

物理实验报告

实验名称 用分光计测量三棱镜折射率

专 业 _____

姓 名 _____

学 号 _____

指导教师 _____

实验时间 12 月 6 日 第二 大节

理学院 物理实验中心

实验目的

- (1) 熟悉分光计的结构并掌握其调整方法
- (2) 观察色散现象
- (3) 掌握用最小偏向角法测三棱镜对单色光的折射率

实验原理 (1) 三棱镜的色散: ABC表示三棱镜的横截面, AB和AC是透光的光学表面, 称为反射面, 三棱镜的顶角A就是两个反射面的夹角, BC为毛玻璃面, 称为三棱镜的底面, 当一束平行白光, 从左侧的入射角 i_1 射入, 经AB和AC面两次折射后从右侧的出射角 i_2 射出, 入射光和出射光之间的夹角 δ 就是三棱镜的偏向角. 由于白光由各种频率的单色光组成, 当入射到三棱镜中后, 三棱镜对不同色光的折射率不同, 出射光会出现不同的偏向角, 频率越高, 偏向角越大, 因此会形成一个从红光到紫光的可见光谱, 此即为三棱镜的色散现象。

(2) 利用最小偏向角法测三棱镜的折射率: 折射率是表征材料的光学性能的一个重要特性参数, 其数值的大小与通过物质的光波波长有关. 本实验采用最小偏向角法进行测量, 对于一单色光而言, 偏向角 $\delta = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2) = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$, 因顶角 $A = r_1 + r_2$, 有 $\delta = i_1 + i_2 - A$ (1)

对于确定的三棱镜, 顶角A和其对某单色光的折射率是一定的, 故

偏向角只随入射角 i_1 而变, 当 i_1 变化时, 偏向角存在一最小值 δ_{\min}

具体推导如下, 由(1)对 i_1 求导得 $d\delta/di_1 = 1 + di_2/di_1$, 由 δ_{\min} 的必要条件

$d\delta/di_1 = 0$, 有 $di_2/di_1 = -1$, 已知, 按折射定律, 光在AB及AC面折射时有: 光在三棱镜中的折射

$$\begin{cases} n \sin r_1 = \sin i_1 \\ n \sin r_2 = \sin i_2 \end{cases} \quad \text{因此} \quad \frac{di_2}{di_1} = \frac{dr_2}{dr_1} \cdot \frac{dr_1}{di_1} = \frac{n \cos r_2}{\cos i_2} \cdot (-1) \cdot \frac{\cos i_1}{n \cos r_1} = -\frac{\cos r_2 \cos i_1}{\cos i_2 \cos r_1} \Rightarrow \cos i_2 \cos i_1 = \cos r_1 \cos r_2$$

将上式平方并利用折射定律可得 $(1 - \sin^2 i_1) / (n^2 - \sin^2 i_1) = (1 - \sin^2 i_2) / (n^2 - \sin^2 i_2)$

$$(n^2 - 1)(\sin^2 i_1 - \sin^2 i_2) = 0$$

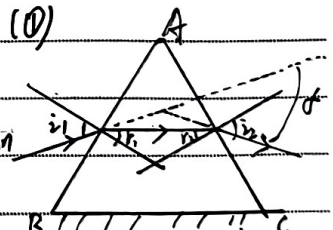
因 $n > 1$, 且 $i_1 < 90^\circ$, $i_2 < 90^\circ$, 故只有当 $i_1 = i_2$ 时才成立. 这就说明光线在三棱镜AB面上的入射角等于光线在AC侧面上的出射角是偏向角取最小值的必要条件。

此时: $r_1 = r_2$, $i_1 = i_2$

$$\delta_{\min} = 2i_1 - A$$

$$i_1 = (\delta_{\min} + A) / 2$$

由于 $A = r_1 + r_2 = 2r_1$, 根据折射定律, 有 $n = \frac{\sin[(A + \delta_{\min})/2]}{\sin A/2}$



实验仪器

汞灯、电源、三棱镜、分光计

实验步骤与数据记录 (1). 调整分光计: ① 观察并熟悉分光计的外形、结构及调整方法。

② 用“斜法”反复调节载物台下的三款载物台调平螺丝和望远镜仰角调节螺钉, 使两个反射面的“+”字反射像都能与分划板中“+”形叉丝上点重合, 此时望远镜光轴及载物台轴与分光计主轴垂直, 同时待测元件的光学面与主轴平行。

(2) 测定三棱镜顶角: ① 用“自准法”测量三棱镜顶角, 此处还可以用“反射法”测量三棱镜顶角
② 将三棱镜放在载物台上, 使棱镜的一个反射面(如AB面)对着望远镜下利用望远镜内小灯所产生的平行光射向该反射面, 固定望远镜, 转动载物台(注意将游标盘上的两对游标分别在望远镜左右两侧方便读数的位置, 使棱镜AB面反射的十字像落在分划板上的“+”形叉丝交点上, 记录此时刻度盘上两对游标所确定的方位角读数 θ_1 和 θ_2 。然后再转动载物台使AC面反射的十字像与“+”形叉丝的上交点重合, 记下对应读数 θ_1' 和 θ_2' 。两读数相减, 使用 $n = \frac{\sin(A + \delta_{\min})/2}{\sin A/2}$ 即求得顶角A的升角 φ 。
$$\varphi = \frac{1}{2}(|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|) \quad A = 180^\circ - \varphi$$

反射面 ₁		反射面 ₂		φ	A
θ_1	θ_2	θ_1'	θ_2'		
30.2°	$208.16'$	$154.21'$	$327.19'$	$121.36'$	$58.24'$

(3) 测定最小偏向: ① 将三棱镜置于载物台上, 入射角 i 均方 60° , 旋紧游标盘止动螺钉, 固定载物台游标盘。② 观察偏向角的变化规律, 根据折射定律判断折射光线的折射方向。通过转动望远镜可看到几条平行的彩色谱线, 固定望远镜与刻度盘, 再旋松游标盘止动螺钉, 轻轻转动载物台, 同时观察谱线的转动方向与角度关系。③ 确定最小偏向角的位置: 沿偏向角逐渐减小的方向缓慢转动载物台, 使望远镜一直跟踪某一条单色谱线, 直到该谱线转到某一位置后将反向转动, 说明偏向角存在一个最小值, 该谱线转动方向发生逆转时的偏向角为解。

④ 测定出射光位置: 旋紧望远镜固定螺钉, 再利用望远镜微动螺旋作精细调节, 读出 θ_1 和 θ_2 。

⑤ 测定入射光位置: 移去三棱镜, 将望远镜对准平行光, 微调望远镜, 读得方位角 θ_1' 和 θ_2' 。

⑥ 重复测量三次, 将数据记入表中, 通过 $\delta_{\min} = \frac{1}{2}(|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|)$ 计算 δ_{\min} 及其平均值。

(4). 计算折射率: 将测得的顶角A和最小偏向角 δ_{\min} 其平均值代入折射率计算公式中求出黄光的折射率。

实验数据处理

测量三棱镜顶角的最小偏向角

单位(°)

测量次数		1	2	3
折射角 <i>θ</i>	<i>θ</i> ₁	213°	210.2°	211.3°
	<i>θ</i> ₂	37°	26.1°	36.4°
入射角 <i>θ'</i>	<i>θ'</i> ₁	264.45°	261.34°	262.4°
	<i>θ'</i> ₂	29.35°	77.5°	78.2°
δ_{\min}		46.9°	46.27°	46.45°
$\overline{\delta_{\min}}$			46.54°	
n			1.49	
$\Delta n/n$			6.4%	

1. 三棱镜顶角测定

$$\varphi = \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2), A = 180^\circ - \varphi \text{ 得}$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(130.2^\circ - 154.35^\circ + 1208.27^\circ - 327.32^\circ) \quad A = 180^\circ - \varphi$$

$$= 121.6^\circ \quad = 58.4^\circ$$

2. 测量三棱镜的最小偏向角及折射率

$$\textcircled{1} \delta_{\min_1} = (\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2)/2 = 46.9^\circ$$

$$\textcircled{2} \delta_{\min_2} = (\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2)/2 = 46.27^\circ$$

$$\textcircled{3} \delta_{\min_3} = (\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2)/2 = 46.45^\circ$$

$$\text{得 } \delta_{\min} \text{ 的平均值 } \overline{\delta_{\min}} = \frac{1}{3}(\delta_{\min_1} + \delta_{\min_2} + \delta_{\min_3})$$

$$= \frac{1}{3}(46.9^\circ + 46.27^\circ + 46.45^\circ)$$

$$= 46.54^\circ$$

$$\text{由 } i_1 = (\delta_{\min} + A)/2, n = \frac{\sin i_1}{\sin A_2} \text{ 得}$$

$$i_1 = (46.54^\circ + 58.4^\circ)/2 = 52.47^\circ$$

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin A_2} = \frac{\sin 52.47^\circ}{\sin 29.2^\circ}$$

$$= \frac{0.793}{0.488}$$

$$= 1.625$$

3. 将计算的折射率与标准值比较。

实验结论

- (1) 基本了解和熟悉分光计的结构和调整方法。
- (2) 折射率无法直接测量, 从而通过最小偏向角法进行测量, 结果为 1.615。
- (3) 汞灯通常由于汞的光谱线组合而发出带蓝绿色调的白光, 在三棱镜的折射下, 会出现三棱镜的色散现象。

实验讨论

- (1) 误差分析:
 - ① 由于光线问题和其他原因会影响光的传播方向, 造成一定的角度误差。
 - ② 测量最小偏向角时将光对准分划板中心轴。
 - ③ 平行光管载物台和望远镜没有严格调节到同一个水平面上。
 - ④ 读数时, 游标数值无法准确读出。
- (2) 误差处理:
 - ① 进行实验时保证尽量没有外来未知光线的干扰。
 - ② 尽量精准调节仪器达到实验要求。
 - ③ 调节载物台的调平螺丝时, 使倾斜度小于 2° , 这样使测得的三棱镜折射率大于精密调节分光计测得的值相当。
- (3) 实验改进:
 - ① 对于分光计的传统调节方法“斜法”: 先利用“斜法”调节使得望远镜与载物台中心法线垂直, 再保持载物台不动, 旋转望远镜 90° , 将双面镜置于载物台上并对望远镜观察“+”字位置。此时再旋转载物台 180° 又观察平面镜双面反射回望远镜的“+”字, 最后调节螺钉进行细致的调整。
 - ② 增加反射镜等少量仪器, 平面镜紧贴已知顶角对边, 使折射光线反射, 当光屏上出现均匀的亮带时, 逐渐调节至稀疏保持三棱镜静止, 散去平面反射镜, 用肉眼确定折射光的角位置, 该方法提高了对最小偏向角测量精度, 同时也减小了实验误差。
- (4) 分光计的应用:
 - ① 常用于核酸、蛋白及细胞膜深度的定量。
 - ② 是许多光学仪器的基础 (棱镜光谱仪, 光栅光谱仪, 单色仪等)。

思考题

(1) 分光计是一种精确测量光线偏转角的典型光学仪器。它主要由望远镜、平行光管、载物台、角度刻度盘组成。

(2) 调节望远镜光轴垂直于仪器中心轴的标志是什么?

通过目镜观察到双面镜正反两面反射回来的“十”像,都与分划板上“十”像重合。

(3) 如果十字像,狭缝像不清晰应该如何调整?

① 十字像不清晰: 即分划板没有位于物镜的焦平面上, 应松开目镜紧锁螺钉, 前后伸缩叉丝分板套筒, 使十字像清晰, 然后锁紧目镜紧锁螺钉。

② 狭缝像不清晰, 即狭缝没有位于平行光管准直透镜的焦平面上, 应松开狭缝紧锁螺钉, 前后伸缩狭缝套筒, 当目镜中出现清晰锐利的狭缝像时, 锁紧该螺钉。

(4) 何谓最小偏向角? 它与棱镜的折射率及顶角 A 有何关系?

最小偏向角: 一平行光束射向棱镜, 先后经历棱镜的两次折射使得出射光线与入射光线之间夹角 δ , 且存在 δ_{\min} 使入射光线的方向 i 恰使棱镜中光线与顶角构成一等腰三角形。为了不发生全反射, 顶角 A 存在一个上限, 为 $2\sin^{-1}(n)$, 在 A 较小时 δ_{\min} 与 A 近似为线性关系。当 A 接近上限 $2\sin^{-1}(n)$ 时, δ_{\min} 急速上升。

折射率: $\delta_{\min} = 2i - A$, $i = \sin^{-1}(n \sin \frac{A}{2})$, 即 δ_{\min} 与 n 正相关。

(5) 怎样确定最小偏向角的位置? 若位置有偏离对实验结果有何影响, 为什么?

① 当入射光线与折射光线对称时, 即 $i = i'$, $r = r'$ 此时偏向角为最小偏向角。

② 无影响, 因为光线位置是相对的。

原始记录 刘飞 12107980/06

反射面 1		反射面 2		ρ	A
θ_1	θ_2	θ_1	θ_2		
$30^{\circ}12'$	$208^{\circ}16'$	$154^{\circ}21'$	$327^{\circ}19'$	$121^{\circ}36'$	$58^{\circ}24'$

折射角	θ_1	213°	θ_2	37°	θ_1	$212^{\circ}49'$	θ_2	$36^{\circ}57'$	θ_1	$213^{\circ}11'$	θ_2	37°
入射角	θ_1	$264^{\circ}27'$	θ_2	$79^{\circ}21'$	θ_1	$264^{\circ}45'$	θ_2	$79^{\circ}36'$	θ_1	$264^{\circ}11'$	θ_2	$79^{\circ}8'$