

《分光计的调节和色散曲线的测定》实验报告

刘子源
电子系 无88 2018010895

一、实验目的

- 1、了解分光计的原理与构造，学会调节分光计
- 2、用最小偏向角法测定玻璃折射率
- 3、掌握三棱镜顶角的两种测量方法

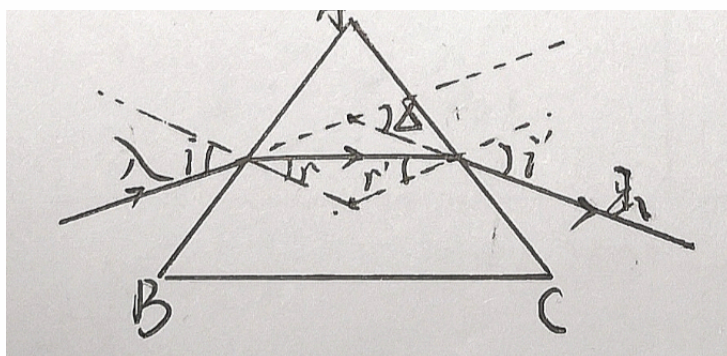
二、实验原理

1、分光计的结构及调节原理

分光计主要由平行光管、望远镜、度盘和平台构成。它是用来精确测量入射光和出射光之间偏转角度的仪器。调整目标为：平行光管发出平行光，望远镜适合于观察平行光，平行光管光轴及小平台上的光学元件法线均垂直于主轴。

- (1) 望远镜：分光计中采用的是自准望远镜。它由物镜、目镜、叉丝分划板组成
- (2) 平行光管：它由狭缝和透镜组成
- (3) 刻度盘：分光计的刻度盘垂直于主轴并且可绕主轴转动

2、用最小偏向角法测玻璃的折射率



由上图可知， $\Delta = (i - r) + (i' - r')$ ，可以证明，当入射角 i 等于出射角 i' 时， Δ 最小，称为最小偏向角 δ

$$\delta = 2(i - r)$$

$$i = \frac{A + \delta}{2}$$

由折射定律有

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

故可知，只要测出三棱镜顶角A和最小偏向角 δ ，就可以计算出棱镜玻璃对该波长的单色光的折射率。

3、色散及色散曲线的拟合

折射率 n 随波长 λ 而变的现象称为色散

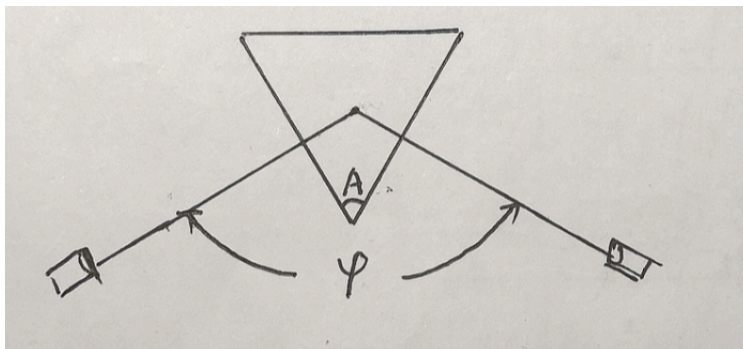
对一种玻璃材料所作的折射率和波长的关系曲线称为它的色散曲线。不同的材料的色散曲线是不同的，一般可采用平均色散 $n_F - n_C$ 或色散本领 V ， $V = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$ ， n_C, n_D, n_F 分别表示玻璃对夫琅禾费谱线中C线、D线、F线的折射率。

$$\lambda_C = 656.3nm, \lambda_D = 589.3nm, \lambda_F = 486.1nm$$

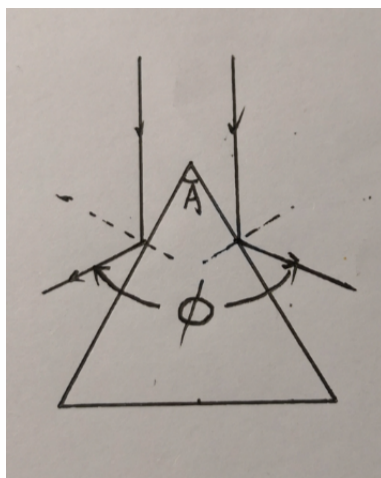
$$n^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8}$$

4、三棱镜顶角的测量原理

(1) 自准法测定三棱镜顶角： $A = 180^\circ - \phi$



(2) 平行光法测定三棱镜顶角： $A = \frac{1}{2}\phi$



三、实验仪器

实验仪器有：分光计、平面反射镜、玻璃三棱镜、氦光谱管及其电源。三棱镜编号为19， $\Delta_{\text{玻}} = 1'$ 。氦光谱管是将稀薄的氦气封闭在玻璃管内制成。氦的线光谱如下所示：

波长/nm	447.1	471.3	492.2	501.6	587.6	667.8	706.6
颜色	蓝紫	蓝	蓝绿	浅绿	黄	大红	暗红

四、实验任务

- 1、分光计的调节
 - 1-1、调节望远镜
 - (1) 调节望远镜适合于观察平行光
 - (2) 调节望远镜光轴垂直于分光计主轴
 - 1-2、调节平行光管
 - (1) 调节平行光管使产生平行光
 - (2) 调节平行光管光轴垂直于分光计主轴
 - 1-3、调节三棱镜两个光学面的法线垂直于分光计主轴
- 2、测量氦光管谱线的最小偏向角 δ
 - (1) 观察谱线并对照氦光谱图认谱
 - (2) 确定最小偏向角
- 3、测量三棱镜顶角

五、数据处理

1、自准法测量三棱镜顶角

	游标1	游标2
第一位置 T_1	$300^{\circ}25'$	$120^{\circ}20'$
第二位置 T_2	$60^{\circ}20'$	$240^{\circ}22'$
$\phi_i = T_1 - T_2 $	$120^{\circ}3'$	$120^{\circ}1'$
$\phi = \frac{1}{2}(\phi_1 + \phi_2)$	$60^{\circ}2'$	

2、测量三棱镜最小偏向角

2.1、不确定度计算

已知仪器 $\Delta_{\text{仪}} = 1'$ ，因此简化取 $\Delta_{\delta} = \Delta_A = \sqrt{2}\Delta_{\text{仪}} = \sqrt{2}'$

由公式

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

得

$$\frac{\partial n}{\partial A} = -\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2\sin^2 \frac{A}{2}}$$
$$\frac{\partial n}{\partial \delta} = \frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{2\sin \frac{A}{2}}$$

$$\Delta_n = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial A}\right)^2 (\Delta_A)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \delta}\right)^2 (\Delta_\delta)^2} = \sqrt{\left(-\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{2\sin^2 \frac{A}{2}}\right)^2 (\Delta_A)^2 + \left(\frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{2\sin \frac{A}{2}}\right)^2 (\Delta_\delta)^2}$$

以黄光($\lambda = 587.6nm$)为例计算 Δ_n ，代入具体数值 $\delta = 51^\circ 4'$ ， $A = 60^\circ 2'$

$$\Delta_n = \sqrt{2}' \times \sqrt{\left(-\frac{\sin \frac{51^\circ 4'}{2}}{2\sin^2 \frac{60^\circ 2'}{2}}\right)^2 + \left(\frac{\cos \frac{60^\circ 2' + 51^\circ 4'}{2}}{2\sin \frac{60^\circ 2'}{2}}\right)^2} = 4 \times 10^{-4}$$

由此结果说明 n 应该保留至小数点后4位，即5位有效数字。

2.2、数据整理

$$\phi_{10} = 357^\circ 33'$$

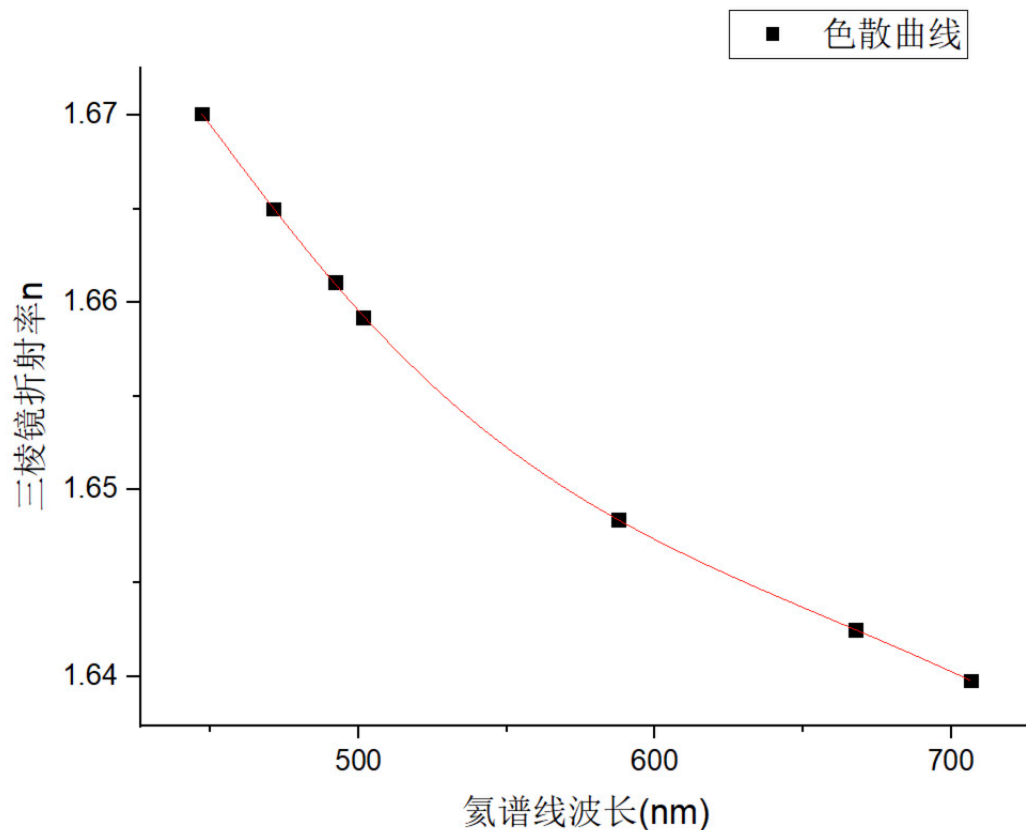
$$\phi_{20} = 177^\circ 33'$$

氢谱线波长/nm	ϕ_1	ϕ_2	$\delta_1 = \phi_1 - \phi_{10}$	$\delta_2 = \phi_2 - \phi_{20}$	$\delta = \frac{1}{2}(\delta_1 - \delta_2)$	$\frac{A+\delta}{2}$	$n = \sin \frac{A+\delta}{2} / \sin \frac{A}{2}$
447.1	304°16'	124°17'	53°17'	53°16'	53°17'	56°40'	1.6701
471.3	304°48'	124°49'	52°45'	52°44'	52°45'	56°24'	1.6650
492.2	305°12'	125°13'	52°21'	52°20'	52°21'	56°12'	1.6611
501.6	305°23'	125°23'	52°10'	52°10'	52°10'	56°6'	1.6592
587.6	306°30'	126°29'	51°3'	51°4'	51°4'	55°33'	1.6484
667.8	307°7'	127°6'	50°26'	50°27'	50°27'	55°15'	1.6425
706.6	307°22'	127°22'	50°11'	50°11'	50°11'	55°7'	1.6398

由此可知，黄光折射率 $n = 1.6484 \pm 0.0004$

2.3、绘制色散曲线

由波长和折射率数据，通过Origin拟合得到如下曲线：



由Origin拟合结果可得折射率与波长的经验公式：

$$n^2 = 1.888 - 1.920 \times 10^{-7} \lambda^2 - 1.295 \times 10^5 \lambda^{-2} + 3.351 \times 10^{10} \lambda^{-4} - 3.673 \times 10^{15} \lambda^{-6} + 1.432 \times 10^{20} \lambda^{-8}$$

计算得最大残差值为0.0002，说明实验数据与拟合公式较好符合。

$$\lambda_C = 656.3nm \text{ 时, } n_C = 1.6422$$

$$\lambda_D = 589.3nm \text{ 时, } n_D = 1.6473$$

$$\lambda_F = 486.1nm \text{ 时, } n_F = 1.6616$$

$$\text{平均色散 } n_F - n_C = 1.6616 - 1.6422 = 0.0194$$

$$\text{色散本领 } V = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{0.0194}{1.6473 - 1} = 0.0300$$

故平均色散为0.0194，色散本领为0.0300

六、实验小结

“分光计”这个实验可谓是赫赫有名，在大一的时候就听说有个叫分光计的实验特别难，吓得我做实验之前看了三遍视频教程。结果实际做的时候还是找不到那抹绿莹莹的“+”字叉，直到眼睛酸痛，终于是把分光计调好了，上手之后后面的实验也非常顺利地做完了。

通过这次实验，我有如下体会：

1、分光计实验操作复杂，课前一定要好好复习，实验的时候要耐心，做每一步的时候一定要清楚自己在做什么，接下来该做什么，当时我旁边就有同学那几条色散曲线都测完了才发现入射光方位没有测，结果还要全部重来。

2、粗调特别重要！粗调调的好实验的效率会高很多。

3、注意平面镜和三棱镜的放法，以便于改变光学面法线的方向。

4、我非常不理解，为什么分光计那个刻度盘没有数字显示器？整两个读数窗口，偏心差是消除了，读个数也是真的麻烦，每次读数都要保证视线在游标盘的正上方以避免视线倾斜产生的误差，体验非常不友好，若是能有能自动显示角度的显示屏会友好很多。

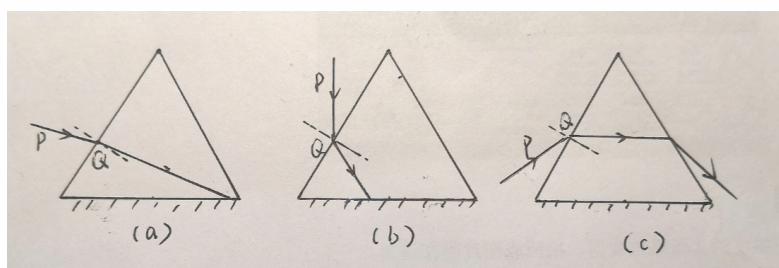
最后，非常感谢老师的详细讲解和实验时的耐心指导！这次实验对我的锻炼很大！

七、思考题

1、当转动小平台 180° 反复调节望远镜使望远镜光轴垂直于分光计主轴时，小平台是否也同时调好到垂直于主轴了？为什么？

答：不一定。此时只能说明望远镜光轴与平面镜法线垂直于主轴，虽然平面镜法线垂直于小平台，但该直线垂直于主轴并不能说明小平台也同时垂直于主轴，因为两条相交直线才可判定面线垂直，此时只是平面的一个基向量垂直于主轴，在垂直于该基向量的方向上小平台方位仍是任意的。

2、根据折射定律，请结合下图定性分析入射光的方位应处于何种情况时才可能找到最小偏向角？

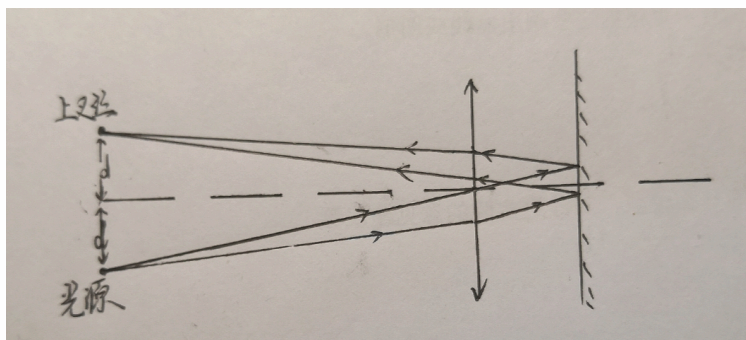


答：由折射定律可知，光线进入玻璃时，折射角小于入射角，所以对于（a）、（b）两种情况，折射光将射向不透光面，因此只有在（c）的情况下才有可能找到最小偏向角。

3、根据本实验的原理怎样测量光波波长？

答：由实验可以得到该三棱镜的色散曲线，然后可根据本实验原理测得该光波的最小偏向角，进而计算出该光波波长对应的折射率 $n_x = \frac{\sin \frac{A+\delta_x}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ ，最后在色散曲线上插值或代入拟合公式计算可求得波长。

4、根据光路图分析，为什么望远镜光轴与平面镜法线平行时，在目镜内看到“+”形反射像和叉丝上方交点重合？



答：如图所示，“+”形光源恰好位于物镜的焦平面上，所以由该光源发出的光经过物镜后会形成平行光束，平行光束经平面镜反射后，若光轴与平面镜法线方向平行，则由对称性可知反射光经物镜会聚于发光点关于光轴的对称点上，即叉丝的上交点上。