

单色仪定标和光谱测量

王冬雪

合肥，中国科学技术大学

【摘要】本文记录了单色仪定标和光谱测量实验。该实验利用钠灯对光栅光谱仪进行了定标，测量了低压钠灯的主线系、漫线系、锐线系、基线系，获得了红宝石的发射光谱以及红、蓝、绿滤光片的吸收光谱。利用测量数据，获得了纳的里德伯常数。

【关键词】单色仪、光谱、红宝石、滤光片、里德伯常数。

引言

单色仪定标和光谱测量实验利用 WDS-8 型组合式多功能光栅光谱仪进行分光，原理是光栅为线性分光元件，而闪耀光栅可以提高信噪比。利用光电倍增管进行信号放大。使用 CCD 进行测量。以钠灯为光源定标及测量低压钠灯谱线，以激光照射红宝石获得其发射谱线，以溴灯照射滤光片获得其吸收光谱。

1. 光栅单色仪的定标

钠灯预热后，光路上放置透镜，使光汇聚于狭缝，微调狭缝。在计算机上找到主线谱（ $589.0nm$ ），调整至合适的负电压，调节参数，对谱线进行定标，笔者在本次实验中误差修正参数为 $-0.138nm$ 。

2. 测量低压钠灯的光谱

选择合适的负电压，分别测量低压钠灯的主线系、漫线系、锐线系、基线系。记录数据，图形如下：

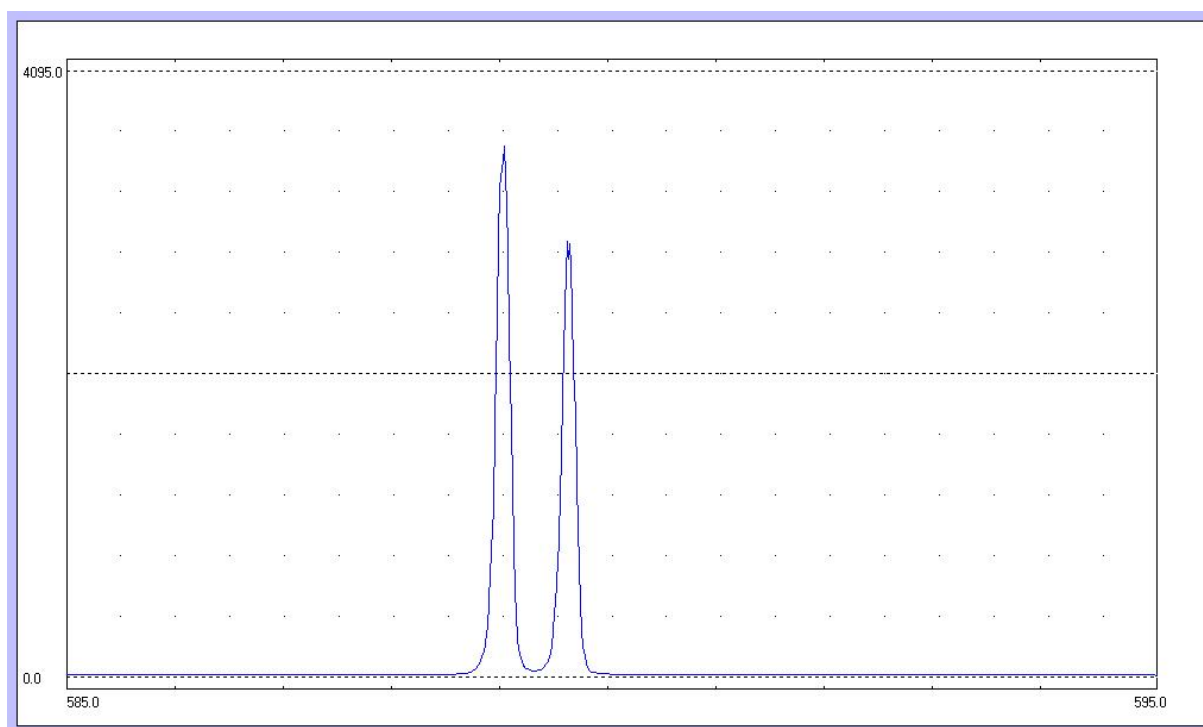


图 2.1 低压钠灯的主线系

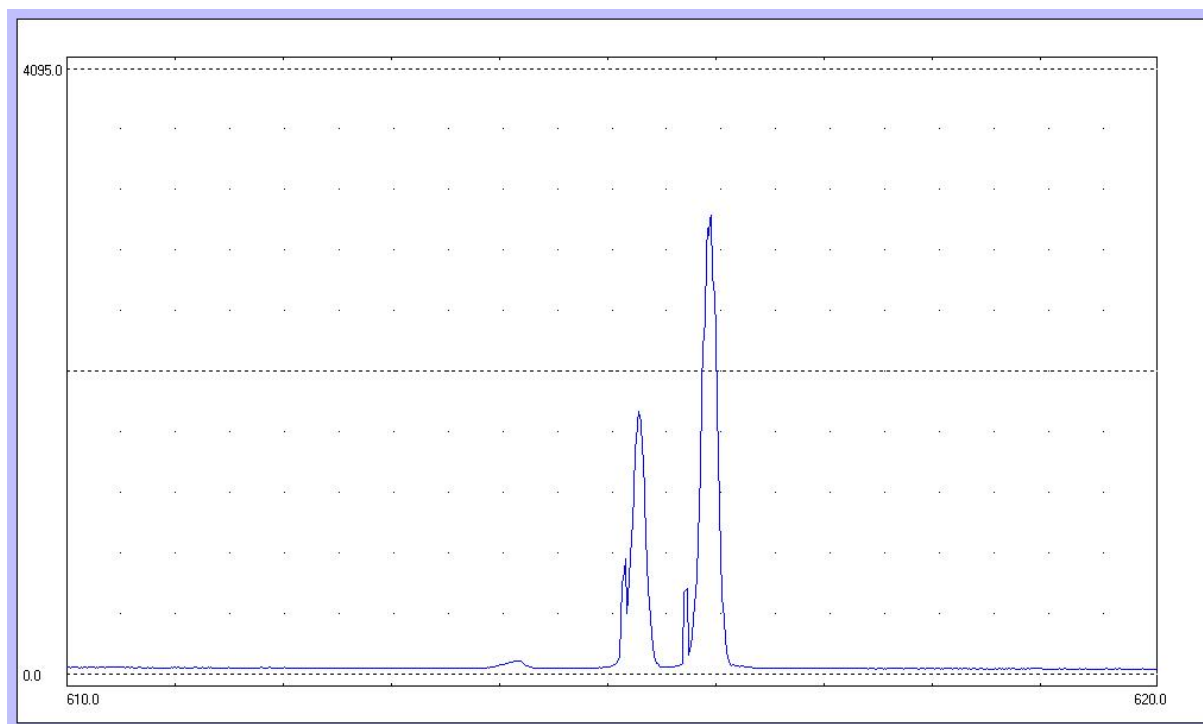


图 2.2 低压钠灯的锐线系（第二辅线系）

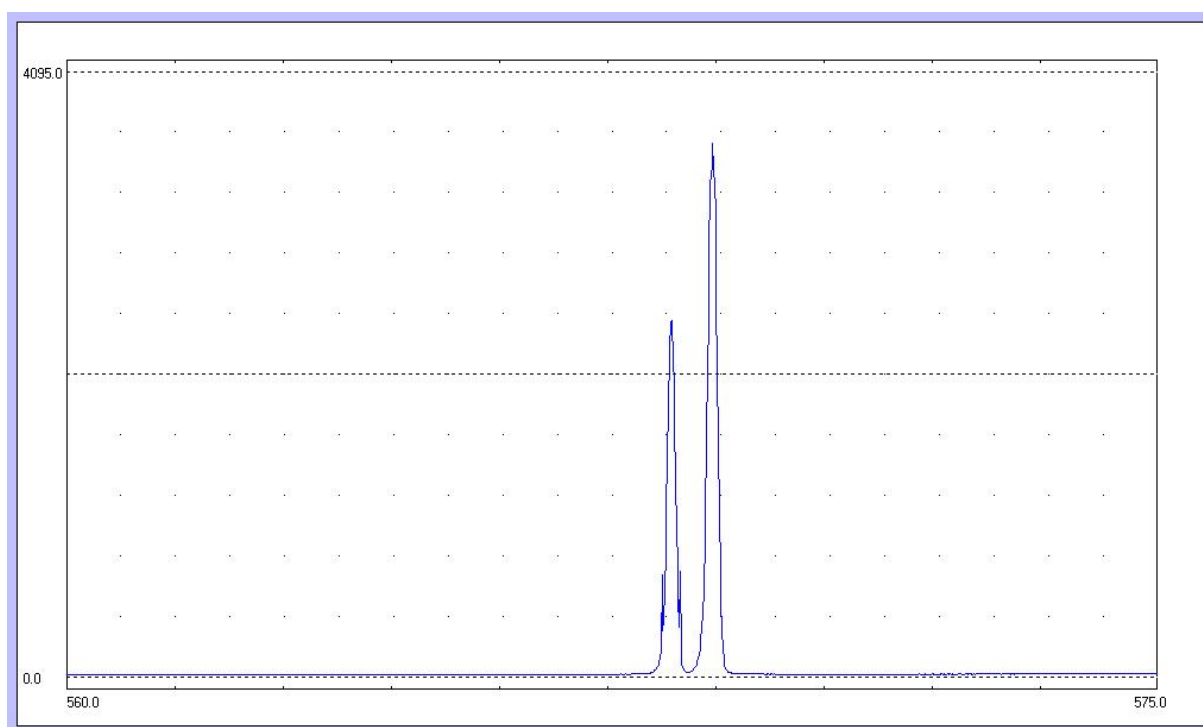


图 2.3 低压钠灯漫线系（第一辅线系）

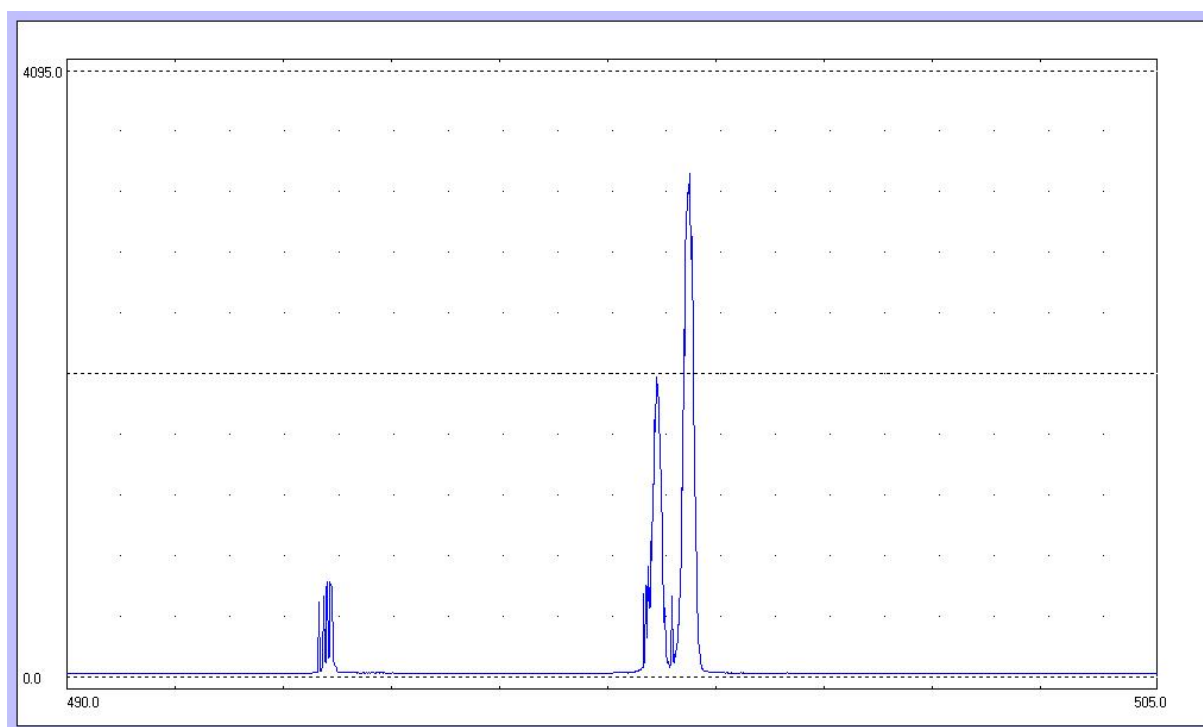


图 2.4 低压钠灯的基线系（柏格曼线系）

对数据进行连线处理，如下图：

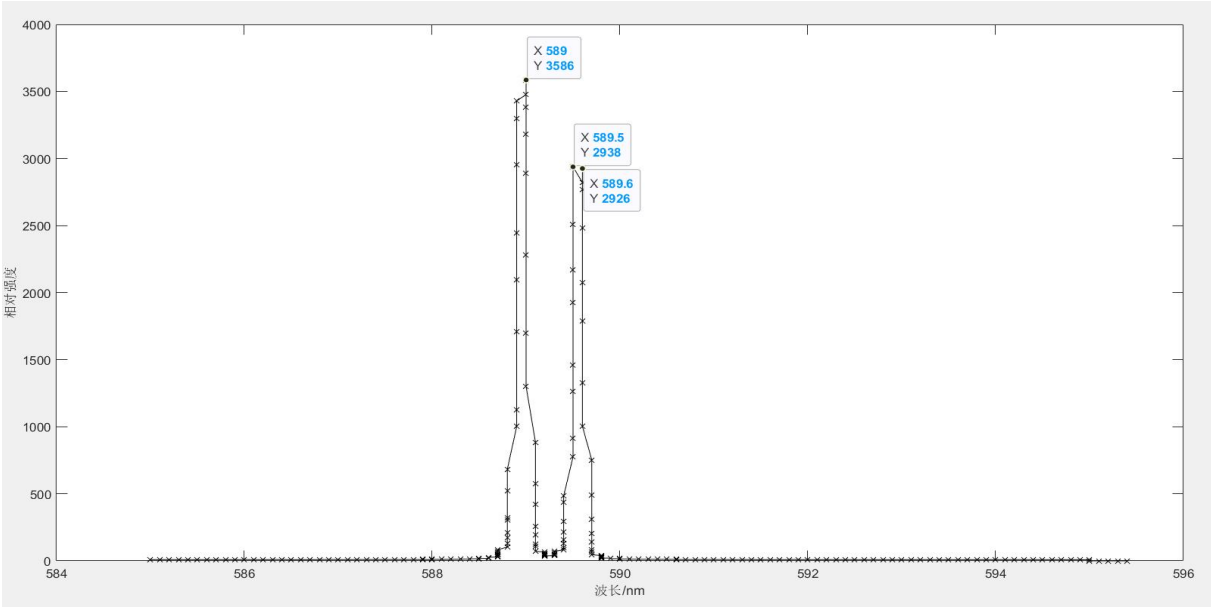


图 2.5 低压钠灯主线系数据图

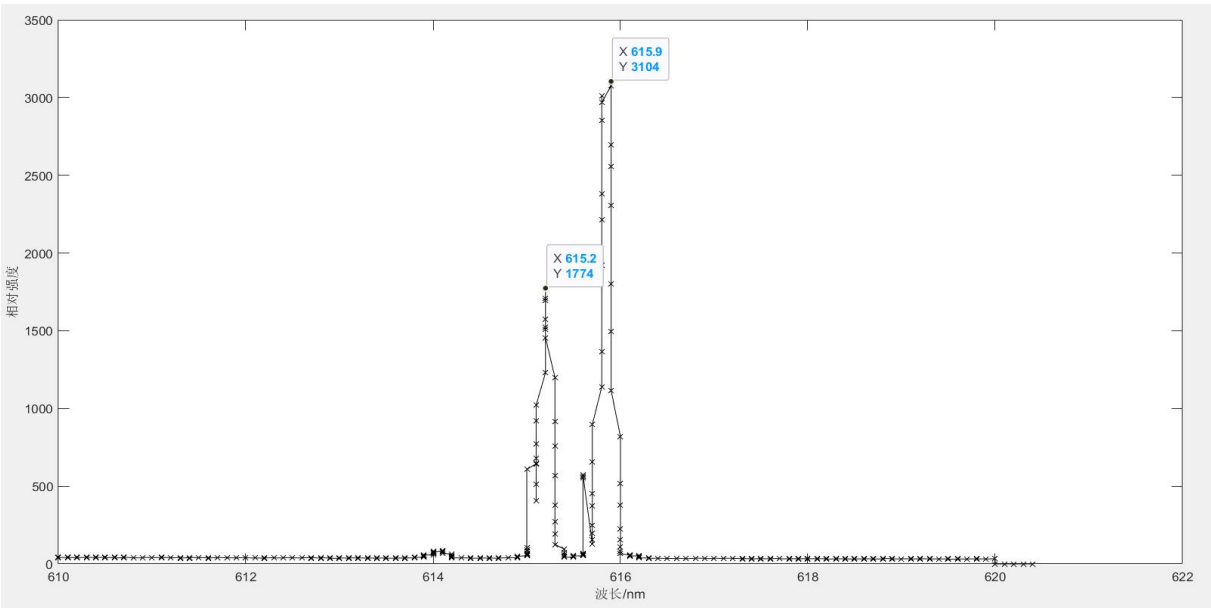


图 2.6 低压钠灯的锐线系（第二辅线系）数据图

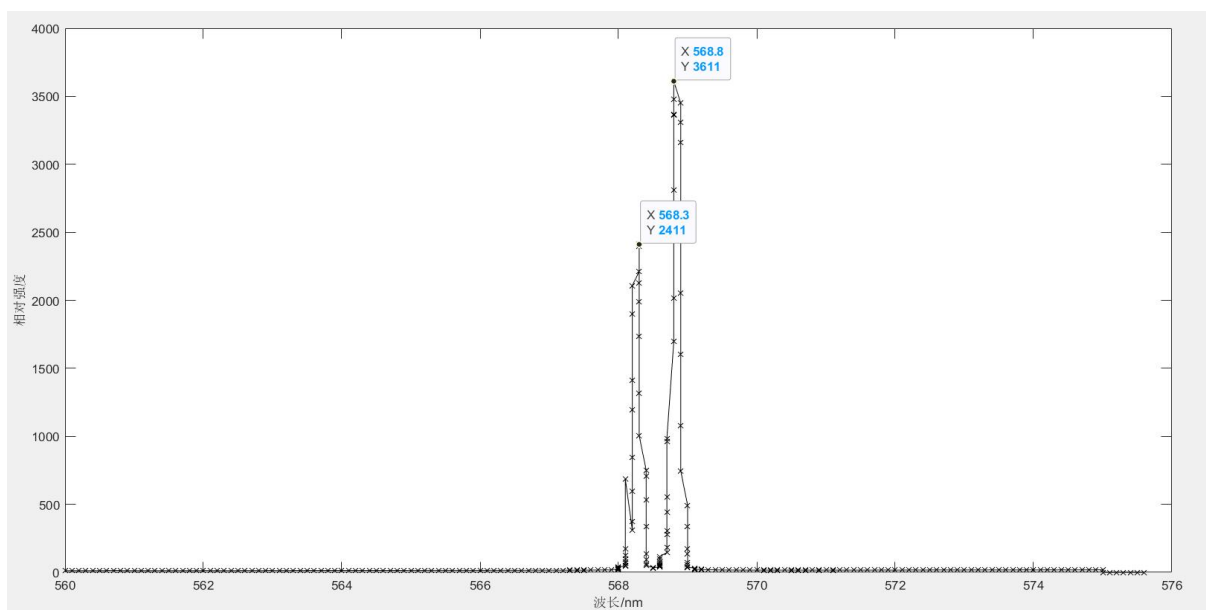


图 2.7 低压钠灯漫线系（第一辅线系）数据图

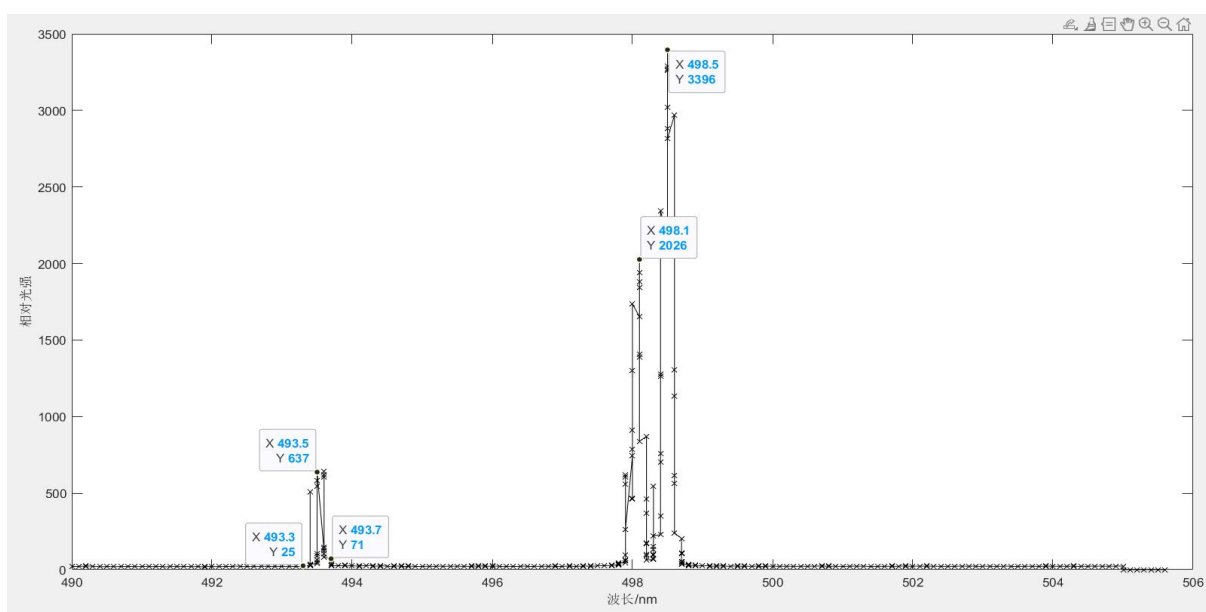


图 2.8 低压钠灯的基线系（柏格曼线系）数据图

由图 2.5——图 2.8，可得低压钠灯的主线系测量值为 $589.0nm, 589.5nm$ ，锐线系测量值为 $615.9nm, 615.2nm$ ，漫线系测量值为 $568.3nm, 568.8nm$ ，基线系测量值为 $498.1nm, 498.5nm$ 。

根据钠原子光谱的光谱公式：

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{(3 - \Delta s)^2} - \frac{R}{(3 - \Delta \rho)^2} \text{ (主线系)}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{(3 - \Delta \rho)^2} - \frac{R}{(5 - \Delta s)^2} \text{ (锐线系)}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{(3 - \Delta \rho)^2} - \frac{R}{(n - \Delta d)^2} \text{ (漫线系)}$$

$$\Delta s = 1.35, \Delta \rho = 0.86, n = 4.5, \Delta d = 0.01$$

将数据代入，将结果平均，得到里德伯常数 $R \approx 1.1051 \times 10^7 m^{-1}$ 。

查阅资料显示，低压钠灯的主线系位于 $589.0nm, 589.6nm$ ，锐线系位于 $616.0nm, 615.4nm$ ，漫线系位于 $568.3nm, 568.86nm$ ，基线系位于 $497.78nm, 498.2nm$ ，钠的里德伯常数 $R = 1.0974 \times 10^7 m^{-1}$ 。本实验结果与理论值最大误差除去基线系最大误差不超过 $0.2nm$ ，符合良好。基线系误差在 $0.30nm \sim 0.32nm$ 之间，且在 $493.3nm \sim 497.7nm$ 处有难以消除的误差，推测是钠灯含有杂质导致结果误差稍大。里德伯常数的相对误差 $\frac{|\Delta R|}{R} = 0.7\%$ ，与理论值误差在可接受范围内。

3. 测量红宝石晶体的发射光谱

红宝石是掺有少量 Cr 的 Al_2O_3 单晶，含有 Cr^{3+} 离子。激光照射后， Cr^{3+} 离子吸收能量，在 $3d$ 轨道上的 3 个电子发生能级跃迁，随后转化为光辐射，形成它的发射光谱。这就是红宝石晶体的发光原理。

红宝石晶体可以用来制作红宝石激光器，用来创造想干脉冲激光光束。

用激光器斜入射红宝石光滑面，调节红宝石与激光器高度和角度，使发射光正入狭缝，选择合适的负电压。记录数据，图形如下：

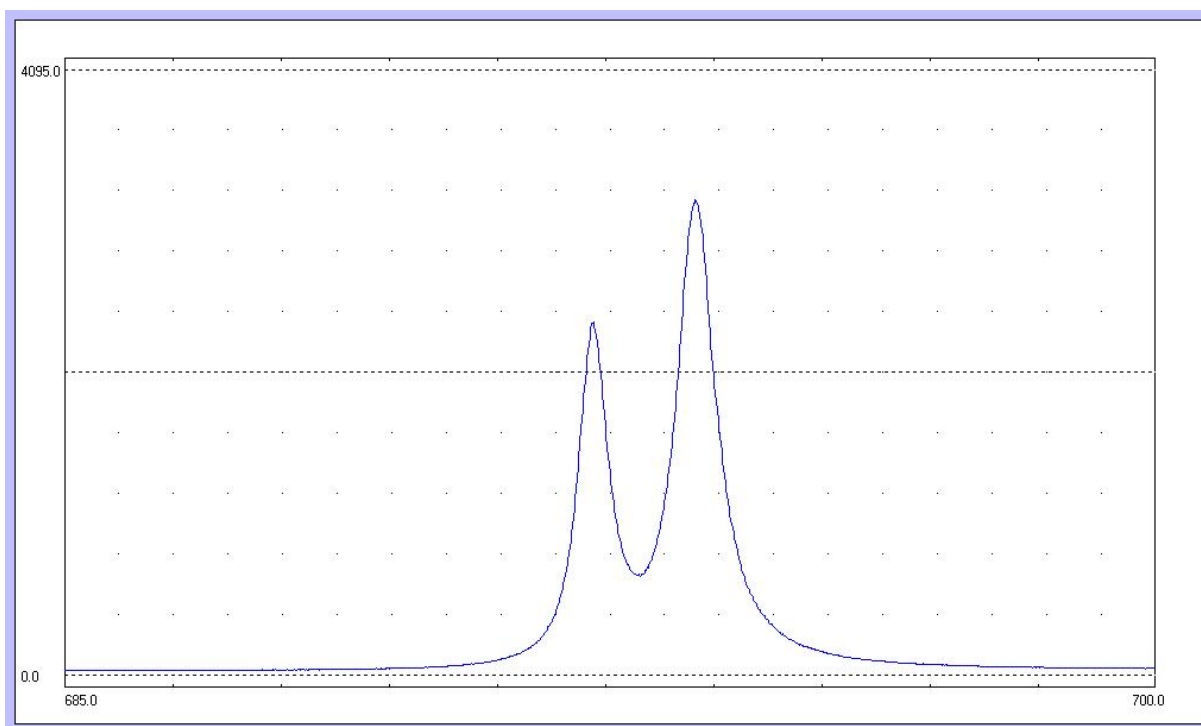


图 3.1 红宝石晶体的发射光谱

对数据进行连线处理，如下图：

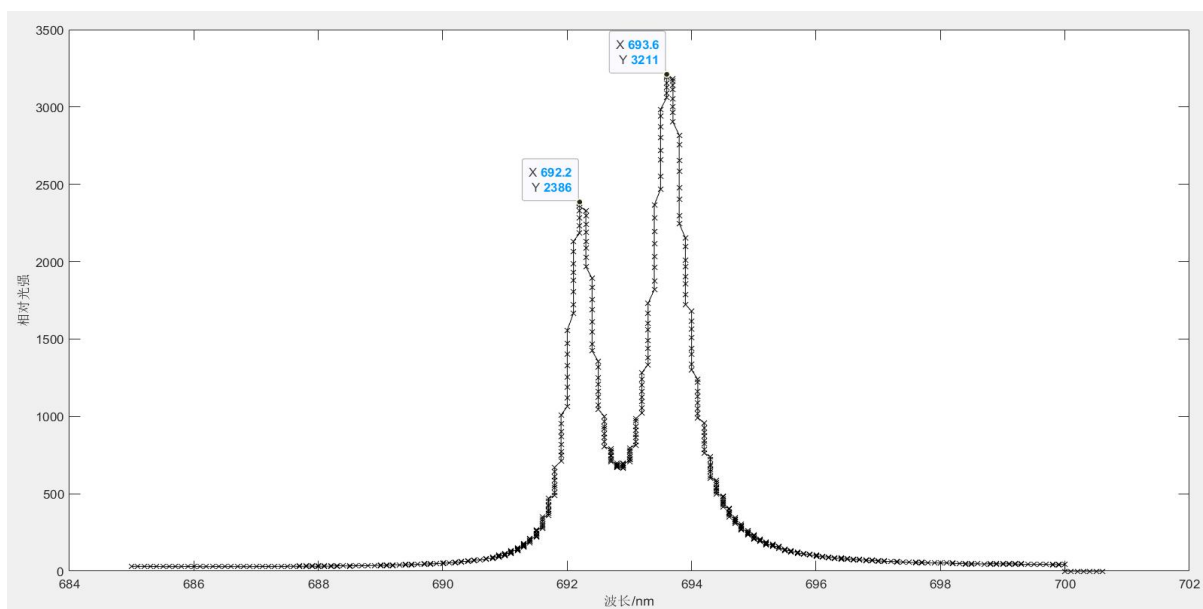


图 3.2 红宝石晶体的发射光谱数据图

由图 3.2，知红宝石有 692.2nm , 693.6nm ，与资料显示的 692.8nm , 694.3nm 误差不超过 0.7nm ，结果良好。

4.测量滤光片的吸收曲线

溴钨灯灯预热后，光路上放置透镜，使光汇聚于狭缝，微调狭缝。在计算机上找到测试范围（ $300nm$ —— $589.0nm$ ），调整至合适的负电压. 记录数据，图形如下：

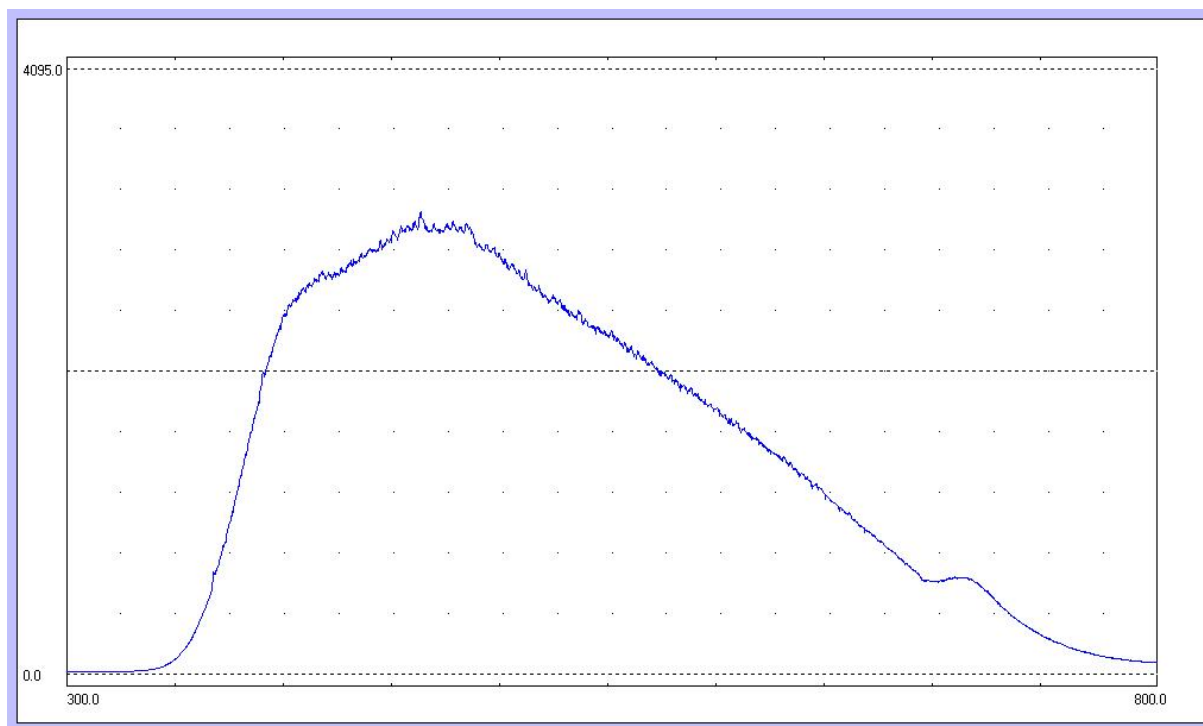


图 4.1 溴钨灯照射曲线

分别将绿、蓝、红滤光片置于透镜与狭缝间，调整至合适的负电压。记录数据见于附录，图形如下：

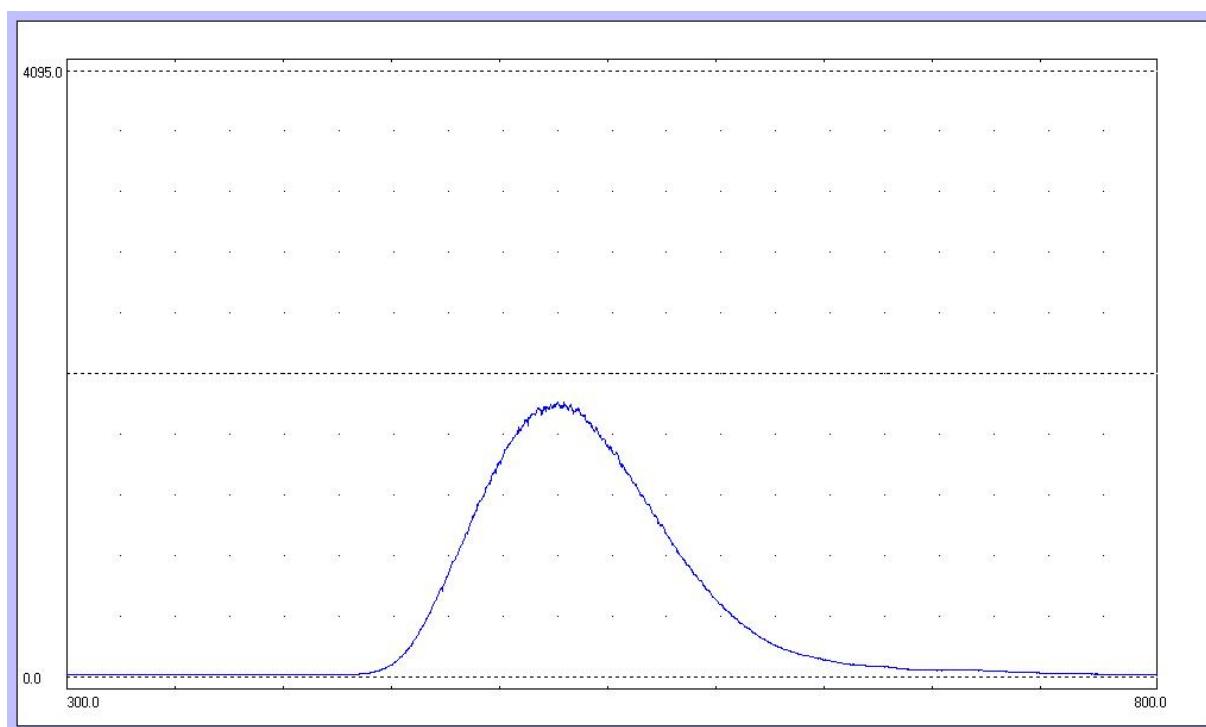


图 4.2 绿色滤光片下溴钨灯照射曲线

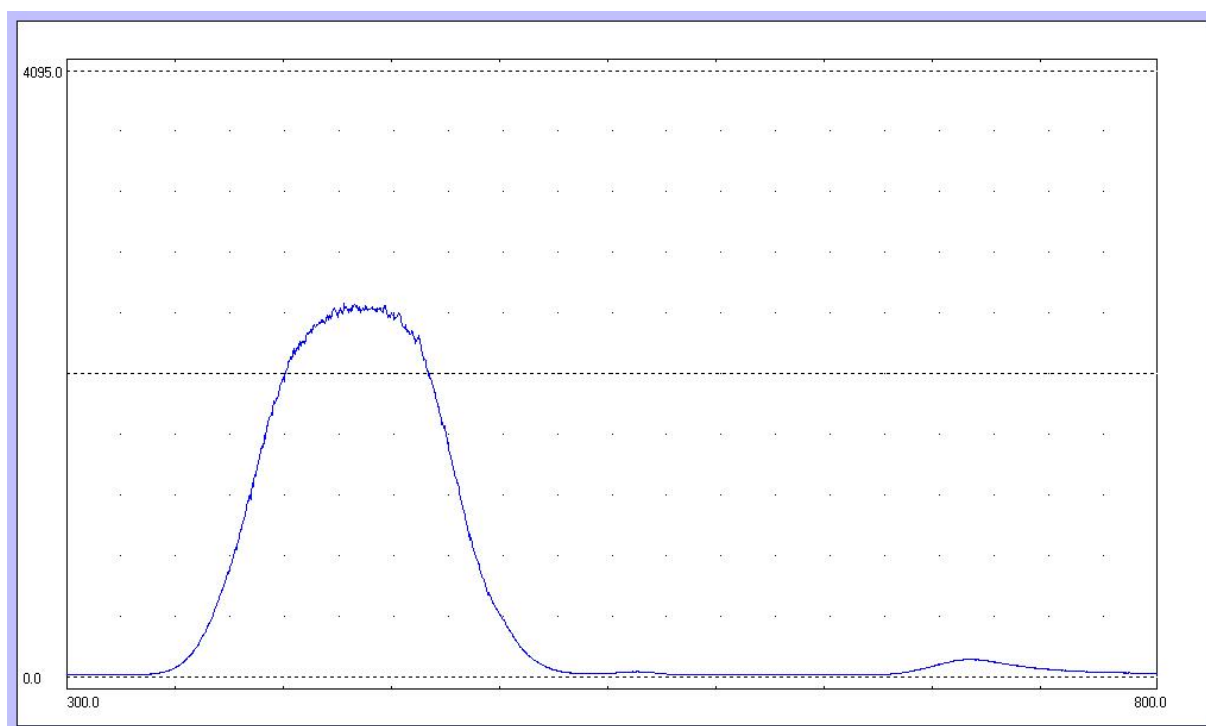


图 4.3 蓝色滤光片下溴钨灯照射曲线

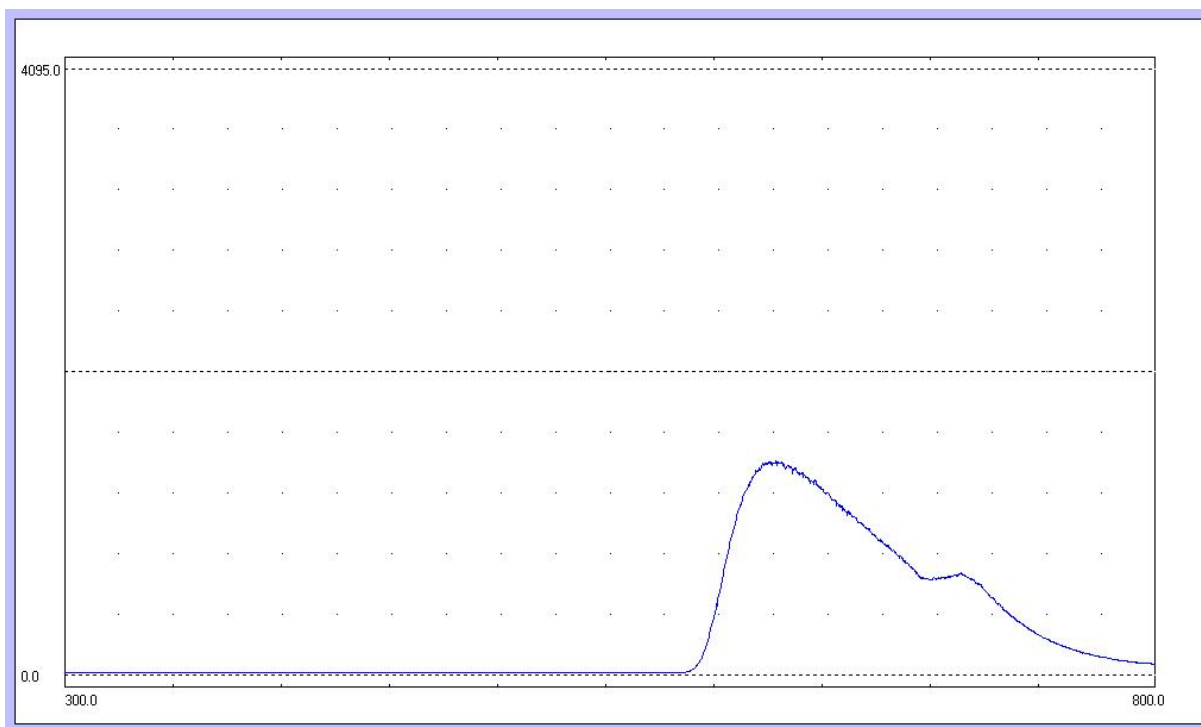


图 4.4 红色滤光片下溴钨灯照射曲线

为了便于分析，我们将四组数据绘制于同一张图上，得到下图：

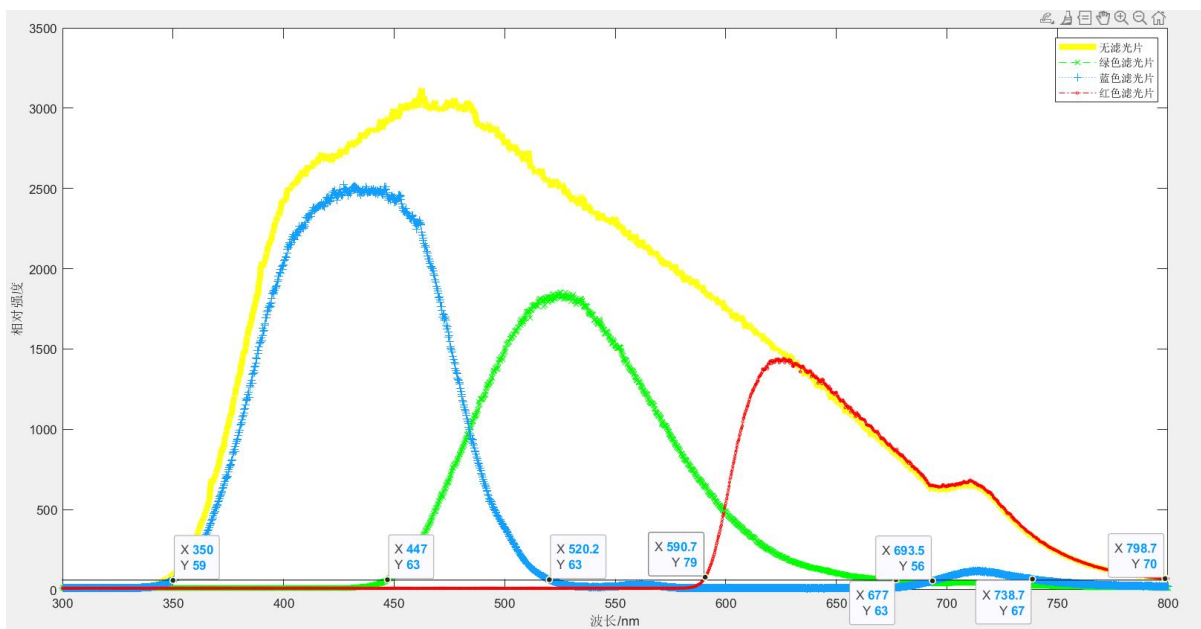


图 4.5 无滤光片以及绿、蓝、红滤光片下溴钨灯照射曲线

需要注意的是，由于实验中采用了不同的负电压，数据的相对强度不能进行叠加，但我们仍然可以得到滤光片的吸收特性。

由图 4.5, 绿色滤光片允许透过 $447\text{nm} - 693.5\text{nm}$, 蓝色滤光片允许透过 $350\text{nm} - 520.2\text{nm}$, 另外, $677\text{nm} - 738.7\text{nm}$ 有小强度透过, 红色透光片允许透过 $590.7\text{nm} - 798.7\text{nm}$, 蓝色滤光片与绿色滤光片、绿色滤光片与红色滤光片的允许透过范围有所重合, 且三种滤光片允许透过总范围就是溴钨灯的光谱范围, 但蓝、红滤光片允许透过范围没有重合, 意味着只要蓝、红滤光片一起放于光路, 全光谱都会被吸收, 再放置绿色, 吸收效果更好。

查阅资料, 得一般绿色滤光片允许透过 $500\text{nm} - 600\text{nm}$, 蓝色滤光片允许透过 $380\text{nm} - 500\text{nm}$, 红色透光片允许透过 $610\text{nm} - 700\text{nm}$, 与实验值大体相符, 误差可能来源于材料不同。另外, 实验中蓝色滤光片的小强度透过也可能是由材料引起。

5. 一些思考

实验中需要调节入射狭缝, 它的最佳宽度由 $a_n = 0.86 \frac{\lambda f}{D}$ 求出, 其中 f 为抛物镜焦距, D 为由光栅和抛物镜的口径限制的光束直径。

单色仪的分辨本领通过 $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$ 求出, 其中 m 为光的衍射技术, N 为光栅的总线数, 本实验中 $m = 1$ 。

单色仪的实际分辨本领远小于理论分辨本领, 原因是实验中光学系统存在相差, 不一定是单色光, 调整过程也会出现误差。此外还有光电倍增管放大不均匀、杂光、噪声的影响。

实验中所用的光电倍增管原理是利用光电子发射效应和二次电子发射效应制成的仪器, 施加负高压后, 电子将在一级一级之间不断加速, 电子数目越来越多, 信号被放大。负高压绝对值越大, 想通入射光就会激发更多光电子, 采集的灵敏度就会提高。

溴钨灯、钠灯、汞灯的光谱区别在于溴钨灯是连续光谱, 钠灯和汞灯是线状谱, 且

谱线位置不同。原因是不同的原子结构决定了能级位置以及稳定性，由于原子能级的不连续，激发出的光子能量也就不同，就会表现出不同的谱线。

参考文献

- 【1】谢行恕，康士秀，霍剑青. 大学物理实验第二册. 第2版，高等教育出版社.
- 【2】赵凯华, 钟锡华. 光学. 重拍本. 北京大学出版社.