

基础物理 实验报告
分光计的调节和掠入法测折射率

姓名：仇是
学院：北京大学物理学院
学号：2200011630
分组：周二、第七组
日期：2023年10月24日
指导老师：

一、数据处理

1.1 测定玻璃三棱镜顶角.

[原理]: # 实验室所用分光计允差 $e = 1' = (\frac{1}{60})^\circ = \frac{\pi}{10800}$ (A)

(书中). 调节分光计, 使其主截面与仪器转轴垂直.

先后使望远镜与三棱镜顶角相关的两个侧面垂直.

(读数规则) # 调节望远镜光轴与 AB 面垂直时, 记左右游标读数分别为 θ_{1l} 、 θ_{1r} .

调节望远镜光轴与 AC 面垂直时, 记左右游标读数分别为 θ_{2l} 、 θ_{2r} .

每组 θ_{1l} 、 θ_{1r} 、 θ_{2l} 、 θ_{2r} 测量 3 次.

原始数据如下表所示:

表 1 - 测定顶角 A 原始数据表

n/次	θ_{1l}	θ_{1r}	θ_{2l}	θ_{2r}	Φ	A
1						
2						
3						

[推导 & 计算]

θ_{2r} 数据应加上 360° , 由于其已多转一周.

$$\text{记 } \Phi = \frac{1}{2} \times [(\theta_{2l} - \theta_{1l}) + (360^\circ + \theta_{2r} - \theta_{1r})] \quad \dots\dots (f_{1-1})$$

$$\text{则显然地, } A = 180^\circ - \Phi \quad \dots\dots (f_{1-2})$$

由 (f_{1-2}) 有: $A =$

$$\text{我们取平均值有: } \bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \quad \dots\dots (f_{1-3})$$

由 (f_{1-3}) 有: $\bar{A} =$

// 以下计算误差值:

$$\text{顶角均值的标准差为: } \sigma_{\bar{A}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{6}} \quad \dots\dots (f_{1-4})$$

由 (f_{1-4}) 有: $\sigma_{\bar{A}} =$

考虑分光计允差 (P_2 , ($\times 2$) 处) 后,

顶角测量值不确定度 $\sigma_A = \sqrt{\sigma_A^2 + \left(\frac{e}{f}\right)^2} \quad \dots (f_{1.5})$

由 ($f_{1.5}$) 有: $\sigma_A =$

故 顶角的测量值为:

$A \pm \sigma_A = \quad \dots (\text{Output} - 1)$

1.2 用掠入法测定三棱镜折射率

[原理] 将钠光灯大致摆放于 AB 光面的延长线上,

在出射光方向可见到一条较为清晰的明暗分界线.

将望远镜 PP' 线对准分界线明侧, 分别记左右游标读数为 θ_{3L} , θ_{3R} .

转动望远镜至 AC 面法线位置, 分别记左右游标读数为 θ_{4L} , θ_{4R} .

每组 θ_{3L} , θ_{3R} , θ_{4L} , θ_{4R} 测量 3 次.

原始数据如下表所示:

表 2 - 掠入法测定出射极限角 φ 原始数据表.

n/次	θ_{3L}	θ_{3R}	θ_{4L}	θ_{4R}	φ
1					
2					
3					

[推导 & 计算]

出射极限角 $\varphi = \frac{1}{2} \times [(\theta_{3L} - \theta_{4L}) + (\theta_{3R} - \theta_{4R})] \quad \dots (f_{2-1})$

取平均值, 有: $\bar{\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3}{3} \quad \dots (f_{2-2})$

由 (f₂₋₂) 有: $\bar{\varphi} =$

// 以下计算误差值:

出射极限角平均值标准差为: $\sigma_{\bar{\varphi}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{6}} \quad \dots (f_{2-3})$

由 (f₂₋₃) 有: $\sigma_{\bar{\varphi}} =$

考虑分贝计允差 (ref. P₂ (x₂) 处) 后, 出射极限角测量值的不确定度

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\sigma_{\bar{\varphi}}^2 + \left(\frac{e}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad \dots (f_{2-4})$$

由 (f₂₋₄) 有: $\sigma_{\varphi} =$

故出射极限角的测量值为:

$$\varphi \pm \sigma_{\varphi} = \quad \dots (\text{Output_2(1)})$$

由此可得, 三棱镜折射率为:

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \varphi}{\sin A}\right)^2} = \quad \dots (\text{Output_2(2)})$$

// 折射率不确定度计算.

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial A} \times \sigma_A\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \varphi} \times \sigma_{\varphi}\right)^2} \\ &= \frac{\cos A + \sin \varphi}{\sin^2 A \times \sqrt{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \varphi}{\sin A}\right)^2}} \times \sqrt{\left(\frac{1 + \cos A \sin \varphi}{\sin A} \times \sigma_A\right)^2 + (\cos \varphi \times \sigma_{\varphi})^2} \quad \dots (f_{2-5}) \end{aligned}$$

由 (f₂₋₅) 有: $\sigma_n =$

故折射率: $n \pm \sigma_n =$

$\dots (\text{Output_2})$

1.3 用最小偏向角法测定三棱镜折射率

[原理] 钠灯调绿色谱线 ($\lambda = 546.1 \text{ nm}$), 测量此时的最小偏向角.

在最小偏向角处, 将望远镜 PP' 线对准绿色谱线, 记录左右游标读数分别为 θ_{sl}, θ_{sr} .

将刻度盘拧紧固定, 转动望远镜使 PP' 线对准光源白色狭缝相, 记录左右游标读数分别为 θ_{bl}, θ_{br} .

每组 $\theta_{sl}, \theta_{sr}, \theta_{bl}, \theta_{br}$ 测量 3 次.

原始数据如下表所示:

表 3 - 测定最小偏向角 δ_m 的原始数据表

$n/\text{次}$	θ_{sl}	θ_{sr}	θ_{bl}	θ_{br}	δ_m
1					
2					
3					

[计算 & 推导]

首先,
$$\delta_m = \frac{1}{2} \times [(\theta_{bl} - \theta_{sl}) + (\theta_{br} - \theta_{sr})] \quad \dots (f_{3-1})$$

取平均值:
$$\bar{\delta}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{m_i} = \frac{\delta_{m_1} + \delta_{m_2} + \delta_{m_3}}{3} \quad \dots (f_{3-2})$$

由 (f_{3-2}) , 有: $\bar{\delta}_m =$

最小偏向角平均值的标准差为:

$$\sigma_{\bar{\delta}_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{m_i} - \bar{\delta}_m)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{m_i} - \bar{\delta}_m)^2}{6}} \quad \dots (f_{3-3})$$

由 (f_{3-3}) , 有: $\sigma_{\bar{\delta}_m} =$

考虑仪器允差 (即 $B_{1/2}$ 处) 后, 测量值不确定度为,

$$\sigma_{\delta_m} = \sqrt{\sigma_{\delta_m}^2 + \left(\frac{e}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad \text{--- (f}_{\frac{3}{2}-4})$$

由(f₃₋₄), 有: $\sigma_{\delta_m} =$

故出射角的测量结果为,

$$\delta_m \pm \sigma_{\delta_m} = \quad \text{--- (Output - 3(1))}$$

由此, 三棱镜对钠灯光的折射率为:

$$n' = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \quad \text{--- (Output - 3(2))}$$

而折射率不确定度为:

$$\begin{aligned} \sigma_{n'} &= \sqrt{\left(\frac{\partial n'}{\partial A} \times \sigma_A\right)^2 + \left(\frac{\partial n'}{\partial \delta_m} \times \sigma_{\delta_m}\right)^2} \\ &= \frac{1}{2 \cdot \sin \frac{A}{2}} \times \sqrt{\left(\frac{\sin \frac{\delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \times \sigma_A\right)^2 + \left(\cos \frac{A + \delta_m}{2} \times \sigma_{\delta_m}\right)^2} = \quad \text{--- (Output 3(3))} \end{aligned}$$

$$\text{故折射率为: } n' \pm \sigma_{n'} = \quad \text{--- (Output - 3)}$$

2 分析与讨论

2.1 实验中测量误差来源.

- ① 进行读数时, 刻线密集, 如果没有确保从正上方读数就会产生误差.
- ② 分光计调节存在一定偏差. (首先来自个人机器) 本人使用的分光计螺丝有一定松动, 无法准确固定; 望远镜主轴与转轴不能保证严格垂直 (这点可辅助解决, 见[3.感想]). 同理, 三棱镜主截面与仪器转轴也不能保证严格垂直. 这些属于系统误差.
- ③ 调焦时, "+"字反射像与刻线间可能产生视差, 使调节出现偏差.
- ④ 绿"+"字像本身存在一定宽度, 其与刻线重合时会有一定误差.

#2.2 误差影响因素. 影响度比较.

在[实验1-2]掠入法测量时. 分别计算有:

$$\left| \frac{\partial n}{\partial A} \times \sigma_A \right| = \quad ; \quad \left| \frac{\partial n}{\partial \varphi} \times \sigma_\varphi \right| =$$

在加权平均中可见误差主要源于顶角误差.

在[实验1-3]最小偏向角法测量时. 同理

$$\left| \frac{\partial n'}{\partial A} \times \sigma_A \right| = \quad ; \quad \left| \frac{\partial n'}{\partial \delta_m} \times \sigma_{\delta_m} \right| =$$

可见仍然是顶角误差大.

在[2-1]的讨论中. 计算最大误差影响度:

(1) ①读数 \rightarrow 偏差 \leq 1个最小刻度(分度). 而记其为 $\Delta\delta$

$$\frac{\Delta\delta}{\sigma_{\delta_m}} \ll 1 \quad ; \quad \frac{\Delta\delta}{\Delta\sigma_A} \ll 1 \quad \text{可忽略}$$

② 不能保证严格垂直. 用自带量角器测得 $\Delta\delta' \ll 1^\circ$

估算得 $\Delta\delta'$ 的影响亦不大.

③ 绿“+”字宽度 $d \ll 1\text{mm}$; 其次, 考虑每次以上边缘对齐.

即可进一步减小误差.

综上. 顶角测量误差的贡献相对最大.

3 收获与感想.

首先. 在调节分光计. 尤其是对焦. 调垂直时遇到诸多棘手问题. 包括但不限于: 无法严格控制仪器转轴与望远镜主轴严格垂直. 读数偏差. 调焦时产生视

视差等。后学会利用身边器具简便校准，如用量角器、直尺辅助调垂直等。

计算数据时发现顶角测量值一项的误差贡献最大，但量级也仅有 $(10^{-2})^{\circ}$ ，相对其他实验可知光学实验的误差要小得多，故测量时要尽量减小各类误差，确保精确。

本实验中读出 θ_{ir} 与 θ_{el} 在一定程度上通过相减而消除了分划的偏心差。