

探究氢光谱实验中单色仪缝宽对实验的影响

本实验分别利用白炽灯、氢灯、钠灯、汞灯做光源，使用平面光栅单色仪分光，经过光电倍增管放大后输入电脑，在电脑上可以显示检测到的光谱。

单色仪的用途是从复色光源中提取出单色光，可利用单色仪研究物质的辐射特性，研究光与物质的相互作用，研究物质的结构等。本实验中主要利用单色仪分析氢原子、钠原子的能级结构。

光栅单色仪是利用光的衍射原理制成的。

光的衍射现象是指光遇到障碍物时偏离直线传播方向的现象。而光栅是指任何能起周期性分割波阵面作用的衍射屏。作为色散元件的衍射光栅最早是由夫琅和费用细金属丝制成的，夫琅和费用它测出了太阳光谱中的暗线波长。后来他又用金刚石刻划贴金箔的玻璃板，得到了性能更好的光栅。

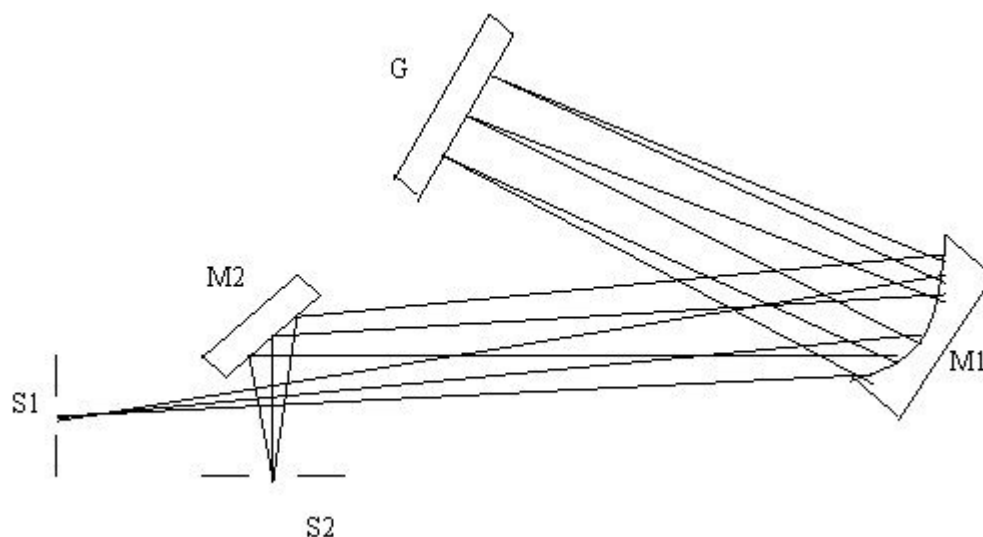
常用的衍射光栅分透射式与反射式两种。透射式光栅是用金刚石刀在平面透明玻璃板上刻划平行，等间距又等宽的直痕而制成的。反射式光栅是在坚硬的合金板或高反射率平面镜上刻划而成的。本实验用反射式平面光栅。

理想的反射式平面光栅，可视作是相互平行，等宽，等间距，均匀排列的许多狭缝。如设光栅的缝宽为 d ，则 d 称为光栅常数，本实验中刻线密度为 1200 条/mm。根据夫琅和费理论，一束平行光垂直地入射到平面反射光栅上，经各缝衍射后向各方向传播。衍射角适合如下条件：

$$d \sin \theta = k \lambda \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

上式称作平行光垂直入射时的光栅方程。式中 θ 为衍射角， λ 为光波波长， k 为光谱线级数，当 $k=0$ ， $\theta=0$ 时，各种波长的光均满足上式，重合在一起形成零级光谱。 k 不为零时，不同波长的光对应不同的衍射角 θ ，光谱线便按波长（或衍射角）由小到大展开。如果入射光含有连续波长分布的复色光照射光栅，其一级主级大将是较宽的彩色亮带，从靠近零级主级大的内侧向外，颜色是由紫而最终变红色，称为光栅光谱。其它各级主级大的情况类似，仅零级保持为白色窄条，且对给定光栅常数的光栅，除中央零级明线外，不同波长的同一衍射主级大的位置均不重合，波长越短，衍射角就越小，越靠近中央。而在较高级次处，相邻级的衍射谱线间会出现重叠，级次越高重叠越严重。

与棱镜光谱仪相比，光栅光谱仪（单色仪）具有允许的波长范围广、分辨率较高等突出特点。平面光栅单色仪的工作原理如下图所示：



光均匀地照亮在入射狭缝 S1 上, S1 位于离轴抛物镜的焦面上。光经过 M1 平行照射到光栅上, 并经过光栅的衍射回到 M1, 经 M1 反射的光经过 M2 会聚到 S2 出射狭缝上, 最后照到光电接受元件上。由于光栅的衍射作用, 从出射狭缝出来的光线为单色光。当光栅转动时, 从出射狭缝里出来的光由短波到长波依次出现。这种光学系统称为李特洛式光学系统。与系统的出射缝相连接的是包含光电倍增管在内的测光仪。光电倍增管的主要功能是通过光电阴极转换为光电子, 并使光电子数量经过二次发射, 从而得到倍增放大。下图为光电倍增管工作示意图。

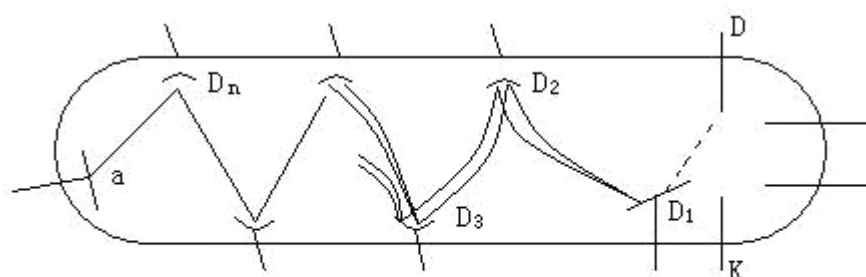
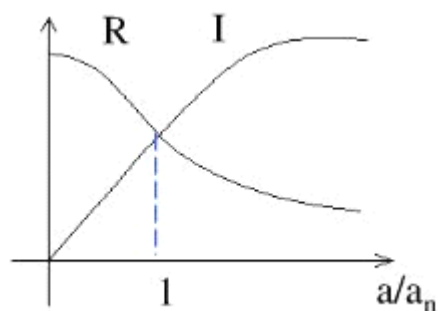


图4 光电倍增管示意图

其中K——光电阴极； D——聚焦极； D_1 - D_n ——倍增极； a——阳极。

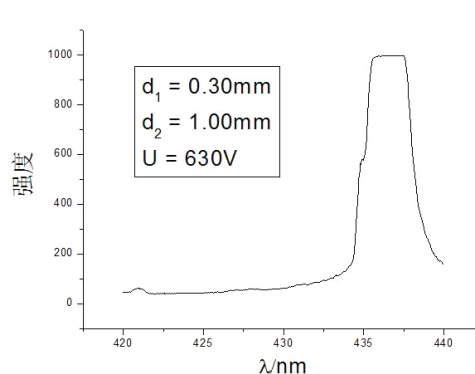
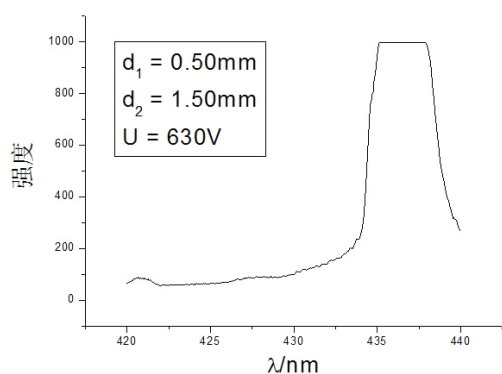
光照射在光电倍增管上, 光电阴极在入射光的激发下逸出光电子, 该光电子在电场被加速后打到第一倍增极 D_1 上, 然后在高速初级电子的激发下, D_1 产生二次电子发射, 这些电子又被电场加速并入射到 D_2 上, 激发出更多的二次电子, 最后经倍增的光电子被阳极 a 收集而输出光电流。光电倍增管负高压电源用来提供给光电倍增管工作时所必须的负高压, 可根据光强信号的强弱增减, 在实验中是变量之一。

单色仪分辨率可表示为: $W_0 = 0.86 \lambda f / D$. 可知单色仪实际分辨率随缝宽的增大而降低, 而谱线高度 (光强) 随缝宽的增大而增大。所以获得较好的图形, 应选择合适的缝宽使得图形最理想, 谱线强度和实际分辨率都较好。

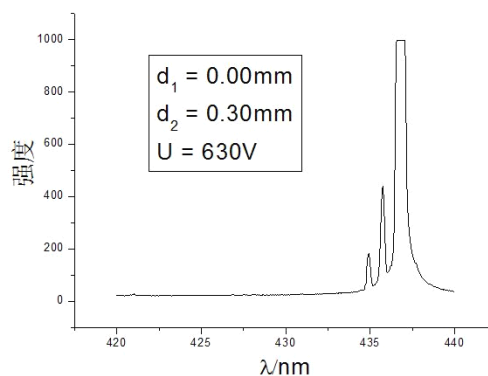
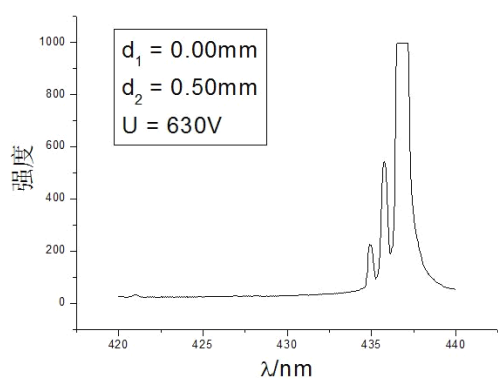


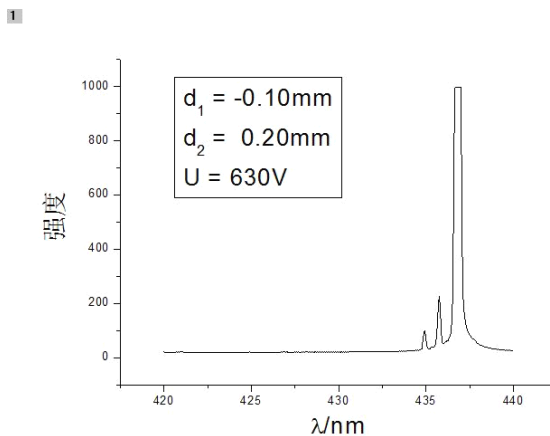
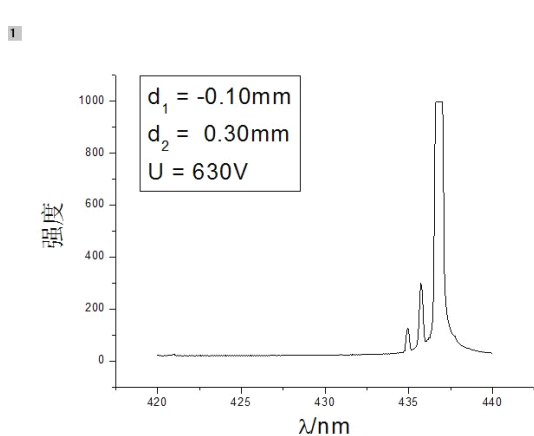
上图中 a 表示缝宽， a_n 最适缝宽， R 表示实际分辨率， I 表示谱线强度。在此实验中，对实验图像有所影响的参数有三个：出射缝宽，入射缝宽和光电倍增管上的负高压。前序实验中测得入射缝实际零点：-0.30mm；出射缝实际零点：-0.05mm。

实验的第一部分是用汞灯对单色仪进行定标，需要扫描汞灯 400nm-660nm 区间的谱线。在调整缝宽时，对 430nm-440nm 进行扫描，扫描 435nm 附近某条谱线，并通过结果调整缝宽。（图中 d_1 表示入射缝读数缝宽， d_2 表示出射缝读数缝宽）

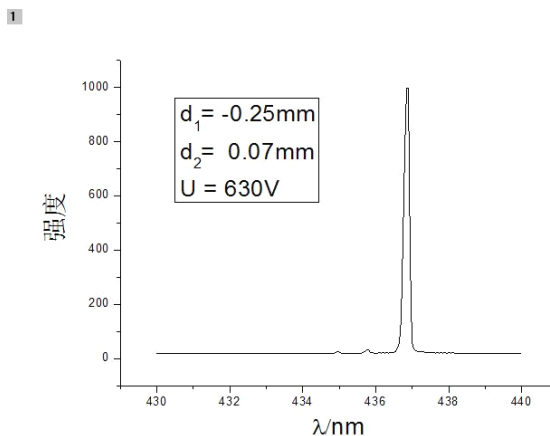
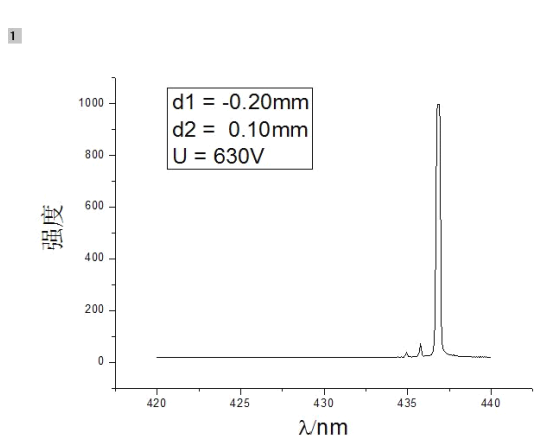
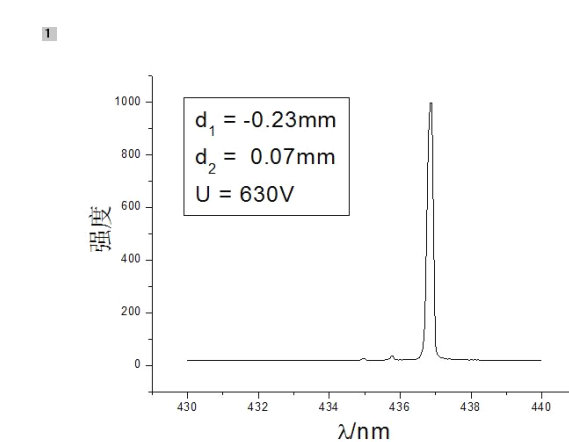
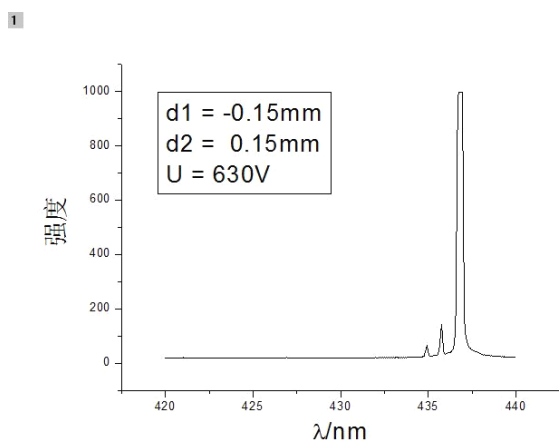


上图中谱线上出现明显平顶，说明远超出量程（强度很强），且没有小峰出现，说明分辨率特别低。所以缝宽过宽。



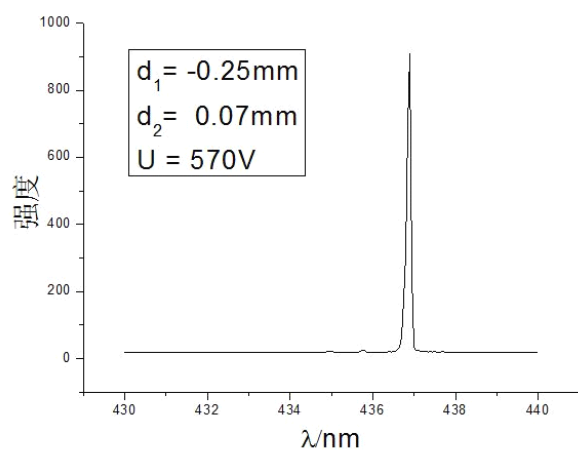


上图为逐渐调小缝宽的结果，可以看到上方平顶宽度缩小，谱线变细锐，但小峰的强度也随之下降。



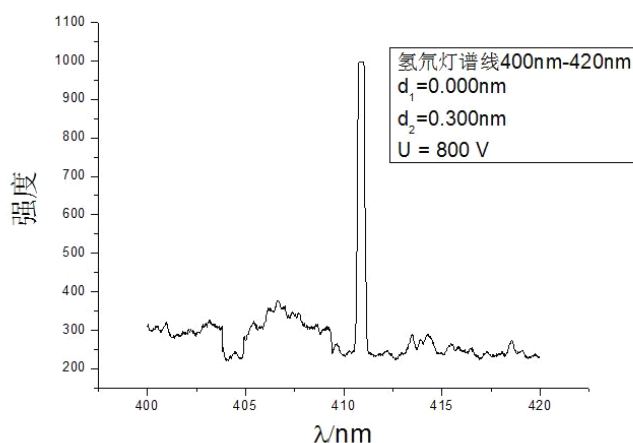
上图中，进一步调小缝宽，可以看到主峰变得更加细锐，但上方仍略有平顶，最高点仍在强度量程最大值处。小峰已经消失。调小负高压，使主峰的最高强度落在强度 900 附近。得到最终参数和图形如下图：

I



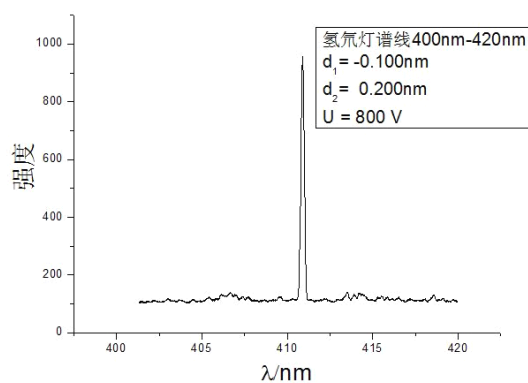
在测量氢光谱时，同理扫描 400nm-420nm 区间某条谱线以调整缝宽。在这个例子中，除了主峰细锐、不超量程外，还要求在放大主峰后可以观察到氢和氦峰的分离，所以对单色仪的分辨率有很高的要求。原则上应将负高压调很大以保证谱线强度，缝宽调很小以保证分辨率。调节过程如下图所示：

II

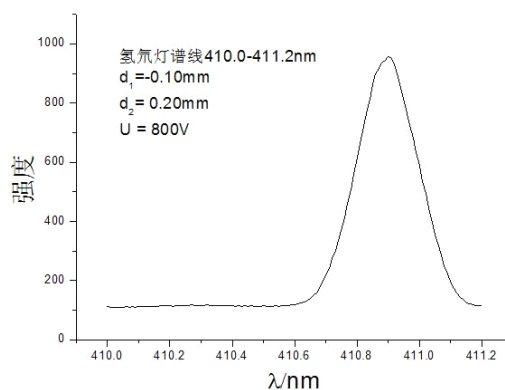


在这种情况下，谱线上方有明显平顶，所以应调小缝宽。调下后得到下图。

III

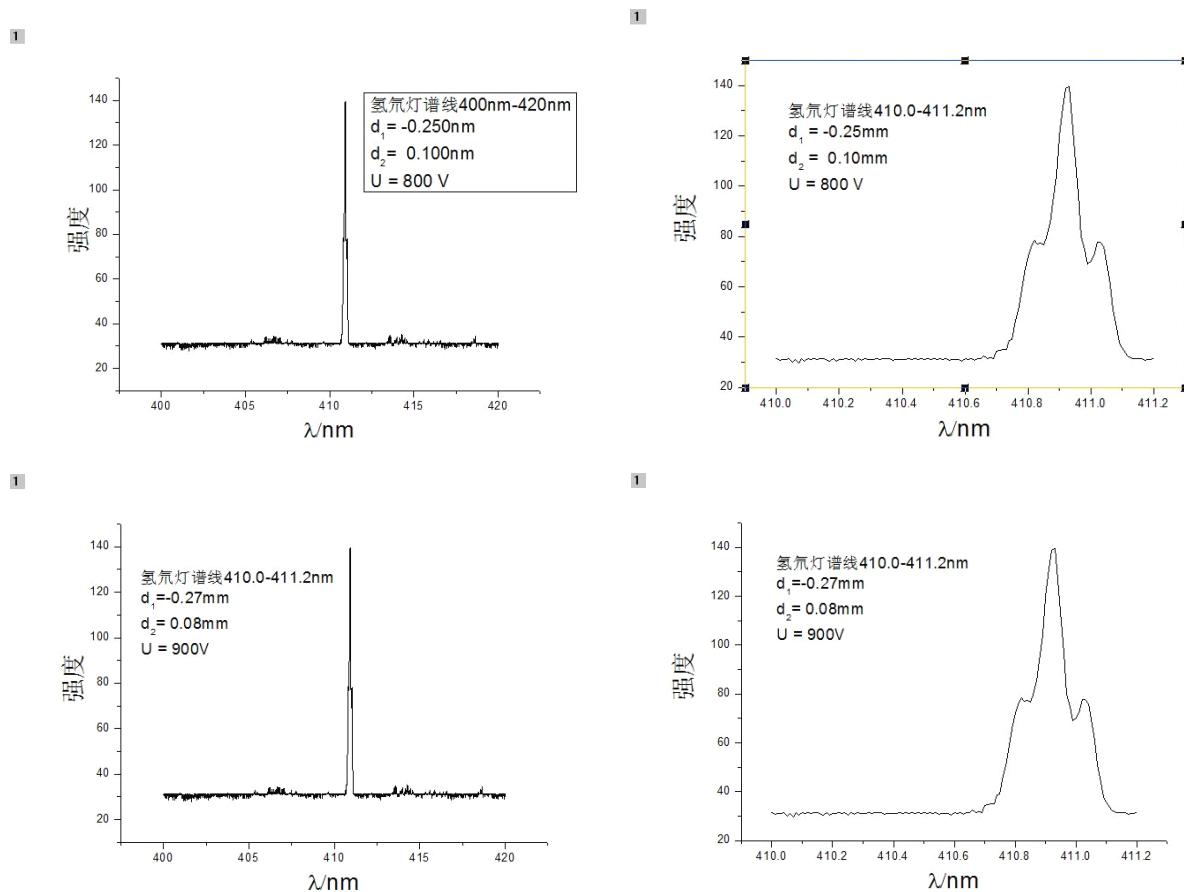


IV

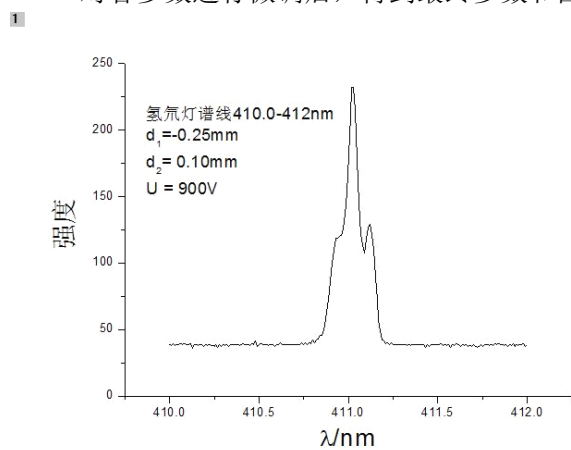


可以看到谱线在量程内，且细锐。但局部放大主峰处，发现并没有观察到氢线和氦线的分裂，所以

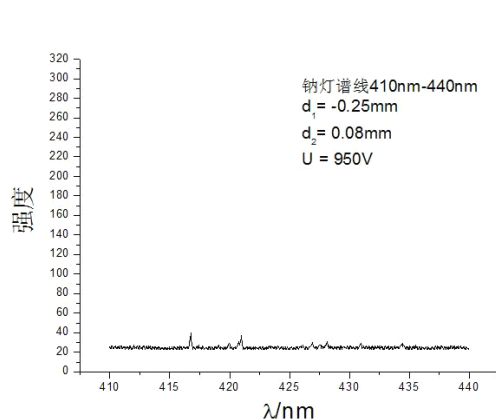
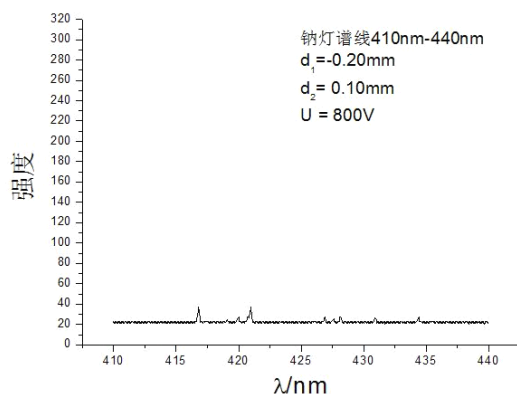
进一步调小缝宽，增大负高压。得到下面四个图。（右图为局部放大）



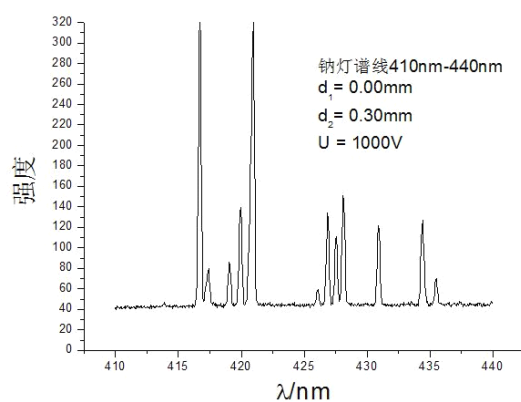
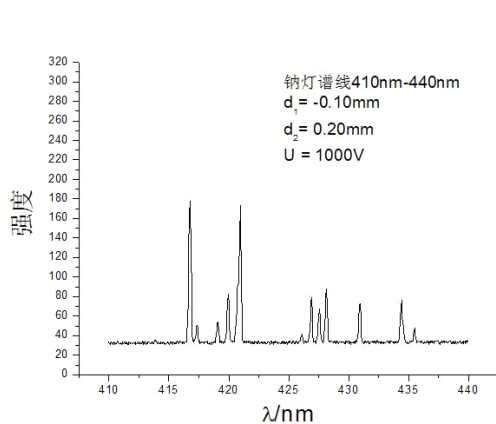
对各参数进行微调后，得到最终参数和图形如下图。两个峰明显分开，且谱线细锐。



使用钠灯时缝宽的调整同理，但应注意由于钠D双线比其他谱线的强度强很多，所以在测完黄双线后应将缝宽调大，负高压调高，对其他谱线进行分段测量。调整缝宽的过程如下图所示：



在上图中，谱线很不明显，进一步调大缝宽和负高压以增加谱线强度。



上图中右图为最终确定的参数和相应图形。可以看到谱线很细锐，而且相对强度较高，这样就允许实验者观察到很多之前没有凸显出来的谱线。

在整个实验过程中，缝宽的调节是非常需要耐心的，并且要边观察规律边调节，不然会耗费很多时间和精力。从实验结果来看，出射缝和入射缝在对实验结果的影响中并无太大差异，在调节的时候可以保持出入射实际缝宽相等而进行同步调节，这样就缩小了变量的数目，调节起来更简单。