

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： 14

指导教师： 谢东洋

班级： 机器人工程 2402

姓名： 毛挺

学号： 3240104043

实验日期: 2025年 11 月12 日星期三 上午

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告

1.1 实验综述

(自述实验现象、实验原理和实验方法, 不超过 500 字, 5 分)

三棱镜顶角测量原理:

三棱镜测量原理在“分光计调整与使用”实验中学习, $\angle A = \frac{|t_{左I} - t_{右I}| + |t_{左II} - t_{右II}|}{4}$

自最小偏向角原理:

如图所示, 旋转载物台, 使光学面 AC 与平行光管射来的光垂直, 平行光管发出的平行光射向三棱镜的光学面 AB, 经三棱镜光学面 AC 折射出来, 望远镜从毛玻璃面 BC 底边出发, 逆时针方向旋转, 就会看到清晰的汞色单色系列光, 说明已经找到折射光路。此时再转动载物台, 观察该汞单色偏向角的变化, 如果向左移动, 偏向角 δ 变小, 继续慢慢转动载物台直到汞单色光到达某一位置时突然向左转动, 使偏向角 δ 变大, 此转折点即为该单色光的最小偏向角位置。把望远镜对准这个转折位置, 并记录此时分光计两游标的读数为 θ_{minI} 和 θ_{minII} , 然后移去三棱镜, 使望远镜对准入射光 (平行光管位置), 读取两游标的读数为 θ_{0I} 和 θ_{0II} , 则最小偏向角为 $\delta_{min} = \frac{1}{2}(|\theta_{minI} - \theta_{0I}| + |\theta_{minII} - \theta_{0II}|)$ 。

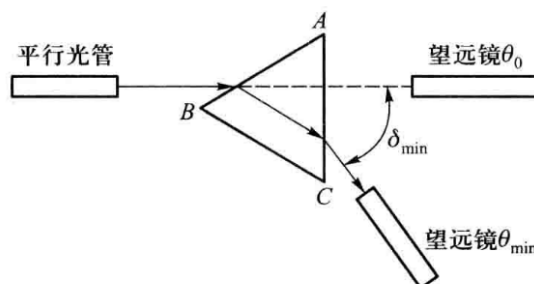


图 5-7-2

图 1: 最小偏向角原理

折射率测量原理:

一平行的单色光从三棱镜的一个光学面 AB 入射, 经折射后从另一个光学面 AC 射出, 如右图所示。入射光和 AB 面法线的夹角为入射角 i , 出射光和 AC 面法线的夹角为出射角 i' , 入射光和出射光的夹角 δ 就是偏向角。由几何关系知, $\delta = (i - r) + (i' - r')$, 当 $i = i'$ 时, 由折射定律有 $r = r'$, 得 $\delta_{min} = 2(i - r)$ 。

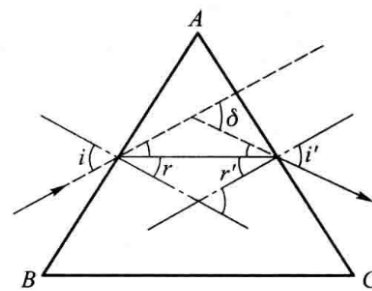


图 5-7-3

图 2: 折射率测量光路图

又因为 $r + r' = 2r = \pi - (\pi - \angle A) = \angle A$

所以

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

因此，只要测出三棱镜顶角 A 和汞灯单色光入射的最小偏向角 δ_{min} ，就可计算出三棱镜对该单色入射光的折射率。

分光计的调整：

按照“分光计的调整与使用”实验中的操作步骤，完成对分光计的调整。

反射法测量三棱镜顶角：

按照“分光计的调整与使用”实验中的操作步骤，使用反射法完成对三棱镜顶角的测量。

测定三棱镜对汞灯单色光 $\lambda = 546.0nm$ （绿光）的最小偏向角

按要求放置好三棱镜，转动载物台，改变入射角，获得最小偏向角，记录分光计两游标的读数为 θ_{minI} 和 θ_{minII} ，然后移去三棱镜，望远镜对准入射光（平行光管位置），读取游标的读数为 θ_{0I} 和 θ_{0II} ，代入 $\delta_{min} = \frac{1}{2}(|\theta_{minI} - \theta_{0I}| + |\theta_{minII} - \theta_{0II}|)$ 计算出最小偏向角。

计算三棱镜对各单色光的折射率以及绘制色散曲线：

分别测量各单色光的最小偏向角，利用已经测出的三棱镜顶角值，即可由 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A+\delta_{min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ 计算出棱镜对各单色光的折射率，制作 $n - \lambda$ 关系曲线（色散曲线）。

1.2 实验重点

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分）

1. 进一步熟悉分光计的调整方法；
2. 测量三棱镜顶角，观察汞灯色散现象；
3. 掌握最小偏向角的测量方法；
4. 测定棱镜玻璃对汞灯各单色光的折射率。

1.3 实验难点

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分）

1. 分光计调平要求高，载物台难完全水平，影响光路精度；
2. 最小偏向角转折点光线移动缓，主观判断易有偏差；
3. 刻度盘读数时，游标与刻度线对齐的判断存在主观性误差；
4. 三棱镜的顶角应接近平台中心偏上的位置，否则难观察反射光，影响顶角测量。

二、原始数据

（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，20 分）

测量三棱镜顶角:

日期 2024.10.4043

桌号:14 棱镜号:13

实验次数	左		右		$\varphi_1 = O_{左I} - O_{右I} $	$\varphi_2 = O_{左II} - O_{右II} $	$\varphi = \frac{1}{2}(\varphi_1 + \varphi_2)$
	$O_{左I}$	$O_{左II}$	$O_{右I}$	$O_{右II}$			
1	319°16'	138°15'	159°32'	18°20'	119°44'	119°55'	119°50'
2	311°43'	131°59'	192°1'	12°2'	119°42'	119°57'	119°50'
3	317°10'	137°26'	197°24'	17°30'	119°46'	119°56'	119°51'
4	296°48'	96°47'	177°31'	336°49'	119°45'	119°58'	119°52'
5	253°48'	73°51'	133°51'	315°53'	119°57'	119°58'	119°58'
6	274°32'	94°29'	154°33'	334°43'	119°51'	119°46'	119°53'

实验次数	φ_{min}		φ_0		J_{min}
	游标1 φ_1	游标2 φ_2	游标1 φ_{10}	游标2 φ_{20}	
1	45°46'	225°46'	354°15'	174°16'	51°29'30"
2	37°47'	217°45'	345°12'	165°15'	51°32'30"
3	42°46'	222°40'	351°7'	171°8'	51°35'30"
4	42°32'	222°31'	350°55'	170°58'	51°35'
5	44°51'	224°48'	353°16'	173°19'	51°32'
6	43°17'	223°13'	351°41'	171°44'	51°32'30"
黄光	36°59'	216°51'	345°12'	165°15'	51°16'30"
蓝光	51°9'	231°5'	357°28'	117°27'	53°39'30"
紫光	52°15'	232°13'	357°28'	117°27'	54°46'30"

谢东洋

2025.11.12

图 3: 实验数据

三、结果与分析

3.1 数据处理与结果

(列出数据表格、选择数据处理方法、给定测量或计算结果, 30 分)

对于绿光偏向角数据处理:

$$\begin{aligned}U_{A\text{绿}} &= \sqrt{\frac{1}{6(6-1)} \sum_{i=1}^n (\delta_{\min_i} - \overline{\delta_{\min}})^2} = 0.01608^\circ \\U_{B\text{绿}} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1'}{60} = 0.00962^\circ \\ \therefore U_{\text{绿}} &= \sqrt{U_{A\text{绿}}^2 + U_{B\text{绿}}^2} = 0.018735^\circ \approx 1'7'' \\ \therefore \delta_{\text{绿}} &= 51^\circ 33' 50'' \pm 1'7''\end{aligned}$$

对于绿光折射率数据处理:

各次测量下的绿光折射率由公式 $n = \frac{\sin \frac{A+\delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ 计算得出

$$\begin{aligned}\overline{n_{\text{绿}}} &= \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 n_i = 1.65543 \\u_n &= \sqrt{\frac{1}{6(6-1)} \sum_{i=1}^n (n_i - \overline{n})^2} = 4.72 \times 10^{-5} \\ \therefore n_{\text{绿}} &= 1.65543 \pm 5 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

列出不同单色光与 δ 与 λ 随 λ 变化关系表格:

波长 /nm	$\angle A$	δ_{\min}	折射率 n
577.1 (黄光)	60°	$51^\circ 16' 30''$	1.6520
546.0 (绿光)	60°	$51^\circ 33' 50''$	1.6544
435.8 (蓝光)	60°	$53^\circ 39' 30''$	1.6734
404.7 (紫光)	60°	$54^\circ 46' 30''$	1.6846

绘制色散曲线 ($n - \lambda$ 曲线), 并用色散经验公式拟合得到下图:

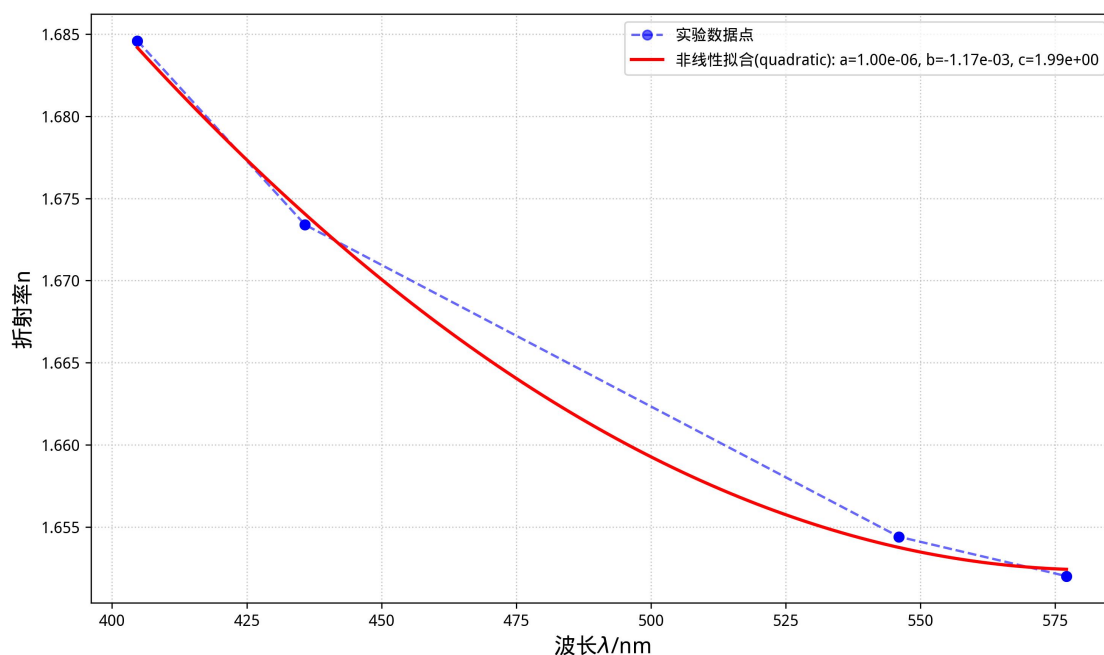


图 4: 拟合 $n - \lambda$ 曲线

3.2 误差分析

(运用测量误差、相对误差、不确定度等分析实验结果, 20 分)

1. 载物台难以完全调平, 使光路与理论光路产生了一定偏差, 对最终结果带来影响;
2. 在寻找最小偏向角的过程中, 光线在转折点附近移动很缓慢, 人的主观性对最小偏向角位置的选取存在影响;
3. 在刻度盘上读数时, 判断游标与刻度线对齐时存在主观性, 产生读数误差。

以上误差总体较小, 实验结果中, 计算得出的不确定度仅为 $1'7''$, 本实验结果较为精确。

3.3 实验探讨

(对实验内容、现象和过程的小结, 不超过 100 字, 10 分)

通过本次实验, 我熟练掌握了分光计调整、三棱镜顶角与最小偏向角测量及折射率计算方法。实验中, 精准调平分光计、找准最小偏向角转折点是关键, 需耐心细致操作。这让我体会到, 物理实验的精度依赖规范操作与严谨态度, 主观判断易引入误差, 需多次测量减小偏差。同时, 色散曲线的绘制让我直观理解了折射率与波长的关系, 深化了对光学原理的认知, 也提升了数据处理与分析能力。

四、思考题

(解答教材或讲义或老师布置的思考题, 10 分)

光线经三棱镜折射时, 出射角 i' 与入射角 i 满足什么关系时, 偏向角 δ 有最小值, 写出证明过程。

证明:

假设三棱镜截面是等边三角形, 由斯涅耳定律:

$$n \sin r_1 = \sin i_1 \quad n \sin r_2 = \sin i_2$$

由几何关系,

$$A = r_1 + r_2$$

$$\delta = i_1 + i_2 - A = \arcsin(n \sin r_1) + \arcsin(n \sin(A - r_1)) - A$$

对 r_1 求导:

$$\begin{aligned} \frac{d\delta}{dr_1} &= \frac{n \cos r_1}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 r_1}} + \frac{-n \cos(A - r_1)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(A - r_1)}} \\ &= \sqrt{\frac{n^2 - n^2 \sin^2 r_1}{1 - n^2 \sin^2 r_1}} - \sqrt{\frac{n^2 - n^2 \sin^2(A - r_1)}{1 - n^2 \sin^2(A - r_1)}} \\ &\triangleq f(r_1) - f(A - r_1) \end{aligned}$$

由函数性质可知, $f(r)$ 单调递增, 所以 $\triangleq f(r_1) - f(A - r_1)$ 单调递增。

当 $\frac{d\delta}{dr_1} = 0$ 时, $f(r_1) = f(A - r_1)$, 即 $r_1 = A - r_1$, 故 $r_1 = r_2 = \frac{A}{2}$ 。

此时 $i_1 = i_2 = \arcsin(n \sin \frac{A}{2})$, 偏向角 $\delta_{min} = 2 \arcsin(n \sin \frac{A}{2})$, 即偏向角取得最小值。

证毕。

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”的本课程的对应实验项目的“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，教学评价必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