

基于彩色 CCD 的棱镜摄谱实验

实验报告

PB22051031 李毅

PHYS1009B.02

教室：一教 1321 座位号：5

2023 年 10 月 7 日

第一部分 实验原理

棱镜摄谱仪是利用棱镜作为分光元件的摄谱仪器。本次实验所用的是可见光范围内的小型棱镜摄谱仪，如图 1 所示。 S 为光源， L 为聚光透镜，使 S 发出的发散光会聚后均匀照亮狭缝， S_1 为狭缝，以控制入射光的宽度； L_1 为准直透镜，和 S_1 的距离大小等于其焦距，产生平行光后，均匀的照射在阿贝棱镜的入射面上，这是摄谱仪的第一部分。

经透镜 L_1 照射过来的平行光，通过阿贝复合棱镜分光转向出射，此时各种单色光不再相互平行，而是之间有相互较小的夹角。至此完成了摄谱仪的第二部分。

经过分光后的各种单色光，由会聚透镜 L_2 ，将各种分离的单色光会聚成单一谱线，成像于 L_2 的谱平面上。将彩色 CCD 的成像面置于 L_2 的谱平面上；通过彩色 CCD 连接到计算机和显示器，可以看到各种分离的彩色谱线，并记录成图片格式存储。由于氢谱在可见光范围内谱线相对较多，一般用来作为已知光谱。接着计算机对这些图片进行比对，用插值法，从已知谱线和未知谱线的位置（像素）关系上，就可以计算出未知谱线。

插值法的原理如下：设未知谱线像素位置为 d_x ，2 条已知谱线位置分别为 d_1, d_2 ，波长分别为 λ_1, λ_2 。则未知谱线的波长 λ_x 由线性插值公式

$$\lambda_x = \lambda_1 + (\lambda_2 - \lambda_1) \frac{d_x - d_1}{d_2 - d_1}$$

给出。

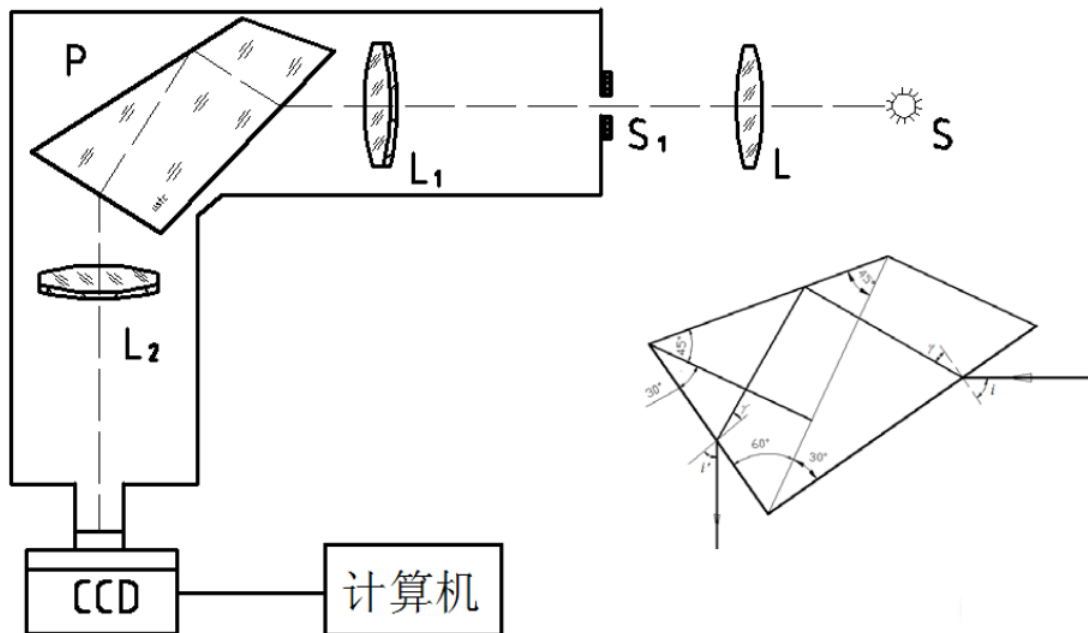


图 1. 棱镜摄谱仪原理简图和阿贝复合棱镜截面图

第二部分 实验步骤与数据处理

将氦灯光源置于光路中观察谱线。调节光源、会聚透镜 L 、狭缝中心处于等高共轴状态，使用目镜观察谱线，并通过调节会聚透镜 L_2 的调节旋钮，使用目镜观察谱线直到清晰为止。接着使用 CCD 进行摄谱。

实验使用 1/2 英寸的 CCD，光谱线宽度比 CCD 靶面要宽，所以整个光谱线要用三张图片分段拍摄，处理时将三幅图片拼接在一起成为一个整体。先拍摄氦灯光源可见光长波段（红、黄）的光谱谱线图片，调整谱线亮度、粗细合适后，拍摄 1 次。保持 CCD 位置不动，换上汞灯光源并调整，拍摄 1 次。再换上钠灯光源并调整，拍摄 1 次。拍摄完图像后，按照具体拍摄的光源谱线对图像进行命名保存。移动 CCD 至光谱的中间位置，重复上述过程；移动 CCD 至光谱的右边位置，重复上述过程。得到以下 9 张图片：

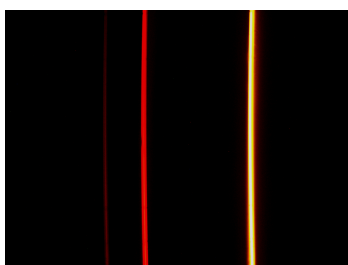


图 2.1.1 氦灯左边位置

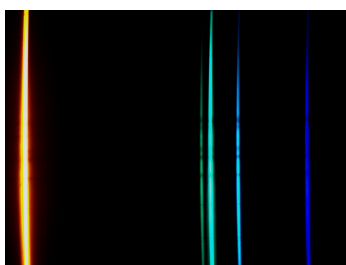


图 2.1.2 氦灯中间位置

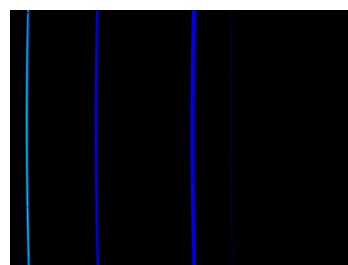


图 2.1.3 氦灯右边位置

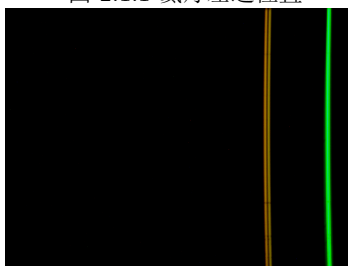


图 2.2.1 汞灯左边位置

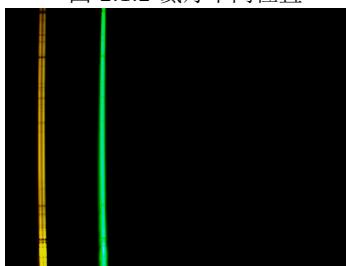


图 2.2.2 汞灯中间位置

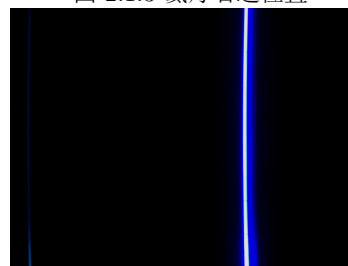


图 2.2.3 汞灯右边位置

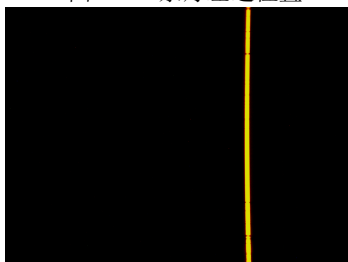


图 2.3.1 钠灯左边位置

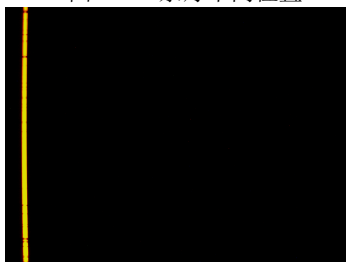


图 2.3.2 钠灯中间位置

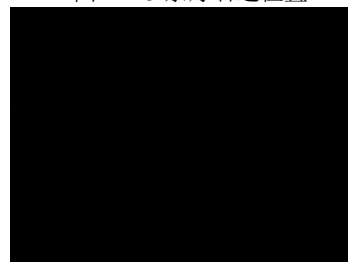


图 2.3.3 钠灯右边位置

传统的数据处理方法为用 PowerPoint 等软件手动拼接谱线，保证氦谱相同的谱线重合，然后保持垂直方向对齐，拼接汞谱和钠谱。然后记录拼接后每条谱线的横向相对位置。但是这种方法受限于手动判断拼接，导致精度不高。本实验中使用基于 VB，NET，WPF 的摄谱处理程序进行处理。

下面是具体的操作步骤。

1. 将图片导入计算机程序；

2. 寻峰。使用极值法，程序比较每个像素点与左右像素点的亮度，最亮处即为谱线位置。通过不断调节参数“升降亮度容差”，使得识别所有谱线的同时，避免将杂点识别为谱线；

3. 拼接。不断调节参数“色相容差”和“亮度容差”，将前一张图与后一张图谱线的色相和亮度匹配，以拼接成一张完整光谱；

4. 插值。将作为参考谱线的氦灯波长输入，程序使用插值法，得到汞谱与钠谱的谱线波长。反转底色，得到下图：

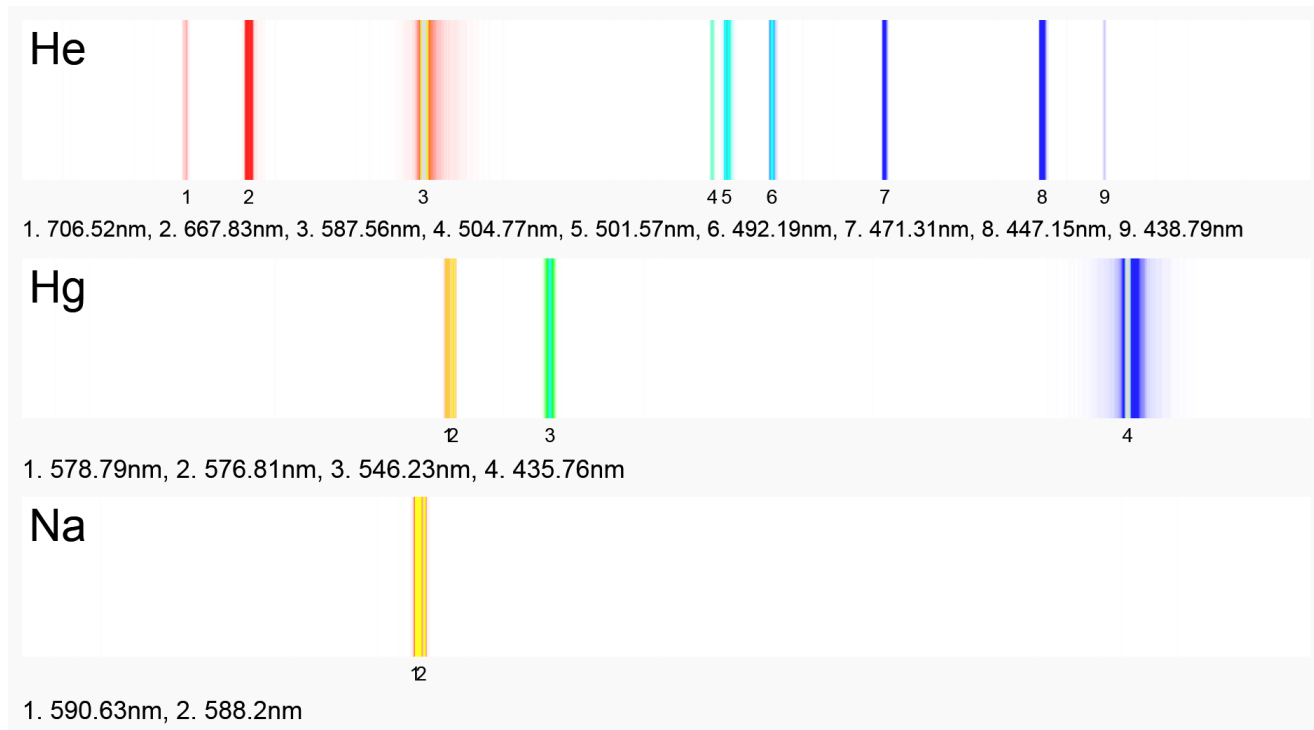


图 3. 处理结果

得到结果为

汞谱：黄（暗）：578.79nm，576.81nm；绿：546.23nm；紫：435.76nm。

钠谱：黄：590.63nm，588.2nm。

（参考谱线：氦谱：红（暗）：706.52nm，红：667.83nm，黄 587.56nm，绿（暗）：504.77nm，绿：501.57nm，蓝绿：492.19nm，蓝：471.31nm，紫：447.15nm，紫（暗）：438.79nm）

第三部分 误差分析

查阅资料，标准值为：

汞谱：黄（暗）：579.07nm，576.96nm，绿：546.07nm，天蓝（暗）：491.60nm，紫：435.84nm。

钠谱：黄：589.00nm，589.59nm。

可以发现实验数据与标准值误差很小。汞谱中天蓝色暗线没有拍出，结合实验讲义及 ppt 中的参考图片（也没有天蓝色谱线），猜测可能是因为汞谱中紫色谱线过强，导致很难同时保证紫色谱线粗细合适与识别天蓝色暗线。

第四部分 思考题

1. 实验中影响光谱清晰度的调节机构有哪些？

实验中影响光谱清晰度的调节机构有聚光透镜 L 到狭缝的距离，聚光透镜 L 的高度，光源到聚光透镜的距离，光源高度，狭缝大小，会聚透镜 L_2 的角度，CCD 到出光口之间的距离等。

2. 实验中，CCD 靶面的横向宽度小于光谱成像面的横向宽度，实验中是如何完成的？

光谱线使用三张图片分段拍摄，处理时将三幅图片拼接在一起成为一个整体。在拍摄不同光源的相同位置时保持 CCD 位置不变。

3. 本实验中，能否将光谱成像面的横向宽度做到小于或等于 CCD 的靶面横向宽度？如果能，怎么做？实际实验中未做，可能的原因是什么？

光学元件有一定的最小焦距和成像能力限制。因此，要使光谱成像面的横向宽度小于或等于 CCD 的靶面横向宽度，需要采用以下方法：

1. 使用具有更大底片的 CCD。实现更广的成像范围，从而使 CCD 的靶面横向宽度更大。
2. 增加光学系统的放大倍数。通过增加光学系统的放大倍数，从而使光谱成像面的横向宽度更小。

实际实验中未能将光谱成像面的横向宽度做到小于或等于 CCD 靶面横向宽度可能有以下原因：

1. 实验所采用的光学元件的设计和性能限制，无法实现将光谱成像面的横向宽度缩小到目标值以下。
2. 不将光谱成像面的横向宽度做到小于或等于 CCD 靶面横向宽度，对实验结果及误差的影响在可以接受的范围之内。
3. 成本问题，无法使用更大底片的 CCD。

4. 三棱镜可以作为分光元件的原因是什么？

利用三棱镜对不同波长的光有不同折射率的性质来进行分光。折射率 n 与光的波长 λ 有关。当一束白光或其它非单色光入射到棱镜时，由于折射率不同，不同波长的光具有不同的偏向角，从而出射光线方向不同。通常棱镜的折射率 n 是随波长 λ 负相关，所以可见光中紫光偏折最大，红光偏折最小。因此可以作为分光元件。

致谢

感谢中国科学技术大学物理实验教学中心和田佳冉老师