert\theta_{minII}-\theta_{0II}\rvert$	δ_{min}
	I 窗	II 窗	I 窗	II 窗			
404.7nm (紫)	106°05′	286°01′	163°51′	343°53′	57°46′	57°52′	57°49′
435.8nm (蓝)	107°29′	287°26′	163°51′	343°53′	56°22′	56°27′	56°25′
546.0nm (绿)	109°58′	289°55′	163°51′	343°53′	53°53′	53°58′	53°56′
577.1nm (黄)	110°27′	290°18′	163°51′	343°53′	53°24′	53°35′	53°30′

表 4: 不同波长光线的折射率计算结果（$A = 60°$）

波长 λ (nm)	最小偏向角 δ_{min}	折射率 n
404.7 (紫)	$57°49'$	1.71268
435.8 (蓝)	$56°25'$	1.69994
546.0 (绿)	$53°56'$	1.67671
577.1 (黄)	$53°30'$	1.67257

色散曲线拟合结果：

利用 Python 程序对上述折射率数据进行非线性拟合，采用三项柯西公式 $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$，得到的参数结果如下：

$$A = 1.65103$$

$$B = 4.4980 \times 10^3\ \text{nm}^2$$

$$C = 9.1507 \times 10^8\ \text{nm}^4$$

利用计算机辅助作图，结果如图4所示

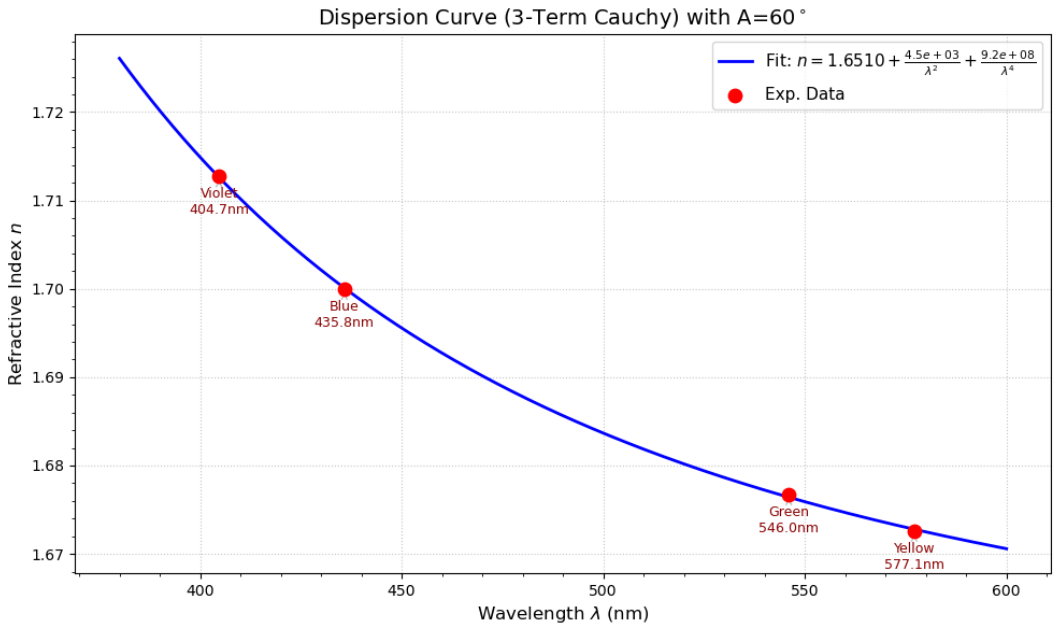


图 4: $n - \lambda$ 拟合图像

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) 三棱镜顶角 A 的不确定度评估

A 类标准不确定度：

$$u_A(A) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(A_i - \bar{A})^2}{6(6-1)}} \approx 0.61' \tag{8}$$

B 类标准不确定度：

$$u_B(A) = \frac{\Delta_{inst}}{\sqrt{3}} = \frac{1'}{\sqrt{3}} \approx 0.58' \tag{9}$$

合成标准不确定度：

$$u_c(A) = \sqrt{u_A^2(A) + u_B^2(A)} = \sqrt{0.61'^2 + 0.58'^2} \approx 0.84 \approx 1' \tag{10}$$

相对不确定度：

$$U_r(A) = \frac{u_c(A)}{\bar{A}} \times 100\% = \frac{0.84'}{3601.33'} \times 100\% \approx 0.02\% \tag{11}$$

$$A = \bar{A} \pm u_c(A) = 60^\circ 01' \pm 1'$$

(2) 最小偏向角 δ_{min} (绿光) 的不确定度评估

A 类标准不确定度：

$$u_A(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}(\delta_i - \bar{\delta})^2}{6(6-1)}} \approx 0.75' \tag{12}$$

B 类标准不确定度：

$$u_B(\delta) = \frac{1'}{\sqrt{3}} \approx 0.58' \tag{13}$$

合成标准不确定度：

$$u_c(\delta) = \sqrt{u_A^2(\delta) + u_B^2(\delta)} = \sqrt{0.75'^2 + 0.58'^2} \approx 0.95 \approx 1' \tag{14}$$

相对不确定度：

$$U_r(\delta) = \frac{u_c(\delta)}{\bar{\delta}} \times 100\% = \frac{0.95'}{3239.17'} \times 100\% \approx 0.03\% \tag{15}$$

$$\delta_{min} = 53^\circ 59' \pm 1'$$

本实验对三棱镜顶角 A 和绿光最小偏向角 δ_{min} 的测量结果合成标准不确定度均约为 $1'$，相对不确定度较低（约 0.03%），说明测量具有较高的可靠性。实验误差主要来源于三个方面：首先是仪器调节的残留几何误差，由于载物台难以达到绝对水平，导致实际光路与理论主截面存在微小偏离；其次是最小偏向角判断的不灵敏性，因偏向角随入射角变化曲线在极值点附近（导数为零处）非常平缓，使得肉眼难以精确捕捉谱线转折的唯一点；最后是读数装置的分辨率限制，人眼在判断双游标刻线“刚好对齐”时不可避免地存在主观性与视差，引入了随机误差。

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。）

本实验对上一次" 分光计的调整和使用" 实验进行了一次巩固，成功测量了玻璃三棱镜的折射率，结果表明该材料对短波长（紫光）折射率大，长波长（黄光）折射率小，符合正常色散规律（$dn/d\lambda < 0$）。实验中发现，最小偏向角的确定是难点，需反复微调载物台。此外，分光计调节至“三垂直”状态是确保数据精度的前提。

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. 测量时如何识别最小偏向角 δ_{min} 的位置？

答：识别方法利用了光谱线移动的“折返”特性。具体步骤如下：在望远镜视场中找到某一特定的单色光谱线（如绿线）后，朝单一方向缓慢转动载物台（改变入射角），同时转动望远镜跟踪该谱线。起初，随着入射角的改变，偏向角减小，谱线向顶角 A 的方向移动；当载物台转动到某一特定角度时，会观察到谱线移动速度减慢，直至在视场中短暂“停滞”，随后若继续向同方向转动载物台，谱线将反向移动（即偏向角开始变大）。这个谱线移动方向发生逆转的“折返点”（拐点），即为最小偏向角 δ_{min} 所在的位置。

2. 设计一种测量三棱镜折射率的方法。

答：本实验采用最经典的**“最小偏向角法”**进行测量。方案设计如下：

(1) **仪器调节：**首先调节分光计达到“三垂直”状态（望远镜、平行光管光轴与仪器主轴垂直，载物台平面与主轴垂直）。

(2) **测量顶角 A：**利用自准直法（或反射法），固定望远镜，转动载物台，测出三棱镜顶角 A。

(3) **测量最小偏向角 δ_{min}：**针对待测波长的单色光（如汞灯绿光），转动载物台找到光谱线的折返点，利用分光计左右游标读数，测得该波长的最小偏向角 δ_{min}。

(4) **计算折射率：**根据几何光学推导的公式计算折射率：

$$n = \frac{\sin\frac{A+\delta_{min}}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

注意事项：

1. 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。
2. “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