

【实验目的】

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某单色光的折射率

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 反射法测量三棱镜顶角

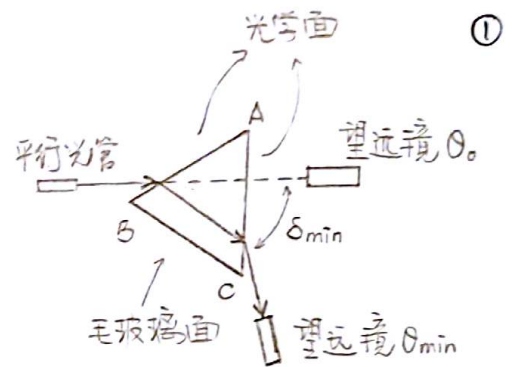
原理在“分光计的调整与使用”实验中已经介绍。

$$\text{三棱镜顶角 } \angle A = \frac{|\angle_{\text{左I}} - \angle_{\text{右I}}| + |\angle_{\text{左II}} - \angle_{\text{右II}}|}{4}$$

2. 最小偏向角测量原理

如右图, 不放三棱镜时用望远镜观察入射光线,

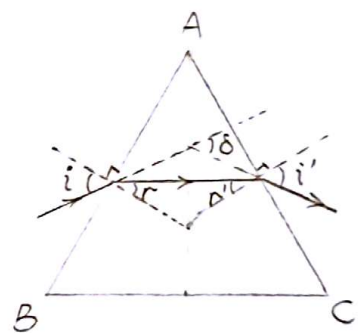
读取读数游标窗口数据为 $\theta_{0I}, \theta_{0II}$ 。



将三棱镜如右图所示放置, 使入射光线 (平行光管射出的平行光) 在光学面 AB 射入, 在光学面 AC 射出。望远镜从毛玻璃面 BC 底边出发, 沿逆时针方向旋转, 找到清晰的汞单色光, 说明已经找到了折射光路。此时转动载物平台, 至汞单色光在某一位置突然向反向移动, 此处即为该单色光最小偏向角的位置。记录下此时的

分光计读数 $\theta_{\text{minI}}, \theta_{\text{minII}}$ 。

$$\text{则最小偏向角为: } \delta_{\text{min}} = \frac{1}{2} (|\theta_{\text{minI}} - \theta_{0I}| + |\theta_{\text{minII}} - \theta_{0II}|)$$



3. 折射率测量原理

如右上图, 光线入射后在光学面 AB、AC 分别发生折射, 在 AC 面折射出。

$$\text{有 } \delta = (i - r) + (i' - r'), \text{ 当 } i = i' \text{ 时有 } r' = r', \text{ 故 } \delta_{\text{min}} = 2(i - r) \quad (3)$$

$$\text{又 } r + r' = 2r = \angle A, \text{ 因此 } r = \frac{1}{2} \angle A \quad (4)$$

$$\text{由 } (3)(4) \text{ 有 } i = \frac{1}{2} (\angle A + \delta_{\text{min}}) \quad (5)$$

$$\text{因此折射率 } n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{\angle A + \delta_{\text{min}}}{2}}{\sin \frac{\angle A}{2}} \quad (6)$$

【实验内容】（重点说明）

1. 分光计的调整

步骤已在“分光计的调整与使用”实验中学习。

2. 反射法测量三棱镜顶角

同上。填写表1（见[数据处理]）

3. 测定三棱镜对汞单色光 $\lambda = 546.0 \text{ nm}$ （绿光）的最小偏向角

如[实验原理]2.中放置三棱镜，转动载物台，改变入射角，获得最小偏向角，记录 $\theta_{\min I}$ 和 $\theta_{\min II}$ ；然后移去三棱镜，读取 θ_{0I} 和 θ_{0II} ，代入②式

$$\delta_{\min} = \frac{1}{2} (|\theta_{\min I} - \theta_{0I}| + |\theta_{\min II} - \theta_{0II}|)$$

计算出最小偏向角，填写表2。

4. 计算三棱镜汞灯各单色光的折射率以及绘制色散曲线

分别测量 $\lambda = 404.7 \text{ nm}$ （紫）、 $\lambda = 435.8 \text{ nm}$ （蓝）、 $\lambda = 546.0 \text{ nm}$ （绿）、

$\lambda = 577.1 \text{ nm}$ （黄）单色光的 δ_{\min} ，由⑥式

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

计算三棱镜对其的折射率，填写表3，并绘制 $n - \lambda$ 关系曲线。

【实验器材及注意事项】

实验器材：汞灯、三棱镜、分光计

注意事项：① 三棱镜易碎，应轻拿轻放

② 反射法测量三棱镜顶角时，三棱镜的顶角应在平台中心偏上防止看不到反射光

③ 应将狭缝宽度调节为 1 mm 左右以减小误差，同时保证亮度足够用于观测

【数据处理与结果】

表 1 反射法测三棱镜顶角

实验次数	左		右		$\angle A = \frac{1}{4}(\angle_{左I} - \angle_{右I} + \angle_{左II} - \angle_{右II})$
	I 窗	II 窗	I 窗	II 窗	
1	71°2'	251°2'	331°7'	131°1'	59°59'
2	98°51'	276°50'	338°58'	158°51'	59°58'
3	127°7'	307°10'	7°12'	187°9'	59°59'
4	105°12'	285°13'	345°14'	165°8'	60°1'
5	67°53'	247°52'	307°57'	127°51'	60°0'
6	86°31'	266°32'	326°32'	146°25'	60°2'

测量结果为:

$$\overline{\angle A} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \angle A_i = 60^{\circ}0'$$

表 2 三棱镜对汞单色光 $\lambda=546.0 \text{ nm}$ 的最小偏向角

实验次数	$\theta_{min I}$	$\theta_{min II}$	$\theta_{0 I}$	$\theta_{0 II}$	$ \theta_{min I} - \theta_{0 I} $	$ \theta_{min II} - \theta_{0 II} $	δ_{min}
1	197°29'	17°32'	143°33'	323°34'	53°56'	53°58'	53°57'
2	197°30'	17°33'			53°57'	53°59'	53°58'
3	197°30'	17°33'			53°57'	53°59'	53°58'
4	197°30'	17°33'			53°57'	53°59'	53°58'
5	197°30'	17°33'			53°57'	53°59'	53°58'
6	197°31'	17°34'			53°58'	54°0'	53°59'

测量结果为:

$$\overline{\delta_{min}} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \delta_{min i} = 53^{\circ}58'$$

表 3 三棱镜对汞灯各单色光的最小偏向角和折射率

波长 λ/nm	$\angle A$	δ_{min}	$n = \frac{\sin \frac{\angle A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{\angle A}{2}}$
404.7 (紫)	60°0'	57°29'	1.710
435.8 (蓝)		55°51'	1.695
546.0 (绿)		53°58'	1.677
577.1 (黄)		53°35'	1.673

由柯西色散公式

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

用 MATLAB 拟合得:

Linear model:

myfit(x) = a + b*(x^-2) + c*(x^-4)

Coefficients (with 95% confidence bounds):

a = 1.681 (1.42, 1.943)

b = -9396 (-1.345e+05, 1.157e+05)

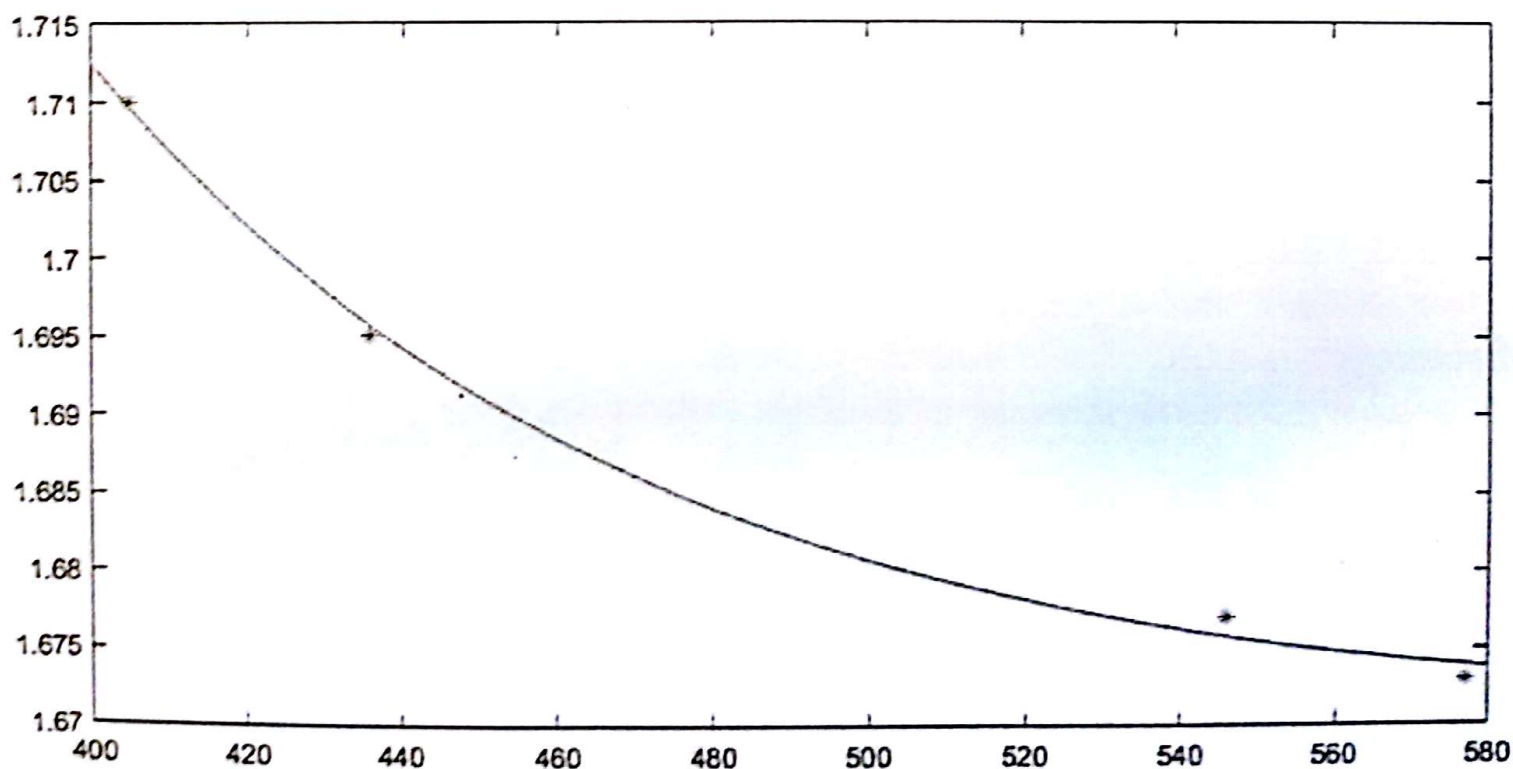
c = 2.297e+09 (-1.153e+10, 1.613e+10)

即,

$$n = 1.681 + \frac{9396 \text{ nm}^2}{\lambda^2} + \frac{2.297 \times 10^9 \text{ nm}^4}{\lambda^4}$$

绘制色散曲线如下:

图 4 n-λ 关系曲线



【误差分析】

1. 最核心的误差来源于难以寻找确切的最小偏向角。

如右图所示, 我们须在光线的转折点 B 处读取数据, 但实际上转动载物台时很难保证光线恰好停在 B 处, 导致 δ_{\min} 测量略偏大。



2. 实验过程中发现, 细微转动望远镜时, 游标盘并未随之转动, 这是由于望远镜与转座、刻度盘间固定不紧导致的, 这会使得望远镜、转座、刻度盘在一定范围内松动, 导致测量不准。

3. 光线有约 1mm 的宽度, 这会带来一定误差。

【实验心得及思考题】

思考题 1.

如 [实验原理] 所示, 如右图开始旋转望远镜, 直至看到汞单色光线。

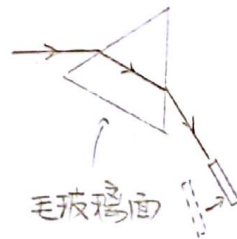


图 1

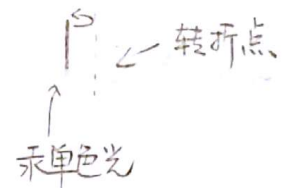


图 2

转动载物平台, 同时望远镜随之旋转,

如右图 2, 发现转折点时, 此处即为 δ_{\min} 的位置。

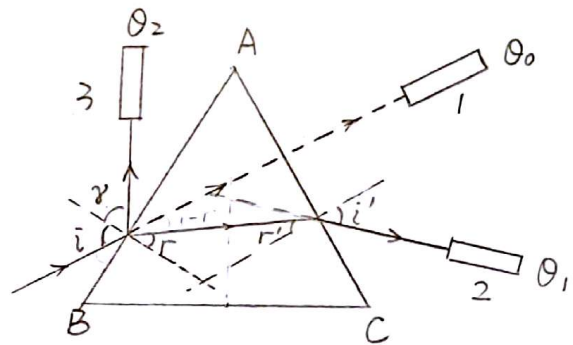


图 3

思考题 2

如右图, 不放三棱镜时读出角度 θ_0 。

放上三棱镜, 观察到折射出射光线角度 θ_1 和反射光线角度 θ_2 。

和反射光线角度 θ_2 。

由于 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i'}{\sin r'}$, 且 $r+r' = \angle A$, $|\theta_2 - \theta_0| = 180^\circ - i - \gamma$, $i = \gamma$ ①~④

$$|\theta_0 - \theta_1| = i - r + i' - r' = i + i' - \angle A \quad \text{⑤}$$

由上述各式可推得:

$$n = \left| \frac{1}{\sin A} \right| \cdot \sqrt{\sin^2 \left(90^\circ - \frac{|\theta_2 - \theta_0|}{2} \right) + \sin^2 |\theta_0 - \theta_1| + 2 \cos A \sin \left(90^\circ - \frac{|\theta_2 - \theta_0|}{2} \right) \sin i'}$$

$$= \left| \frac{1}{\sin A} \right| \cdot \sqrt{\cos^2 \frac{\theta_2 - \theta_0}{2} + \sin^2 (\theta_0 - \theta_1) + 2 \cos A \cos \frac{|\theta_2 - \theta_0|}{2} \sin \left(A + |\theta_0 - \theta_1| - \frac{|\theta_2 - \theta_0|}{2} \right)}$$

代入 $\angle A$, θ_0 , θ_1 , θ_2 即可求得 n 。

【数据记录及草表】

三棱镜顶角

95°55'

	左I	左II	右I	右II	∠A
1	215°48'	35°53'	275°49'	275°49'	59°59'
2	200°11'	20°15'	80°18'	260°11'	59°59'
3					
4					
5					

2.	θ _{min I}	θ _{min II}	θ _{0 I}	θ _{0 II}	θ _{min I} - θ _{0 I}	θ _{min II} - θ _{0 II}	δ _{min}
1	197°29'	17°32'	143°33'	323°34'	53°56'	53°58'	53°57'
2	197°30'	17°33'	143°33'	323°34'	53°57'	53°59'	53°58'
3	197°30'	17°33'	143°33'	323°34'	53°57'	53°59'	53°58'
4	197°30'	17°33'	143°33'	323°34'	53°57'	53°59'	53°58'
5	197°30'	17°33'	143°33'	323°34'	53°57'	53°59'	53°58'
6	197°31'	17°34'	143°33'	323°34'	53°58'	54°0'	53°59'

3.	λ	∠A	δ _{min}	$n = \frac{\sin \frac{\angle A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{\angle A}{2}}$
黄	λ = 577.1 nm	60°0'	53°35'	1.673
绿	λ = 546.0 nm	60°0'	53°58'	1.677
蓝	λ = 445.8 nm	60°0'	55°51'	1.695
紫	λ = 404.7 nm	60°0'	57°29'	1.710

	θ _{min I}	θ _{min II}	δ _{min}
黄	197°7'	17°10' 17°10'	53°35'
蓝	199°22'	19°27'	55°51'
紫	201°1'	21°4'	57°29'

教师签字:

