

分光计的调节和掠入射法测量折射率

李嘉轩

北京大学物理学院天文学系, 100871

jiaxuan.li@pku.edu.cn

2017年12月30日

1 利用分光计测量样品的折射率

1.1 实验情况

本实验使用分光计测量待测样品在不同波长下的折射率。本实验所用到的器材有：

- JJY 1'型分光计；
- 实验室提供的钠光光源和汞灯。

按照书上和老师的要求调整好光路之后，我先测量了三棱镜的顶角。

1.2 测量三棱镜的顶角

实验中分三次测量三棱镜的顶角，每次测量之后均将三棱镜从平台上取下来，转动游标盘到另一个位置，再将三棱镜按照标准放置方法放置在平台上，重新调节平台使两个光学面与光轴垂直。因此，三次测量之间彼此独立。每次都读两个游标的原始数据，见表格1。根据表格中的数据，

表 1: 三棱镜顶角的测量

θ_1	θ'_1	θ_2	θ'_2	A
127°13'	307°6'	67°10'	247°11'	59° 59'
357°28'	177°29'	117°30'	297°27'	60°0'
57°06'	237°06'	177°06'	357°05'	60°01'

$$\bar{A} = 60^{\circ}0'.$$

平均值的标准差为

$$\sigma_{\bar{A}} = 0^{\circ}0'35''.$$



分光计测量角度的允差为

$$e = 0^{\circ}1',$$

因此三棱镜顶角测量的不确定度为

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_A^2 + \frac{e^2}{3}} = 0^{\circ}0'49''.$$

从而三棱镜顶角的测量结果是

$$A = 60^{\circ}0'0'' \pm 0^{\circ}0'49''.$$

1.3 掠入射法测量钠光在三棱镜中的折射率

按照掠入射法的操作流程搭建好光路，然后先用肉眼看到清晰可见的明暗分界线，再用分光计的望远镜找到明暗分界线，并使目镜中的竖线与明暗分界线对齐，记下刻度 θ_3 和 θ'_3 。然后转动望远镜使绿色十字出现在竖线和MN线交点位置，记下此时的读数 θ_4 和 θ'_4 。重复三组独立的实验，实验数据见表2。根据表格中的数据，

表 2: 掠入射法测量折射率

θ_3	θ'_3	θ_4	θ'_4	ϕ
15°40'	195°46'	57°05'	237°12'	41° 26'
137°44'	317°41'	179°08'	359°05'	41°24'
143°43'	323°40'	185°06'	5°05'	41°24'

$$\bar{\phi} = 41^{\circ}24'40''.$$

平均值的标准差为

$$\sigma_{\bar{\phi}} = 0^{\circ}0'40''.$$

分光计测量角度的允差为

$$e = 0^{\circ}1',$$

因此掠入射极限角测量的不确定度为

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\sigma_{\bar{\phi}}^2 + \frac{e^2}{3}} = 0^{\circ}0'53''.$$

从而掠入射极限角的测量结果是

$$\phi = 41^{\circ}24'40'' \pm 0^{\circ}0'53''.$$

带入折射率的表达式：

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \phi}{\sin A} \right)^2} = 1.673.$$

其不确定度为：

$$\sigma_n/n = \sqrt{\left(\frac{(\cos A + \sin \phi)(1 + \cos A \sin \phi) / \sin^3 A}{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \phi}{\sin A} \right)^2} \sigma_A \right)^2 + \left(\frac{\cos \phi (\cos A + \sin \phi) / \sin^2 A}{1 + \left(\frac{\cos A + \sin \phi}{\sin A} \right)^2} \sigma_{\phi} \right)^2}.$$



带入具体数值计算，各个量的不确定度均保留到角秒量级，得到：

$$\sigma_n = 0.022.$$

因此对波长为 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ 的钠光，样品的折射率为

$$n = 1.67 \pm 0.02.$$

1.4 最小偏向角法测量折射率

按照实验要求搭建好光路，先用肉眼找到绿色和紫色的谱线，然后再用望远镜和游标盘进行细调，在我力所能及的范围内确定最小偏向角的位置，记此刻的读数为 θ_5 和 θ'_5 。然后锁死游标盘，转动望远镜到正对狭缝的位置，此刻的读数为 θ_6 和 θ'_6 。重复三组独立实验，数据见表格3。根据表格中的数据，

表 3: 最小偏向角法测量折射率

θ_3	θ'_3	θ_4	θ'_4	δ
117°14'	297°16'	63°10'	243°14'	54° 3'
55°17'	235°16'	109°22'	289°18'	54°3.5'
174°29'	354°24'	120°26'	300°21'	54°3'

$$\bar{\delta} = 54^\circ 3' 10''.$$

平均值的标准差为

$$\sigma_{\bar{\delta}} = 0^\circ 0' 10''.$$

分光计测量角度的允差为

$$e = 0^\circ 1',$$

因此最小偏向角测量的不确定度为

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\sigma_{\bar{\delta}}^2 + \frac{e^2}{3}} = 0^\circ 0' 36''.$$

从而最小偏向角的测量结果是

$$\delta = 54^\circ 3' 10'' \pm 0^\circ 0' 36''.$$

带入折射率的表达式：

$$n = \frac{\sin \frac{A+\delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = 1.678.$$

其不确定度为：

$$\sigma_n = \sqrt{\left(\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2 \cos^2 \frac{A}{2}} \sigma_A \right)^2 + \left(\frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \sigma_{\delta} \right)^2}.$$

带入具体数值计算，各个量的不确定度均保留到角秒量级，得到：

$$\sigma_n = 0.007.$$

因此对于汞灯发出的波长为 $\lambda = 546.07 \text{ nm}$ 的光，样品的折射率为

$$n = 1.678 \pm 0.007.$$



1.5 测量样品的色散曲线

利用汞灯中丰富的谱线，分别对这些谱线利用最小偏向角法测量折射率，可以得到样品的色散曲线。实验中，我利用了如下谱线：

- 两根黄色谱线，取它们的中间波长，即 $\lambda = 578.02 \text{ nm}$;
- 紫色谱线， $\lambda = 435.84 \text{ nm}$;
- 暗紫色谱线， $\lambda = 404.66 \text{ nm}$.

由于时间有限，我对每根谱线都只做了一次实验。实验数据见表格4。根据以上的数据，可以算出折

表 4: 测量色散曲线

$\lambda(\text{nm})$	θ_3	θ'_3	θ_4	θ'_4	ϕ
578.02	171°30'	351°24'	117°49'	297°45'	53° 40'
435.84	173°15'	353°13'	176°52'	296°47'	56°24.5'
404.66	173°50'	353°45'	116°13'	296°09'	57°36.5'
404.66	173°50'	353°45'	116°13'	296°09'	57°36.5'

射率 n 。这里粗略地取最小偏向角测量的不确定度为 $\sigma_\delta = \frac{e}{\sqrt{3}} = 35''$ ，则可算出每个折射率的不确定度 σ_n ，见表格。同时可以利用之前对钠黄光 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ 和对汞绿光 $\lambda = 546.07 \text{ nm}$ 的测量结果，绘制色散曲线，得到1。用Cauchy公式

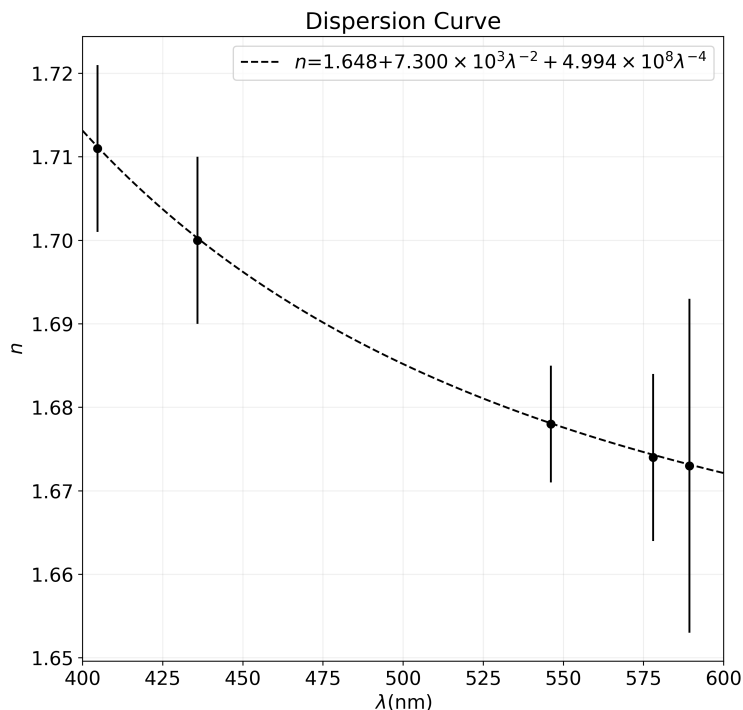


图 1: 色散曲线



$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

进行拟合，得到

$$A = 1.648;$$

$$B = 7.300 \times 10^3 \text{ nm}^2;$$

$$C = 4.994 \times 10^8 \text{ nm}^4.$$

色散率写为

$$\nu = -\frac{1.46 \times 10^4 \text{ nm}^2}{\lambda^3} - \frac{2.00 \times 10^9 \text{ nm}^4}{\lambda^5}.$$

2 思考题

1. 实验中测量误差的来源分析，缝宽和缝间距结果的不确定度的计算

答：本实验的误差来源主要有：

- 是否将望远镜光轴调到与转轴垂直；
- 两个光学面是否与光轴严格垂直；
- 实验过程中是否因为碰到平台或者望远镜而影响了之前的校准；
- 在最小偏向角法实验中对最小偏向角位置的判断具有一定的主观性。

3 分析讨论与感想

本次实验进一步锻炼了我调整光路、进行光学实验的能力。分光计英文是spectrometer，顾名思义就是进行光谱实验的仪器。本实验中我看到了之前耳熟能详的钠黄光谱线和汞灯的谱线，这令人感到十分激动。本实验着重训练了我调整分光计的能力。感谢陈晓林教授对实验的详细讲解，以及在实验过程中给予我的帮助和对实验结果的检查。

参考文献

- [1] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] 钟锡华. 现代光学基础. 第2版. 北京: 北京大学出版社, 2012.