

实验名称：衍射光栅

学生姓名：张奥喆

学号：2313447

一、实验目的：

- 1、了解光栅的分光特性
- 2、测量光栅常数

二、实验原理：（文字简述实验原理、原理公式、光路图）

1、光栅是利用多缝衍射原理使光发生色散的光学元件，经过光栅不同波长的光会分开，并按照一定顺序排列其中规定光栅常数 d 为每个狭缝的宽度和相邻狭缝之间不透明部分宽度的和，当垂直入射时满足公式： $d \sin \theta = k\lambda$ 。如果没有垂直，而是与光栅的法线成 φ 角的话，满足公式： $d(\sin \varphi \pm \sin \theta) = k\lambda$ 。

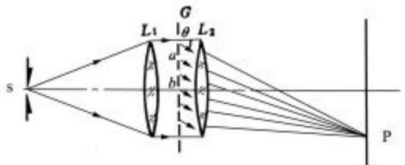


图 4-1 光栅的分光原理

2、已知汞灯绿线的波长为 546.1nm。

二、实验仪器用具：

- 1、分光仪
- 2、光栅
- 3、平面反射镜
- 4、CCD 图像传感器
- 5、汞灯

四、实验步骤或内容：（文字简要说明）

- 1、将分光仪调节至可测量状态（各半调节法）。
- 2、将光栅垂直 $L1$ 和 $L3$ 放置在载物台上，再次调节载物台，使光栅和仪器转轴平行。
- 3、**测量光栅常数**：已知绿色汞线的波长，现缓慢移动望远镜，找到绿色光的一级谱线，记录两个游标的数据，然后再找到二级谱线，记录两个游标的数据；然后向反方向移动望远镜，同理得到 $-k$ 级的条纹的数据。
- 4、**测量双黄线的波长**：缓慢移动望远镜，同理于第 3 条，找到第二级的双黄线，记录数据。

五、实验数据记录及处理：（列表格记录实验数据，标注单位，注意有效数字，计算过程，误差分析）

1、光栅常数

波长 (nm)	级 数	衍射角位置			角度 $\theta_+ + \theta_-$	无偏心差角 度 $\theta_+ + \theta_-$	光栅常数
		游标号	+k 级	-k 级			
546.1	1	1	$1^\circ 22'$	$342^\circ 30'$	$18^\circ 52'$	$18^\circ 51'$	3334.8nm
		2	$181^\circ 25'$	$162^\circ 35'$	$18^\circ 50'$		
546.1	2	1	$11^\circ 1'$	$332^\circ 50'$	$38^\circ 11'$	$38^\circ 12'$	3337.8nm
		2	$191^\circ 6'$	$152^\circ 53'$	$38^\circ 13'$		

$d=3336.3\text{nm}$, 光栅刻痕密度 299.7条/mm 。

演算过程：

$$\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}, \text{ 可以得到 } \sin \frac{18^\circ 51'}{2} = \frac{546.1}{d}, d \approx 3334.8\text{nm}$$

$$\sin \frac{38^{\circ}12'}{2} = \frac{546.1 \times 2}{d}, d \approx 3337.8 \text{ nm}$$

刻痕密度为 $\frac{1}{d}$, 注意单位的转换 $1 \text{ mm} = 10^6 \text{ nm}$

2、测定汞光谱中两条双黄线的波长

汞黄线	级数	衍射角位置			角度 $\theta_+ + \theta_-$	无偏心差角 $\theta_+ + \theta_-$	波长 (nm)
		游标号	+k 级	-k 级			
黄 1	2	1	$331^{\circ} 45'$	$12^{\circ} 2'$	$40^{\circ} 17'$	$40^{\circ} 18'$	574. 7
		2	$151^{\circ} 46'$	$192^{\circ} 5'$	$40^{\circ} 19'$		
黄 2	2	1	$331^{\circ} 44'$	$12^{\circ} 1'$	$40^{\circ} 17'$	$40^{\circ} 21'$	575. 3
		2	$151^{\circ} 42'$	$192^{\circ} 7'$	$40^{\circ} 25'$		

演算过程：根据公式 $\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$, 可以得到 $\sin \frac{40^{\circ}18'}{2} = \frac{2\lambda}{3336.34}$, $\lambda \approx 574.7 \text{ nm}$

$$\sin \frac{40^{\circ}21'}{2} = \frac{2\lambda}{3336.34}, \lambda \approx 575.3 \text{ nm}$$

3、计算定值误差

$$\text{由定值误差的公式: } \left| \frac{\lambda_{\text{测}} - \lambda_{\text{真}}}{\lambda_{\text{真}}} \right| \times 100\%$$

已知黄 1 的参考值为 577.0nm, 黄 2 的参考值为 579.1nm。

第一条黄线误差为: 0.40%

第二条黄线的误差为: 0.66%

4、计算汞黄线处的角色散

$$\text{推导出角色散公式 } \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \theta} = \frac{2}{3336.3 \times \cos((40^{\circ}21' - 40^{\circ}18')/2)} \approx 6.0 \times 10^{-4} \text{ rad/nm}$$

$$\text{也可以直接用 } D = \frac{|\Delta\theta|}{2.1 \text{ nm}} \text{ 计算}$$

六、实验结果及讨论（学习反馈）（实验结果分析，测量方法优缺点分析，实验中遇到的问题和如何解决的，或由于条件所限无法解决的问题，实验心得体会）

1、实验的时候发现第二级的汞双黄线很浅，难以辨认清楚。

经过反复的调试，最后通过改变环境光，将一侧的灯关掉，让实验环境暗一些，就能看到清晰的双黄线。

2、测量双黄线时，由于双黄线离得很近，数据也变得十分接近，用本实验的仪器需要仔细阅读游标上的数字，避免人为因素的误差。

✖实验结果分析：推导光栅常数 d 的不确定度 U_d （这里只对第一级进行推导）：

由公式： $d \sin \theta = k\lambda$ （垂直入射），可得 $d = \frac{k\lambda}{\sin \theta}$ ，分别对 k, λ , θ 求偏导数。

$$d = \frac{k\lambda}{\sin \theta_k}, \ln d = \ln k + \ln \lambda - \ln \sin \theta_k \quad \frac{\partial \ln d}{\partial k} = \frac{1}{k}, \quad \frac{\partial \ln d}{\partial \lambda} = \frac{1}{\lambda}, \quad \frac{\partial \ln d}{\partial \theta_k} = -\frac{\cos \theta_k}{\sin \theta_k}$$

$$\frac{U_d}{d} = [(\frac{\partial \ln d}{\partial k} U_k)^2 + (\frac{\partial \ln d}{\partial \lambda} U_\lambda)^2 + (\frac{\partial \ln d}{\partial \theta_k} U_{\theta_k})^2]^{\frac{1}{2}}$$

$U_d = d[(\frac{U_k}{k})^2 + (\frac{U_\lambda}{\lambda})^2 + (\frac{\cos \theta_k}{\sin \theta_k} U_{\theta_k})^2]^{\frac{1}{2}}$ 。又因为本次实验中 k 不变, λ 也不变。不确定度的公式可以简化为 $d|\cot \theta U_{\theta_k}|$ 。

✱推导 λ 的不确定度 U_λ (由于实验中测量的是第二级, 故只对第二级进行推导):

已知 $\lambda = \frac{d \sin \theta_k}{k}$, $\ln \lambda = \ln d + \ln \sin \theta_k - \ln k$, 求偏导数可得

$$\frac{\partial \ln \lambda}{\partial d} = \frac{1}{d}, \quad \frac{\partial \ln \lambda}{\partial \theta_k} = \frac{\cos \theta_k}{\sin \theta_k}, \quad \frac{\partial \ln \lambda}{\partial k} = -\frac{1}{k}$$

则

$$\frac{U_\lambda}{\lambda} = [(\frac{\partial \ln \lambda}{\partial d} U_d)^2 + (\frac{\partial \ln \lambda}{\partial \theta_k} U_{\theta_k})^2 + (\frac{\partial \ln \lambda}{\partial k} U_k)^2]^{\frac{1}{2}}$$

代入可得

$$U_\lambda = \lambda[(\frac{U_d}{d})^2 + (\frac{\cos \theta_k}{\sin \theta_k} U_{\theta_k})^2 + (\frac{U_k}{k})^2]^{\frac{1}{2}}$$

由于 $k=2$, $U_k = 0$ 代入可得:

$$U_\lambda = \lambda[(\frac{U_d}{d})^2 + (\frac{\cos \theta_k}{\sin \theta_k} U_{\theta_k})^2]^{\frac{1}{2}}$$

七、思考题 (根据各个实验老师要求);

1、在调节光栅平面垂直平行光时, 能否用各半调节法, 使光栅的反射叉丝像与叉丝重合?

不能, 望远镜平行光管都已经调整到位, 垂直于转轴, 而光栅的制造可能有微小的误差, 需要调整载物台。使用各半调节法会影响望远镜的正确状态, 只会让误差更大。

2、实验中如果没按照要求将光栅放置在仪器转轴位置, 即仪器的转轴没有通过光栅平面时, 对测量角有影响吗? 如何解决?

有影响, 解决的方法是测量一次之后将载物台旋转 180° 后再次进行测量, 两次结果取平均值。

八、参考文献: (若引用实验讲义内容或图片或其他资料, 可写明参考文献或出处)

1、图 4-1 截取自讲义

2、不确定度的公式参考了讲义第一章的内容