

分光计的调节与使用实验报告

少年班学院 小组4号 PB21000004 吴越 2022年3月29日

摘要

本次实验在于着重训练分光计的调节技术和技巧，并用它来测量三棱镜的顶角和最小偏向角，进而求得三棱镜的折射率。

- 了解分光计的结构、作用和工作原理，掌握调整技术和技巧。
- 通过分光计测量三棱镜的顶角。
- 测量三棱镜的顶角和最小偏向角，求出三棱镜折射率。
- *验证柯西色散公式。

背景介绍

- 简介：分光计是精确测定光线偏转角的仪器，也称测角仪，是光学实验中的基本仪器之一。
- 作用：光学中的许多基本量如波长，折射率等都可以直接或间接地表现为光线的偏转角，因而利用它可测量波长、折射率，此外还能精确的测量光学平面间的夹角。
- 意义：使用分光计时必须经过一系列的精细调整才能得到精确的结果，它的调整技术是光学实验的基本技术之一，必须正确掌握。

第一部分 实验方法

1. 实验器材:

分光计 (主要由底座、平行光管、望远镜、载物台和读数圆盘五部分组成)
汞灯, 双面平面镜, 三棱镜。

2. 实验原理:

1. 正确调整分光计

调整分光计, 需要达到下列要求:

- (1) 平行光管发出平行光。
- (2) 望远调整分光计, 最后要达到下列要求: 镜对平行光聚焦 (即接收平行光)。
- (3) 望远镜、平行光管的光轴垂直仪器公共轴。

分光计调整的关键是**调好望远镜**, 其他的调整可以以望远镜为基准。

2. 测量三棱镜的顶角。

首先将三棱镜两个光学表面分别正对望远镜, 对两游标作适当标记, 两次分别记录两个游标游标1和游标2的读数。进而求出载物台转过的角度:

$$\Phi = \frac{1}{2} [|\theta_1 - \theta'_1| + |\theta_2 - \theta'_2|]$$

又由几何关系, Φ 是三棱镜顶角 A 的补角, 故由:

$$A = \pi - \Phi$$

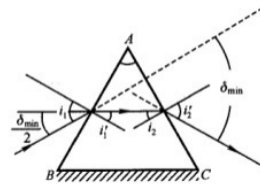
可以求出三棱镜的顶角 A 。

3. 测量三棱镜的最小偏向角及折射率。

由光学知识, 假设一束单色光以 i'_1 角入射到AB面上, 经棱镜两次折射后, 从AC面折射出来, 出射角为 i'_2 。入射光和出射光之间的夹角 δ 称为偏向角。当棱镜顶角 A 一定时, 偏向角 δ 的大小会随入射角的变化而变化。由光学知识, 当 $i'_1 = i'_2$ 时, δ 为最小。这时的偏向角为最小偏向角, 记作 δ_{min} 。

由右图中可以看出, 使用最小偏向角法, 借助几何关系以及光学知识:

$$\text{设棱镜材料折射率为} n, \text{ 则 } n = \frac{\sin i'_1}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$



由此可知, 要求得棱镜材料折射率 n , 只须测出其顶角 A 和最小偏向角 δ_{min} , 带入公式计算即可。

3. 实验步骤

1. 按照讲义所介绍的方法, 正确调整分光计至满足上述要求。
2. 对两游标作适当标记, 分别称游标1和游标2。
3. 使棱镜其中一个光学表面分别正对望远镜, 分别记录下游标1的读数和游标2的读数。
4. 再转动游标盘, 使另一个面正对望远镜, 再次记下游标1的读数和游标2的读数。
5. 使平行光管狭缝对准前方水银灯光源。移动望远镜找出光谱线。
6. 轻轻转动载物台, 找到谱线反向移动的转折位置。
7. 微动望远镜, 使其分划板上的中心竖线对准其中的那条绿谱线。记录下游标读数。
8. 再次转动望远镜对准平行发光管, 记录下游标读数。
9. 计算顶角 A 和最小偏向角 δ_{min} , 得出棱镜材料折射率 n 。

第二部分 结果和分析

1. 三棱镜顶角度数测量

实验序号	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	A
1	344°20'	164°20'	224°19'	44°20'	60°01'
2	284°19'	104°18'	164°19'	344°19'	60°00'
3	322°09'	142°10'	202°09'	22°09'	60°01'

(备注：如果相减大于 180°，则用 360° 减去两角差，再代入计算。)

取置信区间 $P = 0.95$

顶角 A 平均值:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = \frac{60^\circ 01' + 60^\circ 00' + 60^\circ 01'}{3} \approx 60^\circ 01'$$

顶角 A 标准差:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(60^\circ 01' - 60^\circ 01')^2 + (60^\circ 01' - 60^\circ 01')^2 + (60^\circ 01' - 60^\circ 01')^2}{3 - 1}} \approx 1'$$

因为试验环境光线较暗, 刻度难以判断对齐, 取试验者估读可能偏离的估读值 $\Delta_{\text{估}} = 3'$
实验仪器分光计测量精度为 $\Delta_{\text{仪}} = 1'$, 故 B 类不确定度:

$$\Delta_B = \sqrt{(\Delta_{\text{估}})^2 + (\Delta_{\text{仪}})^2} = \sqrt{(1')^2 + (3')^2} \approx 3'$$

分光计读数类似游标卡尺, 故误差分布也近似为均匀分布, 取 $\Delta_B = \sqrt{3}$

顶角 A 展伸不确定度为:

$$U_{A0.95} = \sqrt{\left(t_{0.95} \frac{\sigma_A}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(k_{0.95} \frac{\Delta_B}{C}\right)^2} = \sqrt{\left(4.30 \times \frac{1'}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.96 \times \frac{3'}{\sqrt{3}}\right)^2} \approx 4', P = 0.95$$

计算得三棱镜顶角:

$$A = 60^\circ 01' \pm 4', P = 0.95$$

2. 最小偏向角度数测量

实验序号	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	δ_{\min}
1	285°09'	105°10'	234°00'	53°59'	51°10'
2	356°46'	176°45'	305°02'	125°03'	51°43'
3	311°36'	131°37'	260°12'	80°13'	51°24'

取置信区间 $P = 0.95$

最小偏向角

$$\bar{\delta}_{\min} = \frac{\delta_{\min 1} + \delta_{\min 2} + \delta_{\min 3}}{3} = \frac{51^\circ 10' + 51^\circ 43' + 51^\circ 24'}{3} \approx 51^\circ 27'$$

最小偏向角标准差

$$\sigma_{\delta_{min}} = \sqrt{\frac{(51^\circ 10' - 51^\circ 12')^2 + (51^\circ 13' - 51^\circ 12')^2 + (51^\circ 14' - 51^\circ 12')^2}{3 - 1}} \approx 16'$$

延展不确定度

$$U_{\delta_{min}0.95} = \sqrt{(t_{0.95} \frac{\sigma_{\delta_{min}}}{\sqrt{n}})^2 + (k_{0.95} \frac{\Delta}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{16'}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{3'}{\sqrt{3}})^2} \approx 40', P = 0.95$$

计算得最小偏转角:

$$\delta_{min} = 51^\circ 27' \pm 40', P = 0.95$$

因为 $1' \approx 0.00029(rad)$, 所以试验结果不能精确到小数点后四位, 故实验结果保留到小数点后三位, 才充分利用了试验仪器 $1'$ 的精度。

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{51^\circ 27' + 60^\circ 01'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}} \approx 1.659$$

根据不确定度均分原理

$$\frac{U_n}{n} = \sqrt{(\frac{1}{2}(\cot(\frac{\delta_{min} + A}{2}) - \cot(\frac{A}{2}))U_A)^2 + (\frac{1}{2}\cot(\frac{\delta_{min} + A}{2})U_{\delta_{min}})^2} = \sqrt{(\frac{1}{2}(\cot(\frac{51^\circ 27' + 60^\circ 01'}{2}) - \cot \frac{60^\circ 01'}{2}) \times 4')^2 + (\frac{1}{2}\cot(\frac{51^\circ 27' + 60^\circ 01'}{2}) \times 40')^2} \approx 0.004, P = 0.95$$

故 n 的展伸不确定度为:

$$U_n = 1.659 \times 0.004 \approx 0.007, P = 0.95$$

故折射率 n 结果为:

$$n = 1.659 \pm 0.007, P = 0.95$$

3.误差分析:

本实验最终得到的三棱镜对水银灯绿谱线的折射率误差较大,分析原因主要有:

1. 测量次数较少

在本实验中,三棱镜顶角A和最小偏向角只测量了3次,使得求不确定度时取置信因子较大,从而使求得的不确定度偏大。

2. 人为因素影响大

数据分析中可以看到,A类不确定度远小于B类不确定度,这是因为分光计是十分精密的仪器,仪器的误差很小,A类不确定度小,但是由于实验时人测量(如读数)的偶然误差较大,B类不确定度偏大,使得最后的合成误差也比较大。

3. 分光计调整有偏差

在调整分光计时,人为调整仍然存在一定偏差,不能保证载物台完全水平。因此在旋转载物台后,可能导致载物台与望远镜光轴存在一定偏差,进而导致测量存在一定误差。

4.实验讨论:

通过分光计的调节与使用实验,我:

- (1) 了解了分光计的结构、作用和工作原理。
- (2) 掌握分光计的基本调节要求、方法和使用规范。
- (3) 实践了使用分光计精确测定光线偏转角的实验。
- (4) 懂得了分析基本误差的来源,提出进行修正和改进的方法。
- (5) 提升了其他与试验相关的能力。

第三部分 思考题

Q:已调好望远镜光轴垂直主轴,若将平面镜取下后,又放到载物台上(放的位置与拿下前的位置不同),发现两镜面又不垂直望远镜光轴了,这是为什么?是否说明望远镜光轴还没调好?

答:这不是由于望远镜光轴未调好造成的。

实际上若望远镜光轴已调好,则光轴已经与平面镜垂直,但是因为人为调整载物台有偏差,载物台并没有与主轴垂直,而只有当前的特定角度恰好使平面镜两次反射的绿十字映在分划版的上十字上。但是将平面镜第二次放在载物台上时,不能保证将其放在同一个位置,偏差导致镜面又不垂直望远镜光轴了。因此这不是由于望远镜光轴未调好造成的,而是由于载物台未调平导致的。

第四部分 拓展实验

实验序号	θ_1	θ'_1	θ_2	θ'_2	δ_{min}
紫色	$343^\circ 43'$	$290^\circ 10'$	$163^\circ 42'$	$110^\circ 09'$	$53^\circ 33'$
黄色	$331^\circ 9'$	$280^\circ 30'$	$151^\circ 10'$	$100^\circ 31'$	$50^\circ 39'$

(备注: 受时间所限, 仅测量了最清楚的几条光谱)

$$n_{\text{紫}} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{53^\circ 33' + 60^\circ 01'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}} \approx 1.671$$

$$n_{\text{绿}} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{51^\circ 27' + 60^\circ 01'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}} \approx 1.659$$

$$n_{\text{黄}} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{50^\circ 39' + 60^\circ 01'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}} \approx 1.642$$

利用MATLAB中的多项式拟合工具, 使用柯西色散公式进行拟合:

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

其中 a, b, c 待定。运行如下代码:

```

1 syms t
2 x=[404.66;536.41;576.96]; %不同谱线波长
3 y=[1.671;1.659;1.642]; %不同谱线折射率
4 f=fittype('a+b/(t^2)+c/(t^4)', 'independent', 't', 'coefficients',
5 {'a', 'b', 'c'});
6 cfun=fit(x,y,f); %使用函数拟合
7 xi=400:0.1:600;
8 yi=cfun(xi);
9 plot(x,y, 'r*', xi, yi, 'b-');
10 cfun;

```

输出为:

```

1 cfun =
2
3 General model:
4 cfun(t) = a+b/(t^2)+c/(t^4)
5 Coefficients:
6 a = 1.657
7 b = 10.45
8 c = 0.9575

```

这样就成功拟合出了玻璃材料的色散曲线。