

光栅衍射实验

班级：自 75 姓名：蔡烨怡 组号：周五晚 HH 座位号：6 日期：2019/5/5

一、实验目的

- (1) 进一步熟悉分光计的调整和使用。
- (2) 学习利用衍射光栅光波波长及光栅常数的原理和方法。
- (3) 加深理解光栅衍射公式及其成立条件。

二、实验原理

1、测定光栅常数和光波波长

写出主要原理公式和公式中符号的物理意义；画出相应的光路图

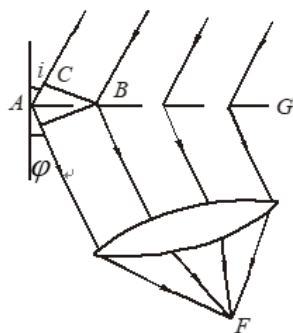


图 1 光栅衍射光路图

光栅衍射光路图如图 1 所示。满足公式：

$$d(\sin\varphi \pm \sin i) = m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

其中， $d = AB$ 为光栅常数，也即刻痕之间的距离， i 为入射角， φ 为出射角，当入射角和出射角为同侧时，上式左边取正，否则上式左边取负。 λ 为入射光的波长。

当 $i = 0$ ，即光线正入射时，有：

$$d\sin\varphi = m\lambda$$

2、用最小偏向角法测定光波的波长

写出主要原理公式和公式中的符号的物理意义；画出相应的光路图

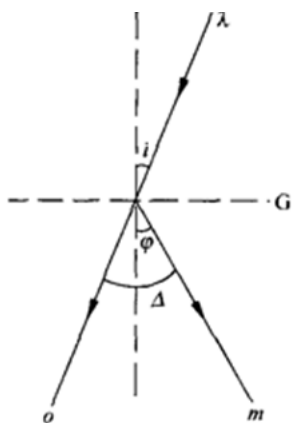


图 2 最小偏向角光路图

测量最小偏向角的光路图如图 2 所示。满足公式：

$$d(\sin\varphi + \sin i) = m\lambda$$

记 $\Delta = \varphi + i$, $\Delta_{min} = \delta$ (此时 $i = \varphi = \frac{\delta}{2}$)

则有 $2d\sin\frac{\delta}{2} = m\lambda$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$)

各物理量的含义和上题相同。将 δ 称为最小偏向角。

三、实验仪器

分光计、光栅、水银灯

水银灯波长如下

颜色	紫	绿	黄	红
波长/nm	404.7	491.6	577.0	607.3
	407.8	546.1	579.1	612.3
	410.8			623.4
	433.9			690.7
	434.8			
	435.8			

四、推导正入射时 d 和 λ 的不确定度

约定 $\Delta\varphi_m$ 取值为：

$$\Delta\varphi_m = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{\text{仪}}$$

(1) d 的不确定度

$$d = \frac{m\lambda}{\sin\varphi_m}$$

$$\ln d = \ln m + \ln \lambda - \ln \sin\varphi_m$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{\Delta \sin\varphi_m}{\sin\varphi}\right)^2} = \frac{\Delta \sin\varphi_m}{\sin\varphi} = \frac{\cos\varphi_m \Delta\varphi_m}{\sin\varphi_m} = \frac{\Delta\varphi_m}{\tan\varphi_m}$$

故有：

$$\Delta d = d \cdot \frac{\Delta\varphi_m}{\tan\varphi_m} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{\text{仪}} \frac{d}{\tan\varphi_m}$$

(2) λ 的不确定度

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi_m}{m}$$

$$\ln \lambda = \ln d + \ln \sin\varphi_m - \ln m$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \sin\varphi_m}{\sin\varphi_m} = \frac{\Delta \varphi}{\tan\varphi_m} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{\text{仪}} \cdot \frac{1}{\tan\varphi_m}$$

故有：

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{\tan\varphi_m} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \Delta_{\text{仪}}$$

五、实验任务及数据处理

(1) 正入射

(要求测 2 级或 3 级谱线，实际实验中取 3 级)，测汞灯波长较长的黄 1、波长较短的黄 2、546.1 纳米的绿色、较亮的蓝紫色光的 $2\varphi_m$ ，求 d 及 λ ，计算它们的不确定度，并写出完整的结果表达式。

实验操作

(1) 调整分光计和光栅满足测量要求。

(2) 使光栅平面与平行光管的光轴垂直。具体方法是调节小平台的俯仰角和角度，从自准望远镜中观察叉丝的反射像与分划板的上侧交叉点重合。

(3) 测定各谱线的 φ_m

数据处理

实验中得到的数据如下：

光栅编号：6； $\Delta_{\text{仪}} = 1'$ ； 入射光方向 $\varphi_{10} = 303^\circ 42'$ ； $\varphi_{20} = 123^\circ 44'$ ； $m=3$

波长	黄 1		黄 2		绿 (546.1nm)		紫	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
$\varphi_{\text{左}}$	335°6'	334°59'	333°10'	326°48'	272°20'	272°28'	274°18'	280°38'

$\varphi_{右}$	155°8′	154°59′	153°9′	146°49′	92°20′	92°27′	94°17′	100°38′
$2\varphi_m$	62°46′	62°48′	62°31′	62°32′	58°52′	58°52′	46°10′	46°11′
$\overline{2\varphi_m}$	62°47′		62°31′30″		58°52′		46°10′30″	
$\overline{\varphi_m}$	31°23′30″		31°15′45″		29°26′		23°5′15″	

已知绿光波长为 $\lambda_{绿} = 546.1nm$, 则通过公式

$$d = \frac{m\lambda}{\sin\varphi_m}$$

得到

$$d = \frac{3 \times 546.1 \times 10^{-9}}{\sin(29^\circ 26')} = 3333.9nm$$

预习报告中已经给出

$$\Delta d = d \cdot \frac{\Delta\varphi_m}{\tan\varphi_m} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Delta_{仪} \frac{d}{\tan\varphi_m}$$

代入数据得到

$$\Delta d = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 1' \times \frac{3.33 \times 10^{-6}}{\tan(29^\circ 26')} = 1.2nm$$

故

$$d = 3333.9 \pm 1.2nm$$

由于所测的级数和所用光栅的光栅常数不变, 故可以得到

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

故

$$\lambda_{黄1} = \lambda_{绿} \cdot \frac{\sin\varphi_{黄1}}{\sin\varphi_{绿}} = 546.1nm \times \frac{\sin(31^\circ 23' 30'')}{\sin(29^\circ 26')} = 578.7nm$$

$$\lambda_{黄2} = \lambda_{绿} \cdot \frac{\sin\varphi_{黄2}}{\sin\varphi_{绿}} = 546.1nm \times \frac{\sin(31^\circ 15' 45'')}{\sin(29^\circ 26')} = 576.6nm$$

$$\lambda_{紫} = \lambda_{绿} \cdot \frac{\sin\varphi_{紫}}{\sin\varphi_{绿}} = 546.1nm \times \frac{\sin(23^\circ 5' 15'')}{\sin(29^\circ 26')} = 435.7nm$$

预习报告中给出

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{\tan\varphi_m} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \Delta_{仪}$$

代入数据, 得到

$$\Delta\lambda_{黄1} = \frac{578.5nm}{\tan(31^\circ 23' 30'')} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 1' = 0.2nm$$

$$\Delta\lambda_{\text{黄}2} = \frac{576.6nm}{\tan(31^\circ 15' 45'')} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 1' = 0.2nm$$

$$\Delta\lambda_{\text{紫}} = \frac{435.7nm}{\tan(23^\circ 5' 15'')} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 1' = 0.2nm$$

故完整的波长表达式为：

$$\lambda_{\text{黄}1} = 578.7nm \pm 0.2nm$$

$$\lambda_{\text{黄}2} = 576.6nm \pm 0.2nm$$

$$\lambda_{\text{紫}} = 435.7nm \pm 0.2nm$$

(2)、斜入射

(要求测 2 级谱线)，测量波长较短的黄 2 谱线的 φ_m ，求 λ 及其平均值

整理后的实验数据如下：

光栅平面法线方向 $\varphi_{1n} = 304^\circ 30'$ $\varphi_{2n} = 124^\circ 32'$

	游标	入射光方向 φ_0	入射角 i	\bar{i}	
	I	319°32'	15°	15°	
	II	139°30'	15°		
光谱级次 m	游标	左衍射光方位 $\varphi_{\text{左}}$	衍射角 $\varphi_{m\text{左}}$	$\overline{\varphi_{m\text{左}}}$	同（异）侧
2	I	341°41'	37°11'	37°11'30''	异
	II	161°44'	37°12'		
光谱级次 m	游标	右衍射光方位 $\varphi_{\text{右}}$	衍射角 $\varphi_{m\text{右}}$	$\overline{\varphi_{m\text{右}}}$	同（异）侧
2	I	299°27'	5°3'	5°2'30''	同
	II	119°30'	5°2'		

数据处理

根据公式

$$d(\sin\varphi \pm \sin i) = m\lambda$$

其中，入射角和衍射角在同侧时取+，异侧时取-。故根据大小关系可知，测得的较小的 $\overline{\varphi_m}$ 为同侧的衍射角，较大的 $\overline{\varphi_m}$ 为异侧的衍射角。实验中也可以通过肉眼观察平行光管和自准望眼镜的位置来确定。分别将数据代入同侧和异侧的公式，得到：

$$\lambda_{\text{同}} = \frac{d(\sin\varphi + \sin i)}{m} = \frac{3333.9(\sin 15^\circ + \sin(5^\circ 2' 30''))}{2} = 577.9nm$$

$$\lambda_{\text{异}} = \frac{d(\sin\varphi + \sin i)}{m} = \frac{3333.9(\sin 37^\circ 11' 30'' - \sin 15^\circ)}{2} = 576.2nm$$

$$\bar{\lambda} = \frac{577.9nm + 576.2nm}{2} = 577.1nm$$

相对误差为

$$\frac{\lambda_{\text{测}} - \lambda_{\text{理}}}{\lambda_{\text{理}}} = 0.17\%$$

——要求 $i = 15^{\circ}0' \pm 1'$ ，如何调整？

1、调节入射光正入射。调节小平台的俯仰角和角度，从自准望远镜中观察叉丝的反射像与分划板的上侧交叉点重合。

2、记录测试的方位角。

3、通过旋转紧固螺钉，使得内侧游标盘和小平台相对位置保持不动。旋转小平台和内部游标盘，并使游标尺保持不动，直到方位角偏转 15° 。并使零级光谱与叉丝重合。记录此时的方位角。

——要求同侧、异侧各测一个 φ_m 。同、异测如何判断？

1、在测量黄光谱线是，可以直接肉眼观察平行光管、小平台和自准望远镜的相对位置。判断同侧或是异侧。

2、也可以通过公式中正负号的区别判断。

$$d(\sin\varphi \pm \sin i) = m\lambda$$

等号左边同侧取正，异侧取负。通过代数关系可以知道，测得的较小 φ 角是同侧，较大 φ 角是异侧。

(3) 用最小偏向角法测定黄 1 谱线的波长 λ 并计算结果。

实验操作

1、调节小平台的角度，使得入射角约为 20° 。

2、在自准望远镜中找到第二级黄 1 谱线。旋转小平台，改变入射角，此时能观察到黄 1 谱线向一个方向移动。继续旋转小平台，直到谱线发生“折返”现象。

3、反复调整小平台，直到定位到黄 1 谱线的“折返”点。此时入射角和衍射角之和达到最小偏向角。记录此时的方位角。

4、在另一侧重复上述操作。

数据处理

整理后的实验数据如下

波长	579.1nm	
m 级	2	
游标	I	II
$\varphi_{左}$	$340^{\circ}27'$	$160^{\circ}29'$
$\varphi_{右}$	$299^{\circ}27'$	$119^{\circ}28'$
2δ	$41^{\circ}0'$	$41^{\circ}1'$
$\overline{2\delta}$	$40^{\circ}0'30''$	
$\overline{\delta}$	$20^{\circ}0'15''$	

由

$$2d\sin\frac{\delta}{2} = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

可以得到

$$\lambda = \frac{2d \sin \frac{\delta}{2}}{m} = \frac{2 \times 3333.9 \times \sin(\frac{20^{\circ}0'15''}{2})}{2} = 579.0nm$$

相对误差为：

$$\frac{\lambda_{测} - \lambda_{理}}{\lambda_{理}} = 0.17\%$$

六、实验小结：

1、由于上学期做过分光计实验，所以对分光计有了一些了解。加上实验之前的讲解非常周到全面，上节课在这个位置做实验的同学也做了很好的预调，所以在实验中总体比较顺利。

2、在实验中观察到一个现象：当调节入射光垂直入射时，能观察到两个叉丝的像，上下对称分布。这是因为光栅的前后两个平面分别成像。在校准时，只需要使得任意一个像落在叉丝的上方交点处即可。

3、选作实验中，预调入射角比较重要。因为自准望远镜的视野有限，如果预调差的太远，很难找到最小偏向角。另外一种情况是，弄错了入射角的改变方向，使得偏向角一味增大，这样也是观察不到最小偏向角的。

4、最后对助教老师课前详尽的讲解表示感谢。