

光栅衍射实验 实验报告

姓名：吴晨聪 学号：2022010311 实验日期：2024年5月8日 实验台号：9

一. 实验目的

- (1) 进一步熟悉分光计的调整与使用；
- (2) 学习利用衍射光栅测定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. 实验仪器

1. 分光计
2. 光栅
3. 汞灯

三. 实验原理

- (1) 测定光栅常数和光波波长

光栅上的刻痕起挡光的作用。一个理想的光栅可看作是许多等宽度、等间距的平行狭缝。刻痕间的距离称为光栅常数，记为 d 。

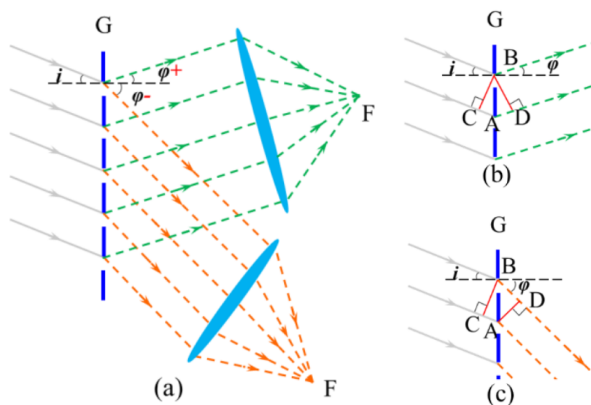


图 1(a)光栅衍射光路示意图；(b) 衍射光线和入射光线居光栅法线同侧时的光程差；(c) 衍射光线和入射光线分居光栅法线两侧时的光程差

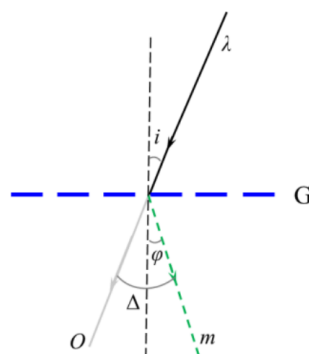


图 2 衍射光谱的偏向角示意图

如图 1(a)所示，设有一光栅常数 $d = AB$ 的光栅 G ，一束平行光与光栅的法线成角度 i （即入射角），入射到光栅上产生衍射，经透镜汇聚后在其焦平面上干涉叠加。对于衍射光线和入射光线都在光栅法线的同一侧的情况（见图 1(b)），从 B 点作 BC 垂直于入射线 CA ， BD 垂直于衍射光线 AD 。 AD 与光栅法线所成的夹角为 φ 即为衍射角。如果在这个方向上由于光的相干加强而在 F 处产生明条纹（即光谱线），则透过相邻狭缝的光线的光程差

(CA+AD) 必等于光波波长 λ 的整数倍, 即

$$nd(\sin \varphi_m + \sin i) = m\lambda$$

其中 n 为空气折射率, 在空气介质中可近似取 1; m 为衍射光谱的级次, 取整数; φ_m 为第 m 级谱线的衍射角。而对衍射光线和入射光线分居于光栅法线两侧的情况, 参见图1(c), 同样明条纹对应的相邻狭缝的光线的光程差 (BD-CA) 也必须等于光波波长 λ 的整数倍, 即

$$nd(\sin \varphi_m - \sin i) = m\lambda$$

综合以上两种情况, 可以写出光栅衍射方程

$$nd(\sin \varphi_m \pm \sin i) = m\lambda$$

式中衍射光谱级次 m 取整数 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 等, 正负号取决于光程差的符号, 与等号左边结果的符号一致。

在光线正入射即 $i = 0$ 的情况下 (取 $n = 1$), 则光栅衍射方程式(1)变成

$$nds \sin \varphi_m = m\lambda$$

此时同级次衍射谱线对称分布在入射光线 (或光栅法线) 两侧。

据此, 可用分光计测出衍射角 φ_m 及入射角 i , 若已知光波波长 λ , 则可以测出光栅常数 d ; 反之, 如已知 光栅常数 d , 则可测出光波波长 λ 。

(2) 用最小偏向角法测定光波波长

如图 2 所示, 波长为 λ 的光束入射在光栅 G 上, 入射角为 i , 若与入射线在光栅法线同一侧的 m 级衍射光的衍射角为 λ , 则由式(1)可知, 有

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

若以 Δ 表示入射光与第 m 级衍射光的夹角, 称为偏向角, 则

$$\Delta = \varphi_m + i$$

显然, Δ 随入射角 i 而变, 不难证明当 $\varphi_m = i$ 时 Δ 为一极小值, 记作 δ , 称为最小偏向角。

并且仅在入射光线和衍射光线处于光栅法线的同一侧时才存在最小偏向角。此时,

$$i = \varphi = \frac{\delta}{2}$$

代入式(3)得

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

由此可见, 如已知光栅常数 d , 只要测出了最小偏向角 δ , 就可根据式(6)算出光波波长 λ 。

四. 实验内容及步骤

1. $i = 0$ 时测定光栅常数 d 和光波波长 λ

光栅编号： 20 $\Delta_{\text{光}} = 1'$ 入射光方位： $\varphi_{10} = 96^{\circ}14'$ $\varphi_{20} = 276^{\circ}16'$

谱线颜色/波长(nm)	黄 1		黄 2		546.1		紫	
衍射光谱级次m	3		3		3		3	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
左侧衍射光方位 $\varphi_{\text{左}}$	301°7'	122°9'	300°5'	121°7'	299°7'	119°7'	290°1'	110°1'
右侧衍射光方位 $\varphi_{\text{右}}$	238°46'	59°48'	238°2'	59°4'	240°17'	60°17'	244°15'	64°15'
$2\varphi_m = \varphi_{\text{左}} - \varphi_{\text{右}}$	62°21'	62°21'	62°3'	62°3'	58°50'	58°50'	45°46'	45°46'
$\overline{2\varphi_m}$	62°21'		62°3'		58°50'		45°46'	
φ_m	31°10'30"		31°1'30"		29°25'0"		22°53'0"	

2. $i = 15^{\circ}$ 时测量波长较短的黄色谱线对应波长

光栅平面法线方位 $\varphi_{1n} = 279^{\circ}22'$ $\varphi_{2n} = 99^{\circ}22'$

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 <i>i</i>	\bar{i}	
入射角	I	264°22'	15°	15°	
	II	84°22'	15°		
光谱级次m	游标	左侧衍射光方位 $\varphi_{\text{左}}$	衍射角 $\varphi_{m\text{左}}$	$\overline{\varphi_{m\text{左}}}$	同（异）侧
3	I	114°51'	15°1'	15°1	同
	II	294°51'	15°1		
光谱级次m	游标	右侧衍射光方位 $\varphi_{\text{右}}$	衍射角 $\varphi_{m\text{右}}$	$\overline{\varphi_{m\text{右}}}$	同（异）侧
3	I	48°18'	51°4'	51°4'	异
	II	228°18'	51°4'		

五. 数据处理

1. 求*i* = 0时光栅常数*d*和光波波长 λ

(1) 用 $\lambda = 546.1\text{nm}$ 求*d*

$$d = \frac{m\lambda}{\sin(\varphi_m)} = \frac{3 \times 546.1\text{nm}}{\sin(29^{\circ}25'0'')} = 3335.592\text{nm}$$

(2) 求黄光1的波长

$$\lambda_{\text{黄1}} = \frac{1}{m} d \sin(\varphi_m) = \frac{3335.592\text{nm} \times \sin(31^{\circ}10'30'')}{3} = 575.560\text{nm}$$

$$E_{\text{黄1}} = \frac{|579.1 - 575.560|}{579.1} = 0.611\%$$

(3) 求黄光2的波长

$$\lambda_{\text{黄2}} = \frac{1}{m} d \sin(\varphi_m) = \frac{3335.592\text{nm} \times \sin(31^{\circ}1'30'')}{3} = 573.068\text{nm}$$

$$E_{\text{黄2}} = \frac{|577 - 573.068|}{577} = 0.681\%$$

(4) 求紫光的波长

$$\lambda_{\text{紫}} = \frac{1}{m} d \sin(\varphi_m) = \frac{3335.592 \text{ nm} \times \sin(22^\circ 53' 0'')}{3} = 432.355 \text{ nm}$$
$$E_{\text{紫}} = \frac{|435.8 - 432.355|}{435.8} = 0.790\%$$

光栅常数 d 的计算结果为 3335.592 nm ，这个数值可以作为后续计算的基础。这些实验结果表明实验数据较为准确，而且结果与理论值之间的误差都在很小的范围内，这表明实验的可靠性较高。

2. 求 $i = 15^\circ$ 时测量波长较短的黄色谱线对应波长

(1) 求异侧波长

$$\lambda_{\text{异}} = \frac{1}{m} d (\sin(\varphi_m) - \sin i)$$
$$= \frac{3335.592 \text{ nm} \times (\sin(51^\circ 4' 0'') - \sin(15^\circ 0' 0''))}{3}$$
$$= 576.810 \text{ nm}$$

(2) 求同侧波长

$$\lambda_{\text{同}} = \frac{1}{m} d (\sin(\varphi_m) + \sin i)$$
$$= \frac{3327.014 \text{ nm} \times (\sin(15^\circ 1' 0'') + \sin(15^\circ 0' 0''))}{3}$$
$$= 576.168 \text{ nm}$$

(3) 波长平均值

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{\text{异}} + \lambda_{\text{同}}}{2} = 576.489 \text{ nm}$$
$$E = \frac{|577 - 576.489|}{577} = 0.089\%$$

两侧测出的波长值都比较理想，误差很小，可以达到实验要求。

六. 实验总结

光栅本次实验主要旨在通过光栅衍射实验，进一步熟悉分光计的调整与使用，并学习利用衍射光栅测定光波波长及光栅常数的原理和方法，同时加深对光栅衍射公式及其成立条件的理解。在实验中，成功测定了光栅常数和光波波长，实验数据表现出较高的准确性，结果与理论值之间的误差都在很小的范围内，表明实验的可靠性较高。

七. 思考题

1. 用公式(2)测 d (或 λ) , 实验时要保证什么条件? 如何实现?

- 保证垂直入射。
- 载物台、望远镜、平行光管都水平, 平行光管要发出平行光。
- 望远镜, 平行光管的主光轴垂直于分光计主轴。

2. 由式(2)推导出 $\Delta d/d$ 及 $\Delta \lambda/\lambda$ 的表达式, 分析它们的大小与 φ_m 的关系。

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{d}{m\lambda} \cos \phi \Delta \phi = \frac{\sqrt{1-\eta^2}}{\eta} \Delta \phi \sim 0.0025/m$$
$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{d}{m\lambda} \cos \phi \Delta \phi\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2} = \sqrt{2} \frac{\sqrt{1-\eta^2}}{\eta} \Delta \phi \sim 0.005/m$$
$$\eta = \frac{m\lambda}{d} \sim 0.1$$

$\therefore m \uparrow, \varphi_m \uparrow, \text{不确定度减小}$

3. 实验任务(3)中, 如何保证入射角等于 15° ?

- 先记下望远镜对准0级时分光计的刻度方位
- 将望远镜旋转 15°
- 旋转载物台下方的黑色基座, 使得分光计的刻度方位回到第一步记下的位置

4. 对于同一光源, 分别利用光栅分光和棱镜分光, 所产生的光谱有何区别?

- 三棱镜分光只有一组光谱, 光栅分光则产生多组光谱。
- 分光光栅是利用衍射原理, 光栅分光是利用不同颜色的光波长不同, 通过光栅后产生衍射图样的亮线位置分布不同产生分光效果。棱镜是利用折射原理, 三棱镜分光是利用不同颜色的光在同一介质中折射率不同的原理制成。
- 一般说来, 光栅光谱更精细, 分辨率更高。而棱镜分辨率不如光栅。

八. 原始数据记录

附录 1 实验测量数据记录参考表格

实验题目: 光栅衍射姓名: 吴晨, 学号 2022010311, 实验组号: 单三晚 K, 实验台号: 9, 实验日期 2024.5.81. $i = 0$ 时测定光栅常数 d 和光波波长 λ 光栅编号: 20 $\Delta n =$ 1 入射光方位: $\varphi_{10} =$ $76^{\circ}74'$, $\varphi_{20} =$ $276^{\circ}14'$

谱线颜色/波长(nm)	黄 1		黄 2		546.1		紫	
衍射光谱级次 m	3		3		3		3	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	$301^{\circ}7'$	$121^{\circ}9'$	$300^{\circ}5'$	$121^{\circ}7'$	$299^{\circ}7'$	$119^{\circ}7'$	$290^{\circ}1'$	$110^{\circ}1'$
右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	$238^{\circ}46'$	$59^{\circ}48'$	$238^{\circ}2'$	$59^{\circ}4'$	$240^{\circ}11'$	$60^{\circ}11'$	$244^{\circ}15'$	$64^{\circ}15'$
$2\varphi_m = \varphi_{左} - \varphi_{右}$	$62^{\circ}21'$	$62^{\circ}21'$	$62^{\circ}3'$	$62^{\circ}3'$	$58^{\circ}50'$	$58^{\circ}50'$	$45^{\circ}46'$	$45^{\circ}46'$
$2\varphi_m$	$62^{\circ}21'$		$62^{\circ}3'$		$58^{\circ}50'$		$45^{\circ}46'$	
φ_m	$31^{\circ}10'30''$		$31^{\circ}1'30''$		$29^{\circ}25'0''$		$22^{\circ}53'0''$	

2. $i = 15^{\circ}0'$ 时测量波长较短的黄色谱线对应波长光栅平面法线方位 $\varphi_{1n} =$ $119^{\circ}22'$ $\varphi_{2n} =$ $99^{\circ}22'$

	游标	入射光方位 φ	入射角 i	\bar{i}	
入射角	I	$164^{\circ}22'$	15°	15°	
	II	$84^{\circ}22'$	15°		
光谱级次 m	游标	左侧衍射光方位 $\varphi_{左}$	衍射角 $\varphi_{m左}$	$\bar{\varphi}_{m左}$	同(异)侧
3	I	$114^{\circ}23'$	$15^{\circ}1'$	$15^{\circ}1'$	同
	II	$294^{\circ}23'$	$15^{\circ}1'$		
光谱级次 m	游标	右侧衍射光方位 $\varphi_{右}$	衍射角 $\varphi_{m右}$	$\bar{\varphi}_{m右}$	同(异)侧
3	I	$48^{\circ}18'$	$51^{\circ}4'$	$51^{\circ}4'$	异
	II	$228^{\circ}18'$	$51^{\circ}4'$		

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

级次 m 游标 黄光方位

I

II

I

II

 $2\delta =$ $\delta =$

$\alpha f = 8$

[Handwritten signature]