

预习报告		实验记录		分析讨论		总成绩	
25		25		30		80	

年级、专业:	2022 级物理学	组号:	实验组 1
姓名:	黄罗琳	学号:	22344001
实验时间:	2024/4/18	教师签名:	

## CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验

### 【实验报告注意事项】

1. 实验报告由三部分组成:

- (1) 预习报告: 课前认真研读实验讲义, 实验所需的仪器设备、用具及其使用、完成课前预习思考题; 了解实验需要测量的物理量, 并根据要求提前准备实验记录表格 (可以参考实验报告模板, 可以打印)。**(25 分)**
- (2) 实验记录: 认真、客观记录实验条件、实验过程中的现象以及数据。实验记录请用珠笔或者钢笔书写并签名 (用铅笔记录的被认为无效)。保持原始记录, 包括写错删除部分, 如因误记需要修改记录, 必须按规范修改。(不得输入电脑打印, 但可扫描手记后打印扫描件); 离开前请实验教师检查记录并签名。**(30 分)**
- (3) 数据处理及分析讨论: 处理实验原始数据 (学习仪器使用类型的实验除外), 对数据的可靠性和合理性进行分析; 按规范呈现数据和结果 (图、表), 包括数据、图表按顺序编号及其引用; 分析物理现象 (含回答实验思考题, 写出问题思考过程, 必要时按规范引用数据); 最后得出结论。**(25 分)**

实验报告就是将预习报告、实验记录、和数据处理与分析合起来, 加上本页封面。

2. 每次完成实验后的一周内交实验报告 (特殊情况不能超过两周)。

3. 注意事项:

- (1) 实验中**光纤不能过度弯折**;
- (2) 信号强度不能过饱和值;
- (3) 光源长时间通电后会**发热**, 小心烫手, 切换光源时务必注意 (可等断电冷却后再碰);
- (4) **请提前了解光纤光谱仪的基本工作原理与关键参数等。**

# 目录

<b>1 CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 预习报告</b>	<b>3</b>
1.1 实验目的 . . . . .	3
1.2 仪器用具 . . . . .	3
1.3 原理概述 . . . . .	3
1.4 实验前思考题 . . . . .	6
<b>2 CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 实验记录</b>	<b>7</b>
2.1 实验内容、步骤与结果 . . . . .	7
2.1.1 原子发射光谱的观测 . . . . .	7
2.1.2 原子吸收光谱的观测 . . . . .	8
2.2 实验过程遇到问题及解决办法 . . . . .	11
<b>3 CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 分析与讨论</b>	<b>13</b>
3.1 实验数据分析 . . . . .	13
3.1.1 实验一 原子发射光谱的观测 . . . . .	13
3.1.2 实验二原子吸收光谱的观测 . . . . .	15
3.2 实验后思考题 . . . . .	19
<b>4 CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 结语</b>	<b>20</b>
4.1 实验所用代码 . . . . .	20
4.2 实验心得和体会、意见建议等 . . . . .	20
4.3 附件 . . . . .	20

# CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 预习报告

## 1.1 实验目的

1. 原子发射光谱的观测:
  - (a) 学习光纤光谱仪的使用;
  - (b) 观测钠原子光谱, 了解碱金属原子光谱的一般规律;
  - (c) 观测汞原子光谱, 了解中外层电子与原子核相互作用;
  - (d) 观测多种光源的发射光谱, 了解线光谱与连续谱的异同。
2. 原子吸收光谱的观测:
  - (a) 调配不同浓度的高锰酸钾水溶液;
  - (b) 测量高锰酸钾水溶液的紫外-可见吸收光谱, 找出吸收峰;
  - (c) 测量不同浓度高锰酸钾水溶液的紫外-可见吸收光谱, 验证比尔定律;
  - (d) 测量不同片数玻璃基板的透过光谱, 验证朗伯定律。

## 1.2 仪器用具

编号	仪器用具名称	数量	主要参数 (型号, 测量范围, 测量精度等)
1	多种光源	若干	低压汞灯、低压钠灯、氢氘灯、溴钨灯、多种颜色的发光二极管
2	滤光片	2	白片、红片
3	测控计算机	1	
4	光谱观测和分析仪器	1	光纤光谱仪
5	高锰酸钾水溶液	—	
6	玻璃基板	1	
7	比色皿	1	

## 1.3 原理概述

1. 原子发射光谱的观测:
  - (a) 碱金属原子光谱:
 

碱金属和氢原子一样, 核外只有一个价电子, 但在碱金属原子中除了一个价电子外, 还有封闭在

内的壳层电子，这些内封闭的电子和原子核统称为原子实。当价电子贯穿原子实时，会产生异于氢原子光谱的一系列特点。碱金属原子光谱线公式为：

$$\tilde{v} = R \left( \frac{1}{n_2^{*2}} - \frac{1}{n_1^{*2}} \right) = \frac{R}{(n' - \mu' l')^2} - \frac{R}{(n - \mu_l)^2}$$

其中， $\tilde{v}$  为光谱线的波数；

$R$  为里德堡常数；

$n'$  与  $n$  分别为始态和终态的主量子数；

$n_2^*$  与  $n_1^*$  分别为始态和终态的有效量子数；

$l$  与  $l'$  分别为该量子数决定之能级的轨道量子数；

$\mu' l'$  与  $\mu_l$  分别为始态和终态的量子缺（也称量子改正数，量子亏损）。

以钠原子为例来说，它的光谱分四个线系：主线系、锐线系、漫线系、基线系。对于某一线系谱线的波数公式可写为：

$$\tilde{\nu} = A_{n'l'} - \frac{R}{(n - \mu_l)^2}$$

从钠原子光谱中，可以看出各个线系的一些明显特征，这些特征也为其它碱金属原子光谱所具有。各线系的共同特点是：

- i. 随着波长减小，同一线系内相邻谱线的波数差逐渐减小，最终趋于一个极限，这是由于能级间距随能级升高而变小的结果。
- ii. 同一线系内随着波长减小，谱线的强度逐渐减小，这是因为激发原子到高能级的能量随之增加，导致激发的难度增大。

各线系的区别：

i. 光谱区域分布：

- 主线系的谱线大部分位于紫外区域，只有钠的双黄线 ( $\tilde{v} = 3p \rightarrow 3s$ ) 在可见光区域，波长分别为 589.0nm 和 589.6nm。由于主线系的下能级是基态 ( $3s_{1/2}$  能级)，因此当具有连续谱的光谱通过钠原子蒸汽经过分光后，在连续光谱的背景上将出现钠原子主线系的吸收光谱，称为共振线。锐线系和漫线系的谱线大部分位于可见光区域，

ii. 能级简并性：

- 在碱金属原子中， $s$  能级是无简并的，而  $p$ 、 $d$ 、 $f$  能级由于电子自旋与轨道运动作用引起谱项分裂，因此是双重简并的。这种双重分裂随能级增高而逐渐减小。根据选择定则，主线系和锐线系的谱线是双线的，其波数差随着能级的增加而变小。而漫线系和基线系的谱线则呈现复双重线的形态。

iii. 谱线外观：

- 从谱线的外观来看，主线系的谱线强度较大，锐线系的谱线轮廓清晰，而漫线系的谱线则显得比较弥漫，一般复双重线连成一片。

2. 原子吸收光谱的观测：

(a) 光的吸收：

在吸收过程中，物质的原子或分子吸收了入射的辐射能，从基态跃迁至高能级的激发态，吸收的能量与电磁辐射的频率成正比，符合普朗克公式：

$$E = h\nu$$

光的吸收是指光波穿过介质后光强减弱的现象。除了真空中，几乎所有介质对电磁波都不完全透明，都会发生吸收。根据吸收特性，吸收可分为一般吸收和选择吸收。一般吸收是指在一定波长范围内，物质对光的吸收不随波长变化；选择吸收则是指吸收随波长变化的现象。物质分子的能级结构决定了其吸收电磁辐射的能力，能级间的能量差越大，吸收越小，形成了一般吸收和选择吸收的特性。吸收分光光度法利用物质分子对电磁辐射的选择吸收特性，用于测量物质的吸收光谱，从而进行分析和研究。

### (b) 朗伯定律：

朗伯定律 (Lambert's law) 是描述光线透过吸收性均匀介质时光强衰减规律的基本定律。朗伯定律的数学表示式为：

$$I = I_0 e^{-kl}$$

吸收系数  $k$  是波长的函数，在一般吸收的波段内， $k$  值很小，并且近乎于一常数；在选择吸收波段内， $k$  值甚大，并且随波长的不同而有显著的变化。

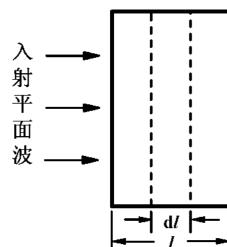


图 1：均匀媒质对光的吸收

### (c) 比尔定律：

比尔定律 (Beer's law)，也称为比尔-朗伯定律 (Beer-Lambert law)，是描述光线透过吸收性均匀介质时光强衰减规律的定律，是朗伯定律的一个特例。比尔定律的数学形式为：

$$A = \alpha cl$$

$A$  表示吸光度， $\alpha$  是摩尔吸光系数， $c$  为浓度， $l$  是光通过溶液的路径长度。在比尔定律成立时，就可用测量吸收的方法来测定物质的浓度。这就是快速测定物质浓度的吸收光谱分析法。

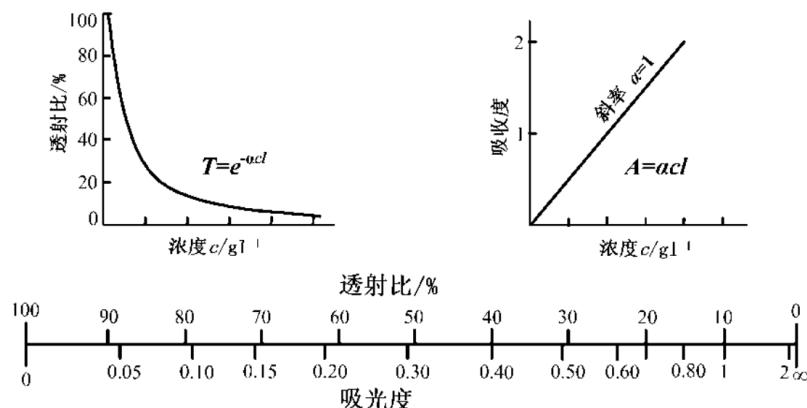


图 2: 比尔定律示意图和吸收度、投射比标度的比较

#### 1.4 实验前思考题

**思考题 1.1:** 日常生活中, 光源可以分为热光源和冷光源, 请分别说明太阳光、蜡烛、白炽灯、荧光灯、LED 灯等属于哪一类光源, 为什么?

在日常生活中, 光源通常可以分为热光源和冷光源两类, 具体如下:

1. **热光源:** 热光源是指其发光是由高温物质的热辐射产生的光线。这种光源通常是通过加热固体、液体或气体至非常高的温度来产生的。热光源的光谱通常是连续的, 包含了各种波长的光线。太阳是典型的热光源, 因为它的光是由太阳表面高温引起的热辐射所产生的。
2. **冷光源:** 冷光源是指其发光不是由高温物质的热辐射产生的, 而是通过其他方式产生的光线, 例如电击激发或化学反应等。冷光源的光谱通常是不连续的, 具有明显的发射线。常见的冷光源包括荧光灯和 LED 灯等。

综上所述, 太阳光、蜡烛和白炽灯属于热光源, 而荧光灯和 LED 灯属于冷光源。

专业:	物理学	年级:	2022 级
姓名:	黄罗琳	学号:	22344001
室温:	26°C	实验地点:	A501
学生签名:	黄罗琳	评分:	
实验时间:	2024/4/18	教师签名:	

## CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 实验记录

### 2.1 实验内容、步骤与结果

#### 2.1.1 原子发射光谱的观测

##### 1. 拍摄钠灯光谱

- (a) 选择合适的积分次数和积分时间。实际实验中选择了“积分时间 150ms，积分次数 50 次”
- (b) 将光纤一端连接光谱仪，一端关闭，测量暗噪声。
- (c) 将光纤另一端装上支架，将支架对准未开启 NA 灯的环境，测量环境噪声。
- (d) 选用 S-d 模式，将暗噪声与环境噪声都扣除后，将支架对准钠灯，测量钠灯光谱。

软件给出如下实验图像，放大后经过寻峰后得出钠双黄线

测得波长值分别为  $\lambda_1 = 588.72\text{nm}$  和  $\lambda_2 = 589.34\text{nm}$

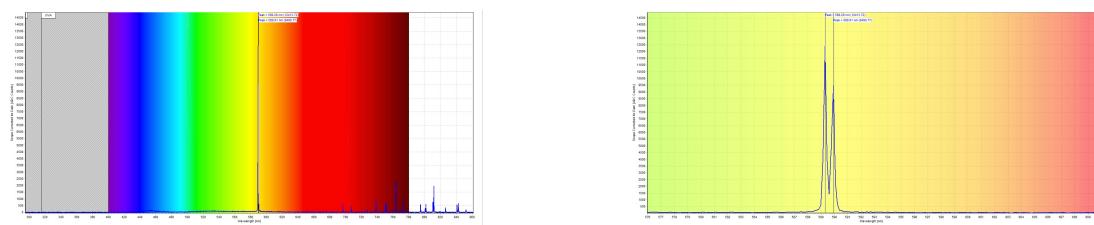


图 3: 钠的光谱图像

##### 2. 拍摄汞灯光谱重复实验步骤，测量汞灯光谱。

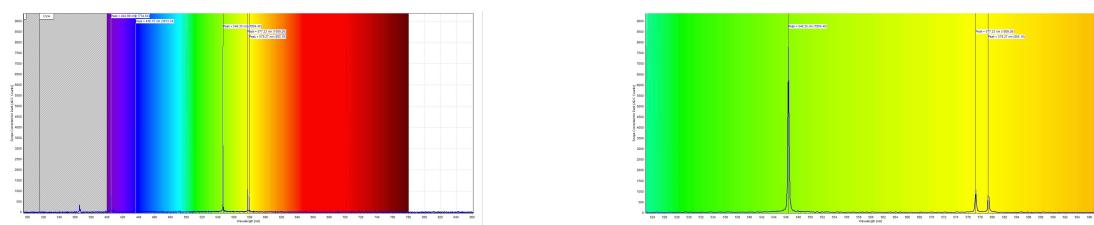


图 4: 汞灯的图像 2

根据实验图像，可得 545.90nm, 435.59nm, 404.41nm, 578.85nm 和 576.65nm 的谱线，最高峰是 545.90nm

3. 拍摄手机屏幕光谱测量暗噪声和环境噪声后，将暗噪声与环境噪声都扣除，将支架对准手机屏幕，测量手机屏幕光谱。其中手机显示画面。不同颜色的纯色画面。

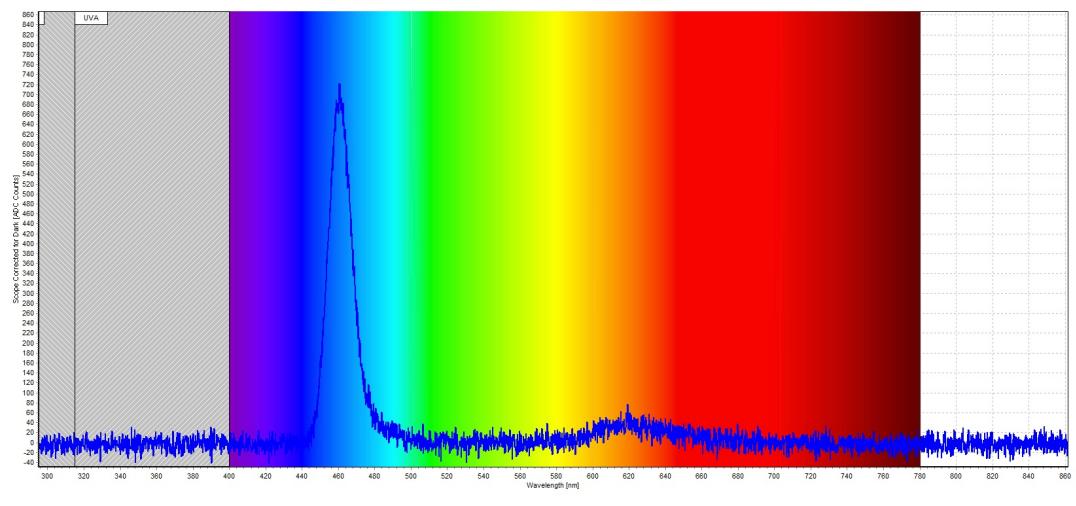


图 5: 蓝色手机屏幕光谱

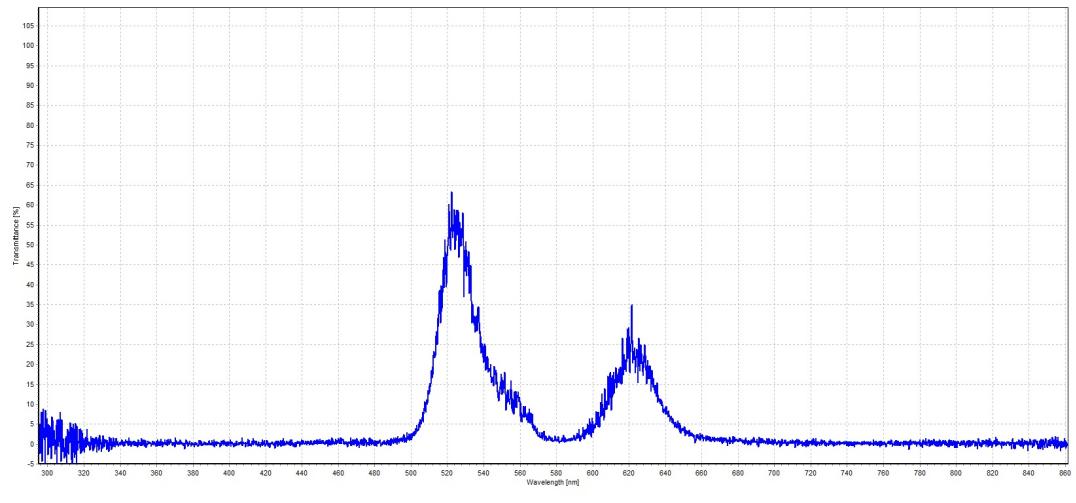


图 6: 黄色手机屏幕光谱

### 2.1.2 原子吸收光谱的观测

#### 1. 验证比尔定律

- (a) 实验中所用溶液为清水和  $KMnO_4$  溶液，浓度为  $0.1g/L$ ,  $0.08g/L$ ,  $0.06g/L$ ,  $0.04g/L$ ,  $0.02g/L$ ,  $0.01g/L$ .
- (b) 按照实验一的做法，设置积分时间为 50ms 和积分次数 20 次，消除暗噪声和环境噪声。

- (c) 选择吸光度模式, 测量各种浓度  $KMnO_4$  溶液和清水的吸收曲线。  
(d) 测量完所有浓度溶液的吸收曲线后, 将所有数据放置在同一张图上进行对比。

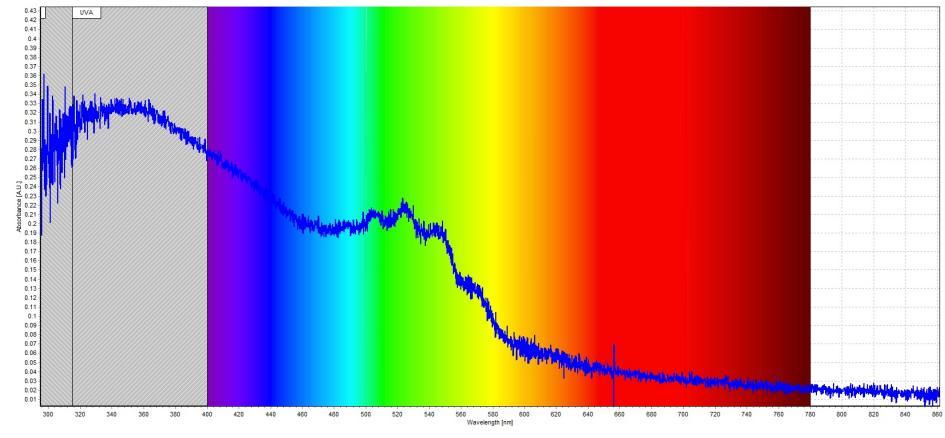


图 7: 浓度为  $0.01\text{g/L}$

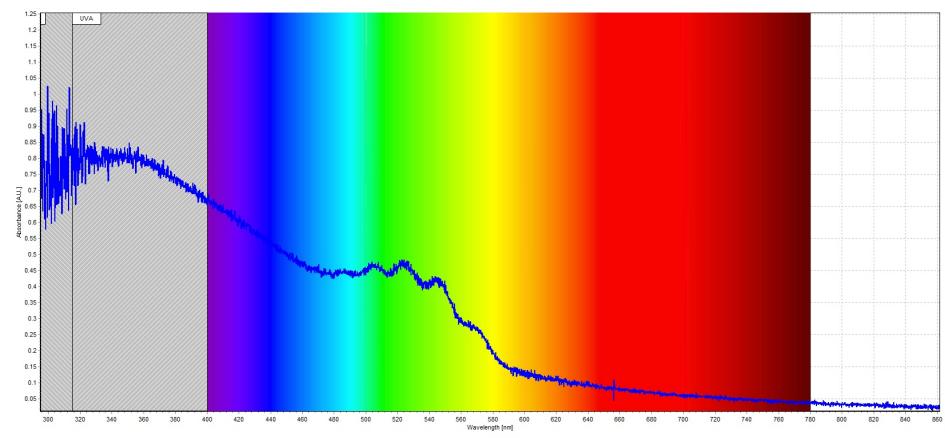


图 8: 浓度为  $0.02\text{g/L}$

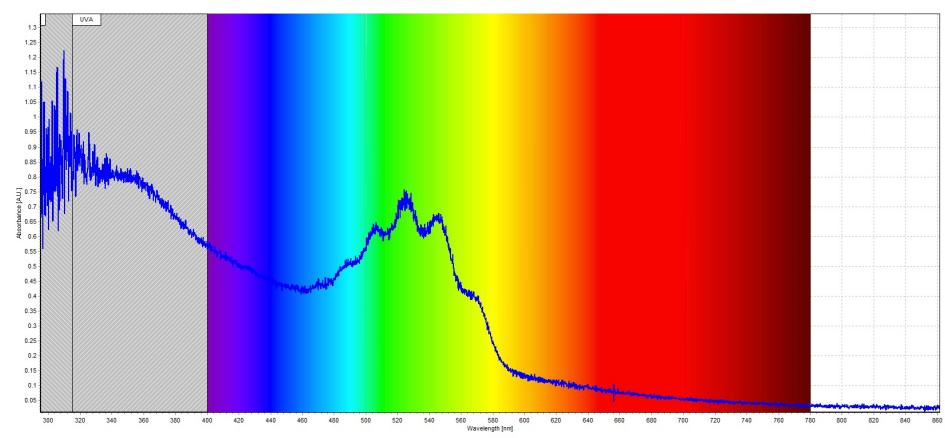
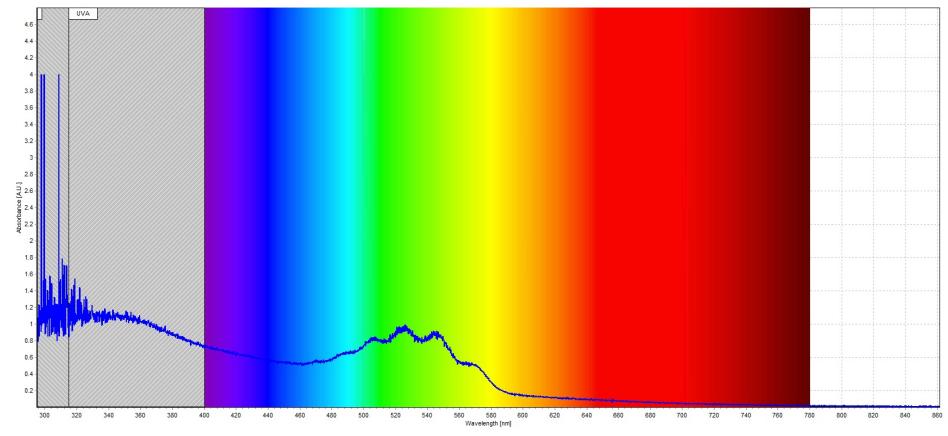
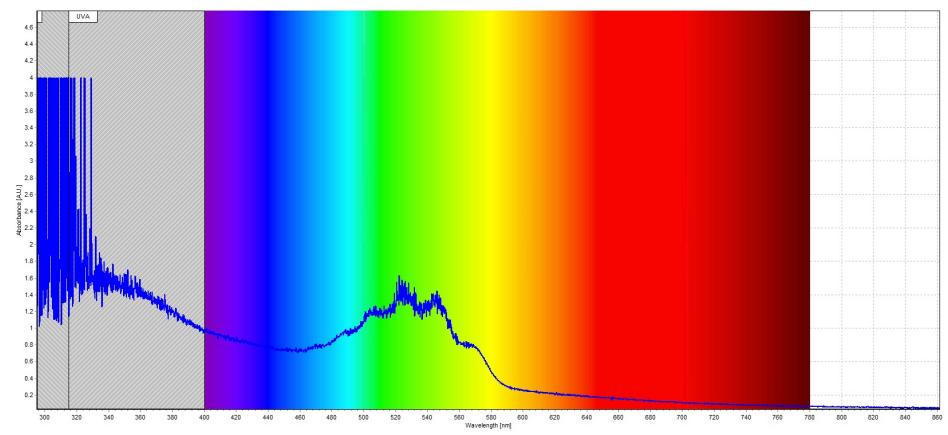
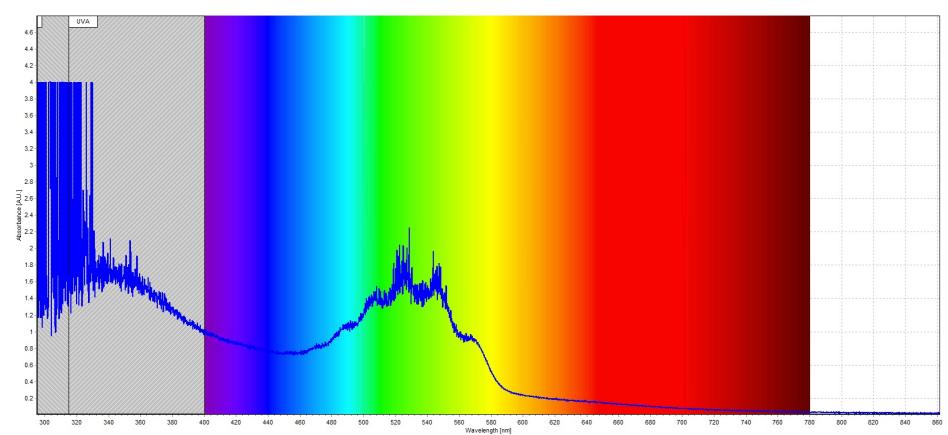


图 9: 浓度为  $0.04\text{g/L}$

图 10: 浓度为  $0.06\text{g}/\text{L}$ 图 11: 浓度为  $0.08\text{g}/\text{L}$ 图 12: 浓度为  $0.10\text{g}/\text{L}$

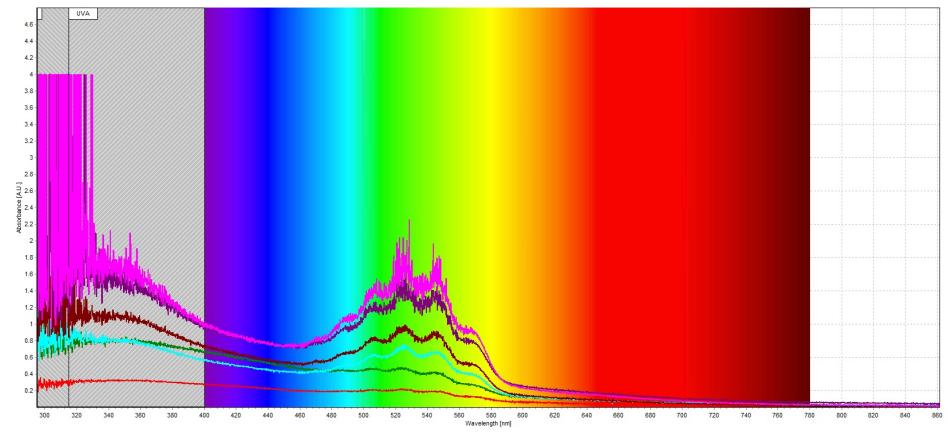


图 13: 同一张图上显示

## 2. 验证朗伯定律

- 按照实验一的做法，设置的积分时间 50ms 和积分次数 20，消除暗噪声和环境噪声。
- 选择透射率模式，测量放置不同数量玻璃片的透射曲线。
- 测量完所有数量玻璃片的透射曲线后，将所有数据放置在同一张图上进行对比。

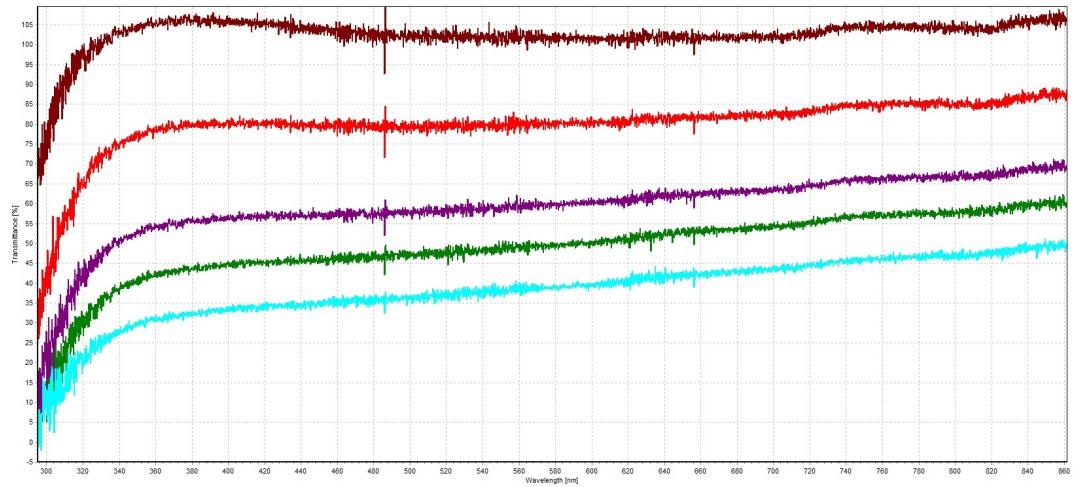


图 14: 不同数量玻璃片的透射率曲线

### 2.2 实验过程遇到问题及解决办法

- 实验中出现的实验图像存在较大的噪声，例如在不同浓度  $KMnO_4$  溶液的实验中参考光谱的曲线可以明显看到噪声的存在，并且这也体现在后续的实验图像中，例如图 13 的左侧和图 14 的并不平滑的曲线。

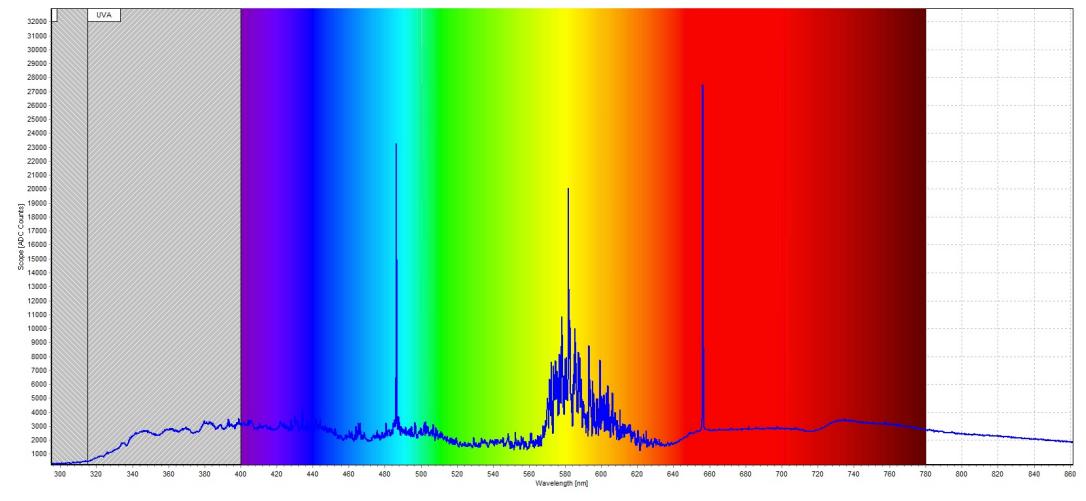


图 15: 参考光谱曲线

2. 实验中要时刻要注意测量值不能饱和，否则各个曲线之间基本毫无差异。
3. 注意在  $KMnO_4$  溶液的实验中，要注意实验仪器的标签不能阻挡实验光路，否则实验结果会出现严重偏差。

专业:	物理学	年级:	2022 级
姓名:	黄罗琳	学号:	22344001
日期:	2024/4/18	评分:	

## CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 分析与讨论

### 3.1 实验数据分析

#### 3.1.1 实验一 原子发射光谱的观测

##### 1. 拍摄钠灯光谱

钠原子光谱的主线系只有  $\tilde{v} = 3p \rightarrow 3s$  的二条谱线（钠双黄线）是在可见区，其余在紫外区。则根据公式：

$$\tilde{v} = R\left(\frac{1}{n_2^{*2}} - \frac{1}{n_1^{*2}}\right) = \frac{R}{(n' - \mu'_{l'})^2} - \frac{R}{(n - \mu_l)^2}$$

初态为  $3p$  能级， $n = 3, l = 1, \mu_l = 0.883$ ；末态为  $3s$  能级， $n' = 3, l' = 0, \mu'_{l'} = 1.373$

则代入公式，计算得到

$$\frac{1}{\lambda} \approx \frac{1}{589.3\text{nm}}$$

至于双黄线的具体波长数值，一般是通过实验进行测量，其非常稳定，一般作为仪器的校准和实验模型的校对。

表 1: 实验值与理论值的相对误差

对比组	实验值 (nm)	理论值 (nm)	相对误差 (%)
1	589.28	589.0	0.475
2	589.91	589.6	0.052

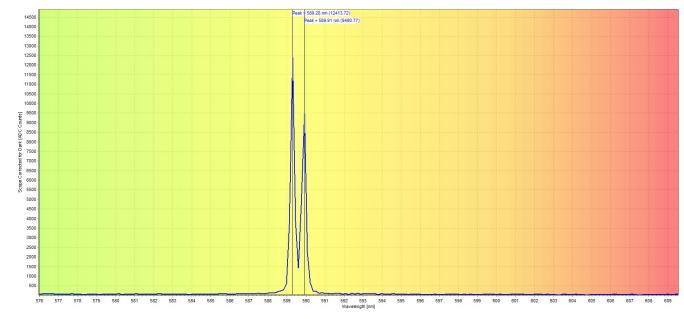


图 16: 钠双黄线

观察图 16 可以发现钠双黄线存在约  $0.3\text{nm}$  的线宽，对于此有两种猜想：

- (a) 多普勒致宽 多普勒致宽是由于发射光的原子在热运动中产生的。由于某些原子向观测者移动，而另一些原子远离观测者，这会导致频率的蓝移和红移。其结果是光谱线的增宽。多普勒效应与绝对温度的平方根成正比，因此，温度越高，速度分布越广，致宽越显著。
- (b) 压力致宽 压力致宽主要与原子或分子的相互作用有关。在高压环境中，原子之间的碰撞或相互作用会干扰发光过程，造成谱线的增宽。压力致宽与原子的数密度有关，数密度越高，碰撞几率越大，导致谱线致宽。因此，它与压强成正比。

这些可能导致了存在一定的实验误差和 0.3nm 的线宽。

## 2. 拍摄汞灯光谱

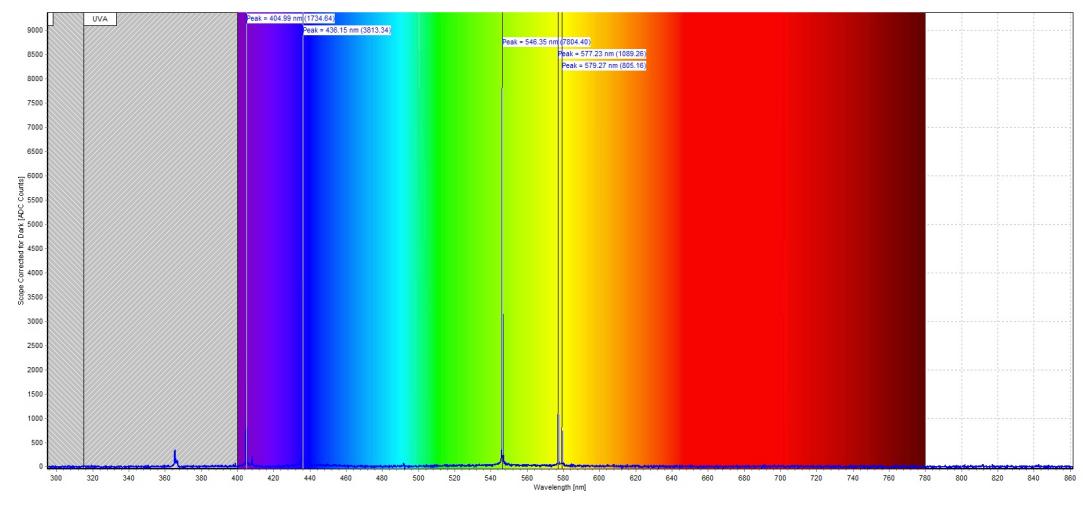


图 17: 梅灯谱线

谱线颜色	实验值/nm	标准值/nm	相对误差
黄色	579.27	579.1	0.029%
黄色	577.23	577.0	0.040%
绿色	546.35	546.1	0.046%
蓝色	436.15	435.8	0.080%
紫色	404.99	404.7	0.072%

表 2: 理论值与实验值对比

实验相对误差均较小，符合实验较为成功。

## 3. 拍摄手机屏幕光谱

手机屏幕通常使用发光二极管（LED）技术来显示图像。不同的 LED 基于其所使用的半导体材料会发出特定颜色的光。在手机屏幕中，红色的光通常是由含铝的镓砷化合物（如铝镓砷，AlGaAs）或镓磷化合物（如镓磷化铝，AlInGaP）生成的；绿色的光通常来自铟镓磷（InGaN）；而蓝色的光由氮化

镓 (GaN) 生成。这些不同的 LED 材料和结构决定了它们在光谱中的表现，分别对应红、绿、蓝三种颜色。

LED 的发光原理基于电子的能级跃迁。当电流流过半导体材料时，电子会被激发到更高的能级，随后再返回到较低的能级。在这一过程中，电子会释放出一定能量的光子，产生光。不同的半导体材料拥有不同的能级结构，这意味着它们产生的光子的能量和频率各不相同。正因为如此，在手机屏幕中，红色、绿色和蓝色 LED 所发出的光会形成一个可见光谱的连续范围，从而展现出丰富的色彩。

所以黄色的手机屏幕有红色和绿色的 LED 进行发出，得出如图所示的光谱。

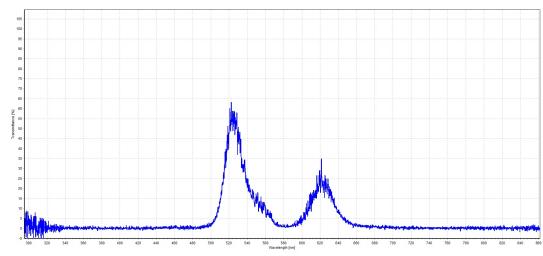


图 18: 黄色手机屏幕光谱

### 3.1.2 实验二原子吸收光谱的观测

#### 1. 验证比尔定律

由于实验数据的原图噪声较大，所以通过 Python 代码滤波之后并进行寻峰操作，代码见实验报告附录。

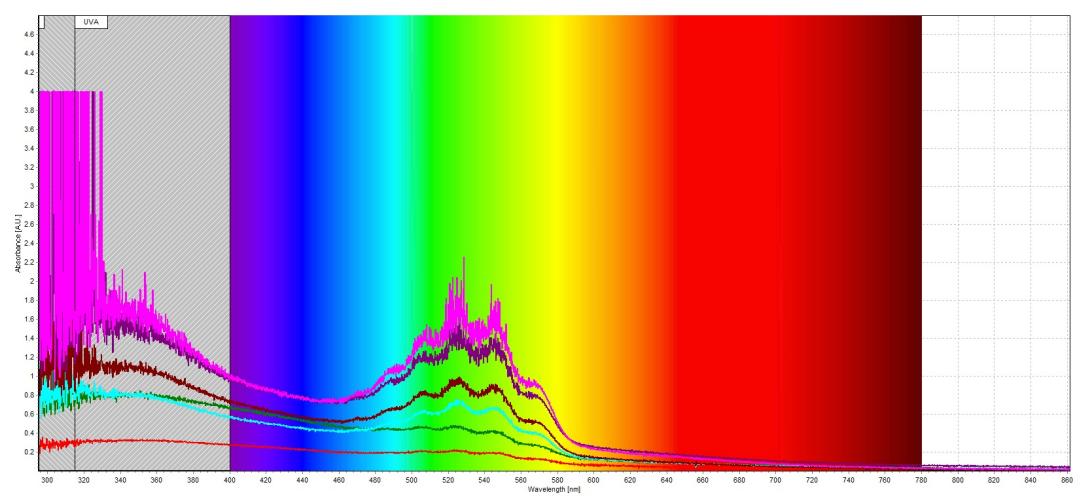


图 19: 未滤波前实验数据图像

浓度/(g/L)	吸收峰 1	吸收峰 2	吸收峰 3
0.1	1.43	1.73	1.66
0.08	1.22	1.45	1.36
0.06	0.83	0.96	0.89
0.04	0.63	0.73	0.66
0.02	0.47	0.47	0.42
0.01	0.21	0.22	0.21

表 3: 同一吸收峰对应的不同浓度溶液的吸收率

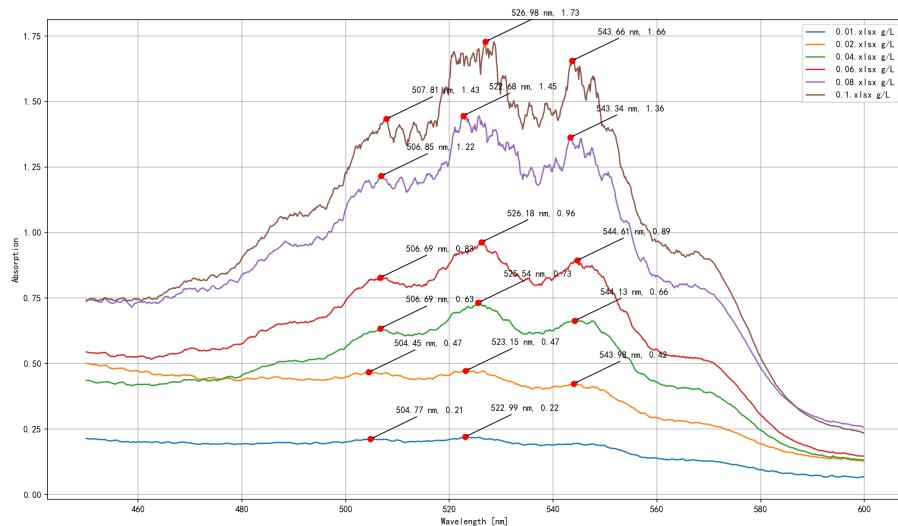
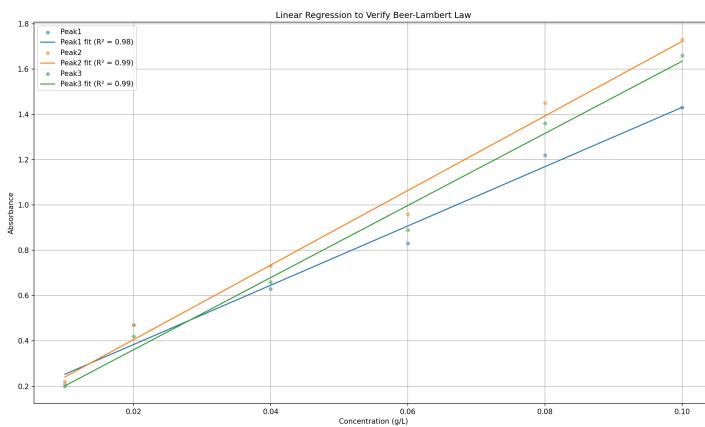
图 20: 不同浓度的  $KMnO_4$  溶液对吸收率的影响 (三个吸收峰)

图 21: 线性拟合图像

则以浓度为横轴，吸收率为纵轴，绘制线性拟合图，最终绘制结果如图 21 所示。比尔定律的数学形式为：

$$A = \alpha cl$$

$A$  表示吸光度， $\alpha$  是摩尔吸光系数， $c$  为浓度， $l$  是光通过溶液的路径长度，其中前两个为固定系数，所以为线性关系。即只需要验证  $A$  与  $c$  的线性关系，即可验证比尔定律。

由图 21 可知，三条相关系数均在 0.98 以上，所以实验数据存在线性关系，即比尔定律成立。

## 2. 验证朗伯定律

由于实验数据噪声较大，进行不同程度的滤波（参数越小滤波效果越大）

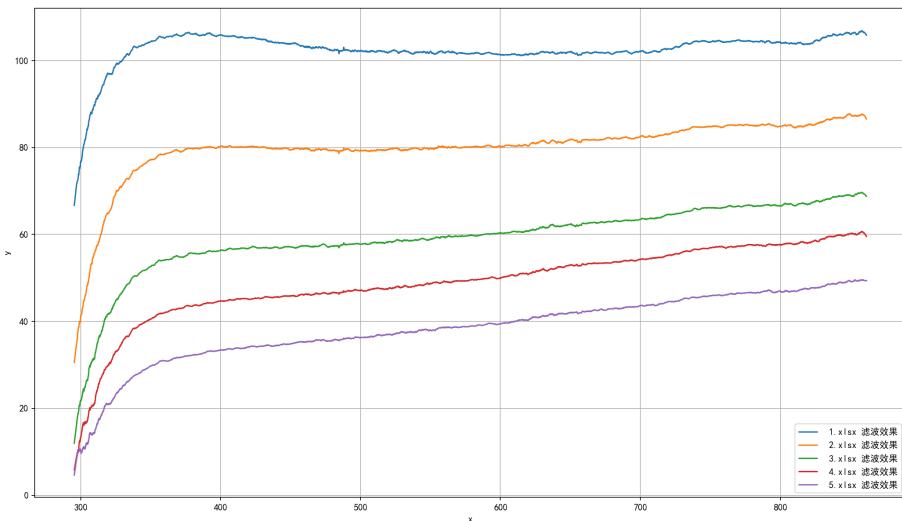


图 22: 滤波效果 (参数为 1)

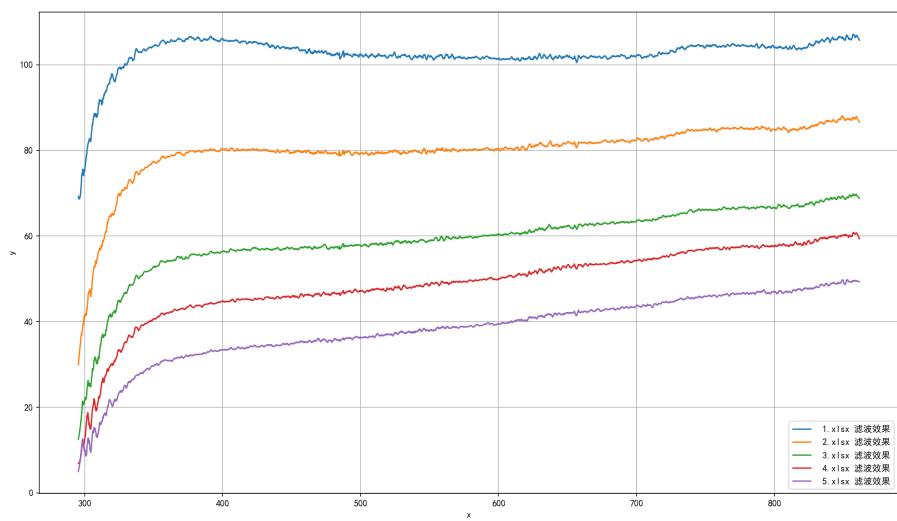


图 23: 滤波效果 (参数为 2)

提取实验数据中 500nm, 550nm, 600nm, 650nm, 700nm 波长分析, 玻璃片数量做横轴, 透射率的自然对数做纵轴, 绘制线性拟合图像。

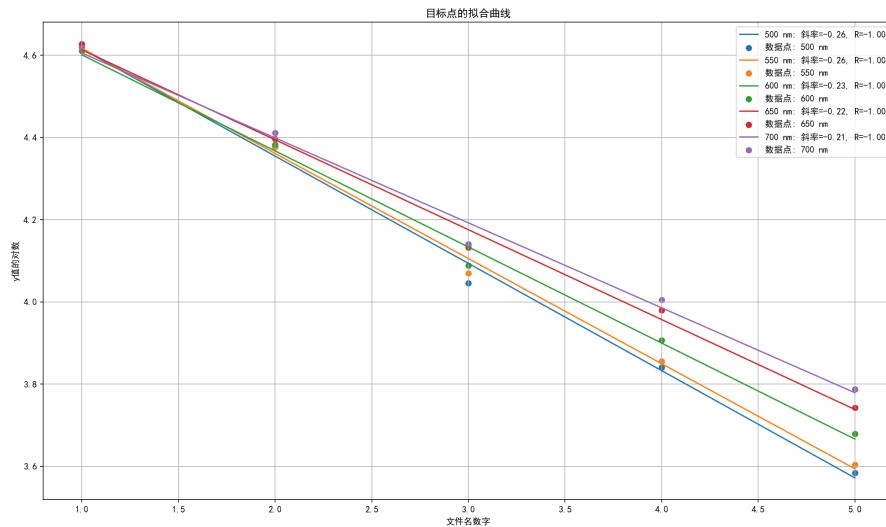


图 24: 线性拟合图像

朗伯定律的数学公式为:

$$I = I_0 \cdot e^{-kl}$$

其中,  $I_0$  是入射光的强度,  $I$  是透射光的强度,  $k$  是吸收系数,  $l$  是材料的厚度。

对公式进行对数变换, 可以得到:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -kl$$

这个公式说明了透射率的自然对数与材料厚度之间的关系。如果这两个变量之间存在线性关系, 朗伯定律则成立。

为了验证这一点, 可以测量不同厚度材料的透射率  $T = \frac{I}{I_0}$ , 然后计算透射率的自然对数:

$$\ln T = \ln \frac{I}{I_0}$$

将这个值与材料厚度  $l$  进行线性回归。

根据变形后的公式, 这种线性关系的斜率是吸收系数  $k$  的相反数。而根据图 24 所绘制的图像  $R=-1$ , 说明存在很强的负相关关系, 即透射率的自然对数与材料厚度之间有强烈的线性关系, 从而验证了朗伯定律。

### 3.2 实验后思考题

**思考题 3.1:** 钠灯光谱有哪些特征？能否从光谱图上判别各谱线所属线系？举例说明。想 ·

钠灯的光谱具有以下特征：

1. **双线结构：**钠灯的光谱由两条主要的谱线组成，被称为钠 D 线，分别位于 589.0 nm 和 589.6 nm。这两条谱线在光谱图上通常很容易辨认。
2. **窄线宽：**钠灯的谱线非常窄，说明其光源具有较高的单色性。窄线宽通常意味着谱线较为纯净。
3. **强度不均：**钠 D 线中的两条谱线强度通常不相等，589.0 nm 的 D2 线通常比 589.6 nm 的 D1 线稍强。这种强度不均可以从光谱图上观察到。

钠原子的光谱包含四个主要线系：主线系、锐线系、漫线系和基线系。通过观察谱线的形状和宽度，可以判别各谱线所属的线系。

- **主线系：**包含最强的谱线，如钠 D 线。谱线通常呈现尖锐且窄的峰值。
- **锐线系：**强度略低，但形状与主线系相似。一般呈现窄而尖锐的峰值，表明谱线纯净。
- **漫线系：**这些谱线通常较宽且较平滑，说明光谱可能受多种因素影响。
- **基线系：**最弱的谱线，呈现为淡淡的峰值，可能需要高灵敏度的光谱仪才能检测到。

要从光谱图上判断各个线系，可以观察谱线的形状和宽度。如果谱线尖锐且窄，可能属于锐线系；而宽而平滑的谱线则可能属于漫线系。

**思考题 3.2:** 在发射光谱和吸收光谱测量中，光路有何异同？

**相同点：**

都是由光源发射光经过光纤进入光栅光谱仪，然后软件根据得到的数据结合相关去除噪声的算法进行数据绘图。

**不同点：**

在发射光谱的测量实验中，光源发出的光无其他元件的情况下，经过光纤导入进光谱仪；  
在吸收光谱的实验中，光源发出的光首先会经过样品，然后再通过光纤导入进光谱仪。

**思考题 3.3:** 根据高锰酸钾溶液的吸收光谱，应如何选择理想光源，为什么？

根据实验所得的高锰酸钾溶液吸收光谱，在选择理想光源时需要考虑这些因素：

1. **波长范围：**高锰酸钾溶液在水溶液中呈现紫色，其主要吸收光谱位于 500 nm 至 600 nm 范围内，吸收峰在 525 nm 附近，因此需要选择光源覆盖这一范围。
2. **光源素质：**具有稳定且均匀的光强，以确保光在经过高锰酸钾溶液后仍然强度足够高，以提高信噪比，并且光源的相关参数要稳定可调，保证实验的基本条件不变。

故综合以上因素，常用光源为氘灯和钨灯，此两种均能够覆盖高锰酸钾溶液的吸收光谱的范围，并且具有较好的稳定性。此外可以选用特定波长 LED 光源，可以精确测量某个波长的实验数据。

CA3 原子的发射和吸收光谱观测分析实验 结语

## 4.1 实验所用代码

图 25: 线性拟合 1(图 21)

图 26: 线性拟合 2 (图 24)

图 27: 滤波寻峰代码 (图 20)

## 4.2 实验心得和体会、意见建议等

1. 实验总体难度不难，但是实验可能会存在仪器问题，导致噪声较大，本次实验中便遇到了相关问题，通过后续 Python 代码的编辑滤波寻峰等操作，完成了实验数据的净化。
  2. 实验中出现了由于实验仪器本身的颜色引入了噪声，可以通过改变实验的初始设置条件来进行系统误差的去除。
  3. 本实验报告采用 LATEX 编辑，实验所有要求内容均包含于本实验报告中

感谢您对于此篇实验报告的阅读与批改，祝您工作顺利！

### 4.3 附件

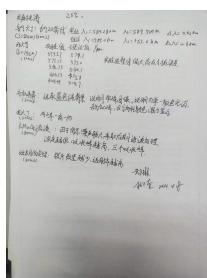


图 28: 实验记录



图 29: 桌面整理

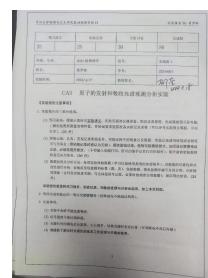


图 30: 预习报告签字