光栅衍射

院　　系: 自动化系

班　　级: 自 31 班

学生姓名: 李想

学　　号: 2022011642

组　　号: 单一晚 N

座 位 号: 18

目录

1 实验名称

光栅衍射实验

2 实验目的

(1) 进一步熟悉分光计的使用方法
(2) 学习并理解如何使用衍射光栅测定光波波长以及光栅常数
(3) 加深对光栅衍射公式及其成立条件的理解

3 实验仪器

分光计、光栅、平面镜（调节用）、汞灯。

4 数据处理

4.1 光线垂直入射测光栅常数和光波波长

光栅编号: 19; $\Delta_{仪}=1'$; 入射光方位 $\phi_{10}=327°50'$; $\phi_{20}=147°42'$;

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 φ_1	348°25’	167°45’	347°55’	40°35’	346°45’	166°40’	312°30’	162°50’
右侧衍射光方位 φ_2	307°15’	127°20’	307°20’	127°20’	308°35’	128°20’	342°45’	132°30’
$2\varphi_m=\varphi_1-\varphi_2$	41°10’	40°25’	40°35’	40°35’	38°15’	38°20’	30°15’	30°20’
$2\overline{\varphi_m}$	40°47’		40°35’		38°18’		30°18’	
$\overline{\varphi_m}$	20°23’		20°17’		19°9’		15°9’	

因为:

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

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

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

我们知道 m 的不确定度为 0, 并且 546.1nm 为绿光的标准波长，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：

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

故：

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

这样，我们就可以由计算出的 d = 3329.4 nm 和测得的各光线的 φ_m 值计算出:

紫光: $\varphi_m = 15°9'$

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi_m}{m} = 434.5 \text{ nm}$$

黄 1: $\varphi_m = 20°23'$

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi_m}{m} = 579.0 \text{ nm}$$

黄 2: $\varphi_m = 20°17'$

$$\lambda = \frac{d \sin\varphi_m}{m} = 576.3 \text{ nm}$$

计算 $\Delta\lambda$ 的过程如下: 预习报告中推导出的不确定度公式有：

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

而：

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

所以有：

紫光:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2 + \left(\frac{\pi \times 0.707}{60 \times 180} \times \operatorname{ctg} 15°9'\right)^2} \\ &= 9.6 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

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

$$\lambda = (434.5 \pm 0.4)\mathrm{nm}$$

黄 1:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2 + \left(\frac{\pi \times 0.707}{60 \times 180} \times \operatorname{ctg} 20°23'\right)^2} \\ &= 8.2 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.5 \text{ nm}$$
$$\lambda = (579.0 \pm 0.5)\text{nm}$$

黄 2:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + (\Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2.0}{3329.4}\right)^2 + \left(\frac{\pi \times 0.707}{60 \times 180} \times \operatorname{ctg} 20°17'\right)^2} \\ &= 8.2 \times 10^{-4}\end{aligned}$$

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0.5 \text{ nm}$$

$$\lambda = (576.3 \pm 0.4)\text{nm}$$

综上所述:

根据绿光波长计算出的光栅常数为:

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

根据光栅常数计算其他光的波长为:

紫光:

$$\lambda = (434.5 \pm 0.3)\text{nm}$$

偏差为:

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

黄 1:

$$\lambda = (579.0 \pm 0.4)\text{nm}$$

偏差为:

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

黄 2:

$$\lambda = (576.3 \pm 0.4)\text{nm}$$

偏差为:

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

4.2 i=15°0' 时测量波长较短的黄色谱线对应波长

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 i	$\bar{i}$	
入射角	I	327°30'	15°5'	15°5'	
	II	147°30'	15°4'		
光谱级次 m	游标	左侧衍射光方位 φ_1	衍射角 $\varphi_{m左}$	衍射角 $\overline{\varphi_{m左}}$	同（异）侧
2	I	349°50'	37°15'	37°13'	异
	II	169°45'	37°11'		
光谱级次 m	游标	右侧衍射光方位 φ_2	衍射角 $\varphi_{m右}$	衍射角 $\overline{\varphi_{m右}}$	同（异）侧
2	I	307°30'	5°5'	5°5'	同
	II	127°30'	5°4'		

由于 $\varphi_{m右} = 5°5'$ 与入射光线位于法线同侧, 故:

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

故:

$$\lambda = \frac{d(\sin \varphi_{m右} + \sin 15°)}{m} = 580.5 \text{ nm}$$

由于 $\varphi_{m左} = 37°13'$ 与入射光线位于法线异侧, 故:

$$d \cdot (\sin \varphi_{m左} - \sin 15°) = m\lambda$$

故:

$$\lambda = \frac{d(\sin \varphi_{m左} - \sin 15°)}{m} = 578.2 \text{ nm}$$

那么:

$$\overline{\lambda} = 579.4nm$$

偏差为:

$$\delta = \frac{\lambda_{黄\ 2} - \overline{\lambda}}{\lambda_{黄\ 2}} = 0.05\%$$

这与理论值很接近。

5 实验总结

- 我去年从法学院降级转专业到工科院系，没有来得及选修物理实验（1），因此这是我第一次使用分光计。实验前，我时常听到“眼睛看‘瞎’也没看出来”，“分光计是最难的物理实验”之类的“同学经验分享”，不免让我十分紧张。因此我做了很详尽的课前预习，不仅重新复习了光栅的分光原理，还上网观看了一次又一次分光计的使用操作。因此虽然在实际操作时仍然有不明白的地方，但在助教学长的帮助下，也还是很快解决了问题，测量到了足够精确的数据，实在让我感到幸运而长出一口气。

- 在具体做实验时，对零级左右两侧的衍射角均测量并取平均，以此来减小偏心误差的方法我第一次接触，感到十分精妙，值得我在以后的实验设计与操作中应用。
- 调节分光计时先粗调再细调的实验方法，以及利用绿色十字叉丝与目镜瞄准叉丝对齐，来保证光栅垂直入射的自准法，让我感到分光计这样精密光学仪器的使用需要十分谨慎，调节的方法要妥善选取。
- 感谢老师与助教学长的悉心指导!

6 思考题

1. 需要保持光线垂直入射，即 i 应该等于 0. 在具体实验操作时，可将光栅置放于物镜前，观察其反射回来的绿色十字叉丝，接着调整光栅角度，直到绿色十字叉丝与目镜上的瞄准叉丝完全对齐，即可认为光线已经垂直入射。

2. 这在预习报告上推导过，简要过程如下：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:

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

当然，我们还有：

$$\Delta m = 0, \Delta\varphi_m \operatorname{ctg}\varphi_m = \frac{\sqrt{2}\Delta_{仪}}{2tan\varphi_m}$$

因此：

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

因此我们知道，φ_m 越大，两个量的不确定度就越小。

3. 只需要在光线垂直入射的角度基础上增加或减少 15°，便可得到光栅平面的法线方位。将望远镜转动至该方位角后，调整光栅角度，使光栅反射回来的绿色十字叉丝与目镜上的瞄准叉丝对齐即可。

4. 棱镜分光时，往往产生一组连续的光谱，这是由于棱镜分光原理的特性，不同波长的光线在通过棱镜时会产生连续的折射角，因此形成连续的光谱。而光栅分光时，通常会产生多组光谱，这是由于光栅的衍射特性：光栅会根据不同颜色的光不同的波长，产生一系列分布位置不同的亮线，据此衍射图样产生分光效果。

7 原始数据

2024 春物理实验 B(2)课程资料

附录 1 实验测量数据记录参考表格

实验题目：光栅衍射实验

姓名：李想，学号 2022011642，实验组号：N，实验台号：18，实验日期 2024.3.25

1. $i = 0$ 时测定光栅常数 d 和光波波长 λ

光栅编号：19 $\Delta_{仪}$ = 1′ 入射光方位：φ_{10} = 327°30′，φ_{20} = 147°42′

谱线颜色/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 $\varphi_{左}$	348°25′	167°45′	347°55′	167°55′	346°45′	166°45′	312°30′	132°30′
右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	307°15′	127°20′	307°20′	127°20′	308°30′	128°20′	342°45′	162°50′
$2\varphi_m = \varphi_{左} - \varphi_{右}$	41°10′	40°25′	40°35′	40°35′	38°15′	38°20′	30°15′	30°20′
$\overline{2\varphi_m}$	40°47′		40°35′		38°18′		30°18′	
φ_m	20°23′		20°17′		19°9′		15°9′	

记反颠倒

2. $i = 15°0'$ 时测量波长较短的黄色谱线对应波长

光栅平面法线方位 φ_{1n} = 312°25′ φ_{2n} = 132°34′

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 i	$\bar{i}$	
入射角	I	327°20′	15°5′	15°5′	
	II	147°30′	15°4′		
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	349°50′	37°15′	37°13′	异
	II	169°45′	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	307°30′	5°5′	5°5′	同
	II	127°30′	5°4′		

3. 最小偏向角法测量波长较长的黄色谱线对应波长

自拟表格记录数据

0328 李

—36—