光栅衍射

院　　系: 自动化系

班　　级: 自 02 班

学生姓名: 彭程

学　　号: 2020011075

组　　号: 双四下 L

座 位 号: # 5

目录

1 实验名称

光栅衍射

2 数据处理

2.1 不确定度推导

由于：

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

故有：

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

而：

$$\frac{\partial \ln d}{\partial m} = \frac{1}{m}$$
$$\frac{\partial \ln d}{\partial \lambda} = \frac{1}{\lambda}$$
$$\frac{\partial \ln d}{\partial \sin\varphi_m} = -\frac{1}{\sin\varphi_m}$$

所以有：

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\sin\varphi_m}{\sin\varphi_m}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2}$$

即:

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2}$$

同理可得:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2}$$

由预习报告中关于不确定度的分析可以知道，φ_m 越大, $\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2$ 越小, 即 Δd 越小, 故取衍射光级次尽量大。又由于过高级次的光强较小的原因, 综合考虑，本次实验最终取衍射光谱级次 $m = 2$ 。

2.2 光线垂直入射测光栅常数和光波波长

光栅编号：__05__；$\Delta_{仪}$ =__1′__；入射光方位 φ_{10} =__123° 25′__；φ_{20} =__303° 24′__；

波长 / nm	黄 1		黄 2		546.1		紫	
衍射光谱级次m	2		2		2		2	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	143° 43′	323° 44′	143° 39′	323° 39′	142° 34′	322° 33′	138° 35′	318° 34′
右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	103° 4′	283° 5′	103° 10′	283° 9′	104° 16′	54° 38′	108° 16′	288° 15′
$2\varphi_m=\varphi_{左}-\varphi_{右}$	40° 39′	40° 39′	40° 29′	40° 30′	38° 18′	38° 18′	30° 19′	30° 19′
$\overline{2\varphi_m}$	40° 39′		40° 30′		38° 18′		30° 19′	
$\overline{\varphi_m}$	20° 20′		20° 15′		19° 9′		15° 10′	

由于：

$$d\sin\varphi_m = m\lambda$$

对于绿光: $\lambda = 546.1\ \mathrm{nm}, \varphi_m = 19°9'$
故代入公式得到：

$$\mathrm{d} = 3329.4\ \mathrm{nm}$$

由于 m 的不确定度为 0, 该条件下采用绿光的标准波长，故 λ 的不确定度非常小, 可忽略，代入之前推导出的不确定度公式有：

$$\frac{\Delta d}{d} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\sin\varphi_m}{\sin\varphi_m}\right)^2} = \sqrt{(\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2}$$

而 φ_m 的不确定度来源为两次读数取平均值，故有：

$$\Delta\varphi_m = \frac{1}{2}\sqrt{2\Delta仪^2} = 0.707'$$

所以有：

$$\Delta d = d\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m = 3329.4 \times \frac{\pi \times 0.707}{60 \times 180} \times \operatorname{ctg} 19°9' = 2.0\ \mathrm{nm}$$

故：

$$\mathrm{d} = (3329.4 \pm 2.0)\mathrm{nm}$$

由计算出的 d = 3329.4 nm 和测得的各光线的 φ_m 值计算出:
紫光: $\varphi_m = 15°10'$

$$\lambda = \frac{d\sin\varphi_m}{m} = 435.5\ \mathrm{nm}$$

黄 1: $\varphi_m = 20°20'$

$$\lambda = \frac{d\sin\varphi_m}{m} = 578.5\ \mathrm{nm}$$

黄 2: $\varphi_m = 20°15'$

$$\lambda = \frac{d\sin\varphi_m}{m} = 576.2\ \mathrm{nm}$$

计算 $\Delta\lambda$ 的过程如下: 之前推导出的不确定度公式有:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=\sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2+\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2+\left(\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m\right)^2}$$

而:

$$\Delta\varphi_m=\frac{1}{2}\sqrt{2\Delta_{仪}^2}=0.707' \quad \Delta m=0$$

所以有:

紫光:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda}&=\sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2+\left(\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m\right)^2}\\&=\sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2+\left(\frac{\pi\times 0.707}{60\times 180}\times\operatorname{ctg}15°10'\right)^2}\\&=7.2\times10^{-4}\end{aligned}$$

$$\Delta\lambda=\lambda\cdot\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=0.3\ \text{nm}$$
$$\lambda=(435.5\pm0.3)\text{nm}$$

黄 1:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda}&=\sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2+\left(\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m\right)^2}\\&=\sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2+\left(\frac{\pi\times 0.707}{60\times 180}\times\operatorname{ctg}20°20'\right)^2}\\&=6.9\times10^{-4}\end{aligned}$$

$$\Delta\lambda=\lambda\cdot\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=0.4\ \text{nm}$$
$$\lambda=(578.5\pm0.4)\text{nm}$$

黄 2:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda}&=\sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2+\left(\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m\right)^2}\\&=\sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2+\left(\frac{\pi\times 0.707}{60\times 180}\times\operatorname{ctg}20°15'\right)^2}\\&=6.9\times10^{-4}\end{aligned}$$

$$\Delta\lambda=\lambda\cdot\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=0.4\ \text{nm}$$

$$\lambda = (576.2 \pm 0.4)\mathrm{nm}$$

综上所述:

根据绿光波长计算出的光栅常数为:

$$\mathrm{d} = (3329.4 \pm 2.0)\mathrm{nm}$$

根据光栅常数计算其他光的波长为:

紫光:

$$\lambda = (435.5 \pm 0.3)\mathrm{nm}$$

偏差为:

$$\delta = \frac{\lambda_{紫} - \lambda}{\lambda_{紫}} = 0.07\%$$

黄 1:

$$\lambda = (578.5 \pm 0.4)\mathrm{nm}$$

偏差为:

$$\delta = \frac{\lambda_{黄\ 1} - \lambda}{\lambda_{黄\ 1}} = 0.10\%$$

黄 2:

$$\lambda = (576.2 \pm 0.4)\mathrm{nm}$$

偏差为:

$$\delta = \frac{\lambda_{黄\ 2} - \lambda}{\lambda_{黄\ 2}} = 0.14\%$$

2.3 测量汞灯光谱中波长较短的黄线的波长

光栅编号：05；光栅平面法线方位 φ_{1n} = 125° 5′；φ_{2n} = 305° 4′

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 i	$\bar{i}$	
	I	140° 0′	14° 55′	14° 56′	
	II	320° 0′	14° 56′		
光谱级次m	游标	左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	衍射角 $\varphi_{m_{左}}$	$\overline{\varphi}_{m_{左}}$	同（异）侧
2	I	162° 14′	37° 9′	37° 16′	异
	II	342° 15′	37° 11′		
光谱级次m	游标	右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	衍射角 $\varphi_{m_{右}}$	$\overline{\varphi}_{m_{右}}$	同（异）侧
2	I	120° 0′	5° 5′	5° 5′	同
	II	299° 59′	5° 5′		

由于 $\varphi_{m右} = 37°08'$ 与入射光线位于法线同侧, 故:

$$d \cdot (\sin \varphi_{m右} + \sin 15°) = m\lambda$$

故：

$$\lambda = \frac{d(\sin \varphi_{m右} + \sin 15°)}{m} = 578.4 \text{ nm}$$

偏差为：

$$\delta = \frac{\lambda_{黄\ 2} - \lambda}{\lambda_{黄\ 2}} = 0.23\%$$

2.4 用最小偏向角法测量波长较长的黄光波长

光栅编号：__05__；入射光线方位 φ_{1n} = __119°6′__；φ_{2n} = __299°5′__

<table>
<tr><td rowspan="3">光谱级次m</td><td>游标</td><td>法线 I</td><td>法线 II</td><td colspan="2">与入射光线夹角</td></tr>
<tr><td>I</td><td>129°26′</td><td>106°46′</td><td colspan="2" rowspan="2">10°20′</td></tr>
<tr><td>II</td><td>309°24′</td><td>286°45′</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td>游标</td><td>偏向 I</td><td>偏向 II</td><td>2δ</td><td>δ</td></tr>
<tr><td>I</td><td>162°14′</td><td>37°9′</td><td rowspan="2">40°4′</td><td rowspan="2">20°2′</td></tr>
<tr><td>II</td><td>342°15′</td><td>37°11′</td></tr>
</table>

由于：

$$2d \sin \frac{\delta}{2} = m\lambda$$

故：

$$\lambda = \frac{2d \sin \frac{\delta}{2}}{m} = 579.1nm$$

偏差为：

$$\delta = \frac{\lambda_{黄\ 1} - \lambda}{\lambda_{黄\ 1}} = 0.0003\%$$

可以看到此处与标准值相当接近。

3 实验总结

由于上个学期有过使用分光计的经历，再加上本次实验前有认真复习，故在本次实验中对于分光计的调节部分比较熟悉。由于分光计属于精密光学仪器，所以要在实验前对其进行望远镜调节、平行光管调节等操作。否则会给实验带来比较大的误差。

光栅实验中由于不能保证光栅底面和光学面垂直，故不需要对平台进行调水平，只需要在放上光栅后调节螺钉，使得光栅刻线垂直于分光计主轴。光栅的垂直入射则是利用了自准法，旋转小平台使得十字反射像和入射光线共线。

在实验中多次利用到了测量两倍物理量避免测量量相减求出单倍测量量的方法来减小误差，这点值得我注意，在今后的学习中可以加以实验和应用。

最后，感谢老师的悉心指导！

4 原始数据及预习思考题

自02 彭程 2020011075 双四下L 2022.4.14.

数据记录表

（1）$i=0$ 时，测定光栅常数和光波波长

光栅编号：5 $\Delta_{仪}$ = 1′ 入射光方位 φ_{10} = 123°25′ φ_{20} = 303°24′

波长（nm）	黄 1		黄 2		546.1		紫	
衍射光谱级次 m	2		2		2		2	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	143°43′	323°44′	143°39′	323°39′	142°34′	322°33′	138°34′	318°34′
右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	103°4′	283°5′	103°10′	283°9′	104°16′	284°15′	108°16′	288°15′
$2\varphi_m=\varphi_{左}-\varphi_{右}$	40°39′	40°39′	40°29′	40°30′	38°18′	38°18′	30°19′	30°19′
$\overline{2\varphi_m}$	40°39′		40°30′		38°18′		30°19′	
φ_m	20°20′		20°15′		19°9′		15°10′	

（2）$i=15°0'$ 时，测量波长较短的黄线的波长

光栅编号：5. 光栅平面法线方位 φ_{1n} = 125°5′ φ_{2n} = 305°4′

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 i	$\bar{i}$	
	I	140°0′	14°55′	14°56′	
	II	320°0′	14°56′		
光谱级次 m	游标	左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	衍射角 $\varphi_{m左}$	$\overline{\varphi}_{m左}$	同（异）侧
2	I	162°14′	37°9′	37°10′	异
	II	342°15′	37°11′		
光谱级次 m	游标	右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	衍射角 $\varphi_{m右}$	$\overline{\varphi}_{m右}$	同（异）侧
2	I	120°0′	5°5′	5°5′	同
	II	299°59′	5°5′		

(3) 最小偏向角测波长较长的黄波波长.

光栅编号：5 入射光方位 φ_{10} = 119°6′ φ_{20} = 299°5′

光谱级次：m=2.

法线1 129°26′ 309°24′ 偏向1 139°8′ 319°7′

法线2 106°46′ 286°45′ 偏向2 99°4′ 279°4′

$2\delta = 40°4'$ $\delta = 20°2'$

2022.4.14

自02 彭程 2020011075 双周下Ⅰ.

光栅衍射实验——预习思考题

1. 观看视频（https://www.bilibili.com/video/BV1nh411p772?spm_id_from=333.999.0.0），复习分光计的结构原理及调节方法过程。

2. 用公式（2）测 d（或λ）时，实验需要保证什么条件？

平行光垂直入射于光栅平面。

3. 什么是视差？如何判断存在视差？分光计调节过程中哪些环节需要消除视差？如何消除？

①视差：从不同角度观察同一目标产生的方向差异，实验中体现为目标的像不在十字分划面上

② 判断存在视差：不能同时看清目标和十字分划板。

③哪些环节：望远镜镜筒调焦、2. 调节平行光管产生平行光。

④如何调节：1.将平面镜放于望远镜物镜处，调节叉丝套筒至看到清晰的十字反射像。
2.调节窄缝与平行光管透镜距离至观察到清晰的窄缝像。

4.由式（2）推导出 d 和 λ 的不确定度估算公式。为了减少测量误差，应根据观察到的各级谱线的强弱及不确定度的公式来决定测量第几级的φ_m较为合理。

$d=\frac{m\lambda}{\sin\varphi_m}$ $\ln d=\ln m+\ln\lambda-\ln\sin\varphi_m$ $\frac{\partial\ln d}{\partial\lambda}=\frac{1}{\lambda}$ $\frac{\partial\ln d}{\partial\sin\varphi_m}=-\frac{1}{\sin\varphi_m}$ $\frac{\Delta d}{d}=\sqrt{(\frac{\Delta\lambda}{\lambda})^2+(\frac{\Delta\sin\varphi_m}{\sin\varphi_m})^2}$

同理：$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=\sqrt{(\frac{\Delta d}{d})^2+(\frac{\Delta\sin\varphi_m}{\sin\varphi_m})^2}$

5. 光栅和棱镜都是应用非常广泛的分光元件。对于同一复色光源，分别利用光栅分光和棱镜分光，所产生的光谱有何区别？

1. 三棱镜只产生一组光谱，光栅分光产生多组光谱.

2. 原理不同.棱镜是利用不同色光折射率不同产生光谱；
光栅是根据衍射原理.利用不同色光波长不同衍射图样亮线分布不同。

3. 分辨率不同.光栅谱线更细.分辨率更高。