

光纤光谱仪的应用

陈依皓

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘要: 本次实验的目的是: 了解光谱分析的基本原理; 掌握光纤光谱仪的基本使用方法; 了解光谱分析在物理研究中的应用。

关键词: 光谱分析, 光纤光谱仪

中图分类号: Oxx

文献标识码: A

文章编号: 1000-0000(0000)00-0000-00

1 引言

光谱是电磁辐射的强度按照波长有序排列的图谱。通过对光谱的研究, 人们可以了解原子、分子的能级与几何构型、固体的能带及其中杂质的能级等多方面的微观性质。

2 实验原理

2.1 光纤光谱仪的结构和工作原理

本实验所用光纤光谱仪, 结构如下图所示

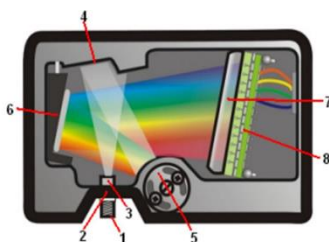


图1 USB2000+光纤光谱仪内部结构

1. SMA 光纤接口 2.狭缝 3.滤光片 4.准直镜 5.光栅 6.聚焦镜 7.探测器聚光透镜 8.线阵 CCD

被测光通过光纤传输到光谱仪的入射接口, 通过固定狭缝照射到准直镜上。光经准直器之后形成平行光照射到反射。

经过光栅衍射, 出射光按波长不同分散到不同的角度。色散分开的光经过聚焦镜反射, 被探测器聚光透镜汇聚, 最终被线阵 CCD 接收, 转变为电信号输送到计算机显示, 完成光谱的测量。

光栅光谱仪的输出信号本质上是由在一定

取样时间内各个感光单元积累的电荷量组成的一维数组。要把输出信号转换成光谱, 需要做波长定标和强度定标。波长定标是把数组的指标转换成光的波长: 测出一系列已知光谱线的位置, 再用光滑函数拟合这个对应关系。

2.2 用光谱仪测量光谱

光谱仪最直接的应用是测量光源的发射谱。发射谱可分为线状光谱和连续光谱。线状谱最重要的信息是光谱线的波长。

除了发射光谱, 经常还会用光谱仪测量材料的透过率、吸光度或反射率随波长变化的曲线。

在测量透过率时, 需要先测量光源的光谱, 记作 $I_0(\lambda)$, 然后在光源与探头之间插入待测样品, 测量透过光的光谱 $I_T(\lambda)$

透过率定义为

$$T(\lambda) = \frac{I_T(\lambda)}{I_0(\lambda)} \times 100\%$$

在测量吸收率曲线时, 光源的光谱必须是连续的, 而且扩展范围越宽越好。

吸光度定义为

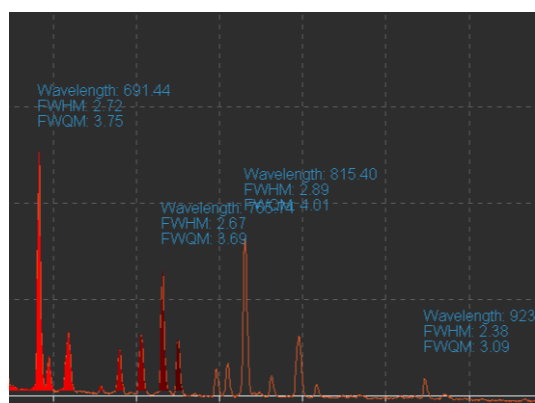
$$A(\lambda) = \log_{10} \left(\frac{I_0(\lambda) - I_D(\lambda)}{I_T(\lambda) - I_D(\lambda)} \right)$$

注意透过率曲线与吸光度曲线中的峰的意义是相反的: 透过率高对应吸光度低, 反之亦然。

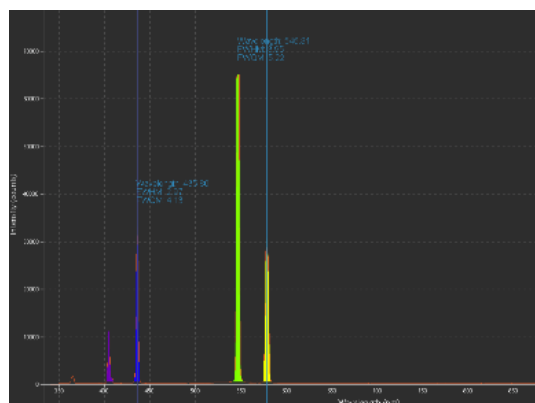
3 实验内容

3.1 测量汞灯发射光谱, 验证光谱仪波长标定的准确性

利用 Hg 灯对光谱仪进行标定



实验 1 汞灯较高波长频段光谱



实验 1 汞灯其他波长频段光谱

测量光谱线 波长/nm	404.45	435.80	546.81	578.32	691.44
Hg 灯标准 波长/nm	404.7	435.8	546.1	576.96	690.7
相对误差	0.06%	0%	0.13%	0.24%	0.11%

相对误差较小，可以认为光谱仪标定完成

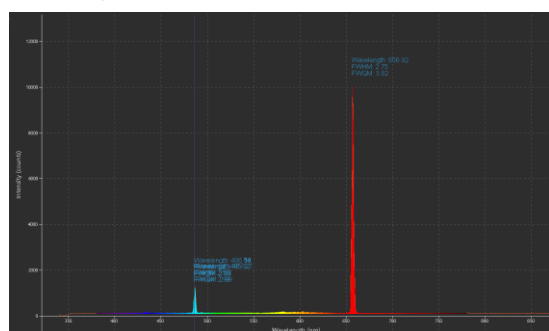
3.2 测量氢原子谱线波长，计算 Rydberg 常数

根据

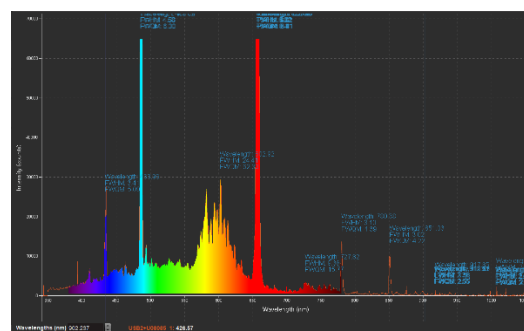
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

计算 Rydberg 常数

通过调整积分时间，测量光强较大的谱线波长时，保证光强在量程内；同时也能测量到光强较弱的谱线波长。



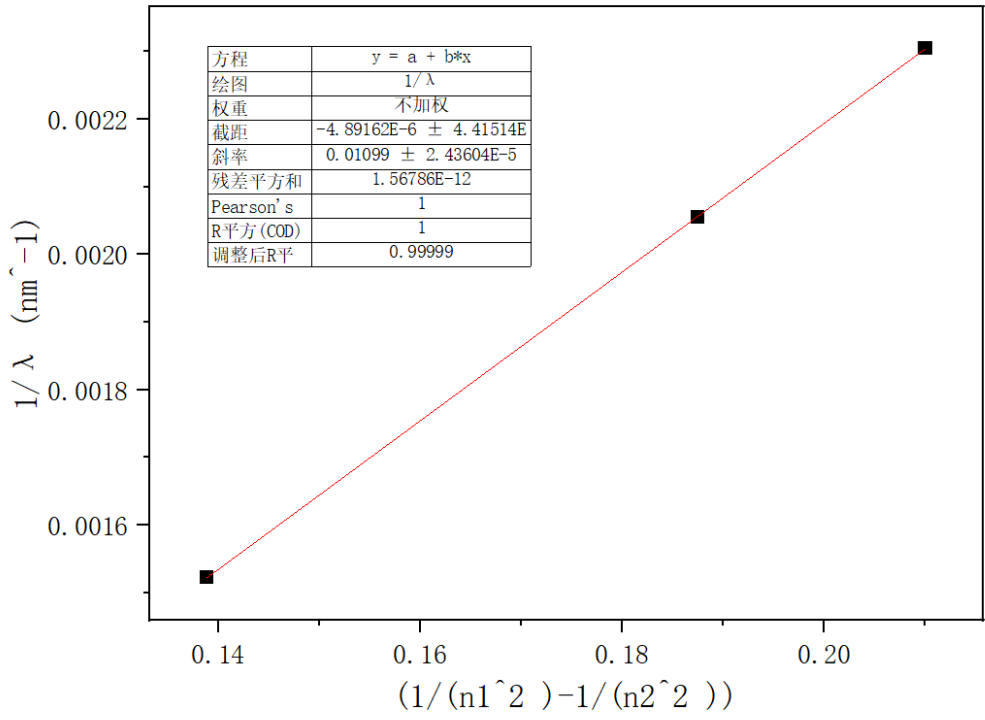
实验 2 积分时间较短时的测量



实验 2 积分时间较长时的测量

测量光谱线波长/nm	433.96	486.54	656.92
n_1	2	2	2
n_2	5	4	3

线性拟合如图



根据线性拟合斜率得到

$$R_H = 1.099 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

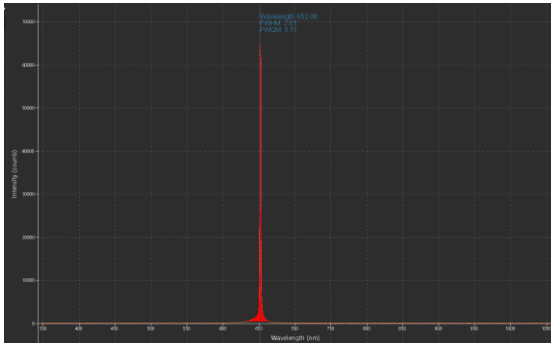
取标准值

$$R_{H0} = 1.097 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

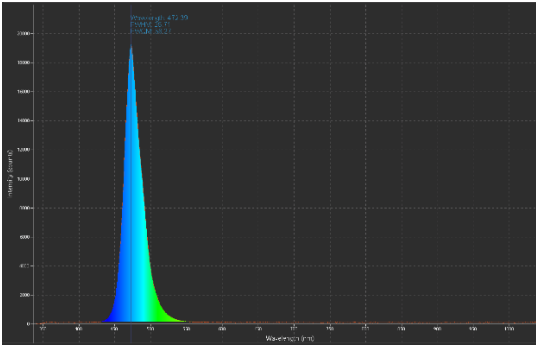
计算相对误差为

$$\eta = 0.18\%$$

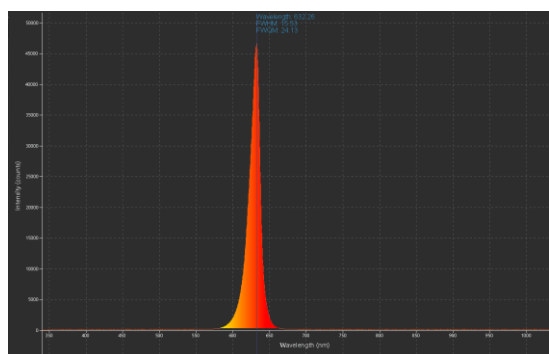
3.3 测量红色激光和红、绿、兰 LED 的光谱，比较特征峰的位置与宽度



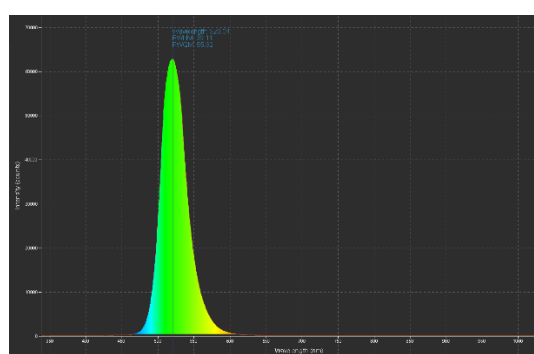
实验 3 红色激光光谱



实验 3 蓝光 LED 光谱



实验 3 红光 LED 光谱

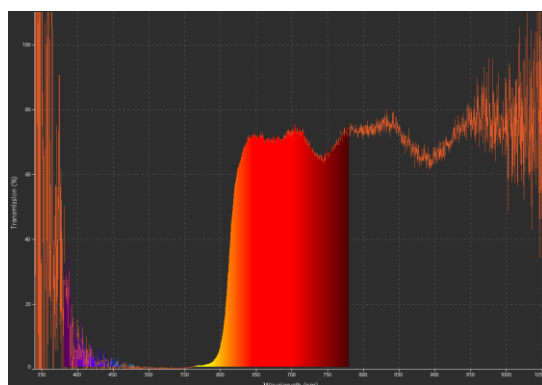


实验 3 绿光 LED 光谱

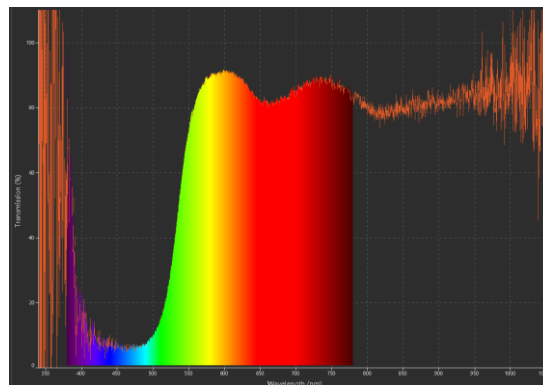
利用软件可以测量出

	红色激光	蓝光 LED	红光 LED	绿光 LED
中心波长/ nm	652.06	472.39	632.26	520.04
半峰宽/ nm	2.67	25.71	15.53	39.11

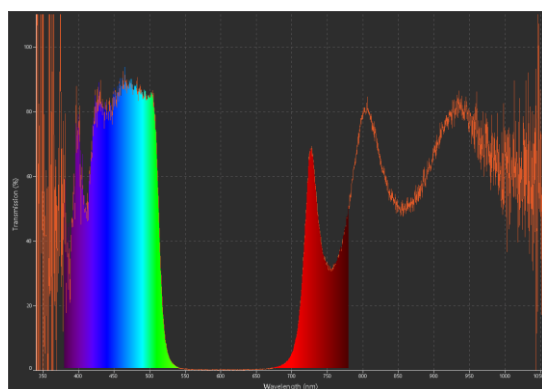
3.4 测量红、绿、蓝、黄、品、青滤光片的透过率 T_{λ}



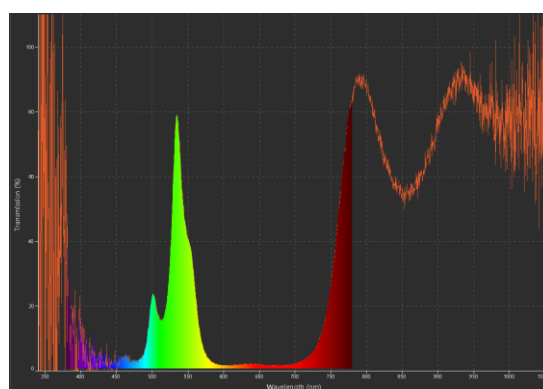
实验 4 红色滤光片透过率



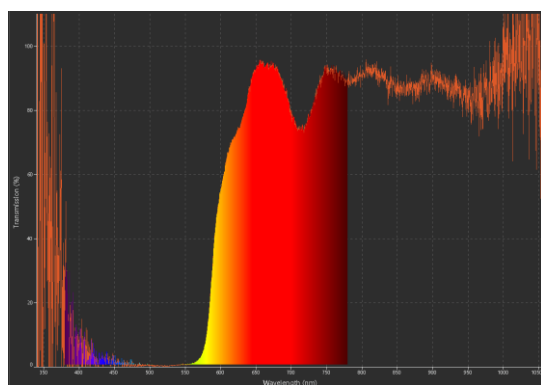
实验 4 黄色滤光片透过率



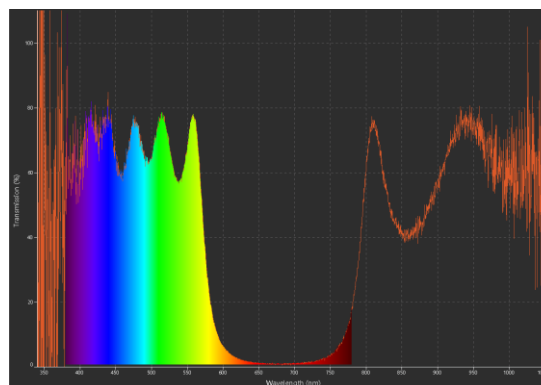
实验 4 蓝色滤光片透过率



实验 4 绿色滤光片透过率



实验 4 品红色滤光片透过率



实验 4 青色滤光片透过率

红色透镜对于 400nm 到 590nm 之间的透过率基本为 0% ，对于 650nm 到 800nm 之间的透过率为 60% 到 80% 之间，对于红外波段的透过率也较为良好

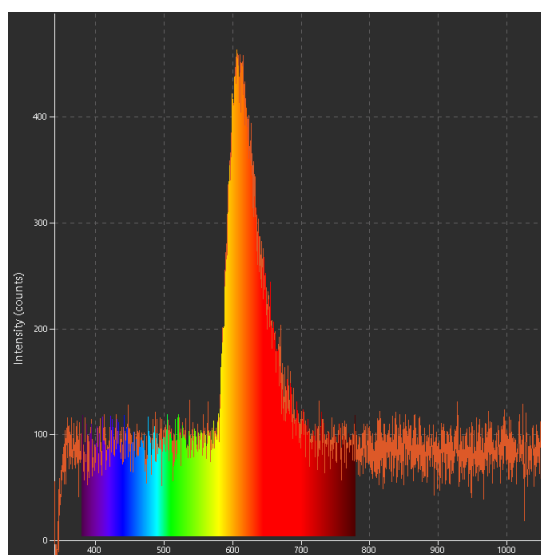
黄色透镜对于 550nm 以上波长的可见光透过率较好，只在 400nm 到 550nm 之间透过率较低，在 10% 以下

蓝色透镜在 500nm 到 750nm 之间透过率较低。

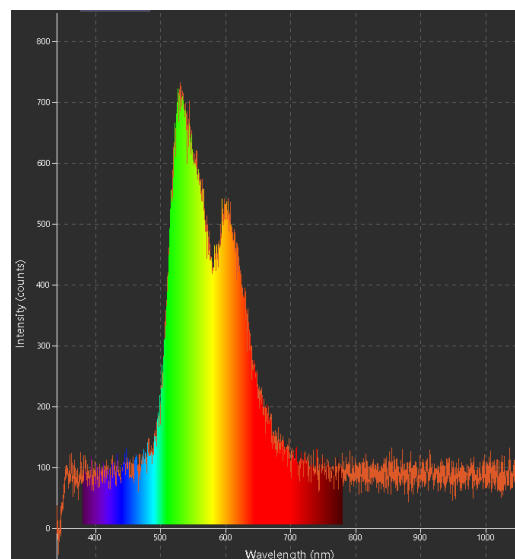
绿色透镜对于 498nm 到 580nm 之间透过率较为良好，最高为 80% 左右，基本不透过 600nm 到 750nm 波段的光，对于红外波段的透过率较为良好

青色透镜对于 400nm 到 575nm 波段透过率较好，处于 60% 到 85% 之间，对于 600nm 到 750nm 波段的透过率较低，基本为零

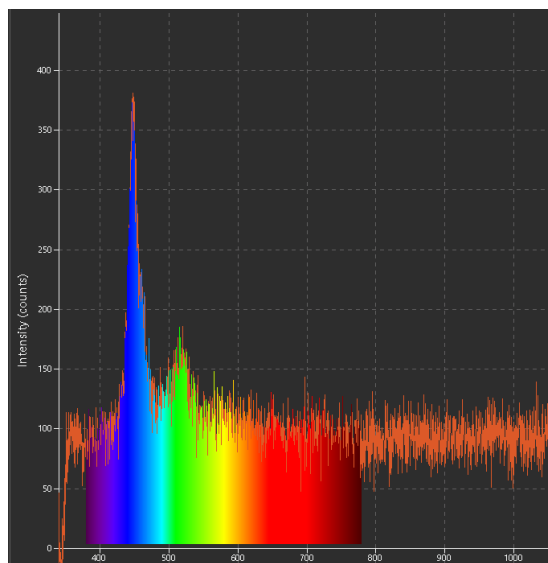
3.5 用电脑显示器显示红、绿、兰、黄、品、青、灰、白，说明三基色的显示规律



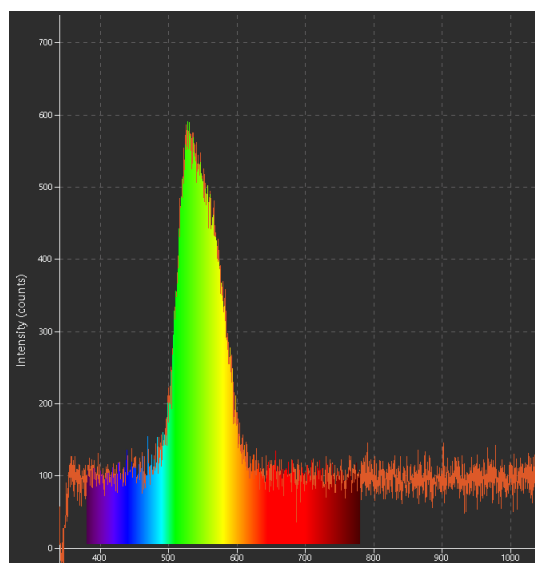
实验 5 红色光光谱



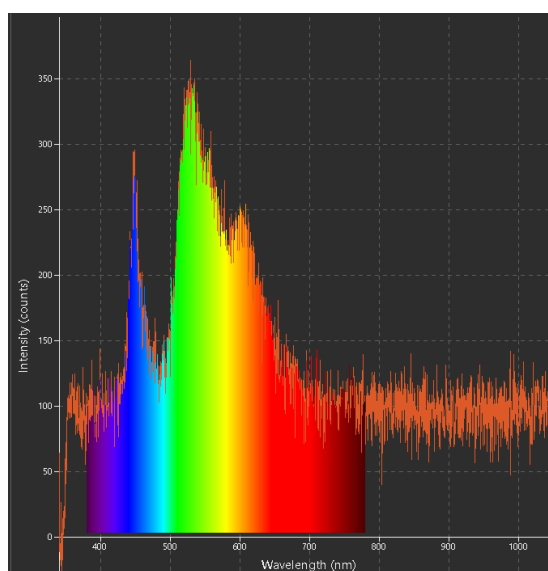
实验 5 黄色光光谱



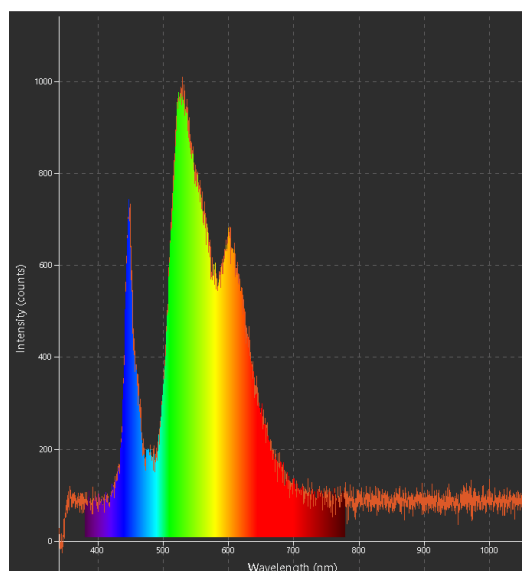
实验 5 兰色光光谱



实验 5 绿色光光谱



实验 5 灰色光光谱

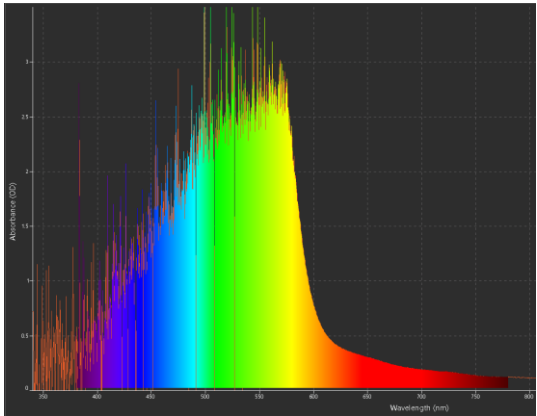


实验 5 白色光光谱

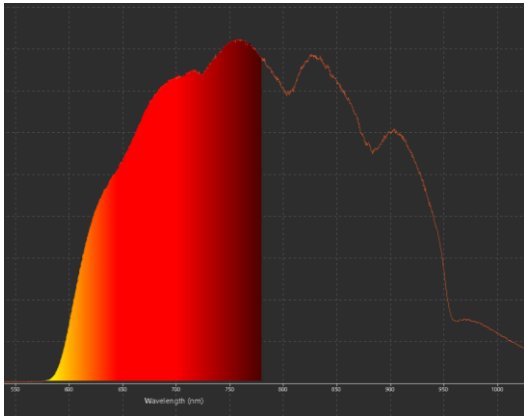
电脑显示器通过混合红、绿、蓝三种基色来产生各种颜色。显示规律是根据加法混色原理，不同强度的三基色光相互叠加形成不同颜色。红，绿，蓝分别由其对应光最大强度组成。黄色由红色光和绿色光叠加。

灰色和白色是通过三基色光均匀混合而成，只是调整不同基色的强度。

3.6 测量液体的吸收光谱，分析液体对光的吸收特性



实验 6 蓝色液体吸收光谱



实验 6 红色液体吸收光谱

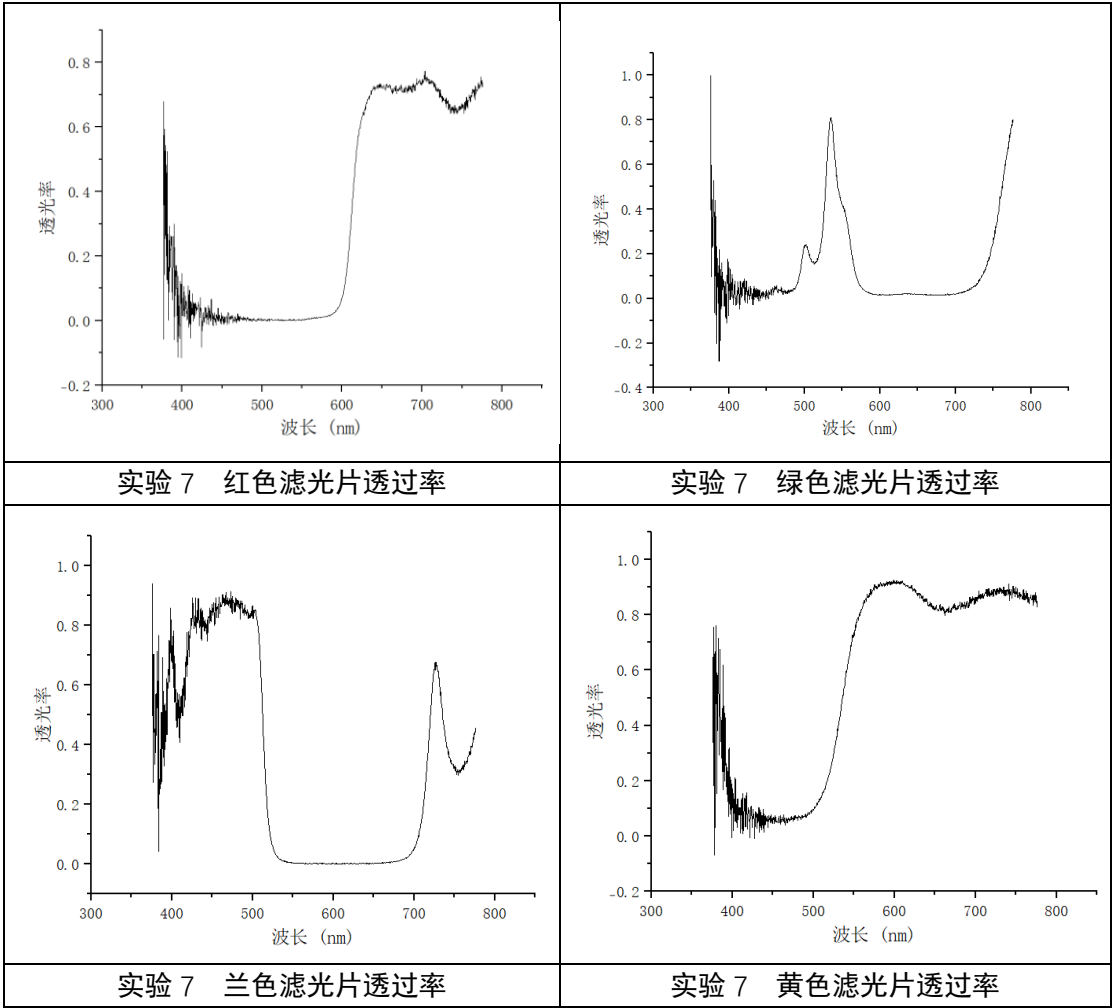
蓝色液体对于紫色到黄色可见光波段的吸收率较高，对于红色与红外波段透过率较高；红色液体对于蓝色和红外波段透过率较高，对于绿色和红色波段吸收率较高

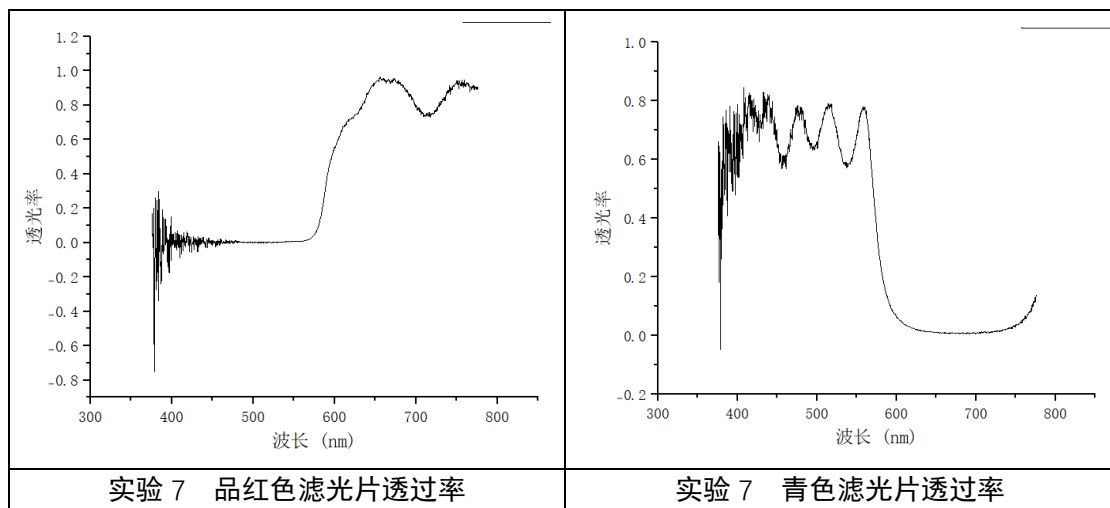
3.7 采集计算滤波片与溶液吸光度的原始数据，计算出 T_{λ} 与 A_{λ} 并作比较

对于滤光片的原始数据，根据

$$T_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}}$$

式中， S_{λ} 为样品在 λ 处的光强； D_{λ} 为暗光在 λ 处的光强； R_{λ} 为参考光在 λ 处的光强





由于其他波段存在较强的噪声影响，出现了较大的异常值，只绘出了可见光范围的透过率。与直接测量得到的透过率相符较好

4 复习思考题

1. 积分时间如何影响采集的光谱？如何设定积分时间？

积分时间越长，光谱仪传感器 CCD 上积累的电荷越多，输出的光强数值越大，可以使测量弱光的数值更加准确。设定积分时间使所需测量波长对应的光强在最大量程的2/3即可。

2. 举例说明人眼看到光的颜色与光谱并没有一一对应关系。

人眼对光的颜色感知是复杂而主观的。本实验中我们人眼看到的白色 LED 和太阳光基本上都为白色，但二者的光谱区别很大。

3. 实验在测量透过率和吸光度时，在一些波长范围结果存在强烈的涨落。出现这个问题的原因是什么？

说明那些波段的除数十分接近于零，在环境噪声以及本底噪声的影响下很容易变为零甚至是负数，导致结果出现剧烈的涨落。

4. 设计一个利用光谱仪研究实际问题的实验。

利用光谱仪测量溶液吸光度与浓度的关系。

1. 样品制备：

制备一系列不同浓度的溶液，确保它们覆盖合适的浓度范围。

2. 吸收光谱测量：

将每个溶液样品放入样品池中，记录各个浓度的溶液在选定波长下的吸收光谱。根据

$$A_{\lambda} = L_g \frac{R_{\lambda} - D_{\lambda}}{S_{\lambda} - D_{\lambda}}$$

计算得到溶液对不同波长的光的吸收度

3. 数据分析：

根据 Lambert – Beerlaw 定律，当一束平行单色光垂直通过某一均匀非散射的吸光物质溶液时，其吸光度与溶液的浓度及透光层厚度满足

$$A_{\lambda} = Kbc$$

式中， K 为摩尔吸收系数， c 为溶液浓度， b 为透光液层厚度

对于在同一个比色皿中存放的一定浓度的液体， K 和 b 的值是一定的，故可以通过 A_{λ} 推导出液体中吸光物质的浓度 c ，从而验证溶液吸光度与浓度的关系是否满足 Lambert – Beerlaw 定律。

参考文献

[1] 北京师范大学物理实验教学中心. 普通物理实验讲义 II, 2023

Application of Optical Fiber Spectrometer

CHEN Yi-hao

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The purpose of this experiment is: to understand the basic principle of spectral analysis; Master the basic use of optical fiber spectrometer; Understand the application of spectral analysis in physics research.

Key words: spectral analysis, fiber optic spectrometer