

【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. 学会最小偏向角的测量方法
4. 测定棱镜玻璃对汞灯是单色光的折射率.

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 三棱镜顶角测量原理

原理同“分光计的调整与使用”实验, 可得计算式

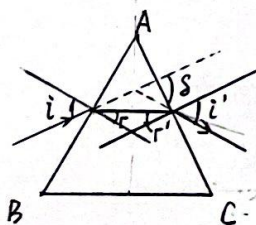
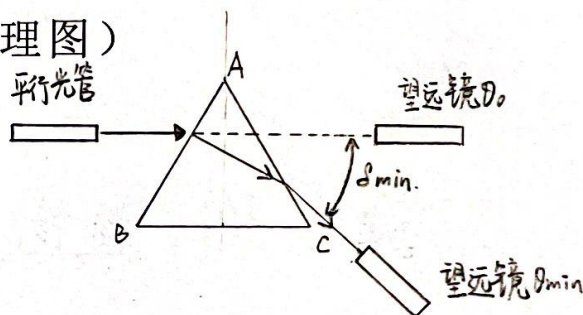
$$\angle A = \theta_2 = \frac{|\angle \alpha_1 - \angle \alpha_2| + |\angle \alpha_2 - \angle \alpha_3|}{4}$$

2. 最小偏向角测量原理 (见右图).

旋转载物台, 使一光学面 AC 与平行光管入射方向基本垂直, 从平行光管发出平行光射向三棱镜光学面 AB, 经三棱镜光学面 AC 折射后, 从玻璃面 BC 底边出发, 沿着逆时针方向旋转, 若可看到清晰的汞单色光, 说明已经找到折射的光路, 转动载物台, 若偏向角向右移动, 则 δ 变小, 继续转动载物台直到汞单色光突然向左移动, 此转折点, 即为该汞单色光的最小偏向角位置.

把望远镜对准此转折位置, 记录此时分光计读数游标窗口数据为 θ_{min1} , θ_{min2} . 移去三棱镜, 使望远镜对准入射光, 读取读数游标窗口数据为 θ_1 和 θ_2 , 则最小偏向角为

$$\delta_{min} = \frac{1}{2} (|\theta_{min1} - \theta_{02}| + |\theta_{min2} - \theta_{01}|)$$



3. 折射率测量原理

一平行单色光从三棱镜一光学面 AB 入射, 经折射后从另一光学面 AC 射出. 图 i 为入射角, i' 为出射角, 入射光和出射光的夹角 δ 为偏向角.

可知 $\delta = (i - r) + (i' - r')$ 当 $i = i'$ 根据折射定律有 $r = r'$, 得

$$\delta_{min} = 2(i - r)$$

$$\because r + r' = 2r = \pi - (\alpha - \angle A) = \angle A \quad \therefore r = \frac{\angle A}{2}$$

$$\therefore i = \frac{\angle A + \delta_{min}}{2}$$

$$\therefore \text{三棱镜的折射率 } n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{\angle A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{\angle A}{2}}$$

\therefore 只要测出三棱镜顶角 A 和汞单色光波的入射光的最小偏向角 δ_{min} , 就可计算三棱镜对该汞单色光波的入射光的折射率.

【实验内容】（重点说明）

1. 分光计的调整

步骤已在“分光计的调整和使用”中详细学习。

2. 反射法测量三棱镜顶角。

同“分光计的调整和使用”实验，填写[数据记录与表格]中表①。

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

放置三棱镜，转动载物台，改变入射角，获得最小偏向角，记录下分光计读数游标数据为 $\theta_{\min I}$ 和 $\theta_{\min II}$ 。移去三棱镜，使望远镜对准入射光（平行光管位置），读取读数游标数据为 θ_{0I} 和 θ_{0II} ，代入计算式可算得最小偏向角。

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

4. 计算三棱镜对汞灯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，利用已经测得的三棱镜顶角值，可由公式算出棱镜对汞灯各单色光的折射率，制作 $n-\lambda$ 关系曲线。

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

【实验器材及注意事项】

实验器材：分光计、三棱镜、汞灯

注意事项：① 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位置防止看不到反射光。

② 三棱镜应轻拿轻放，不要随意触碰光学镜面。

③ 应将狭缝宽度调节为 1 mm 左右以减小误差，同时仍需要保证亮度足够用于观测。

④ 检查每次记录数据左右游标是否对称。

棱镜偏向角实验数据记录表.

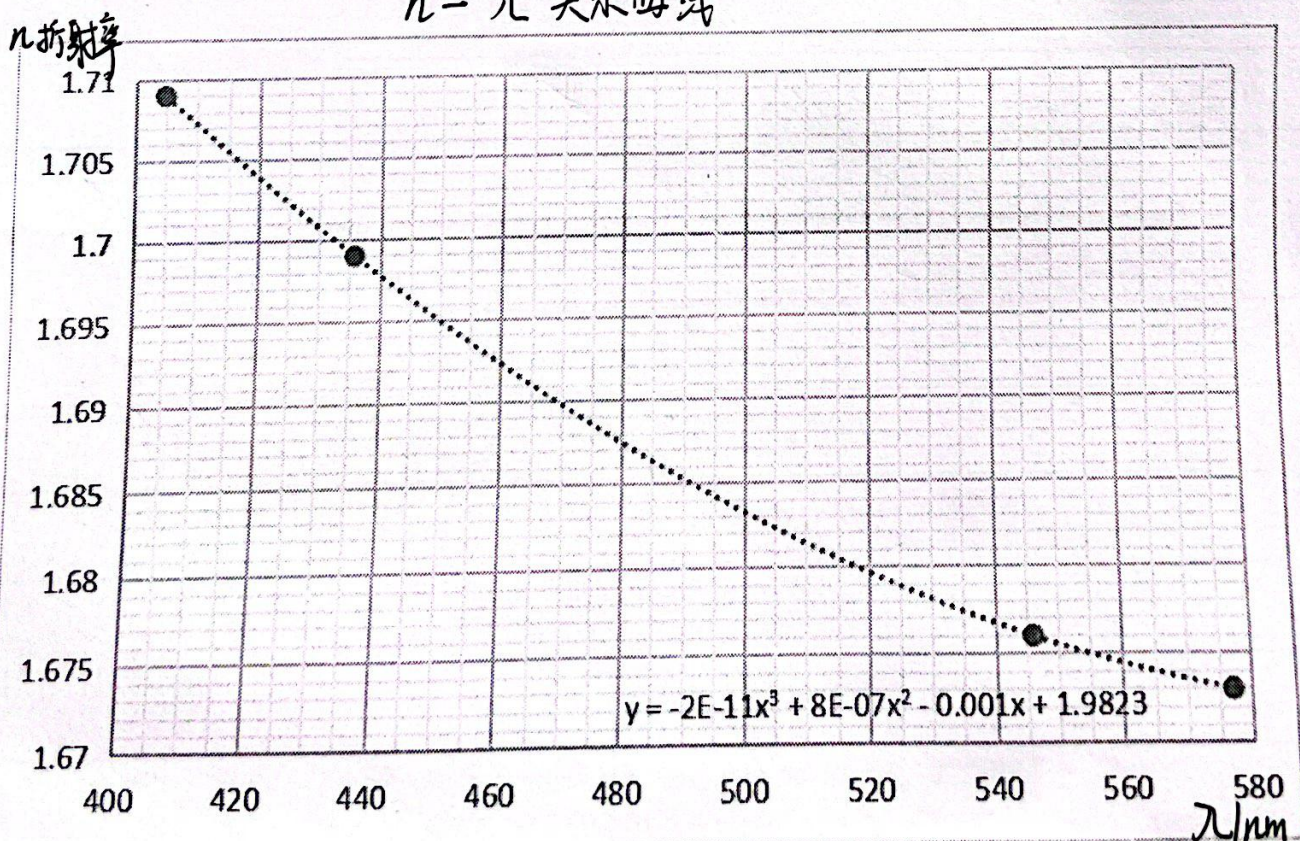
实验次数 (黄光)	θ_{min}		θ_0		$ \theta_{minI}-\theta_{0I} $	$ \theta_{minII}-\theta_{0II} $	δ_{min}
	I窗	II窗	I窗	II窗			
1	$130^{\circ}27'$	$310^{\circ}28'$	$76^{\circ}53'$	$256^{\circ}58'$	$53^{\circ}34'$	$53^{\circ}30'$	$53^{\circ}32'$
2	$131^{\circ}29'$	$312^{\circ}00'$	$78^{\circ}19'$	$258^{\circ}21'$	$53^{\circ}39'$	$53^{\circ}10'$	$53^{\circ}25'$
3	$135^{\circ}09'$	$315^{\circ}10'$	$81^{\circ}34'$	$261^{\circ}35'$	$53^{\circ}35'$	$53^{\circ}35'$	$53^{\circ}35'$
4	$136^{\circ}7'$	$316^{\circ}8'$	$82^{\circ}28'$	$262^{\circ}30'$	$53^{\circ}38'$	$53^{\circ}39'$	$53^{\circ}39'$
5	$136^{\circ}18'$	$316^{\circ}21'$	$82^{\circ}57'$	$262^{\circ}58'$	$53^{\circ}23'$	$53^{\circ}21'$	$53^{\circ}22'$

实验次数 (绿光)	θ_{min}		θ_0		$ \theta_{minI}-\theta_{0I} $	$ \theta_{minII}-\theta_{0II} $	δ_{min}
	I窗	II窗	I窗	II窗			
1	$130^{\circ}52'$	$310^{\circ}54'$	$76^{\circ}53'$	$256^{\circ}58'$	$53^{\circ}59'$	$53^{\circ}56'$	$53^{\circ}58'$
2	$132^{\circ}06'$	$312^{\circ}08'$	$78^{\circ}19'$	$258^{\circ}21'$	$53^{\circ}47'$	$53^{\circ}45'$	$53^{\circ}46'$
3	$135^{\circ}35'$	$315^{\circ}36'$	$81^{\circ}34'$	$261^{\circ}35'$	$54^{\circ}01'$	$54^{\circ}01'$	$54^{\circ}01'$
4	$136^{\circ}28'$	$316^{\circ}30'$	$82^{\circ}28'$	$262^{\circ}30'$	$54^{\circ}00'$	$54^{\circ}00'$	$54^{\circ}00'$
5	$136^{\circ}42'$	$316^{\circ}47'$	$82^{\circ}57'$	$262^{\circ}58'$	$53^{\circ}45'$	$53^{\circ}49'$	$53^{\circ}47'$

实验次数 (蓝光)	θ_{min}		θ_0		$ \theta_{minI}-\theta_{0I} $	$ \theta_{minII}-\theta_{0II} $	δ_{min}
	I窗	II窗	I窗	II窗			
1	$133^{\circ}12'$	$313^{\circ}14'$	$76^{\circ}53'$	$256^{\circ}58'$	$56^{\circ}19'$	$56^{\circ}16'$	$56^{\circ}18'$
2	$134^{\circ}31'$	$314^{\circ}35'$	$78^{\circ}19'$	$258^{\circ}21'$	$56^{\circ}14'$	$56^{\circ}12'$	$56^{\circ}13'$
3	$137^{\circ}39'$	$318^{\circ}02'$	$81^{\circ}34'$	$261^{\circ}35'$	$56^{\circ}27'$	$56^{\circ}25'$	$56^{\circ}26'$
4	$138^{\circ}23'$	$318^{\circ}27'$	$82^{\circ}28'$	$262^{\circ}30'$	$56^{\circ}07'$	$55^{\circ}55'$	$56^{\circ}01'$
5	$139^{\circ}29'$	$319^{\circ}29'$	$82^{\circ}57'$	$262^{\circ}58'$	$56^{\circ}31'$	$56^{\circ}32'$	$56^{\circ}32'$

实验次数	θ_{min}		θ_0		$ \theta_{min} - \theta_0 $	$ \theta_{min} - \theta_0 $	δ_{min}
(紫光)	I窗	II窗	I窗	II窗			
1	133°59'	314°00'	76°53'	256°58'	57°06'	57°02'	57°04'
2	135°51'	315°51'	78°9'	258°21'	57°32'	57°30'	57°31'
3	139°05'	319°10'	81°34'	261°35'	57°31'	57°35'	57°33'
4	139°34'	319°36'	82°28'	262°30'	57°06'	57°06'	57°6'
5	140°39'	320°44'	82°57'	262°58'	57°42'	57°46'	57°44'

单色光波长	$\angle A$	δ_{min}	n (折射率)
$\lambda = 404.7 \text{ nm}$ (紫)	60°	57°24'	1.709
$\lambda = 435.8 \text{ nm}$ (蓝)	60°	56°18'	1.699
$\lambda = 546.0 \text{ nm}$ (绿)	60°	53°54'	1.676
$\lambda = 577.1 \text{ nm}$ (黄)	60°	53°31'	1.673

n- λ 关系曲线

【数据处理与结果】

数据具体记录表见附表。(默认望远镜仰角为 $60^{\circ}00'$ 已知)

在获得各色光 $\theta_{\min 1}$ 与 $\theta_{\min 2}$ 数据与 θ_0 (1角与2角) 数据后,

可通过 $\delta'_{\min} = \frac{1}{2}(|\theta_{\min 1} - \theta_0| + |\theta_{\min 2} - \theta_0|)$ 计算各色光的最小偏向角.

$$\bar{\delta}_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^5 \delta'_i}{5}$$

$$\delta_{\min \text{ 黄}} = 53^{\circ}31' \quad (Y)$$

$$\delta_{\min \text{ 绿}} = 53^{\circ}54' \quad (G)$$

$$\delta_{\min \text{ 蓝}} = 56^{\circ}18' \quad (B)$$

$$\delta_{\min \text{ 紫}} = 57^{\circ}24' \quad (P)$$

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\delta'_{\min i} - \bar{\delta}_{\min})^2}, \quad \text{由读数仪器知 } \Delta_{\text{仪}} = 1' \quad \therefore U_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = 0.6'$$

$$U_{\text{总}} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

$$\therefore U_{AY} = 4' \quad \therefore U_{\text{总}Y} = 4'$$

$$U_{AG} = 17' \quad \therefore U_{\text{总}G} = 17' \quad (\text{精确性较低})$$

$$U_{AB} = 6' \quad \therefore U_{\text{总}B} = 6'$$

$$U_{AP} = 8' \quad \therefore U_{\text{总}P} = 8'$$

$$\therefore \delta_{\min Y} = (53^{\circ}31' \pm 4')$$

$$\delta_{\min G} = (53^{\circ}54' \pm 17') \quad (\text{精度一致, 首位为1, 不确定度可保留2位})$$

$$\delta_{\min B} = (56^{\circ}18' \pm 6')$$

$$\delta_{\min P} = (57^{\circ}24' \pm 8')$$

在获得 δ_{\min} 后, 可根据公式

$$n = \frac{\sin(\frac{2A + \delta_{\min}}{2})}{\sin(\frac{A}{2})} \quad \text{计算对应波长光的折射率.}$$

$$\begin{cases} n_Y = 1.673 \\ n_G = 1.676 \\ n_B = 1.699 \\ n_P = 1.709 \end{cases}$$

根据上述关系可绘制 $n-\lambda$ 关系曲线. 具体图线见附表

(采用三次多项式进行拟合).

【误差分析】

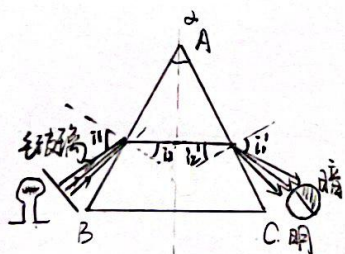
1. 首先, 最核心的问题是确定当棱镜摆定时, 如何寻找最小偏向角。在实验中, 我们通过固定镜筒, 转动载物台的方法以黄绿条纹的极大右偏位置作为最小偏向角的定位, 但这样的确定方法往往直观性过强, 因而存在极大的判断误差。
2. 另一方面, 在观察蓝紫色光时, 我们需要适当增大狭缝的宽度, 以使条纹清晰 (特别是紫色光纹) 但增大狭缝宽度, 必然使高波长段 (黄绿色) 条纹宽度增加, 加大了准确定位条纹位置的测量难度因而也会带入不小的误差。
3. 对于一些机械结构 齿轮是否啮合带来的误差影响, 细微转动镜筒时, 游标盘存在未随之转动的情況 (为两齿锁定状态下), 因为测量时可能带入因啮合问题造成的相对差值, 从而引入误差。
4. 长时间小视野观察, 会引起视觉疲劳, 从而影响数据的准确读取与测量。

【实验心得及思考题】

思考题一:

摆定棱镜位置后, 先通过镜筒视野寻找黄绿色光纹, 使其停留于视野靠左侧位置, 锁定载物台, 向右略微转动内侧圆盘, 观察黄绿色条纹的移动方向, 若黄绿色条纹先向右移动后到达一转折点, 进而反方向向左移动, 则此转折点即为最小偏向角 δ_{min} 的测量位置。

思考题二:



在钠光灯前加一块毛玻璃, 使散射光照射到棱镜 AB 面上, 当散射光从右方向射向 AB 面时近似认为存在 90° 的入射光线, 其对应折射角为 i_{2max} , 其折射角为 i_{1min} , 若入射角小于 90° , 则折射角小于 i_{2max} , 出射角必大于 i_{1min} 。

因此在 AC 面进行观察时, 将出现半明半暗的视场, 明暗视场的交界对应于 $i_1 = 90^\circ$ 的光线出射方向。

$$\text{由折射定律得 } n = \frac{1}{\sin i_{2max}} \Rightarrow \sin i_{2max} = \frac{1}{n}$$

$$\text{其中 } i_{2max} + i_2' = A$$

$$\therefore i_2' = A - i_{2max}$$

$$\therefore n = \frac{\sin i_{1min}}{\sin i_2'} = \frac{\sin i_{1min}}{\sin (A - i_{2max})}$$

$$= \frac{\sin i_{1min}}{\sin A \sqrt{1 - (1/n)^2} - \cos A / n}$$

$$\Rightarrow \sin i_{1min} = \sin A \sqrt{n^2 - 1} - \cos A$$

$$\Rightarrow n = \sqrt{\left(\frac{\cos A + \sin i_{1min}}{\sin A} \right)^2 + 1}$$

其中 A 为顶角, i_{1min} 为明暗视场分界线方位与法线方位的夹角, 则 n 可计算。

实验心得:

偏向角还是有趣的测量, 从分光计中的白光, 我们终于在光学实验中通过色散看到了黄、绿、蓝、紫的四色光波, 也亲手测得了各色波长光的折射率近似值, 收获满满。

同样, 浅尝辄止一下光学实验真的有点耗费眼睛, 特别是小视野长时间观察后产生的视觉疲劳, 真的十分影响条纹的位置准确度及大量的数据读取, 自己还是多参与加以适应。