

# 光谱测量及光纤光谱仪的应用实验

201711140236 物理系基地班 李励玮

## 实验仪器

USB2000+光纤光谱仪，光谱测量附件（光源、光纤、支架等）、汞灯、多功能组合灯、透明液体

## 实验原理

光谱是电磁辐射强度按照波长有序排列的图谱。按照光与物质的作用方式，将光谱分为反射光谱、吸收光谱、反射光谱、散射光谱等。

### 1. 光谱仪的组成与分类

光谱仪主要包括：入射狭缝、准直镜、分光元件（光栅或棱镜）、聚焦光学元件、出射狭缝和探测器。

入射狭缝可限制探测光源的强度及排除杂散光；

准直镜将入射光变为平行光；

分光元件将复色光转变为按照一定顺序排列的单色光谱线；

聚焦光学元件将光栅色散后的光汇聚并按照特定角度照射到探测元件；

探测器测量光强度。

光谱仪最主要的部分为色散元件及探测元件。

目前最常用的是光栅光谱仪，分光元件为光栅，探测元件为光电探测仪或 CCD。波长的改变通过计算机控制光栅旋转实现，测量过程所需时间较长。

光纤光谱仪中利用光纤把被测样品产生的信号光耦合、传导到光谱仪的光学平台，经光栅散射后，采用 CCD 探测器阵列来探测，可以完成对整个光谱的快速扫描不必移动光栅。

### 2. 光纤光谱仪

#### (1) 衍射光栅

光路图如右，一束波长 $\lambda$ 的单色光以 $\theta_i$ 入射到光栅上，光栅方程可以表示为： $d(\sin \theta_i + \sin \theta_j) = m\lambda$  (1)

其中 $d$ 为光栅常数， $\theta_j$ 为衍射角、 $m$ 为衍射级数（ $m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$ ）。

若入射光为复色光，不同波长的光按照波长大小不同而依次分开。

描述光栅性能的主要参数：

#### i. 角色散率 D

角色散率表征某一级次的谱线单位波长间隔在空间分开的程度

定义为 $D = \frac{d\theta_j}{d\lambda}$  (2)

对(1)求导可得 $D = \frac{m}{d \cos \theta_{mj}}$  或 $\Delta\theta_j = \frac{j\Delta\lambda}{d \cos \theta_j}$  (3)

其中 $\theta_{mj}$ 为波长为 $\lambda$ 的光的第 $m$ 级衍射角。第一、第二级光谱衍射角很小 $\cos \theta_{mj} \approx 1$ ，则 $D$ 为常数。光栅角色散率与波长 $\lambda$ 无关，只与光栅常数和衍射级数有关，光谱随波长分布比较均匀。光谱仪常用 $m = 1$ 的衍射谱。

#### ii. 自由光谱范围

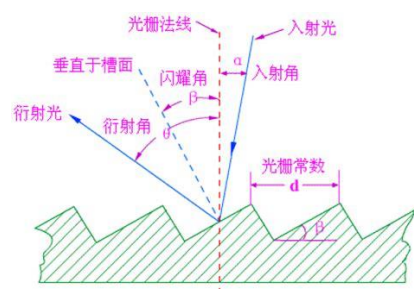
自由光谱范围指各色光干涉极大不发生级次交叠的最大波长范围，根据衍射条件：

$$d \sin \theta_j = (m + 1)\lambda \text{ 以及 } d \sin \theta_j = m(\lambda + \Delta\lambda) \quad (4)$$

$$\text{得 } \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\sin \theta_j} \quad (5)$$

#### iii. 色分辨本领 P

经光栅衍射后每一谱线时很多刻槽分开的区域衍射图样的主最强条纹（ $m = \pm 1$ ），其宽度为：



$$\Delta\theta_1 = \frac{\lambda}{N d \cos \theta_j} \quad (6)$$

其中 $N$ 为衍射区域数/光栅的刻线数。按照瑞利判据，光栅的色分辨率极限由下式决定： $\Delta\theta = \Delta\theta_1$  (7)

由 (3)、(6)、(7) 式得  $P = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$  (8)

## (2) CCD

CCD 是电荷耦合元件的简写，是可以将光信号转变为电信号的半导体器件。

### 3. 滤光片特性

滤光片用于选择所需辐射波段，对不同波长的光透射能力不同，对一特定波长的光，透过率

$$T(\lambda) = \frac{I_T(\lambda)}{I_0(\lambda)} \times 100\% \quad (9)$$

其中 $I_0(\lambda)$ 为入射光强度， $I_T(\lambda)$ 为透射光强。

常见滤光片特性：

#### i. 截止滤光片

截止滤光片能从复合光滤掉全部长波或短波而仅保留所需波段范围的滤光片。有以下参量描述：

截止波长 $\lambda_c$ ：用透过率为最大透过率的多少对应的波长来描述，一般在下标标出百分数

分界波长 $\lambda_0$ ：透过率为最大透过率的 50%对应的波长

透过光谱范围：对于短波截至的是指波长大于 $\lambda_0$ 的透光波长范围；对于长波截至的是指波长小于 $\lambda_0$ 的透光波长范围。

截止斜率： $s = \frac{\lambda_{0.8} - \lambda_c}{\lambda_c} \times 100\%$  (10)

#### ii. 带通滤色片

带通滤色片是从复合光中分离出某一波段光的滤光片。参量：

中心波长 $\lambda_0$

带通半高宽 $\Delta\lambda_{0.5}$

峰值透过率

基准宽度： $\Delta\lambda_{0.01}$

形状因子： $\frac{\Delta\lambda_{0.01}}{\Delta\lambda_{0.5}}$

截止深度 $OD = -\lg T$

## 实验内容

### 1. 测量不同光源的发射光谱，分析光谱特性

(1) 测量汞灯光谱，将测量值与标准值比较，确定单色仪的测量准确度

(2) 测量实验室照明日光灯的发射光谱，并与汞灯光谱比较，分析日光灯发光物质成分

(3) 测量不同单色与准单色光源（半导体激光、红、绿、蓝 LED 等）的发射光谱，并测量光谱的峰值波长和半高宽

(4) 测量白色 LED 的光谱，分析其光谱的主要组成

(5) 测量手机屏幕或电脑液晶显示器，让显示器显示红、绿、蓝并测量其光谱组成，让显示器显示白、黄、品、青、灰色，测量光谱组成，找出颜色由三原色合成的规律


(6) 测量太阳光的光谱，找到并在图中标出夫琅禾费谱线太阳光谱中的 A, B, C, D, E, F, G, H 八条吸收线（选做）

### 2. 测量液体的吸收光谱，分析液体对光的吸收特性。

3. 测量滤色片的透射光谱，分析各种滤光片的特性，给出滤光片的特征参量（截至波长、峰值波长、光谱带宽等）

## 实验步骤

### 1. 光源发射光谱测量

- (1) 将单色仪入射狭缝与光源和计算机连接，光纤不能打折，将光纤探头对准被测光源
- (2) 打开计算机，运行 SpectraSuite
- (3) 从“文件”功能键选择测量类型，默认为光谱强度测量
- (4) 设置光谱采集参数：
  - a. 根据待测光的强弱，设置积分时间，使采集的数据在量程范围内；
  - b. 设置对传感器同一像素采集数据的平均次数，使测量曲线光滑；
  - c. 设置做平滑处理的宽度。
- (5) 软件右下角点击，在软件底部显示寻峰工具栏，标定发光峰的峰位。
- (6) 重复 (4)、(5)，完成所有制定光源光谱特性测量

### 2. 液体吸收光谱（吸光度）的测量

- (1) 连接器材，光纤不能打折
- (2) 打开光源开关，观察入射光是否正常出射；执行“文件”→新建→吸收测量→按吸收测量对话框提示完成实验；注意：测量暗光谱时用遮光板挡住光源的出射光，不要用触摸板将光源调暗或关掉光源。
- (3) 调节积分时间，使采集的数据在量程范围内

- (4) 吸光度计算：吸光度  $A_\lambda = \log_{10} \left( \frac{S_\lambda - D_\lambda}{A_{I\lambda} - D_\lambda} \right)$ ，其中  $A_{I\lambda}$  为吸收光强， $S_\lambda$  为入射光强， $D_\lambda$  为本底暗光光

强。吸收度反映了溶剂的物理性质，并与浓度、温度相关。注意：实际测量的是透射光强，忽略反射和散射，认为吸收强度等于入射光强与透射光强之差，若存在散射会引起误差。

### 3. 滤光片透过率的测量

- (1) 如测量发射光谱一样连接仪器
- (2) 以溴钨灯的光作为入射光，调节积分时间，使采集的数据在量程范围内
- (3) 执行“文件”→新建→透射测量→按透射测量对话框提示完成实验；

注意：测量暗光光谱时用书等遮光物体遮住光源机箱的出射光；一旦基线测量完成后，测量滤光片透射率曲线时保持多功能电源的位置及光纤探头位置不变

- (4) 透过率计算：透过率测量中需要考虑对暗电流的修正，对式 (3) 修正后， $T_\lambda = \frac{T_{I\lambda} - D_\lambda}{S_\lambda - D_\lambda} \times 100\%$ ，

其中  $T_{I\lambda}$  为透射光强， $S_\lambda$  为入射光强， $D_\lambda$  为本底暗光光强。

### 4. 发射率的测量（选做）

- (1) 连接器材，光纤不能打折
- (2) 执行“文件”→新建→反射测量→按反射测量对话框提示完成。注意：测量  $S_\lambda$  时要用标准白板。

- (3) 反射率计算： $R_{\lambda f} = \frac{R_{I\lambda} - D_\lambda}{S_\lambda - D_\lambda} \times 100\%$ ，其中  $R_{I\lambda}$  为反射光强， $S_\lambda$  为入射光强， $D_\lambda$  为本底暗光光强

### 5. 数据处理

- (1) 绘制各个反射光谱，标定各个反射谱的峰位、半宽度，按照实验内容要求完成分类分析
- (2) 绘制测量液体的吸收光谱，说明吸收特性
- (3) 绘制滤光片的透过率曲线，标定其特征参量，说明滤光片的类型；讨论两个滤光片叠放时的透过率与单独放置时的关系。

## 思考题

1. 色散元件及探测元件。色散元件将复色光转变为按照一定顺序排列的单色光谱线。探测器测量光强度。
2. 不知道……
3. 不知道……

4. 吸收光谱：溴钨灯的光作为入射光；不可以。