

光栅光谱仪的设计

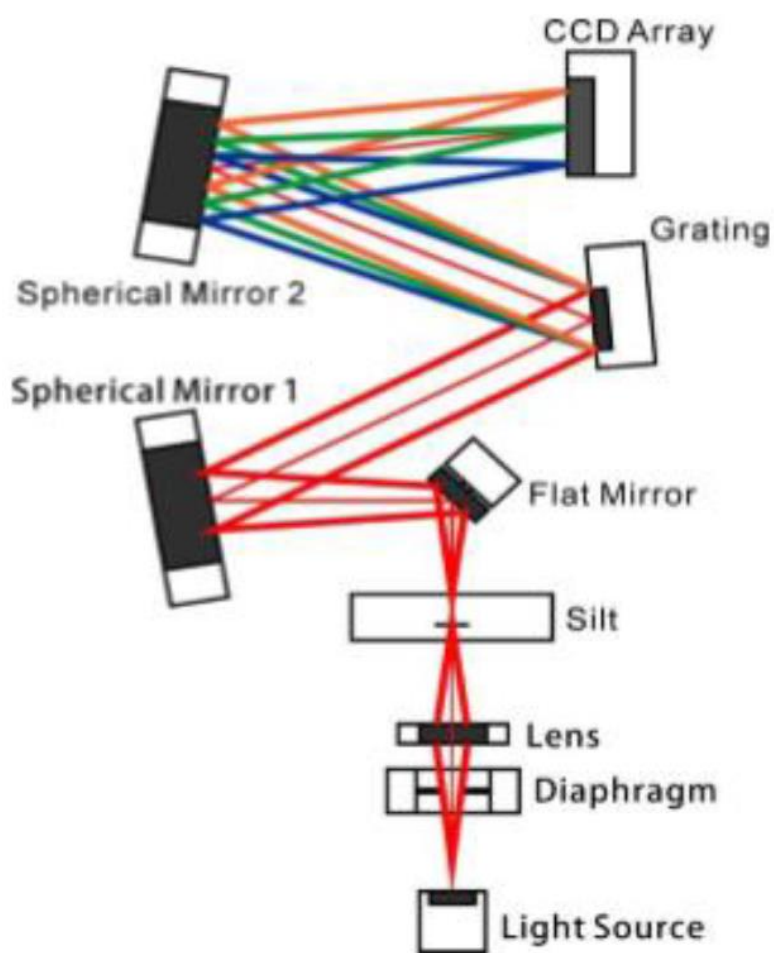
俸昊嵘 16307110262

朱光瑞 16307110148

实验目的

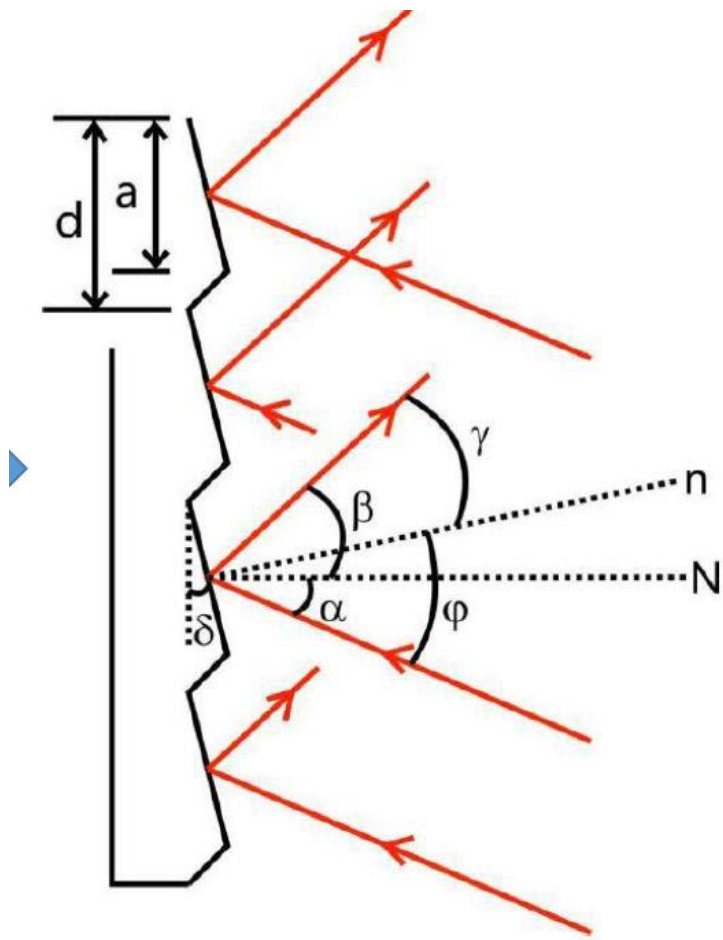
- 掌握光学设计软件Zemax，并用其设计光栅光谱仪，优化各个数据；
- 根据已完成的虚拟光栅光谱仪相关参数，如位置、角度等搭建实际光谱仪，使分辨率达到最优；
- 研究光学元器件各参数对光谱仪分辨率的影响。

光栅光谱仪的结构



光线经透镜成像在光缝上，光阑约束光束孔径。光缝发出的光先经过平面镜反射，再经过球面镜1准直，之后被光栅分光。分光后不同波长的光入射到球面镜2后被重新汇聚成像在线阵 CCD 上，形成光谱。

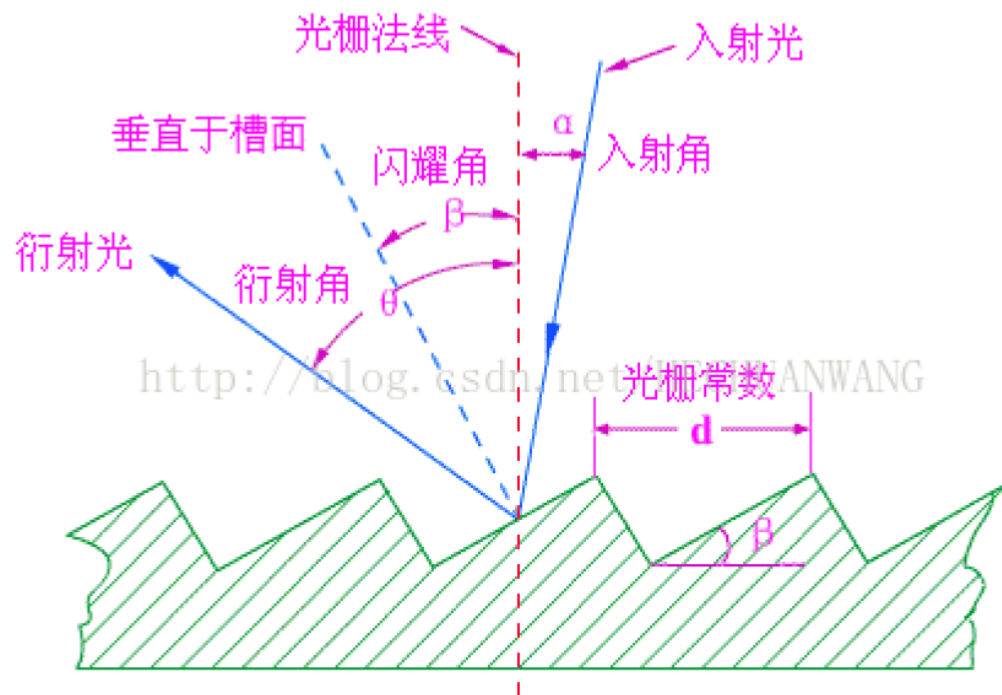
光栅分光原理和闪耀光栅



$$d (\sin \alpha + \beta) = m\lambda$$

- 除0级主极大外，其余各级主极大的位置均会随 λ 的变化做相应的改变。这个效应会使得不同波长的光被出射到不同的方向，实现分光。

光栅分光原理和闪耀光栅

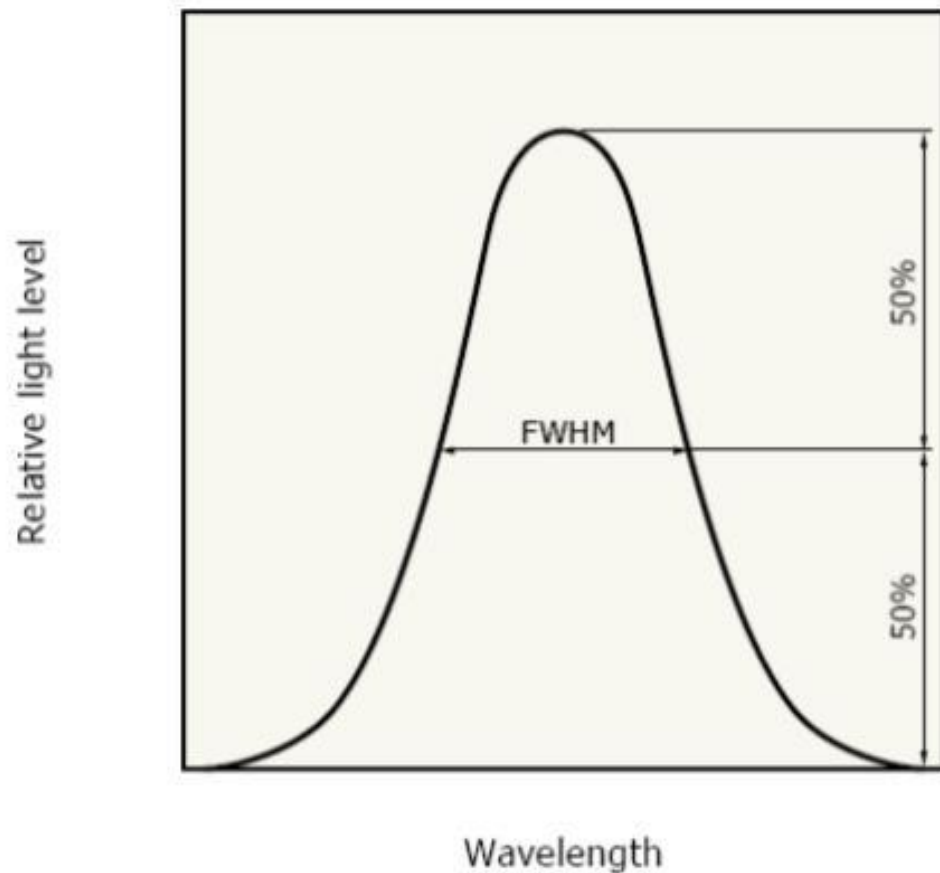


我们希望能把衍射的零级能量转移到其他某一级上用于光谱分析，而闪耀光栅通过控制刻槽的形状从而引进附加相位将零级能量转移到其他级上去，从而达到我们的目的。

$$2d\sin\theta\cos\alpha=m\lambda$$

符合方程时，最大强度
衍射光方向的光很强

衡量分辨能力的参数

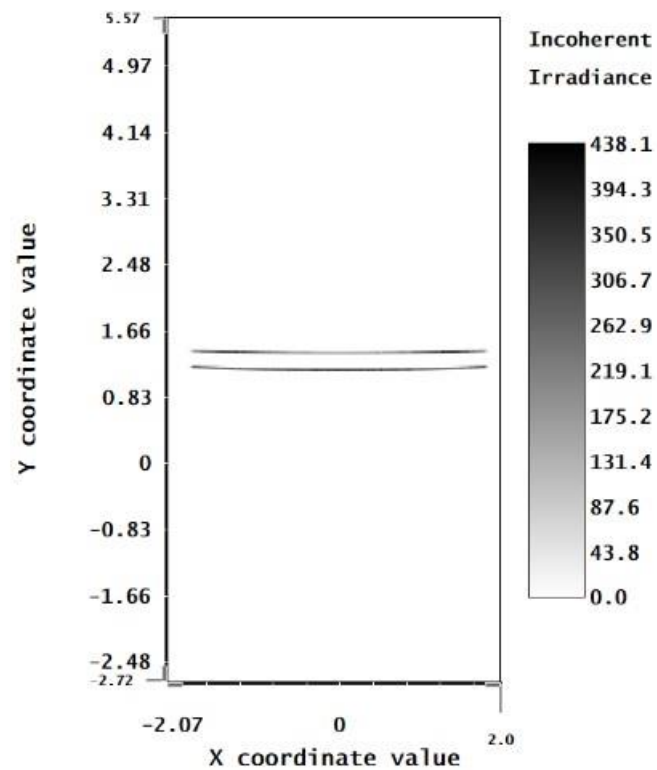
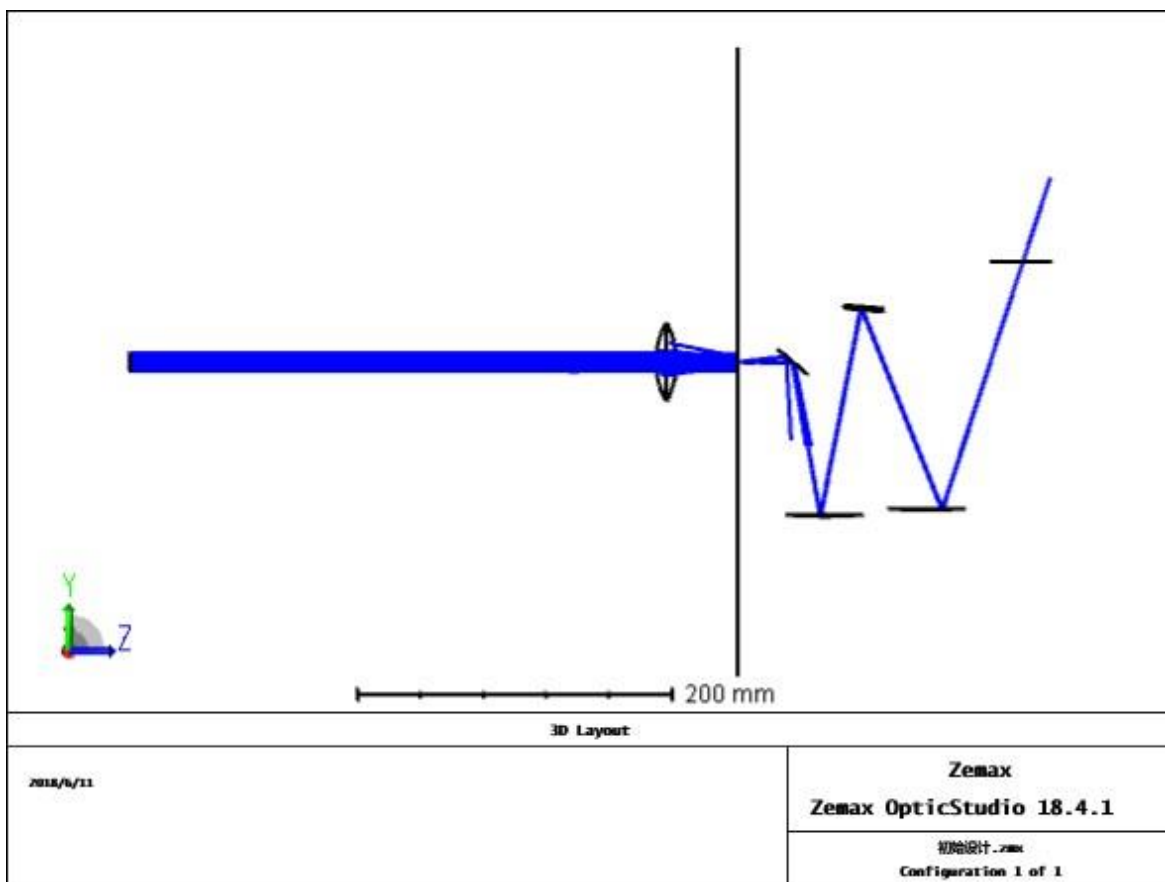


定义半高峰的宽所对应的波长来表示光谱仪的分辨率，称为半高全宽。

提高分辨率的方法

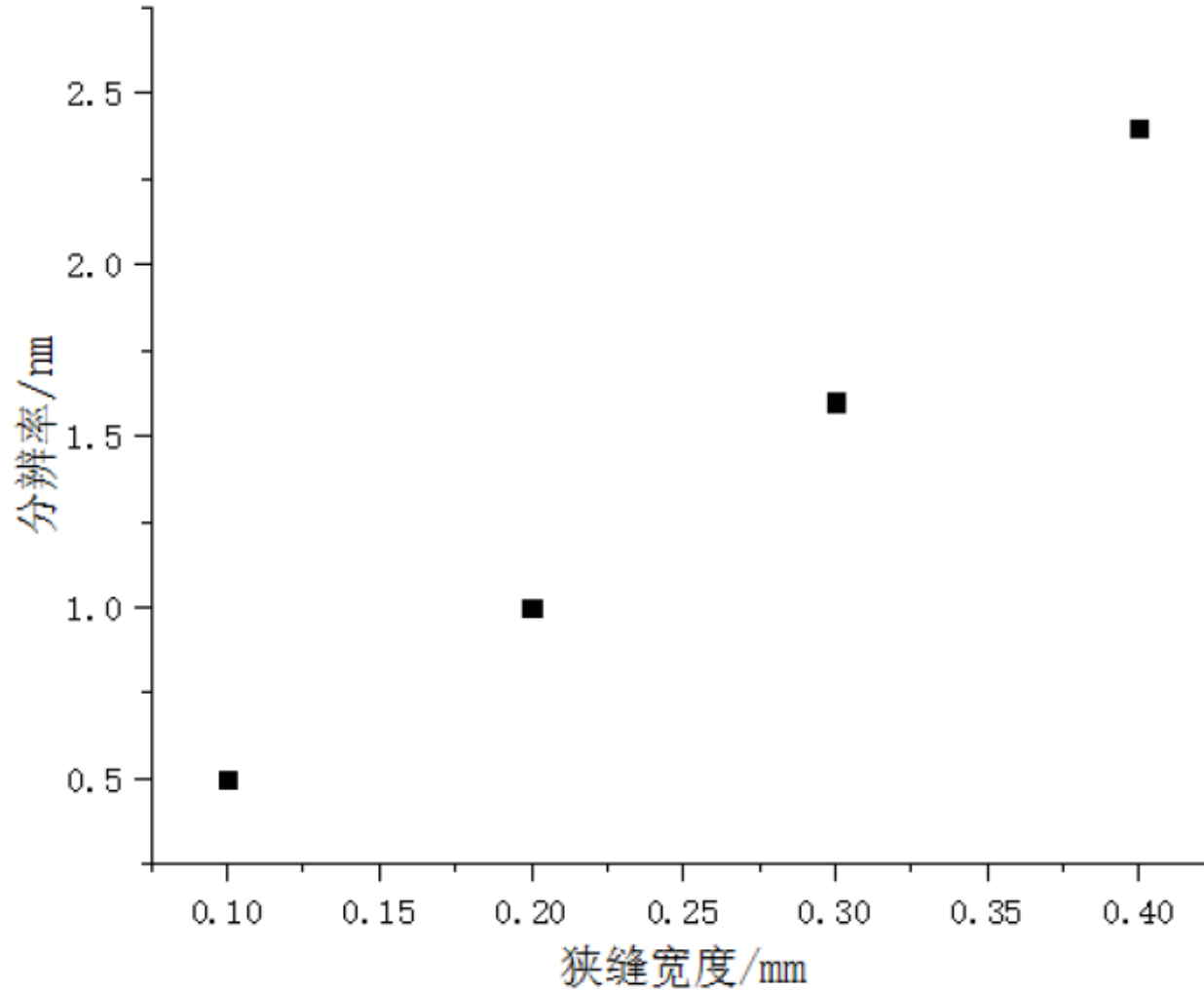
- 调小狭缝间距，降低信噪比，提高分辨率。
- 实际光学系统均无法完美的成像，其像和物的偏差称为像差，优化光路设计以减小像差。

Zemax初始模拟

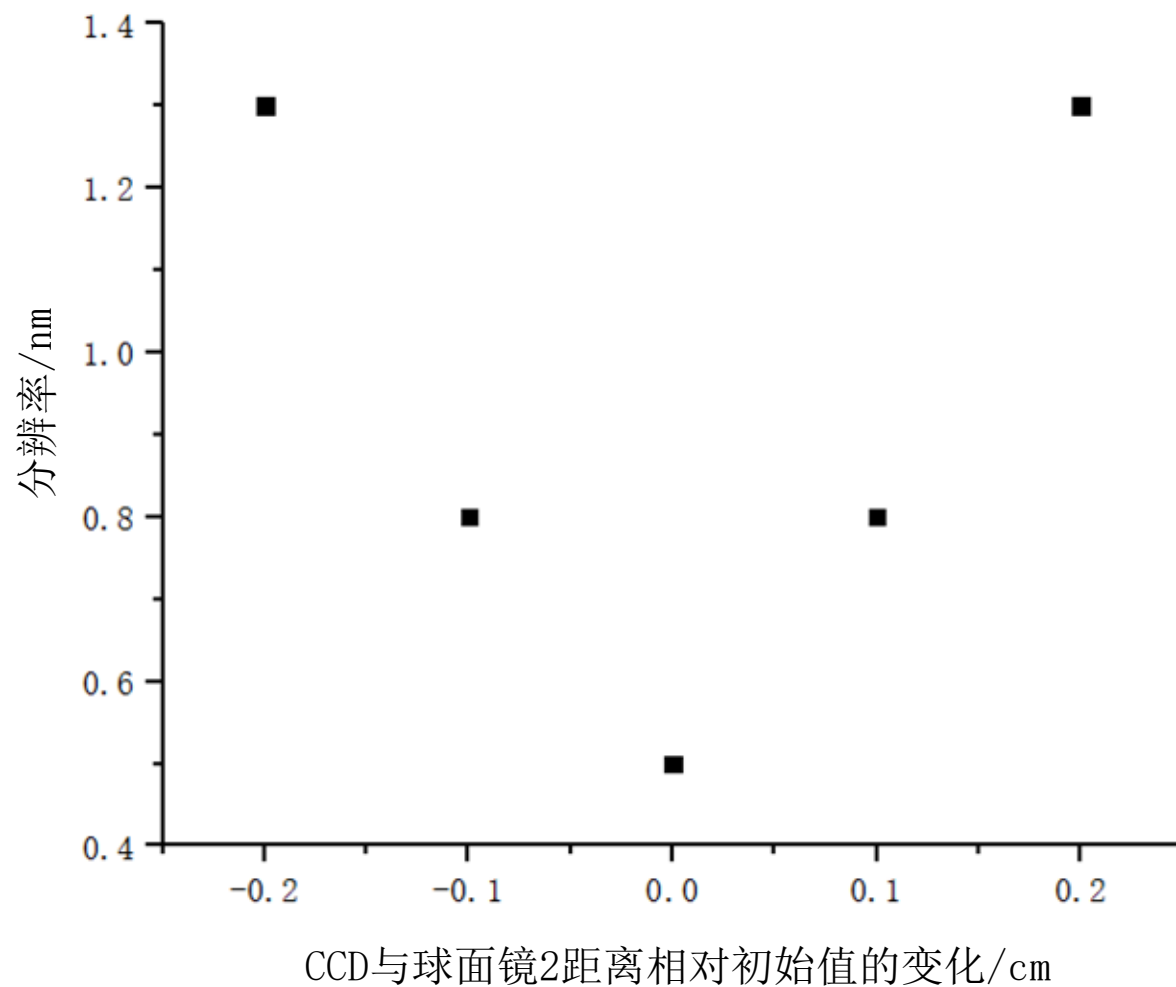


Detector Image: Incoherent Irradiance	
2018/6/11 Detector 12, NSCG Surface 1: CCD Size 20.000 W X 40.000 H Millimeters, Pixels 1000 W X 2000 H, Total Hits = 30220 Peak Irradiance : 4.3812E+02 Watts/cm ² Total Power : 6.0440E-01 Watts	Zemax Zemax OpticStudio 18.4.1
	初始设计.zmx Configuration 1 of 1

狭缝宽度对分辨率的影响



CCD与第二球面镜距离对分辨率的影响



改变CCD相对于光路的角度

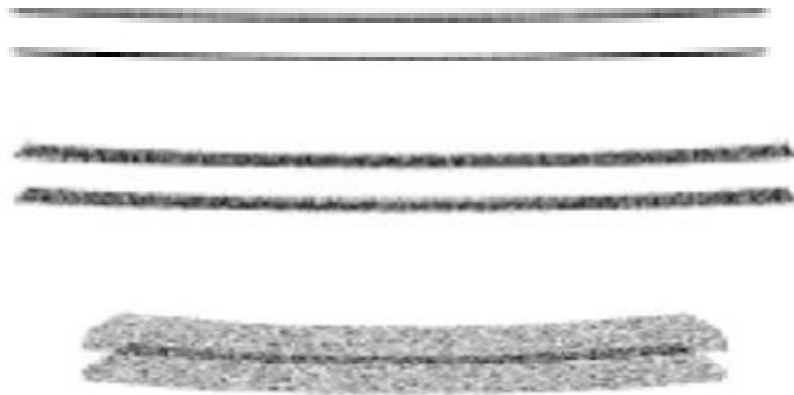
- 当CCD垂直于光路时，分辨率最优
- 当CCD与光路成角度时，随着角度增大，最小分辨率变大

改变CCD相对于光路的水平位置

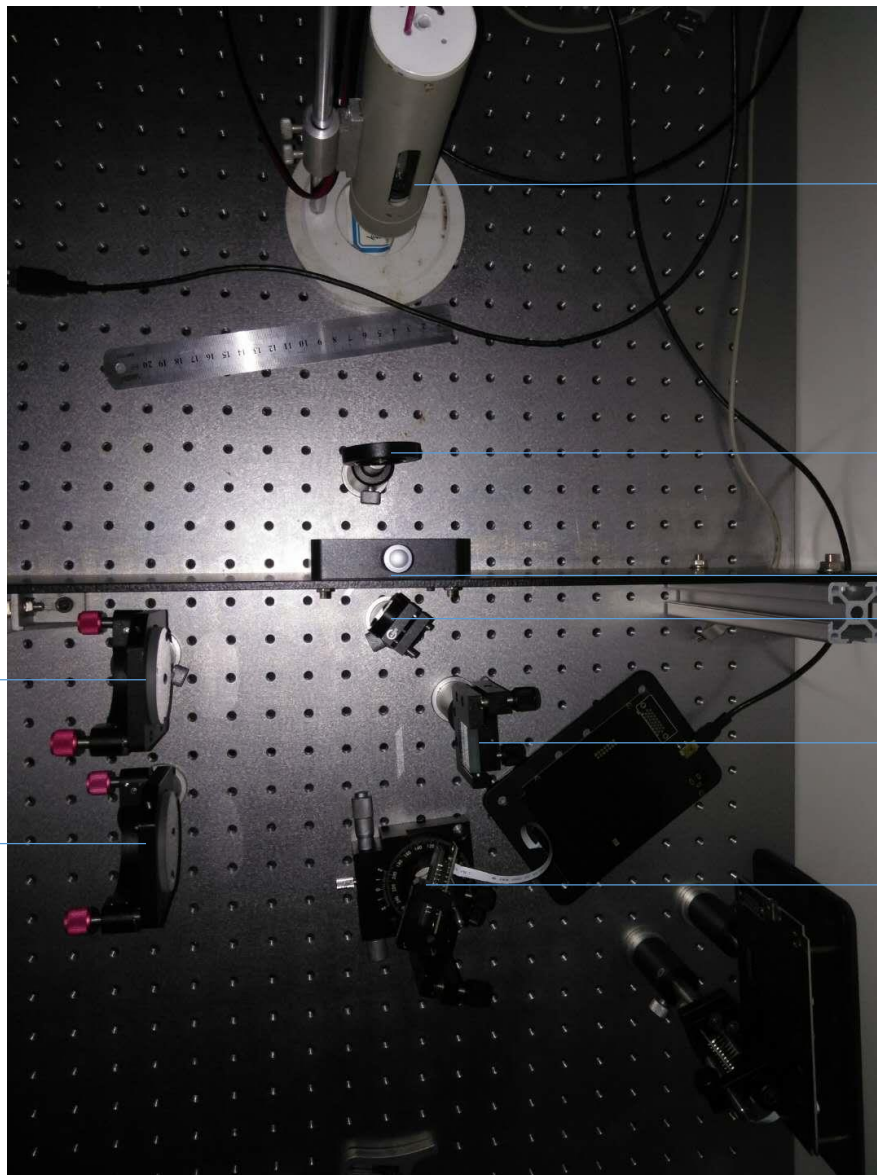
- 在其他条件不变的情况下，改变CCD相对于光路的水平位置，当移动距离在CCD尺度范围内时，水平位置的改变对分辨率无影响，由此可以看出，在CCD能够承接像的情况下，CCD相对于水平位置的改变对分辨率无影响。

改变球面反射镜1、2的位置

- 移动球面反射镜2，当其向接近或远离CCD方向移动时，分辨率都会降低
- 移动球面反射镜2，当其向接近或远离平面反射镜方向移动时，分辨率都会降低



实验装置



Hg灯

聚焦透镜

狭缝

平面镜

反射光栅

CCD接收器

第一凹面镜

第二凹面镜

实验步骤

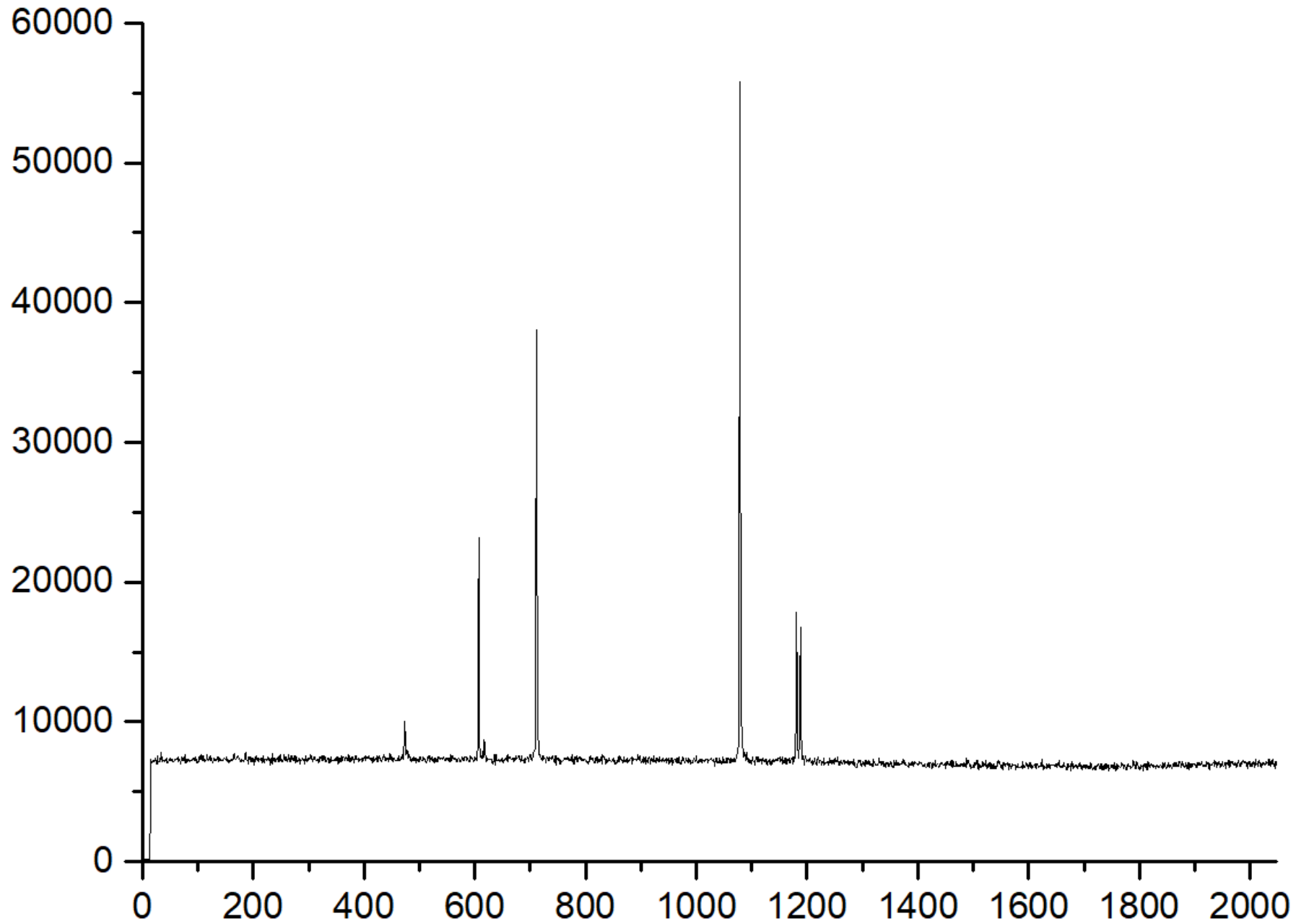
- 1) 打开钠灯光源，并将其放于光阑前，在光源与光阑之间插入凸透镜，调整光源与凸透镜位置，使光源、凸透镜和光阑狭缝共轴
- 2) 在光阑另一面放置平面镜，反射从狭缝入射的光，镜的中心和狭缝中心等高，平面镜尽可能靠近狭缝以保证反射所有入射光，镜面与光轴夹角稍大于90度。
- 3) 沿着光路，放置第一个球面反射镜，其到虚拟光源的距离应为一倍焦距，将点光源发出的光转化为平行光。使反射后的光路可以被之后放置的光栅承接。
- 4) 放置光栅，其高度与位置应保证其反射面能反射绝大部分平行光。
- 5) 沿着光路，放置第二个球面反射镜将平行光汇聚，
- 6) 用光屏寻找第二个球面反射镜所呈的清晰的像，大约在一倍焦距处，在呈像处放置CCD。
- 7) 打开测量软件，积分时间设为1毫秒，测量模式为连续，进行测量
- 8) 尽可能的调小狭缝，以优化分辨率（实际上狭缝调到一定小，不能再小），微调CCD的位置与倾角，尽可能提高分辨率
- 9) 对得到的响应曲线进行定标，得到钠灯光谱。

实验步骤（简说）

- 调节光路（射入光栅的光为平行光），使光谱线能投在CCD上；
- 当光谱投射到CCD上，我们用Morpho Lite程序分析得到的数据。
- CCD接收器将宽度分为2048“像素”，给出接收在每个像素上的光强相对值。
- 微调使CCD上双黄线的分辨率较高，即看起来峰宽较窄。
- 最后得到下图所示的一组数据。

光强相对值

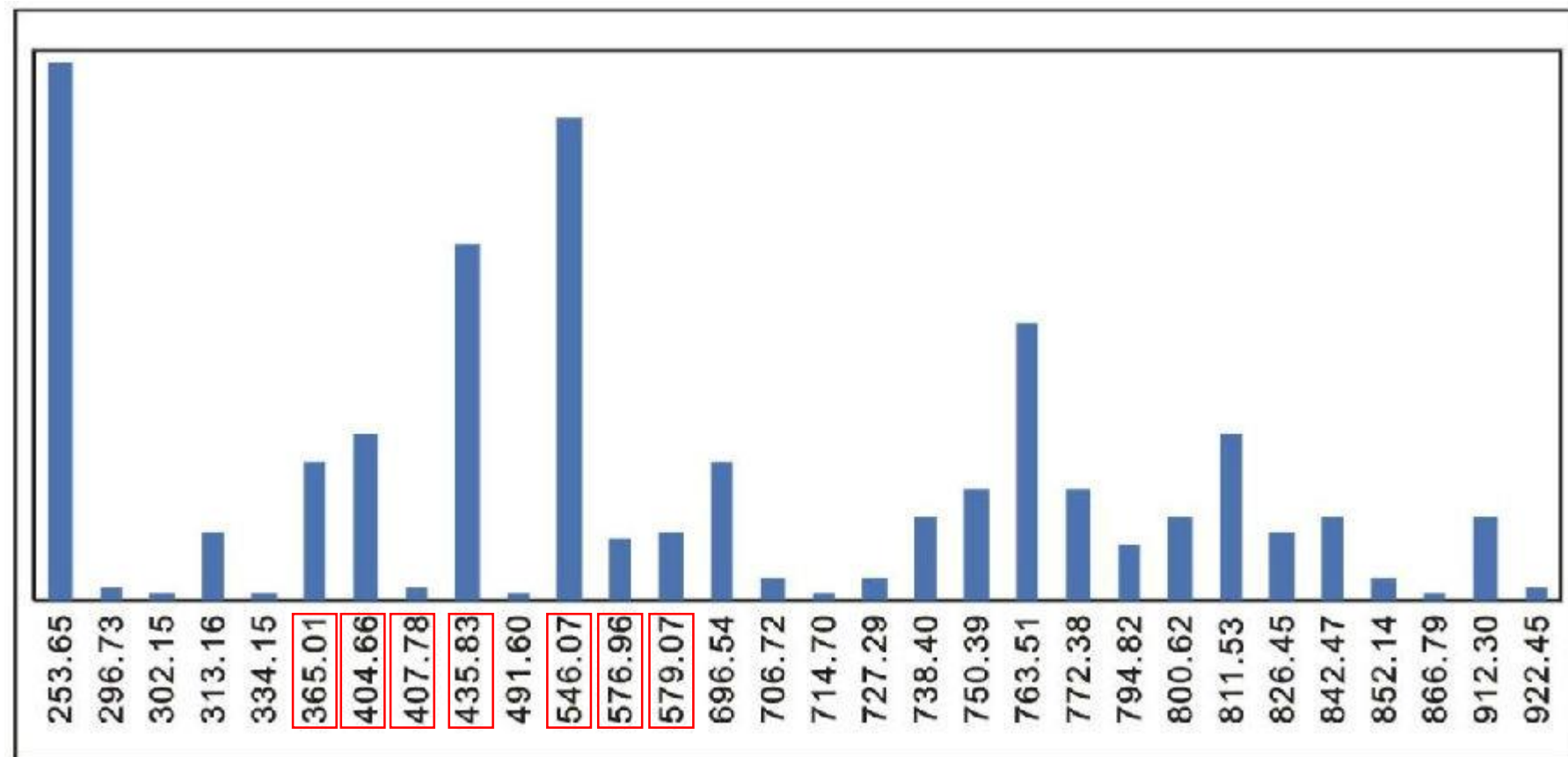
B



A 像素

对应的Hg谱线

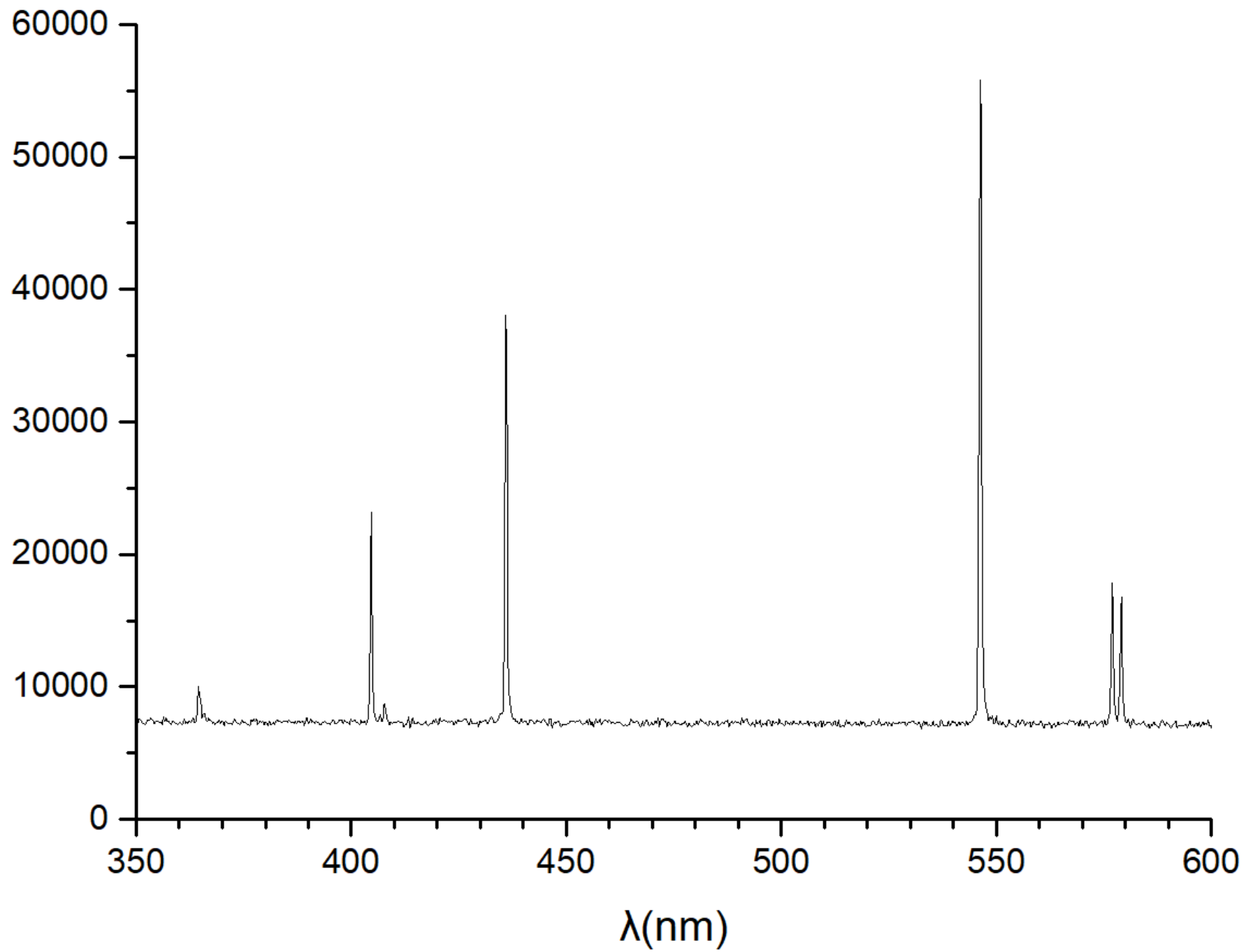
- 365.0153nm
- 404.6563nm
- 407.78nm
- 435.8328nm
- 546.0735nm
- 576.9598nm
- 579.0663nm



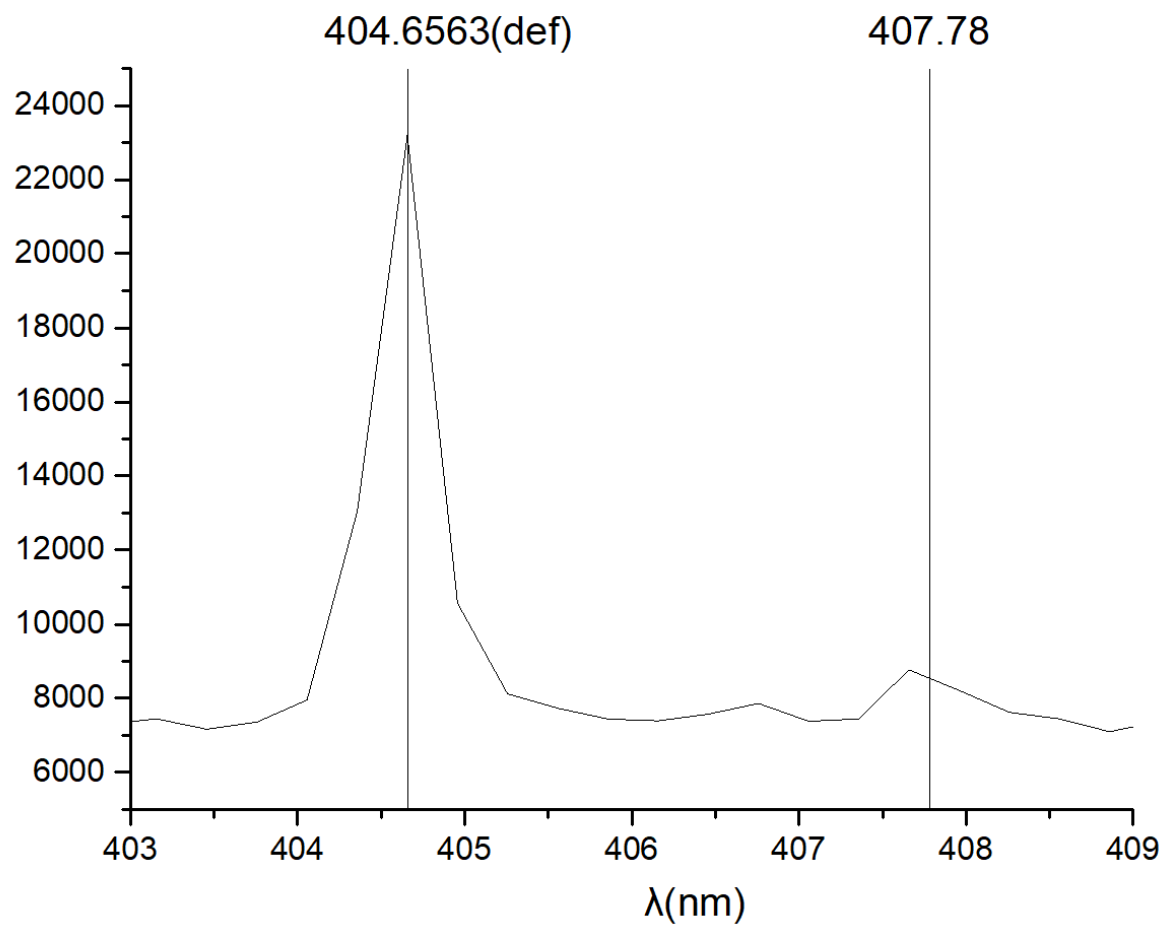
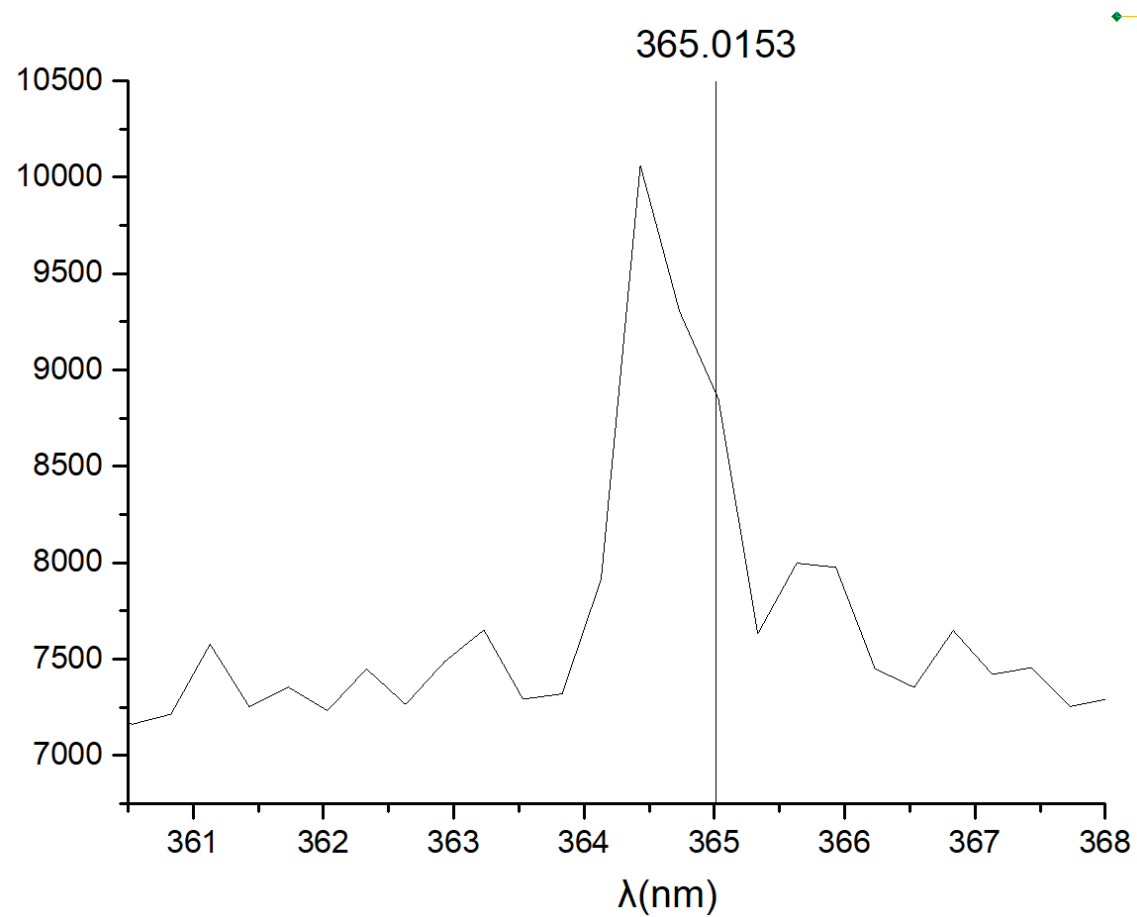
Ref: <http://landoptronics.com/plus/view.php?aid=594;>
<https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/mercurytable2.htm>

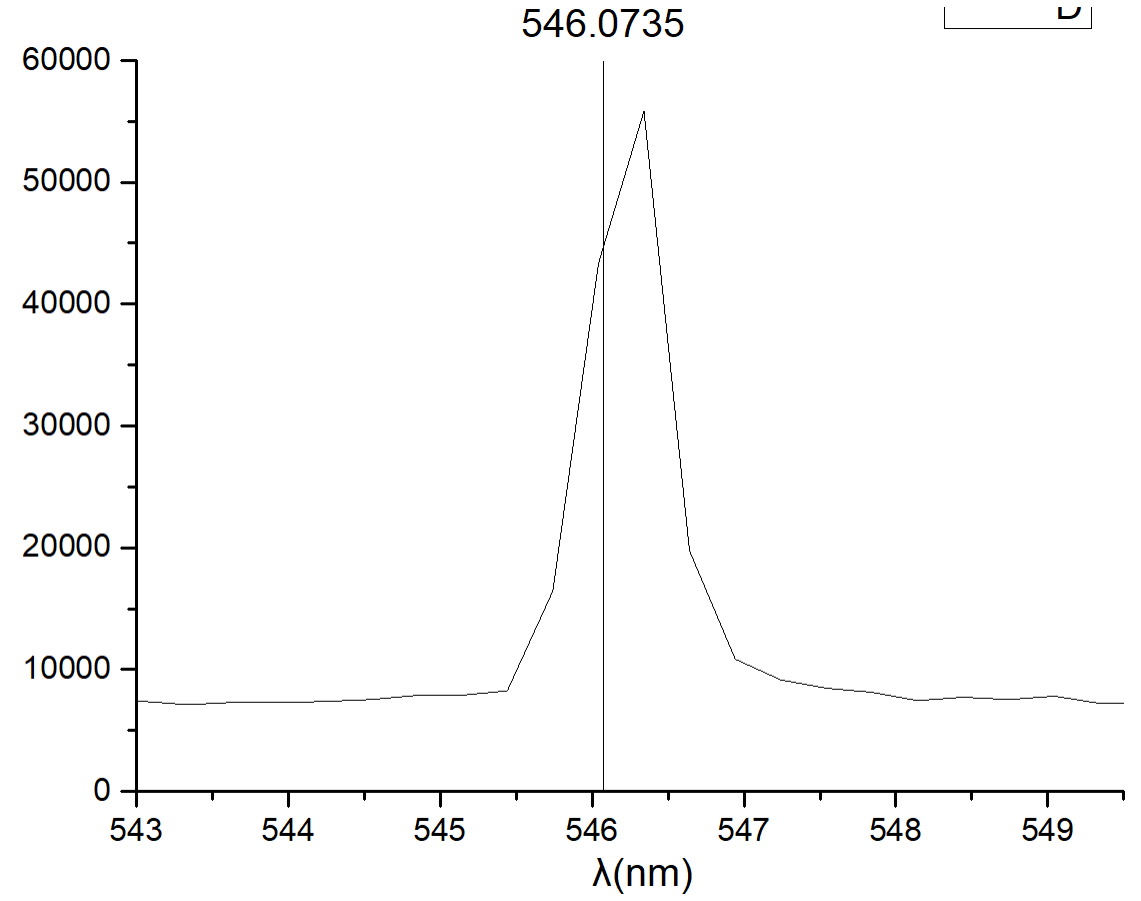
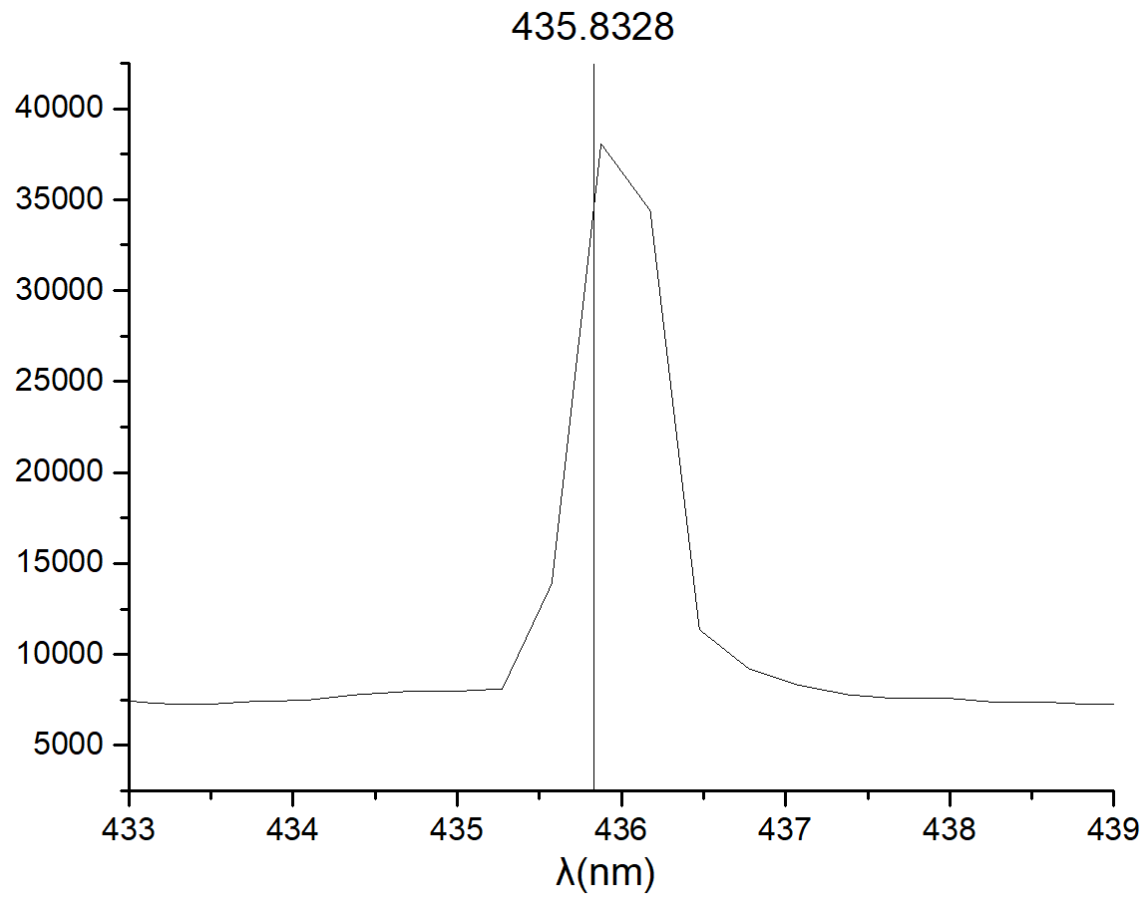
定标

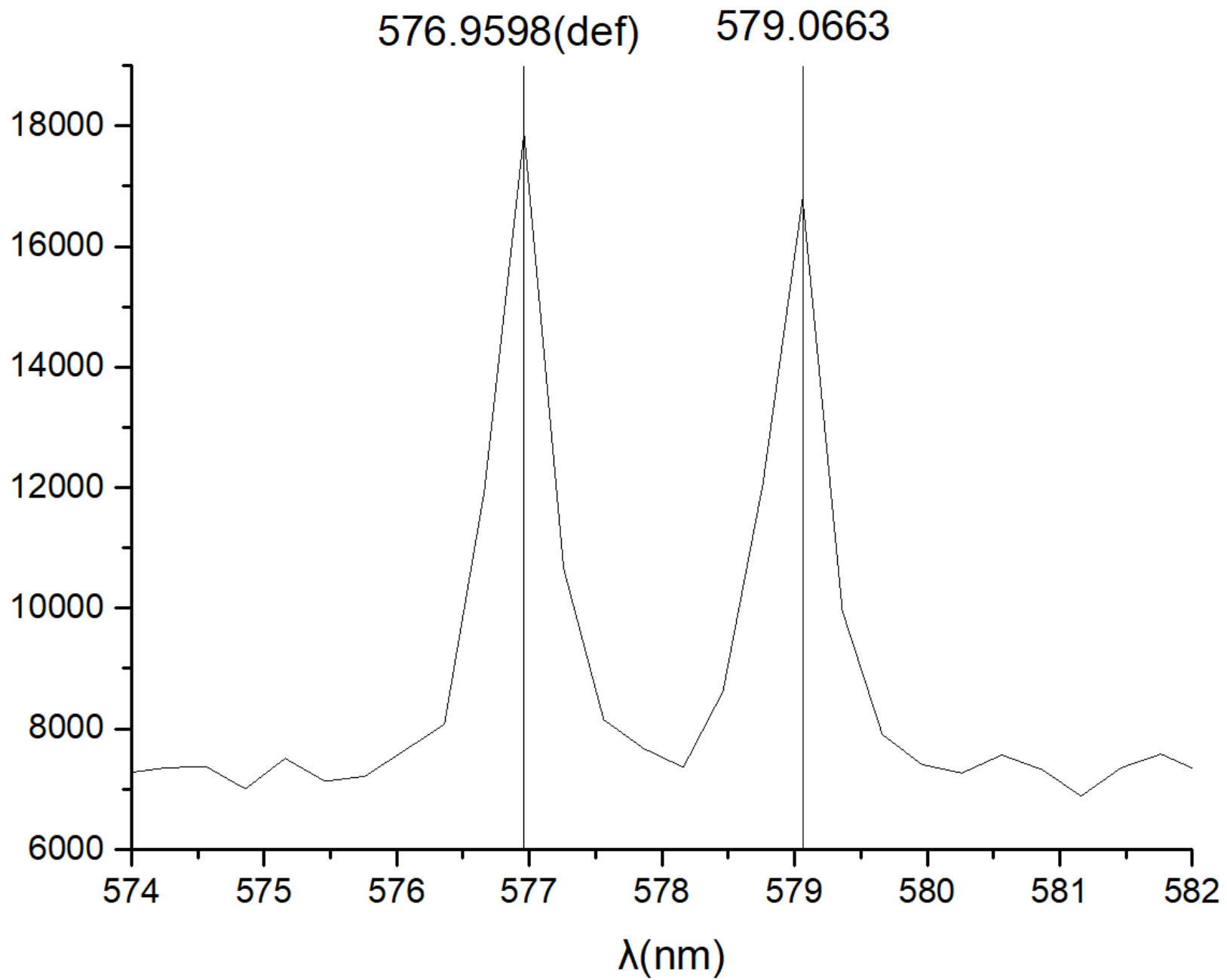
- 选取相距不太近的两个较明显的峰，找到对应的像素值，将其fix给Hg光谱理论值。
- 上图选了左黄线（576.9596nm）与左紫线（404.6563nm）
- 定好标后：



各个峰（竖线为理论值）

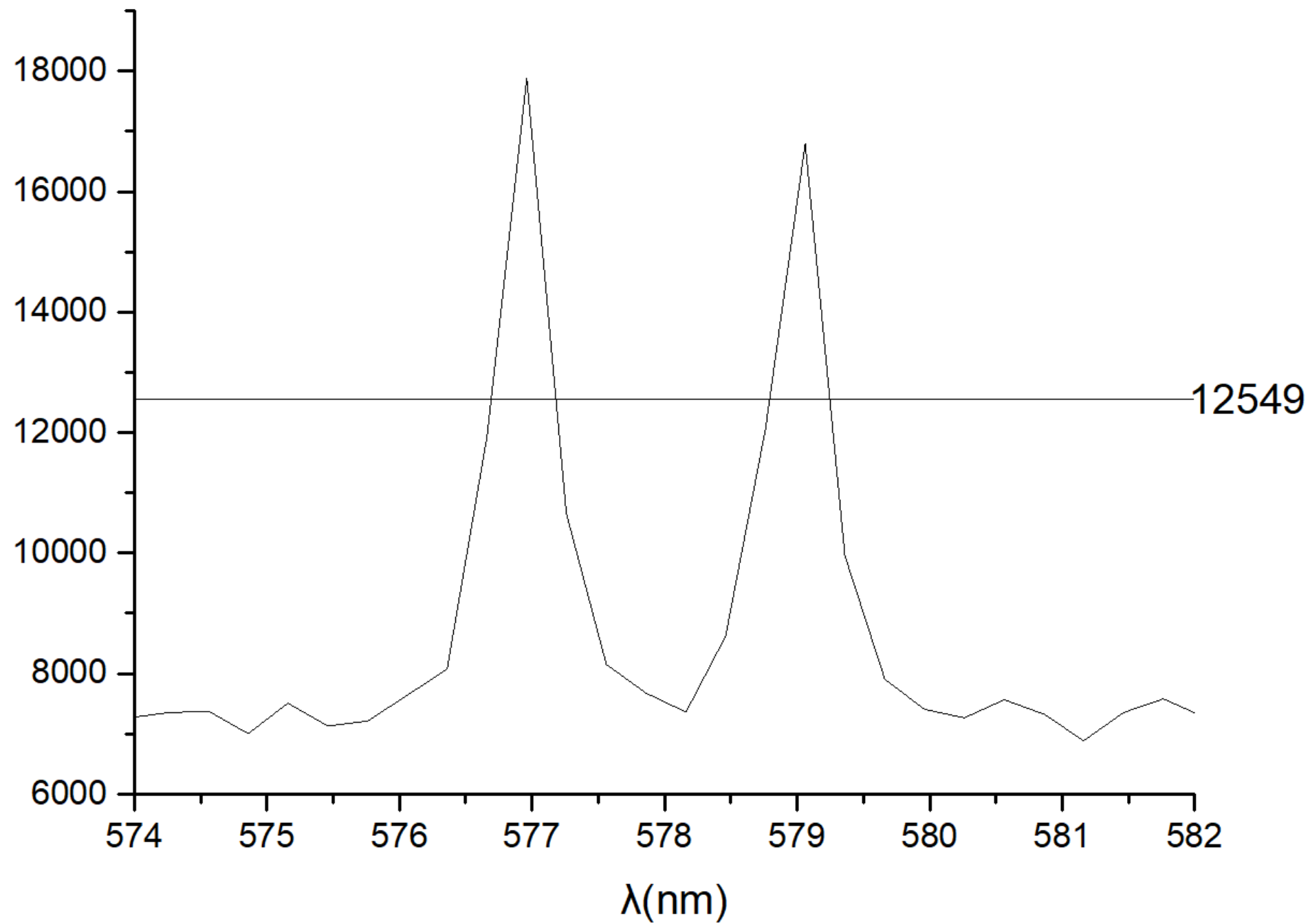






半高全宽 (FWHM) 的求法

- 在黄双峰两侧“平地”各取10连续点，这20个点其平均值为背景光强（相对稳定）
- 计算背景光强与峰值的平均值
- 在图像上截取达到这个值的位置
- （像素点之间跨度一般很大，问题化为求响应图线中一段线段与水平直线的交点）
- FWHM较小时，定量上的意义不太大，可以用于定性比较。
- 对以上光谱，左边黄线的FWHM为0.5nm。
- 对得到的另一次数据，我们可以达到0.4nm。

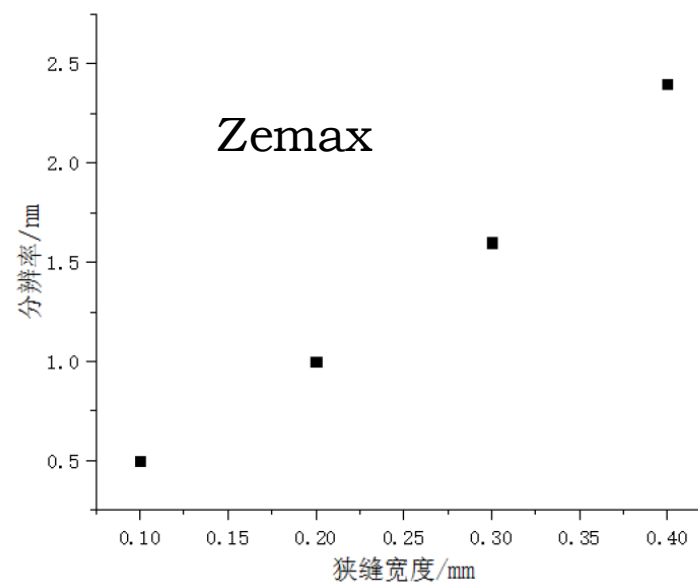
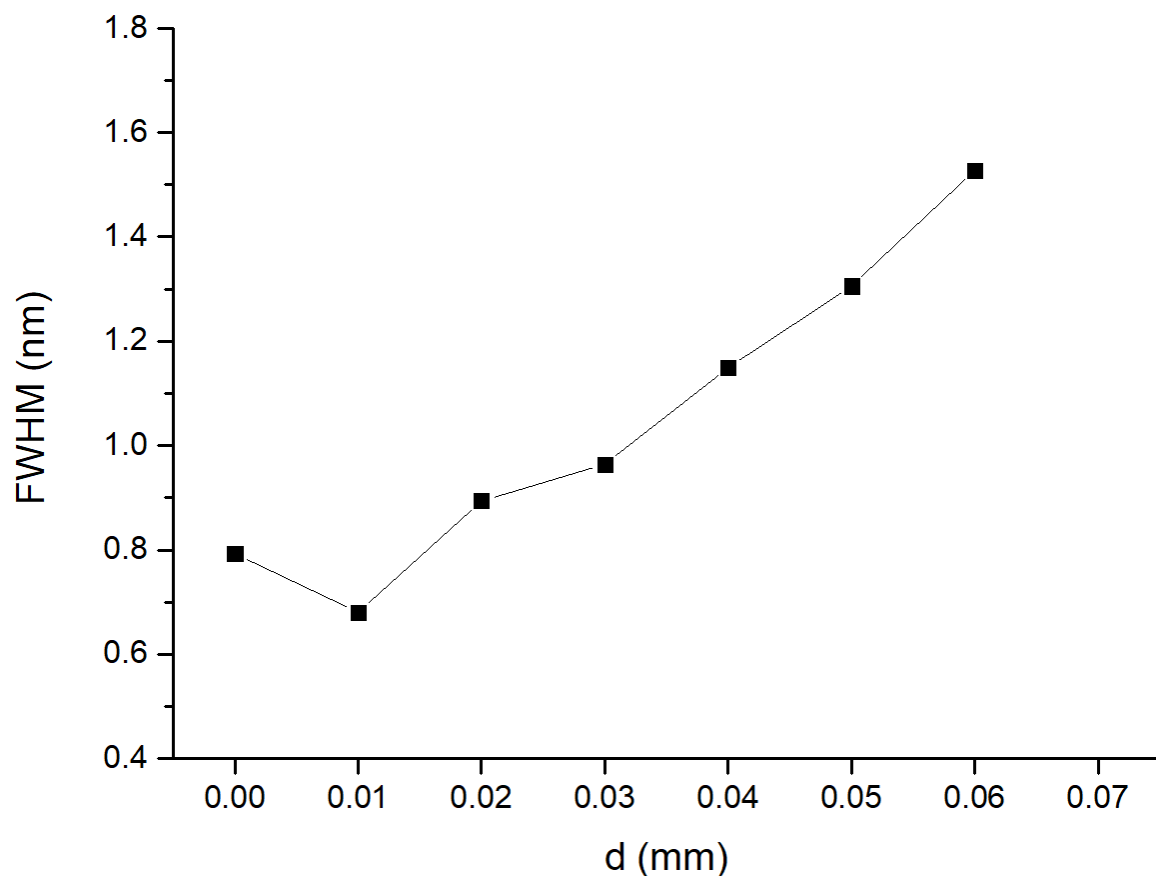


探究狭缝大小对FWHM影响

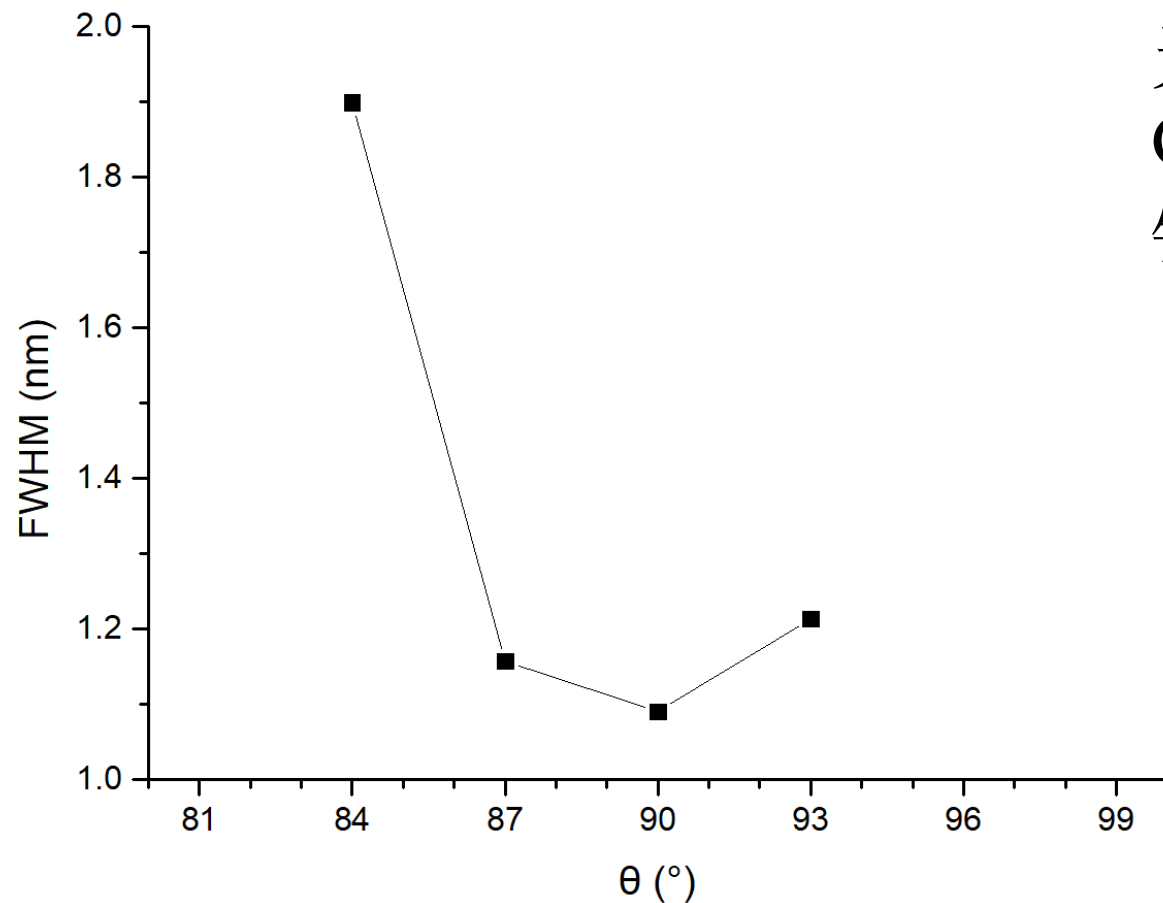
- 将狭缝调至最小，以此为 $d=0$ ；逐次开大狭缝

(0.07mm时无FWHM)

(即分辨率太差，双黄线之
的“谷”没过半高处)



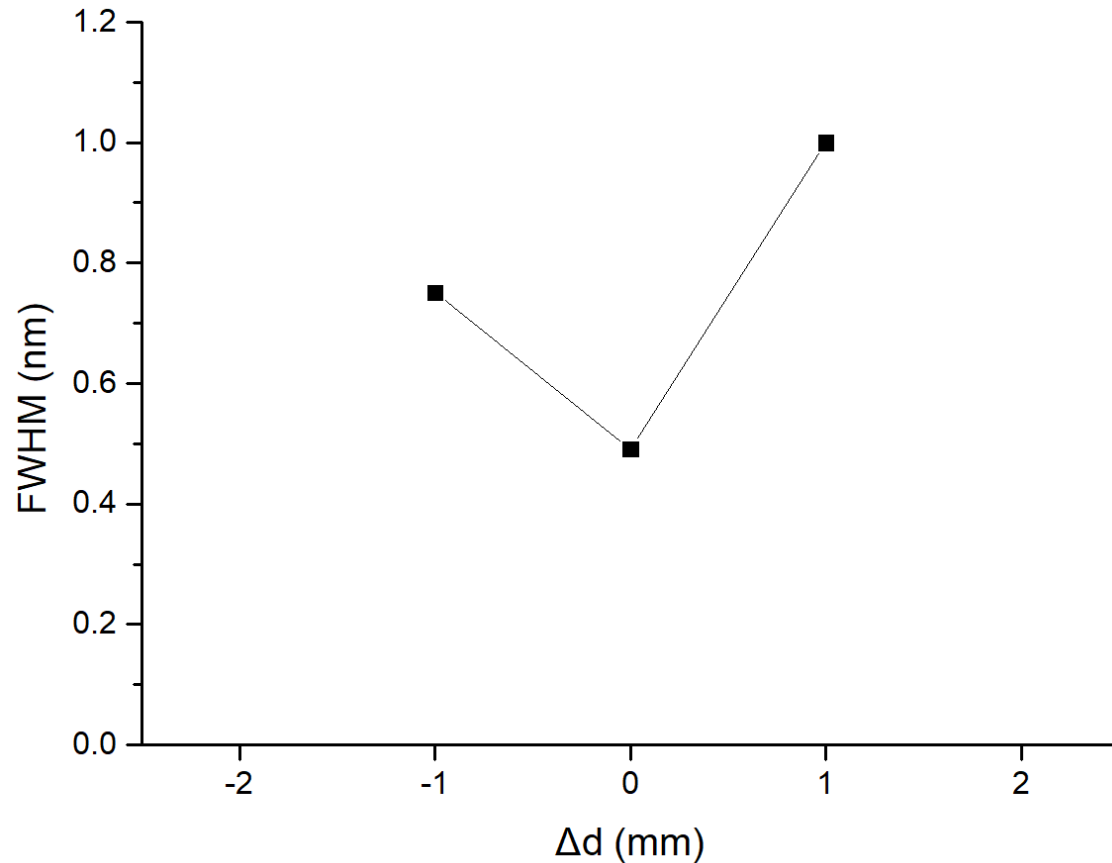
探究CCD放置角度对FWHM影响



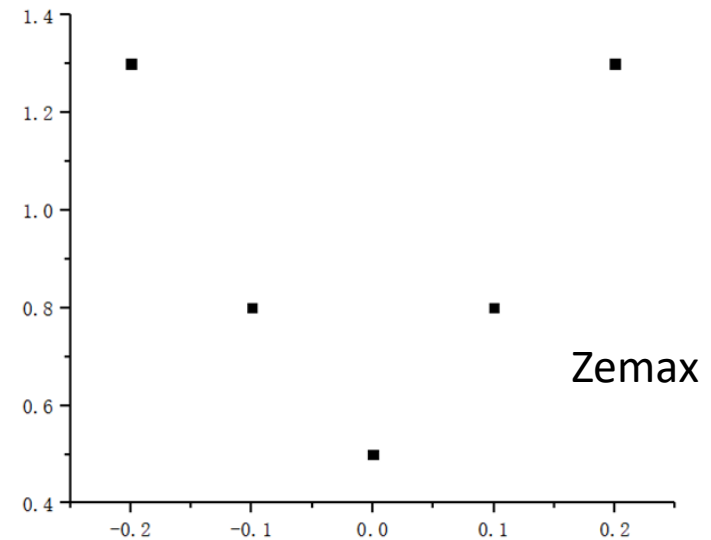
光栅光谱仪分辨率达到最优时，令
CCD与光路夹角为90度，规定顺时
针旋转CCD角度变大
(81°，96°，99°时无FWHM)

探究CCD放置距离对FWHM影响

以分辨率最高为 $\Delta d=0$ ，这时CCD与第二凹面镜距离约为13cm。



(-2mm与+2mm时无FWHM)



总结

光栅光谱仪中，影响谱线分辨率的因素有：

- 狭缝宽度；
- 第二球面反射镜与屏（CCD）间的距离；
- CCD的角度；
- 两个球面反射镜的位置。