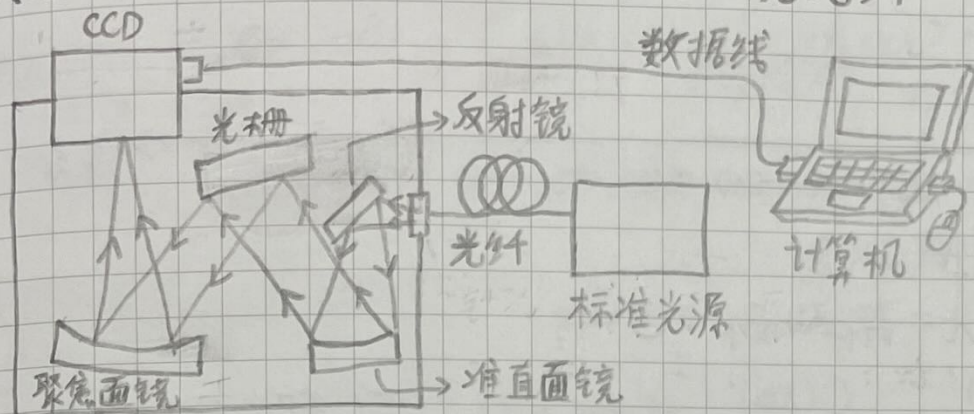


光谱仪的原理实作

实作目标：了解光谱仪的光学设计原理及光路调整，并使用标准校正光源进行光谱测量与拟合参数。

实作步骤：

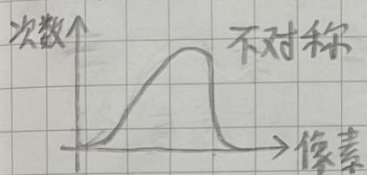
1. 选用合适的光谱仪、光栅、收光光纤



标准光源：汞灯
光纤直径：2.5(μm)

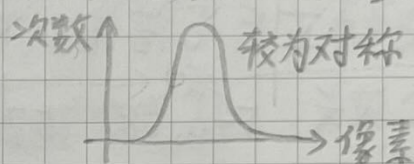
2. 优化汞灯光谱对应的波长

初始的光谱谱线形状



⇒ 调整聚焦透镜与 CCD 的距离 ⇒

优化后的光谱谱线形状



测量光谱谱线对应的像素，得到波长与像素的关系

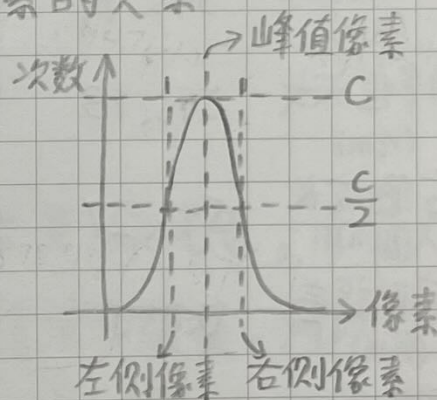
理论波长 (nm) 546.08 (绿) 576.96 (黄) 579.07 (黄)

左侧像素 1240.5 1757.0 1792.5

峰值像素 1242.9 1759.5 1794.9

右侧像素 1245.2 1761.9 1797.3

修正像素 -582.15 -65.55 -30.10

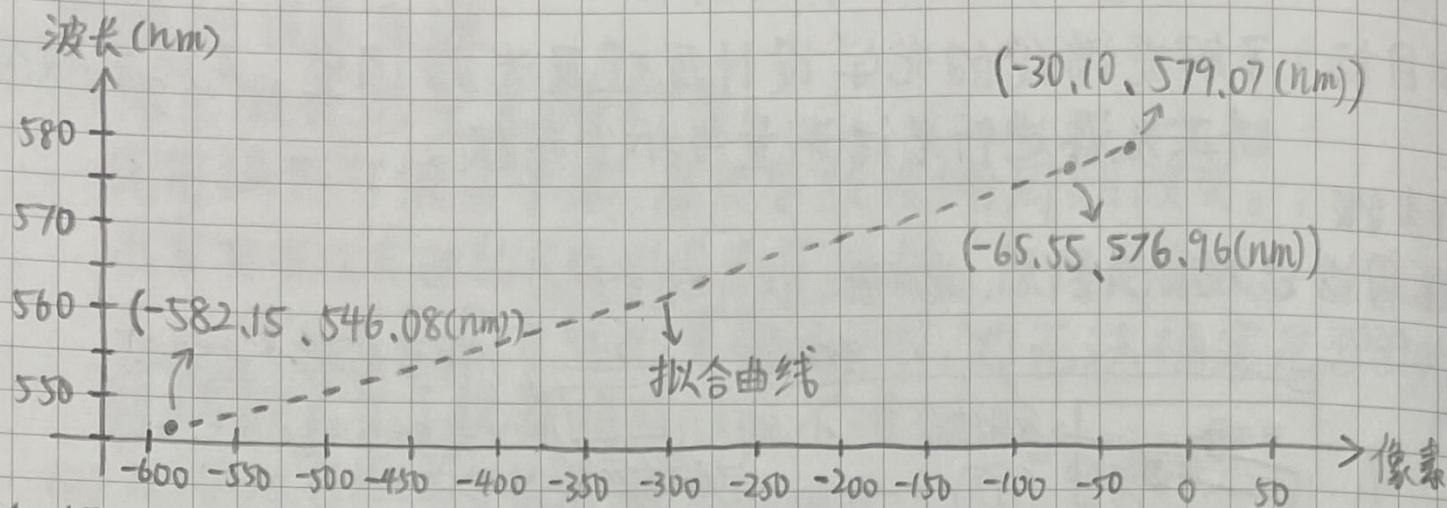


其中 峰值像素 = $\frac{1}{2}(\text{左侧像素} + \text{右侧像素})$

修正像素 = 峰值像素 - CCD 中央像素

CCD 中央像素 = 1825

3. 以波长为纵轴、修正像素为横轴作图



4. 用二次函数对3.的图做拟合

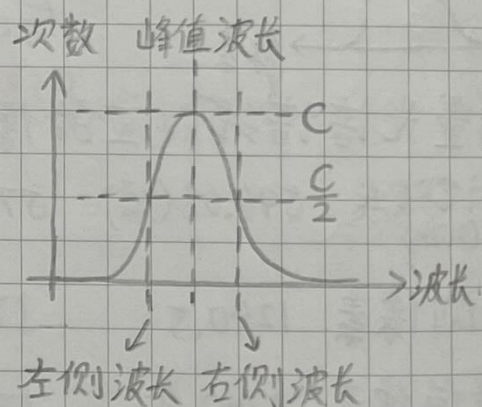
波长 λ 、像素 $p \Rightarrow$ 设 $\lambda = Ap^2 + Bp + C$

$A(\text{nm})$ $B(\text{nm})$ $C(\text{nm})$ $\Rightarrow$ 输入 U-SPEC 软件参数文件
 $-4.6192 \cdot 10^{-7}$ $5.9476 \cdot 10^{-2}$ 580.86

5. 重启软件, 观察矫正后的光谱

6. 比较矫正后光谱谱线的线宽与波长误差的标准差

理论波长 (nm)	546.08	576.96	579.07
左侧波长 (nm)	545.99	576.87	578.96
峰值波长 (nm)	546.13	577.01	579.12
右侧波长 (nm)	546.27	577.14	579.27
绝对误差 (nm)	0.050	0.045	0.045
误差的标准差 (nm)		0.0024	
谱线线宽 (nm)	0.280	0.270	0.310



峰值波长 = $\frac{1}{2}$ (左侧波长 + 右侧波长)

谱线线宽 = 右侧波长 - 左侧波长

$\Rightarrow$ 二倍标准差: 0.047 (nm) 相比于谱线线宽非常小

$\Rightarrow$ 符合量测准确度的需求

7. 测量氪灯光谱谱线对应的波长, 计算量测准确度 取其中五条谱线测量

理论波长 (nm)	585.249(橙黄)	614.306(橙)	640.225(红)	650.653(红)	667.828(红)
左测波长 (nm)	585.210	614.310	640.440	650.910	668.250
峰值波长 (nm)	585.330	614.470	640.570	651.065	668.395
右测波长 (nm)	585.450	614.630	640.700	651.220	668.540
绝对误差 (nm)	0.081	0.164	0.345	0.412	0.567
误差的 标准差 (nm)			0.174		
谱线线宽 (nm)	0.240	0.320	0.260	0.310	0.290

⇒ 二倍标准差: 0.348 (nm) 略小于谱线线宽

⇒ 勉强符合量测准确度的需求

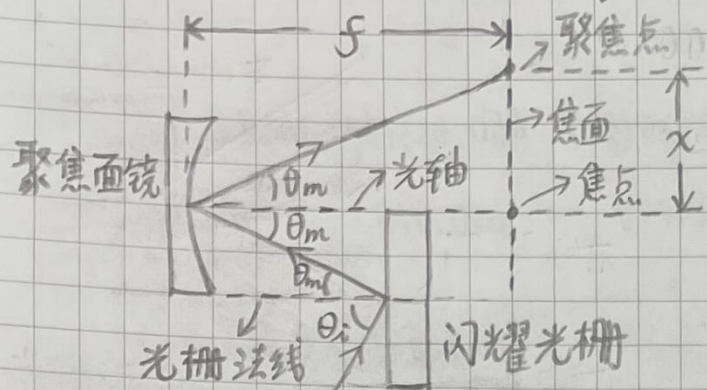
额外问题

1. 氪灯的测量误差大

由于一开始矫正用的是氪汞灯, 谱线位于黄、绿光区, 而氪灯的谱线位于红、橙光区。两种光源的波段没有交集, 所以当黄绿区矫正好的时候, 红橙的误差反而谱加了。这也说明氪汞灯得到的拟合曲线只在黄绿区较为准确。

如果要进行测量, 应该选用包含测量波段的标准光源来进行矫正。

2. 尝试从理论角度推导波长与像素的关系



如左图, 考虑入射角 θ_i 的平行光入射光栅, 波长 λ 的 m 级光衍射角 θ_m 。通过镜心的光出射角等于入射角 θ_m 。平行光聚焦在焦面上。

光栅方程 $d(\sin(\theta_m) - \sin(\theta_i)) = m\lambda$

$\Rightarrow$ 衍射角 $\theta_m = \arcsin\left(\frac{m\lambda}{d} + \sin(\theta_i)\right)$, 由图可知 $x = f \tan(\theta_m)$

$\Rightarrow x = f \tan\left(\arcsin\left(\frac{m\lambda}{d} + \sin(\theta_i)\right)\right) \Rightarrow$ 波长 $\lambda = \frac{d}{m} \left(\sin\left(\arctan\left(\frac{x}{f}\right)\right) - \sin(\theta_i) \right)$

又 $\sin(\arctan(z)) = \frac{z}{\sqrt{1+z^2}} \Rightarrow \lambda = \frac{d}{m} \left(\frac{\left(\frac{x}{f}\right)}{\sqrt{1+\left(\frac{x}{f}\right)^2}} - \sin(\theta_i) \right)$

注意到 $\frac{z}{\sqrt{1+z^2}}$ 是奇函数, 实验中 $\frac{d}{m}$ 与 $\sin(\theta_i)$ 都是常量 $\Rightarrow$

λ 的多项式展开应该只有常数项和 $\frac{x}{f}$ 的奇次项。

实际上 $\lambda = \frac{d}{m} \left(\left(\frac{x}{f}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \left(\frac{x}{f}\right)^{2n+1} - \sin(\theta_i) \right)$

$\Rightarrow$ 除了常数项没有其他的偶次项。

实验中用二次函数拟合似乎不太合理。 $\rightarrow$

意
同意可考虑
更高阶的修正!