

光栅衍射实验 实验报告

姓名：王炜致 学号：2022010542 实验日期：2024.4.23 实验台号：5

1 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。

2 实验仪器

分光计、光栅、汞灯、普通照明台灯

3 数据处理与分析

3.1 $i = 0$ 时测定光栅常数 d 和光波波长 λ

光栅编号：5 $\Delta = 1'$ (本报告不计算不确定度) 入射光方位： $\phi_{10} = 356^\circ 50'$, $\phi_{20} = 176^\circ 52'$

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 ϕ_l	28°15'	208°13'	28°7'	208°5'	26°17'	206°15'	19°57'	199°55'
右侧衍射光方位 ϕ_r	325°30'	145°31'	325°24'	145°23'	327°22'	147°21'	333°45'	153°43'
$2\phi_m = \phi_l - \phi_r$	62°45'	62°42'	62°43'	62°42'	58°55'	58°54'	46°12'	46°12'
$\overline{2\phi_m}$	62°43'30"		62°42'30"		58°54'30"		46°12'	
ϕ_m	31°21'45"		31°21'15"		29°27'15"		23°6'	

实验中测量的光谱级次均为第 3 级。一方面，在预习时，已得出光谱级次越大，测得光栅常数 d 和光波波长 λ 的不确定度越小的结论；另一方面，在实验中观察到，光谱级次大于等于第 4 级时将发生交叠现象(理论分析交叠级次临界条件 $(m+1)\lambda_{435.8} = m\lambda_{579.1}$ 得到 $m=3.04$, 结论相同)，不利于测量。故考虑测量第 3 级光谱。

由 $i = 0, n = 1$ 时的光栅衍射公式

$$d \sin \phi_m = m\lambda$$

将 $\lambda = 546.1nm$ 数据代入, 得到

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \phi_m} = \frac{3 \cdot 546.1}{\sin 29^\circ 27' 15''} nm \approx 3331.73nm$$

利用 d 值分别计算其它色光波长, 同时分别计算与参考值的相对误差, 如下。

对于黄 1 光有 (距轴线较远的黄 1 光波长应较长)

$$\lambda_{y1meas} = \frac{d \sin \phi_m}{m} = \frac{3331.73 \cdot \sin 31^\circ 21' 45''}{3} nm \approx 578.0nm$$

黄 1 光波长测量相对误差

$$\eta_1 = \frac{|\lambda_{y1meas} - \lambda_{y1}|}{\lambda_{y1}} = \frac{|578.0 - 579.1|}{579.1} \approx 0.19\%$$

对于黄 2 光有

$$\lambda_{y2meas} = \frac{d \sin \phi_m}{m} = \frac{3331.73 \cdot \sin 31^\circ 21' 15''}{3} nm \approx 577.9nm$$

黄 2 光波长测量相对误差

$$\eta_2 = \frac{|\lambda_{y2meas} - \lambda_{y2}|}{\lambda_{y2}} = \frac{|577.9 - 577.0|}{577.0} \approx 0.16\%$$

对于紫光有

$$\lambda_{pmeas} = \frac{d \sin \phi_m}{m} = \frac{3331.73 \cdot \sin 23^\circ 6'}{3} nm \approx 435.7nm$$

紫光波长测量相对误差

$$\eta_p = \frac{|\lambda_{pmeas} - \lambda_p|}{\lambda_p} = \frac{|435.7 - 435.8|}{435.8} \approx 0.02\%$$

可见测得波长值误差总体较小, 黄 1,2 光的大小关系正确。注意到紫光波长测量精确度相对较高; 而黄光测量精确度偏低, 两条谱线对应的光波长相差也较标准值之差过小, 这可能是由于在测量时谱线与叉丝中线对齐情况不是很好, 读数也有可能存在问题。

3.2 $i = 15^\circ 0'$ 时测量波长较短的黄色谱线对应波长

光栅平面法线方位 $\phi_{1n} = 15^\circ 0'$ $\phi_{2n} = 195^\circ 0'$

	游标	入射光方位 ϕ_0	入射角 i	\bar{i}	
入射角	I	$0^\circ 0'$	$15^\circ 0'$	$15^\circ 0'$	
	II	$180^\circ 0'$	$15^\circ 0'$		
光谱级次 m	游标	左侧衍射光方位 ϕ_l	衍射角 ϕ_{ml}	$\overline{\phi_{ml}}$	同 (异) 侧
3	I	$30^\circ 8'$	$15^\circ 8'$	$15^\circ 7' 30''$	同
	II	$210^\circ 7'$	$15^\circ 7'$		
光谱级次 m	游标	右侧衍射光方位 ϕ_r	衍射角 ϕ_{mr}	$\overline{\phi_{mr}}$	同 (异) 侧
3	I	$323^\circ 54'$	$51^\circ 6'$	$51^\circ 6'$	异
	II	$143^\circ 54'$	$51^\circ 6'$		

调节入射角 $i = 15^\circ 0'$ 的方法 利用刻度盘可以比较精确地调节入射角度。在 $i = 0$ 时诸仪器位置基础上, 观察刻度盘角度, 将望远镜 (顺时针) 精确地转动 $15^\circ 0'$ 。再缓慢旋转载物台, 找到光栅反射回的绿十字, 使绿十字再次对齐叉丝, 这就在望远镜的辅助下使光栅转动了 $15^\circ 0'$ 。由于入射光方位不变, 入射角变为 $15^\circ 0'$ 。转动望远镜即可观察在入射角为 $15^\circ 0'$ 情况下的谱线分布。

光谱级次选取原则同上。在 $n = 1$ 条件下, 利用公式

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

即

$$\lambda = \frac{d(\sin \phi_m \pm \sin i)}{m}$$

由正负号不同，容易判断对于同一波长光线，同侧入射角 ϕ_{m_1} 较小，异侧 ϕ_{m_2} 较大。代入数据计算得同侧测量波长

$$\lambda_{meas_1} = \frac{3331.73(\sin 15^\circ 7' 30'' + \sin 15^\circ 0')}{3} nm \approx 577.22 nm$$

异侧测量波长

$$\lambda_{meas_2} = \frac{3331.73(\sin 51^\circ 6' - \sin 15^\circ 0')}{3} nm \approx 576.86 nm$$

考虑取平均值

$$\lambda_{meas} = \frac{\lambda_{meas_1} + \lambda_{meas_2}}{2} \approx 577.04 nm$$

则相对误差

$$\eta = \frac{|\lambda_{meas} - \lambda|}{\lambda} = \frac{|577.04 - 577.0|}{577.0} \approx 0\%$$

误差几乎可以忽略不计，可见测得波长与标准值吻合得比较好。

4 实验总结

在上学期利用分光计研究三棱镜性质实验基础上进行本次实验，我感到自己的操作熟练度和准确度有了很大提高，能够快速地完成分光计的调节工作。但由于对基本理论知识认识不清，同时误解了“左/右侧衍射光方位”的含义，我在初次测量时得到了不正确的数据，实验进程因此受拖延，记录表格也因此显得比较凌乱。这一点值得我反思改进。

通过本次实验，我复习了《大学物理》课程中光栅衍射的理论知识，进一步巩固了分光计的调节与使用技能，对可见光波长有了更直观深刻的认识。

5 原始数据记录（附部分实验照片）

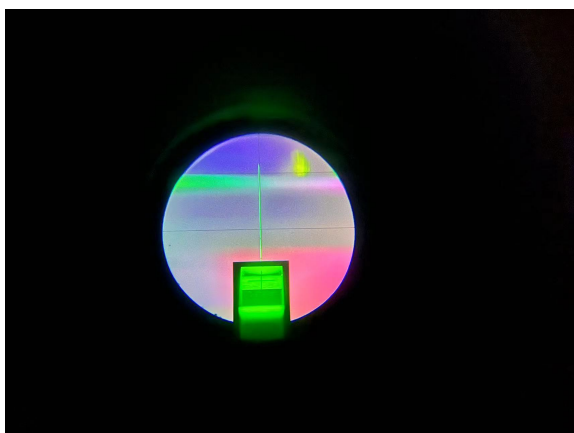


图 1: 调节完成的分光计

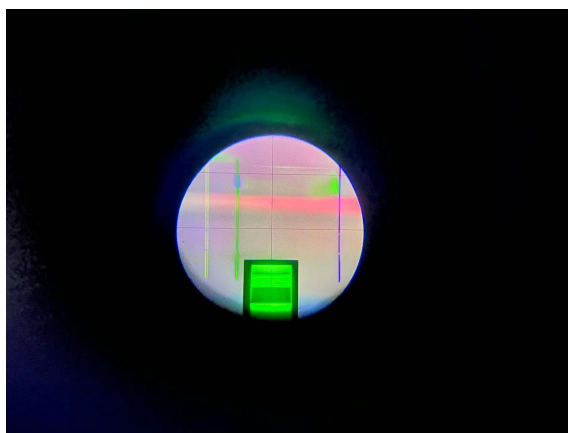


图 2: 观察汞灯光谱

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: 王炜敦 学号 2022010542 实验组号: 单二晚 L 实验台号: 5 实验日期 2024/4/23

垂直入射光栅平面: 找十字, 使与上叉重合, 与光管明纹重合

1. $i = 0$ 时测定光栅常数 d 和光波波长 λ 光栅编号: 5 $\Delta R =$ 1' 入射光方位: $\varphi_{10} =$ $356^{\circ}50'$, $\varphi_{20} =$ $176^{\circ}52'$

谱线颜色/波长(nm)	黄 1 (λ_1)		黄 2 (右)		546.1 绿		紫	
衍射光谱级次 m	<u>3</u>		<u>3</u>		<u>3</u>		<u>3</u>	
游标	I	II	I	II	I	II	I	II
左侧衍射光方位 φ_L	<u>$28^{\circ}15'$</u>	<u>$208^{\circ}13'$</u>	<u>$28^{\circ}7'$</u>	<u>$208^{\circ}5'$</u>	<u>$26^{\circ}17'$</u>	<u>$206^{\circ}15'$</u>	<u>$19^{\circ}57'$</u>	<u>$119^{\circ}55'$</u>
右侧衍射光方位 φ_R	<u>$32^{\circ}20'$</u>	<u>$186^{\circ}43'$</u>	<u>$32^{\circ}20'$</u>	<u>$186^{\circ}43'$</u>	<u>$32^{\circ}20'$</u>	<u>$186^{\circ}13'$</u>	<u>$33^{\circ}45'$</u>	<u>$153^{\circ}43'$</u>
$2\varphi_m = \varphi_L - \varphi_R$	<u>$24^{\circ}24'$</u>	<u>$24^{\circ}24'$</u>	<u>$24^{\circ}20'$</u>	<u>$24^{\circ}18'$</u>	<u>$20^{\circ}23'$</u>	<u>$20^{\circ}22'$</u>	<u>$15^{\circ}38'$</u>	<u>$15^{\circ}37'$</u>
$2\varphi_m$	<u>$24^{\circ}24'62^{\circ}44'$</u>	<u>$24^{\circ}24'62^{\circ}42'$</u>	<u>$20^{\circ}28'58^{\circ}55'$</u>	<u>$18^{\circ}38'46^{\circ}12'$</u>				
φ_m	<u>$10^{\circ}42'$</u>	<u>$10^{\circ}40'$</u>	<u>$10^{\circ}22'29^{\circ}28'$</u>	<u>$8^{\circ}49'23^{\circ}6'$</u>				

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 $\varphi_{1n} =$ $132^{\circ}46'15^{\circ}0'$ $\varphi_{2n} =$ $193^{\circ}44'19^{\circ}0'$ (特别调整)

利用度盘望远镜 15°, 再转平台至绿色十字与中线重合, 此时光线 15° 入射。

	游标	入射光方位 φ_0	入射角 i	i
入射角	I	<u>$358^{\circ}43'0^{\circ}0'$</u>	<u>$14^{\circ}55'15^{\circ}0'$</u>	<u>$15^{\circ}0'$</u>
	II	<u>$178^{\circ}25'18^{\circ}0'$</u>	<u>$14^{\circ}58'15^{\circ}0'$</u>	
光谱级次 m	游标	左侧衍射光方位 φ_L	衍射角 φ_m	$\varphi_{m左}$ 同(异)侧
<u>3</u>	I	<u>$3^{\circ}08'$</u>	<u>$15^{\circ}8'30^{\circ}8'$</u>	<u>$30^{\circ}8'15^{\circ}8'$</u> 异同
	II	<u>$210^{\circ}7'$</u>	<u>$15^{\circ}7'30^{\circ}7'$</u>	
光谱级次 m	游标	右侧衍射光方位 φ_R	衍射角 φ_m	$\varphi_{m右}$ 同(异)侧
<u>3</u>	I	<u>$323^{\circ}54'$</u>	<u>$51^{\circ}6'36^{\circ}6'$</u>	<u>$36^{\circ}6'52^{\circ}6'$</u> 同异
	II	<u>$143^{\circ}54'$</u>	<u>$51^{\circ}6'36^{\circ}6'$</u>	

(与 φ_{1n} 相减)

3. 最小偏向角法测量波长较长的黄色谱线对应波长

光谱级次 m	游标	$\phi_{左}$	$\phi_{右}$	2δ	2δ	波长/nm
<u>2</u>		<u>$20^{\circ}2'$</u>				
		<u>$200^{\circ}2'$</u>				

注: 在整理后的实验表格中, 数据经过了更精细的处理, 如 ϕ_m 精确到秒。