

单色仪的定标和光谱测量实验（1321 室）

实验要求：

实验前准备

- 认真预习
- (1) 认真阅读实验讲义或实验教材
 - (2) 准备在线预习测试

注明：1、注重对实验原理的理解；2、上实验课之前必须完成在线预习测试；
3、认真预习者方可进入实验室进行操作

- 准时进入实验室
- (1) 不准迟到，请假需要提前上交书面申请
 - (2) 注意保持实验室卫生
 - (3) 严禁携带零食，**注重仪表！**例如：不穿拖鞋等行为
 - (4) 雨天请将雨伞放置在实验室门外

- 仔细阅读听讲
- (1) 认真听讲每个仪器的名称，作用及使用方法
 - (2) 阅读实验指导书

实验进行时

- 严肃认真，不得在实验室内打闹、嬉戏！注意人身安全！
- 严格遵守操作规程，注意用电安全！严禁手碰透镜等光学仪器的光学面
- **注意安全！不得直视激光，以免损伤视网膜！**
- 严禁损坏仪器 经指导老师签字或同意后，并清洁整理完毕方可离开！

- 实事求是
- (1) 认真观察、分析实验现象
 - (2) 如实记录实验数据，不得抄袭

- 勇于创新
- 积极思考并提出自己的建议或意见**

实验结束后

及时认真完成科研论文格式报告！（主要包含：摘要、引言、实验仪器、实验结果（包括数据处理与分析、现象分析讨论）、结论、致谢、参考文献）

下次上课时必须交上，不得延误！

单色仪的定标和光谱测量实验（1321 室）

实验目的：

- (1)：了解光栅单色仪的结构以及工作原理并熟练掌握其使用方法；
- (2)：掌握调节光路准直的基本方法和技巧，利用钠灯等标准光源对单色仪进行定标；
- (3)：测量红宝石、稀土化合物的吸收和发射光谱，加深对物质发光光谱特性的了解；
- (4)：测量滤波片和溶液的吸收曲线，掌握测量其吸收曲线或透射曲线的原理和方法。

实验简介

单色仪（monochromator）是指从一束电磁辐射中分离出波长范围极窄单色光的仪器。按照色散元件的不同可分为两大类：以棱镜为色散元件的棱镜单色仪和以光栅为色散元件的光栅单色仪。单色仪的构思萌芽可以追述到 1666 年，牛顿在研究三棱镜时发现将太阳光通过三棱镜时被分解成七色光的彩色光谱，牛顿首先将此分解现象称为色散。1814 年夫琅和费设计了包括狭缝、棱镜和视窗的光学系统并研究发现了太阳光谱中的吸收谱线（夫琅和费谱线）。棱镜的色散起源于棱镜材料折射率对波长的依赖关系，对多数材料而言，折射率随着波长的缩短而增加（正常色散），及波长越短的光，在介质中传播速度越慢。1860 年克希霍夫和本生为研究金属光谱设计完成较完善的现代光谱仪——这标志着现代光谱学的诞生。由于棱镜光谱是非线性的，人们开始研究光栅光谱仪。光栅光谱仪是利用衍射作为光学元件用光栅衍射的方法获得单色光的仪器，光栅光谱仪具有比棱镜单色仪更高的分辨率和色散率。衍射光栅的可以工作于从数十埃到数百微米的整个光学波段，比色散棱镜的工作波长范围宽。此外在一定范围内，光栅产生的是均排光谱，比棱镜光谱的线性要好的多。它也可以从复合光的光源（即不同波长的混合光的光源）中提取单色光，即通过光栅一定的偏转的角度得到某个波长的光，并可以测定它的数值和强度。因此可以进行复合光源的光谱质量分析。

实验原理

光栅光谱仪是利用衍射作为色散元件，因此光栅作为分光器件就成为决定光栅光谱仪的性能的主要因素。

1、衍射光栅：现代衍射光栅的种类非常多，按照工作方式分为反射光栅和透射光栅；按照表面形状可分为平面光栅和球面光栅；按照制造方法可分为刻划光栅、复制光栅和全息光栅；按照刻

划形状可分为普通光栅、闪耀光栅和阶梯光栅等。在光谱仪中，多使用各种形式的反射光栅。以下以反射光栅为例作介绍。在一块平整的玻璃或者金属片的表面刻划出一系列平行、等宽、等距离的刻线，就制成了一块透射式或者反射式的衍射光栅，如图 1 所示反射式衍射光栅：图中 b 为刻划宽度， d 为两相邻刻划线间的距离，称为光栅常数。一般的光栅的刻划密度在每毫米数百线到数千线之间，一块中等尺寸的光栅总的刻划线在 10^4-10^5 左右。

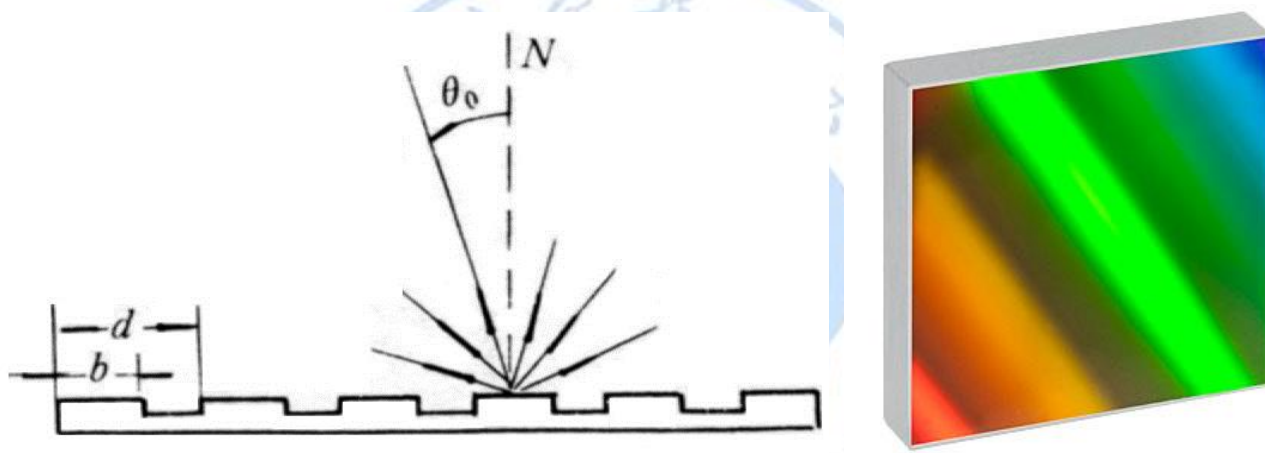


图 1、反射式衍射光栅及刻线反射式衍射光栅（600/mm，闪耀波长 500 nm）

（1）工作原理：

入射光照射在光栅上时，光栅上每条刻划线都可看成为一宽度极窄的线状发光源。由于衍射效应，这种极窄光源发出的光分布在空间很大的角度范围内（并不遵循光学反射定律）。但是不同刻划线发出的光有一定的相位差，由于干涉效应，使入射光中不同波长成分分别出现在空间不同方向上，也就是说入射光发生了色散。由此可见，衍射光栅的色散实质上是基于单个刻划线对光的衍射（单缝衍射）和不同刻划线衍射光之间的干涉（多缝干涉），并且多缝干涉决定各种波长的出射方向，单缝衍射则决定它们的强度分布。

（2）光栅方程

设有一束光以入射角 θ_0 射向一块衍射光栅，则只有满足下式的一些特殊角度 θ_m 下，才有光束衍射出来

$$d(\sin \theta_0 \pm \sin \theta_m) = m\lambda \quad (1-1)$$

上式即为著名的光栅方程，式中， θ_0 为入射角， θ_m 为衍射角， d 为光栅常数， $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ，称

为衍射级次。式中正负号的使用规定是：当 θ_0 和 θ_m 在光栅法线同侧时，取正号，反之，则取负号。根据光栅方程，可以分析出在单色光、复色光入射的情况下，光栅衍射光的特点：(a) 单色光入射时，光栅将在 $(2m+1)$ 个方向上产生相应级次的衍射光。其中只有 $m=0$ 的零级衍射光才是符合反射定律的光束方向，其他各级衍射光军对称地分布在零级衍射光的两侧。级数越高的衍射光，离零级衍射越远。(b) 复色光入射时，同样产生 $(2m+1)$ 个级次的衍射光。但是在同一级衍射光中，波长不同的光衍射角又各不相同，长波长的衍射角大。就是说，复色光经光栅衍射后产生的是 $(2m+1)$ 个级次的光谱。当 $m=0$ 时，不管什么波长都将在的方向衍射出来，即零级光谱是没有色散的。

图 2 给出了在复色光入射下，衍射光栅产生各级光谱的情形。从图中下部给出的光栅光谱可以看出，各级光谱之间有一定的重叠。例如波长 600 nm 的一级衍射光，波长为 300 nm 的二级衍射光和波长为 200 nm 的三级衍射光…，都出现在同一衍射方向上。理论上，各级光谱是完全重叠的，即波长为 λ 的一级衍射光，将和波长 λ/m 为的 m 级衍射光出现在同一衍射方向上。实际上，由于被测光源的波长和光谱仪及探测器的响应总有一定的范围，因此谱级重叠情况不会像理论预计那样严重。但是实际测量中，确实要注意由于邻近谱级重叠所造成的干扰。

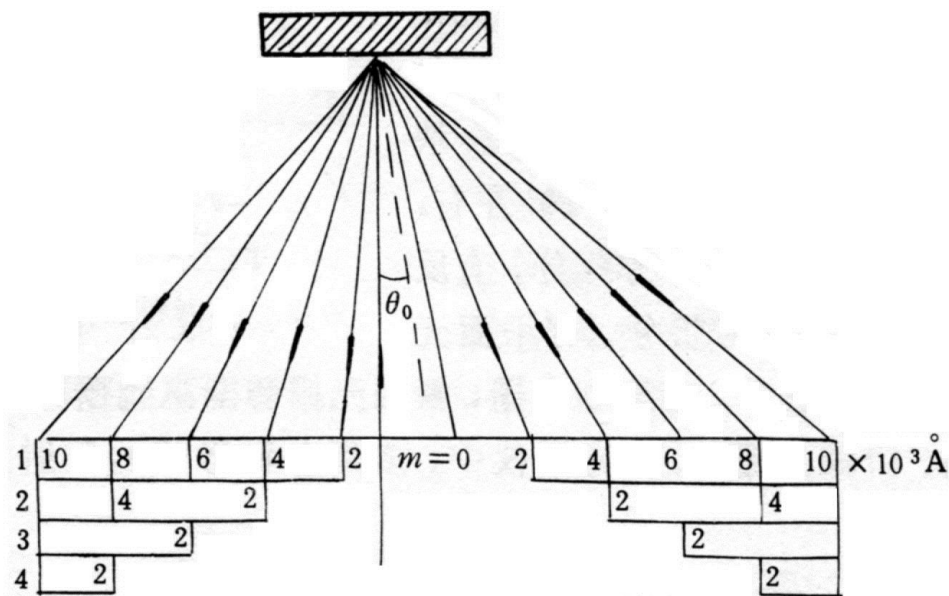


图 2：衍射光栅的光谱

(3) 强度分布

光栅方程只说明了各级衍射的衍射方向，下面再分析一下这些衍射光的强度分布情况，按照多缝衍射的理论，在强度为 I_0 的入射光照射下，光栅衍射光的强度分布为：

$$I = I_0 A(\mu) \bullet B(\nu) = I_0 \frac{\sin^2 \mu}{\mu^2} \bullet \frac{\sin^2(N\nu)}{\sin^2 \nu} \quad (1-2)$$

$$\text{式中, } \mu = (\pi b / \lambda) (\sin \theta_0 + \sin \theta_m) \quad (1-3)$$

$$\nu = (\pi d / \lambda) (\sin \theta_0 - \sin \theta_m) \quad (1-4)$$

式 (1-2) 中的 $A(\mu)$ 为单缝衍射对光强的分布影响，称为单缝衍射因子； $B(\nu)$ 为多缝干涉对光强分布的影响，称为多缝干涉因子。如图 3 (b) 所示，多缝干涉因子决定各级衍射方向。光栅衍射光的实际强度和方向则如图 3 (c) 所示，相当于多缝干涉因子受单缝衍射因子调制的结果。即 (1-2) 所表示的情况。

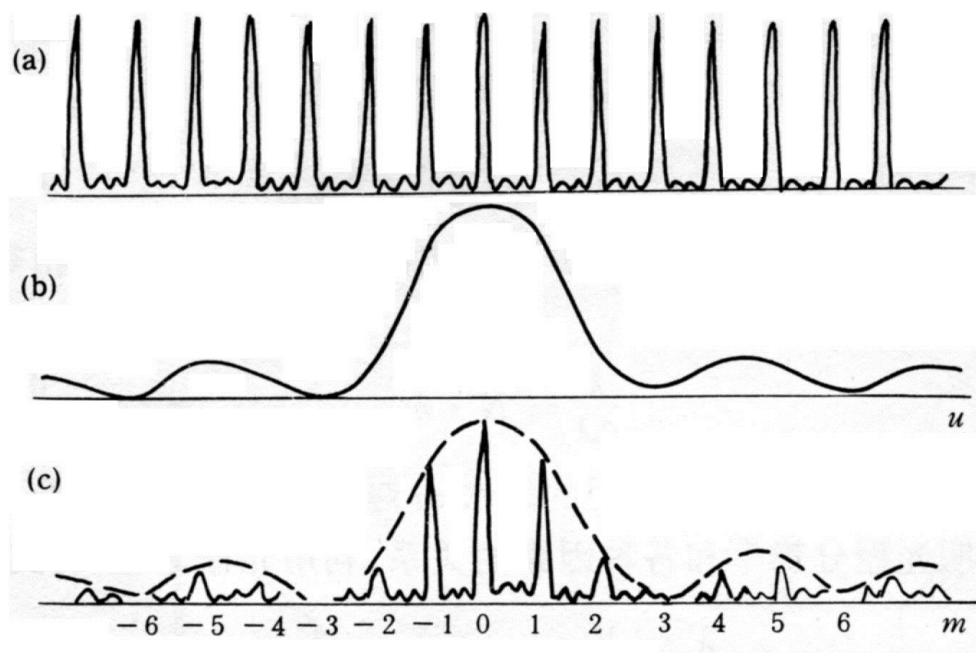


图 3：衍射光栅衍射光的光强分布

从图 3 中还可以看出，在一些单缝衍射因子为零的位置上，多线宽度为 d ，刻线宽度为 b 的光

栅，所缺级数为 $n(d/b)$ ， $n=1, 2, 3, \dots$ 。在图 3 中， $d/b=3$ ，故缺少 3, 6, 9 等级次。以上的分析是针对单色光入射的情况。对于复色光入射，每个衍射级次均对应为一光谱。图 4 给出了入射光中包含 λ 和 λ' 两种波长，并考虑 $m=0, 1, 2, 3$ 共四个光谱级的情况。

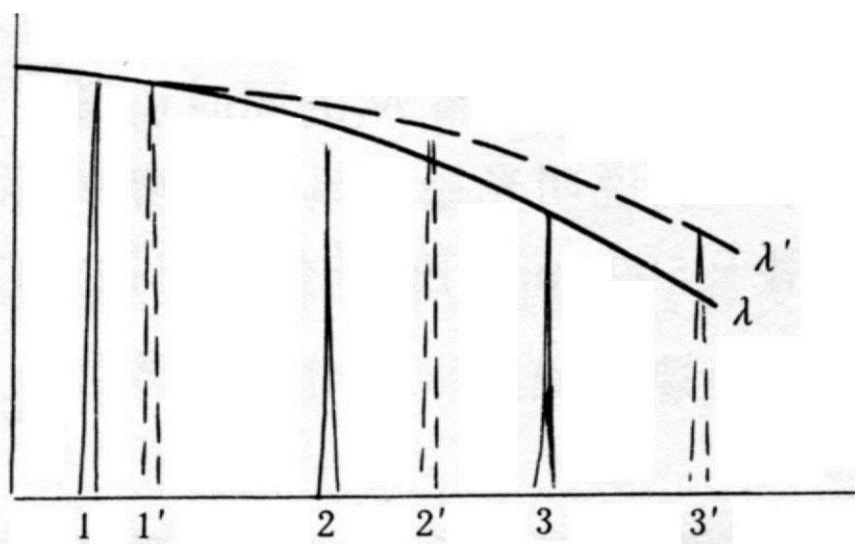


图 4：衍射光栅的各级光谱的光强分布

2、光栅的色散和分辨本领

(1) 光栅的角色散：从光栅方程可以得到光栅的角色散为：

$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \theta_m} \quad (1-5)$$

由此式可以看出：(a) 光栅的角色散与衍射级次成正比，故使用较高的衍射级次可以得到较大的角色散；(b) 角色散和光栅常数 d 成反比，即刻划线密度大的光栅角色散大；(c) 角色散与 $\cos \theta_m$ 成反比。对于给定的光栅和级次，衍射角越大，角色散越大。但是，当衍射角较小时（即在光栅法线附近）， $\cos \theta_m \approx 1$ ，则式 (1-5) 可变为：

$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{d} \quad (1-6)$$

即光栅的角色散与波长无关。这就是光栅产生均排光谱的原因和条件。

光栅的线色散：线色散定义为聚焦平面上沿光谱展开方向单位长度对应的光谱宽度，单位是 nm/mm, Å/mm, cm⁻¹/mm。以两台线色散不同的光谱仪为例，其中一台将一段 0.1 nm 宽的光谱衍射展开为 1 mm，而另一台则将 10 nm 宽的光谱衍射展开为 1 mm。很容易想象，精细的光谱信息更容易通过第一台光谱仪得到，而非第二台。相比于第一台的高色散，第二台光谱仪只能被称为低色散仪器。线色散指标反映了光谱仪分辨精细光谱细节的能力。

中心波长 λ 在垂直衍射光束方向的线色散可表示为：

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{10^6 \cos \beta}{knL_B} \text{ nm/mm} \quad (1-7)$$

式中 L_B 为等效出射焦距长度，单位 mm，而 dx 是单位间隔，单位 mm。单色仪中， L_B 为聚焦镜到出口狭缝的距离，或者当光栅为凹面型时光栅到出口狭缝的距离。因此，线色散与 $\cos \beta$ 成正比，而与出射焦长 L_B 、衍射级数 k 以及刻线密度 n 这些参数成反比。

(2) 光栅的分辨率：光栅衍射谱线的角宽度由多缝干涉因子决定，为：

$$\Delta \theta_m = \frac{\lambda}{Nd \cos \theta_m} \quad (1-8)$$

波长为 λ 和 $\lambda + \Delta \lambda$ 的两谱线经光栅衍射后产生的角距离 $\Delta \theta'_m$ 由式(1-5)计算得为： $\Delta \theta'_m = \frac{m}{d \cos \theta_m} \Delta \lambda$

(1-9)

根据瑞利判据，要把上述两条谱线分开，最少需使式(1-7)和(1-8)相等，由此得到光栅的分辨率为：

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = Nm \quad (1-10)$$

上式(1-10)说明，光栅的总刻划线数 N 越多，使用的级数 m 越高，则分辨率越高。为进一步说明光栅的分辨率和各种因素的关系，利用光栅方程，将(1-9)改为：

$$\frac{\lambda}{\Delta \lambda} = \frac{W}{\lambda} (\sin \theta_0 + \sin \theta_m) \quad (1-11)$$

式中 $W = Nd$ 为光栅的几何宽度。式(1-11)中括号内项的最大值为 2，因此不管 N 多大，光栅的

分辨率最高只能达到 $2W/\lambda$ 。这说明，单靠增加 N 来提高光栅的分辨率是有限制的。原因是：从光栅方程可见， d 不能小于 $\lambda/2$ ； d 比波长小时，光栅的反射作用加强。因此只有在提高 N 的同时也增大光栅宽度 W ，才是提高光栅分辨率的有效方法。

3、闪耀光栅

闪耀定义为将一段光谱的衍射最大转移到其他衍射阶次而非零阶。通过特殊设计，闪耀光栅能够实现特定波长的最大衍射效率。一片光栅的闪耀波长取决于刻槽几何尺寸的选择。

闪耀光栅是以磨光的金属板或镀上金属膜的玻璃板为坯子，用劈形钻石尖刀在其上面刻画出一系列锯齿状的槽面（其槽面为直角三角形）形成的光栅（注 1：由于光栅的机械加工要求很高，所以一般使用的光栅是由该光栅复制的光栅）。其槽面和光栅平面之间的有一个锐角称为闪耀角。然而， 110° 的顶角在闪耀全息光栅中同样可能出现。选择不同的顶角大小能够优化光栅的整个效率曲线。闪耀光栅的几何尺寸可以通过满足 Littrow 条件的情况下计算得到。Littrow 条件是指入射光和衍射光处于自准直状态（如入射角 α =衍射角 β ），即入射光线和出射光线沿同一路径。如图 5 所示。通过调整倾角和选择适当的入射条件，它可以将单缝衍射因子的中央主极大调整到多缝干涉因子的较高级位置上去，即我们所需要的级次上去。因为多缝干涉因子的高级项（零级无色散）是有色散的，而单缝衍射因子的中央主极大集中了光的大部分能量，这样做可以大大提高光栅的衍射效率，从而提高了测量的信噪比。

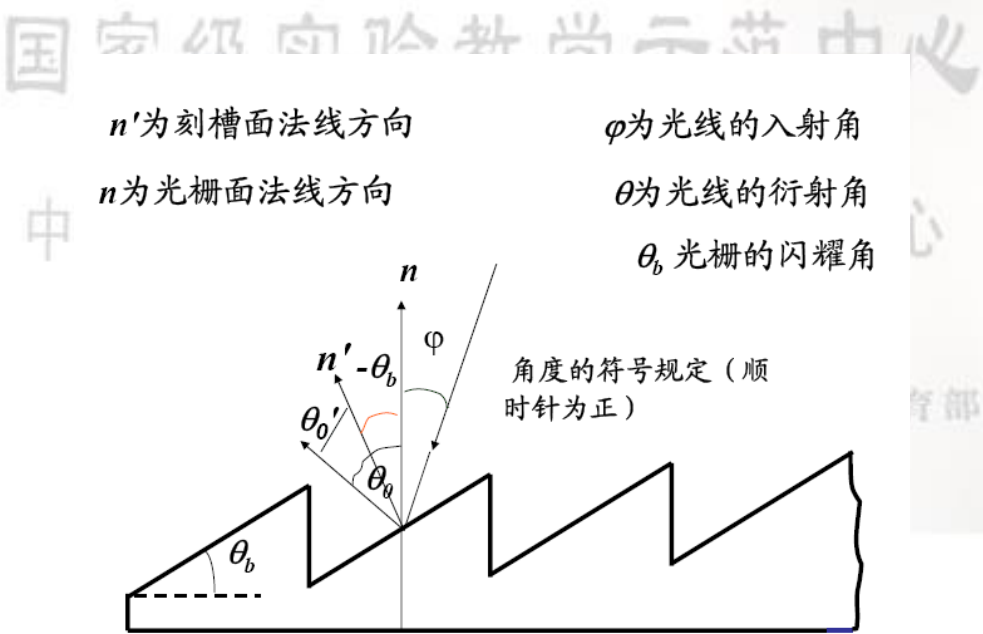


图 5：闪耀光栅

当入射光与光栅面的法线 n 的方向的夹角为 φ (见图 2) 时, 光栅的闪耀角为 θ_b , 取一级衍射项时, 对于入射角为 φ , 而衍射角为 θ 时, 光栅方程式为:

$$d(\sin \varphi + \sin \theta) = \lambda \quad (1-12)$$

因此当光栅位于某一个角度时 (φ 、 θ 一定), 波长 λ 与 d 成正比。本次实验所用光栅 (每毫米 1200 条刻痕, 一级光谱范围为 200 nm—900nm, 刻划尺寸为 64×64 mm²)。当光栅面与入射平行光垂直时, 闪耀波长为 570 nm。由此可以求出此光栅的闪耀角为 21.58°。当光栅在步进电机的带动下旋转时可以让不同波长以现对最强的光强进入出射狭缝, 从而测出该光波的波长和强度值。(注意计算时角度的符号规定和几何光学方向为闪耀波长的方向)

图 6 即为将衍射极大从零级 (图 6 (a)) 调整到一级 (图 6 (b)) 的情况。从这种意义上看, 普通光栅也是一种闪耀光栅, 只不过闪耀发生在没有色散的零级上。此外闪耀也是多级次的, 即对应于一级的闪耀, 必然对二级的, 三级的闪耀。发生闪耀的波长称为闪耀波长, 用表示。由此可知, 闪耀波长和光栅常数和入射条件均有关。

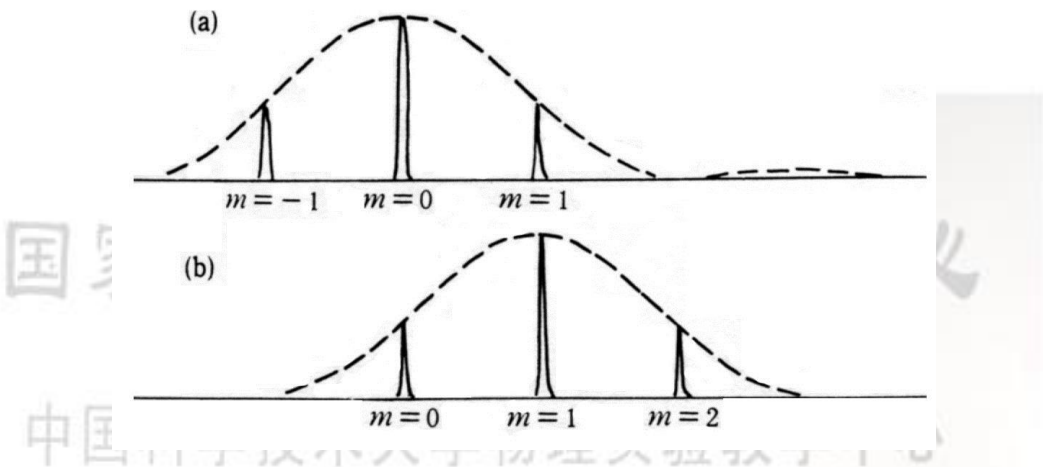


图 6: 闪耀光栅的光谱

吸收曲线测量原理:

当一束光入射到有一定厚度的介质平板上时, 有一部分光被反射, 另一部分光被介质吸收, 剩下的光从介质板透射出来。设有一束波长为 λ , 入射光强为 I_0 的单色平行光垂直入射到一块厚度为 d 的介质平板上, 如图 7 所示。如果从界面 1 射回的反射光的光强为 I_r , 从界面 1 向介质内透射的

光的光强 I_0 ，入射到界面 2 的光的光强为 I_2 ，从界面 2 出射的透射光的光强为 I_T ，则定义介质板的光谱外透射率 T 和介质的光谱透射率 T_i 分别为

$$T = \frac{I_T}{I_0} \tag{1-13}$$

$$T_i = \frac{I_2}{I_1} \tag{1-14}$$

这里的 I_R ， I_1 ， I_2 和 I_T 都应该是光在界面 1 和界面 2 上以及介质中多次反射和透射的总效果。

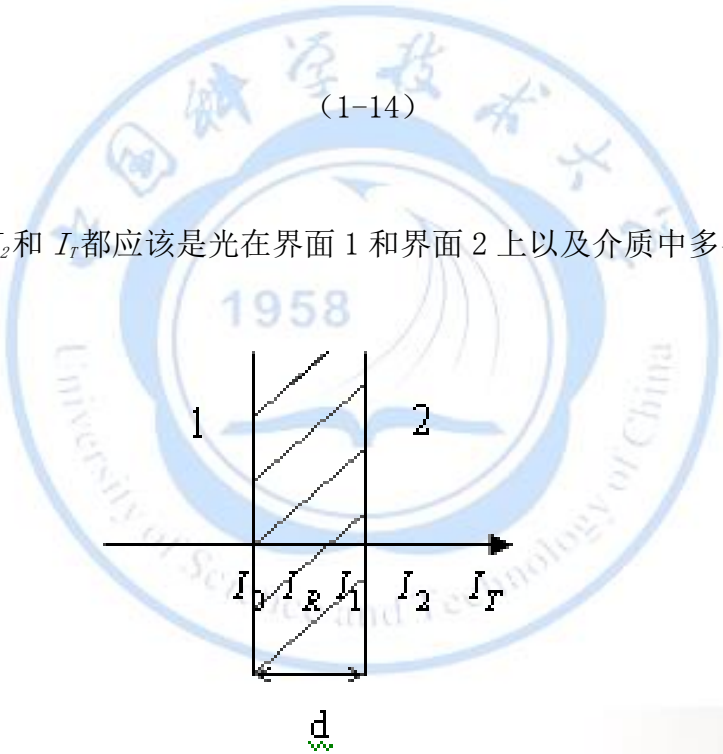


图 7 一束光入射到平板上

通常，介质对光的反射，折射和吸收不但与介质有关，而且与入射光的波长有关。这里为简单起见，对以上及以后的各个与波长有关的量都忽略波长标记，但都应将它们理解为光谱量。光谱透射率 T_i 与波长 λ 的关系曲线称为透射曲线。在介质内部（假定介质内部无散射），光谱透射 T_i 与介质厚度 d 有如下关系：

$$T_i = e^{-\alpha d} \tag{1-15}$$

式中， α 称为介质的线性吸收系数，一般也称为吸收系数。吸收系数不仅与介质有关，而且与入射光的波长有关。吸收系数 α 与波长 λ 的关系曲线称为吸收曲线。

设光在单一界面上的反射率为 R ，则透射光的光强为

$$\begin{aligned}
I_T &= I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + I_{T4} + \dots \\
&= I_0(1-R)^2 e^{-\alpha d} + I_0(1-R)^2 R^2 e^{-3\alpha d} + I_0(1-R)^2 R^4 e^{-5\alpha d} + I_0(1-R)^2 R^6 e^{-7\alpha d} + \dots \\
&= I_0(1-R)^2 e^{-\alpha d} (1 + R^2 e^{-2\alpha d} + R^4 e^{-4\alpha d} + R^6 e^{-6\alpha d} + \dots) \\
&= \frac{I_0(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}}
\end{aligned} \tag{1-16}$$

式中, I_{T1} , I_{T2} , \dots 分别表示光从界面 2 第一次透射, 第二次透射, \dots 的光的光强。

$$\text{所以 } T = \frac{I_T}{I_0} = \frac{(1-R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \tag{1-17}$$

通常, 介质的光谱透射率 T_i 和吸收系数 α 是通过测量同一材料加工成的 (对于同一波长 α 相同), 表面性质相同 (R 相同) 但厚度不同的两块试样的光谱外透射率后计算得到的。设两块试样的厚度分别为 d_1 和 d_2 , $d_2 > d_1$, 光谱外透射率分别为 T_1 和 T_2 。由 (1-17) 式可得

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{e^{-\alpha d_2} (1 - R^2 e^{-2\alpha d_1})}{e^{-\alpha d_1} (1 - R^2 e^{-2\alpha d_2})} \tag{1-18}$$

一般 R 和 α 都很小, 故上式可近似为

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{-\alpha(d_2 - d_1)} \tag{1-19}$$

$$\text{所以 } \alpha = \frac{\ln T_1 - \ln T_2}{d_2 - d_1} \tag{1-20}$$

$$\text{比较 (1-19) 式和 (1-15) 式可知厚度为时的光谱透射率为: } T_i = \frac{T_2}{T_1} \tag{1-21}$$

在合适的条件下, 单色仪测量输出的数值与照射到它上的光的强度成正比。所以读出测量的强度就可由下式计算光谱透射率和吸收系数:

$$T_i = \frac{I_2}{I_1} \tag{1-22}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{I_1}{I_2}}{d_2 - d_1} \quad (1-23)$$

式中， I_2 和 I_1 分别表示试样厚度分别为 d_1 和 d_2 时单色仪测量的强度值。

实验仪器：

光栅光谱仪(单色仪)是一个光谱分析研究的通用设备，其元件主要包括：光栅及反射镜，准光镜和物镜，入射出射狭缝旋钮，信号接收设备(光电倍增管/CCD)，计算机及软件系统，图 8 给出了典型光栅单色仪的结构图。光栅光谱仪(单色仪)可以研究诸如氢氘光谱，钠光谱等元素光谱(使用元素灯作为光源)，也可以作为更为复杂的光谱仪器的后端分析设备，比如激光喇曼/荧光光谱仪。光栅由计算机软件控制步进电机驱动，可以获得较高的精度。

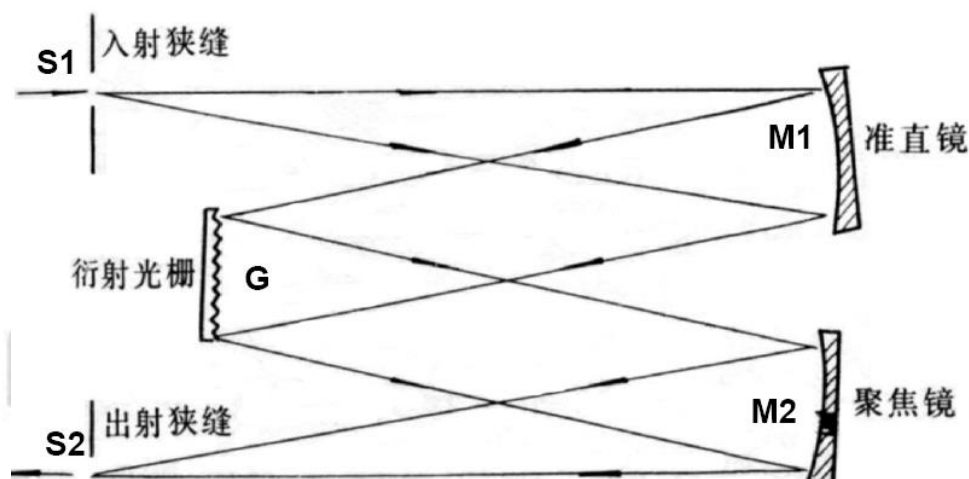


图 8 光栅单色仪的结构和原理

从图 8 可知，光源或照明系统发出的光束均匀地照亮在入射狭缝 S1 上，S1 位于离轴抛物镜的焦平面上，光通过 M1 变成平行光照射到光栅上，再经过光栅衍射返回到 M1，经过 M2 会聚到出射狭缝 S2，由于光栅的分光作用，从 S2 出射的光为单色光。当光栅转动时，从 S2 出射的光由短波到长波依次出现。如果 S2 出射狭缝位置连接信号接收设备(光电倍增管/CCD)，则可对出射光谱进行数据采集分析(部分内容请参考《大学物理实验》第二册中的“单色仪的使用和调整”)。

本实验使用的仪器：WDS-8 型组合式多功能光栅光谱仪，具体参数：焦距 $f=500$ mm. 光栅条数：1200 gr/mm。狭缝宽度在 0-2 mm 连续可调，示值精度 0.01 mm。光电倍增管的测量范围：200-800 nm；CCD 的测量范围：300-900 nm。

实验内容与步骤

(1) 光栅单色仪的定标

单色仪的定标指的是借助于波长已知的线光谱光源来对单色仪测量的波长进行标定，校正在使用过程中产生的波长位置误差，来保证测量的波长位置的准确性。

定标用光源：氩氦激光器（632.8 nm）

低压钠灯（589.0 nm 和 589.6 nm）

要求设计和调整光路把光导入入射狭缝，测量时须找出合适的负高压值，并利用采集程序设定合理的测量范围获取双光谱线（钠灯）完全分离开的光谱曲线。并记录负高压值和保存光谱曲线。

(2) 测量低压钠灯的光谱

钠原子光谱一般可观察到四个线系：主线系、第一辅线系（又称漫线系）、第二辅线系（又称锐线系）和柏格曼线系（又称基线系）。由同一谱线的波数差即可得到钠的里德伯常数。（该单色仪可测得谱线的精细结构，对精细结构处理后即可得到谱线波数）。在仪器调整较好的情况下可测得主线系的 589.0 nm 和 589.6 nm，锐线系的 616.0 nm 和 615.4 nm 以及漫线系的两对谱线 568.3 nm 和 568.86 nm，497.78 nm 和 498.2 nm。在实验报告处理时可利用所学原子物理的知识计算求出钠的里德伯常数 R 。

(3) 红宝石晶体的发射和吸收光谱的测量

光源：半导体激光器（532 nm），溴钨灯（360-2500 nm）

红宝石是掺有少量 Cr 的 Al_2O_3 单晶，Cr 的外层电子组态为 $3d^5 4s^1$ ，掺入 Al_2O_3 晶格后，失去外层三个电子，变成三价的 Cr^{3+} 离子，红宝石晶体的光谱就是 Cr^{3+} 离子在 3d 壳上三个电子发生能级跃迁的反映，人们根据红宝石晶体的吸收光谱和晶体场理论推知 Cr^{3+} 离子参与激光作用的能级结构图如图 9 所示，图中 $^4\text{A}_2$ 是基态， ^2E 能级 (14400 cm^{-1}) 是亚稳态，寿命比较长，约为 3ms， $^4\text{F}_1$ (25000 cm^{-1}) 和 $^4\text{F}_2$ (17000 cm^{-1}) 是两个吸收带，红宝石晶体的激光作用在 ^2E 和 $^4\text{A}_2$ 能级之间产生，输出的波长是 694.3nm，由于 ^2E 能级的电场分裂，在 ^2E 和 $^4\text{A}_2$ 能级之间跃迁对应两条强荧光线 R_1 和 R_2 ， R_1 线的波长是 694.3 nm， R_2 线的波长是 692.8 nm，由于高能级粒子数少于低能级，所以激光输出总是 R_1 线。

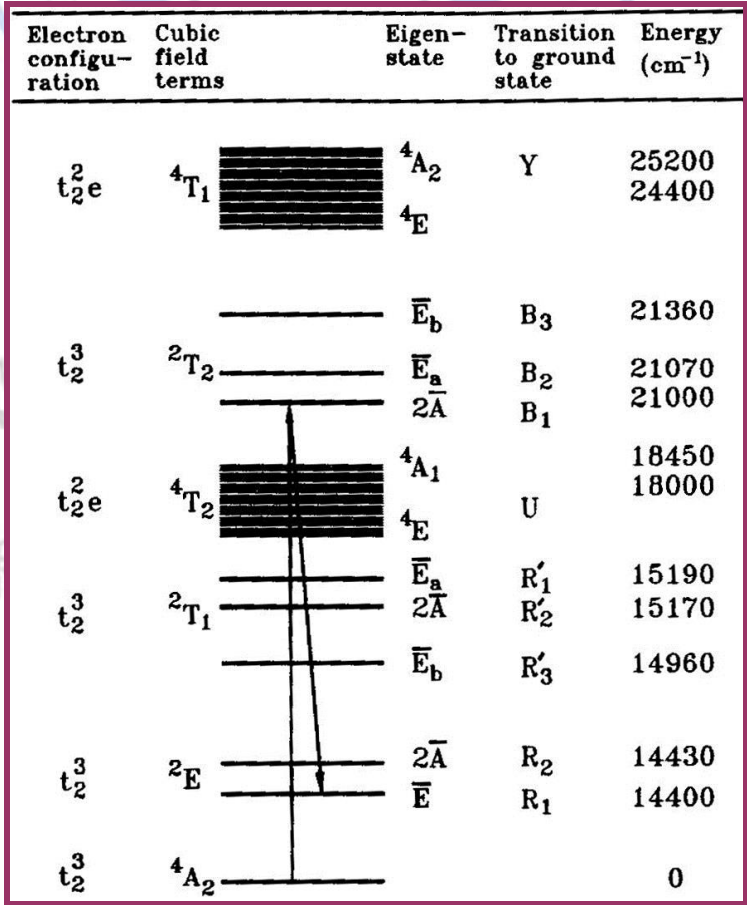


图 9: Cr^{3+} 离子参与激光作用的能级结构

红宝石晶体对不同波长的入射光吸收不同，吸收系数随入射光波长而变化的关

系就是吸收光谱特性。 Cr^{3+} 所吸收中心波长为 410.0 nm 的蓝紫光而跃迁到强吸收带 $^4\text{F}_1$ 态, 也能吸收波长为 550.0 nm 的黄绿光而跃迁到另一强吸收带 $^4\text{F}_2$ 态, 这两个吸收带的带宽都在 100.0 nm 左右, 与氙灯或汞弧灯的光谱匹配较好。

要求自己设计和调整光路, 并选取合理的负高压值, 测量出红宝石的发射光谱和吸收光谱。实验报告中要求分析红宝石晶体的发光原理以及应用。

(4) 滤光片的吸收曲线测量

光源: 溴钨灯 (360–2500 nm)

要求设计和调整光路, 并在光路中插入滤光片, 选取合适的负高压值, 测量其吸收曲线。实验报告中要求分析滤光片的性能和吸光特性。

(5) 罗丹明 6G 溶液的发射和吸收光谱测量

光源: 溴钨灯 (360–2500 nm), 半导体激光器 (532 nm)

实验使用的激光染料晶体罗丹明 6G 的水溶液和乙醇溶液 ($5 \times 10^{-3} \text{M}$), 采用比色皿作为样品池。

要求设计和调整光路, 并在光路中插入样品池, 选取合适的负高压值, 测量其吸收曲线。实验报告中要求分析滤光片的性能和吸光特性。

(6) LED 灯的光谱测量

光源: LED 灯

要求设计和调整光路, 采用透镜聚焦方法, 选取合适的负高压值, 测量其光谱曲线。实验报告中要求分析 LED 灯的发光的工作原理和应用。

思考题:

1. 如何求出入射狭缝的最佳宽度?
2. 单色仪的理论分辨本领如何计算? 怎样测量单色仪的实际分辨本领?

-
3. 比较单色仪的理论分辨本领和实际分辨本领，说明两者差别大的原因。
 4. 解释光电倍增管的工作原理，为什么随着副高压的绝对值越大，采集的灵敏度会显著提高？
 5. 说明溴钨灯、钠灯和汞灯的光谱的区别和道理？



国家级实验教学示范中心

中国科学技术大学物理实验教学中心

中华人民共和国教育部

附录 1：光谱学术语和定义词汇表

absorbance 吸光度	smoothing 平滑	autonulling 自动归零	chromaticity 色度	collimated 准直	baseline drift 基线漂移	baseline noise 基线噪声	baseline offset 基线回归	blaze wavelength 闪耀波长
cosine corrector 余弦校正器	Counts 计数	dark current 暗电流	dark noise 暗噪声	dark spectrum 暗光谱	diffraction grating 衍射光栅	Diffuse 色散	dynamic range 动态范围	electric dark correction 电子暗噪声校正
electronic noise 电子噪声	fixed pattern noise 固定图形噪声	fluorescence 荧光	fluorophore coating 荧光涂层	f-number 相对孔径	full width at half maximum 半峰宽	integration time 积分时间	irradiance calibration 绝对辐射校准	Noise 噪声
numerical aperture 数值孔径	optical resolution 光学分辨率	order sorting filters 消高阶衍射滤光片	PAR 光合有效辐射	photon noise 光子噪声	pixel well depth 像元阱深	quantum efficiency 量子效率	radiometry 辐射测量	Raman 拉曼光谱
sensitivity 灵敏度	shot noise 散粒噪声	signal to noise ratio 信噪比	Slit 狭缝	spectral sensor 光谱传感器	stray light 杂散光		triggering 触发	ultraviolet coating 紫外涂层

吸光度（Absorbance）

吸光度（absorbance）：是指光线通过溶液或某一物质前的入射光强度与该光线通过溶液或物质后的透射光强度比值的以 10 为底的对数（即 $1g(I_0/I_1)$ ），其中 I_0 为入射光强， I_1 为透射光强，影响它的因素有溶剂、浓度、温度等等。

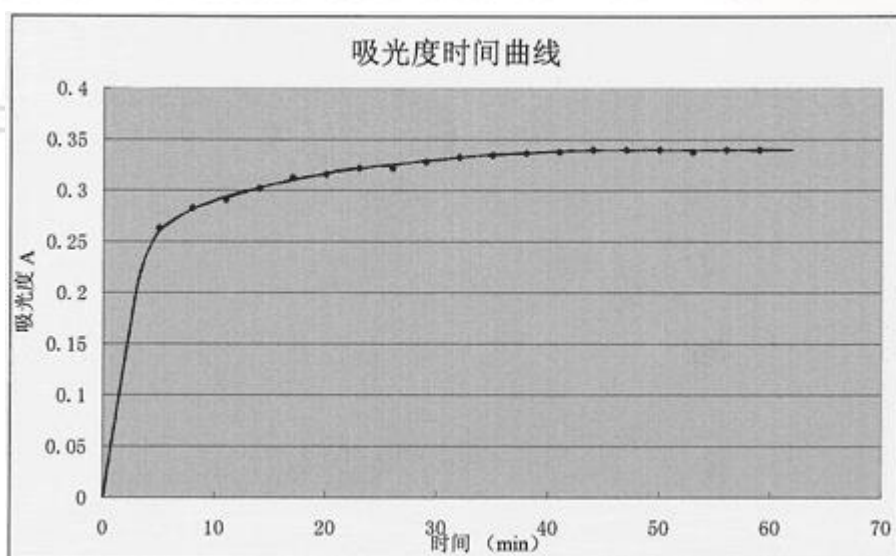
吸光系数与入射光的波长以及被光通过的物质有关，只要光的波长被固定下来，同一种物质，吸光系数就不变。当一束光通过一个吸光物质（通常为溶液）时，溶质吸收了光能，光的强度减弱。吸光度就是用来衡量光被吸收程度的一个物理量。

吸光度用 A 表示。

$A=abc$ ，其中 a 吸光系数，单位 $L/(g \cdot cm)$ ， b 为光在样本中经过的距离（通常为比色皿的厚度），单位 cm ， c 为溶液浓度，单位 g/L

$$A=Ec l$$

影响吸光度的因数是 b 和 c 。 a 是与溶质有关的一个常量。此外，温度通过影响 c ，而影响 A 。符号 A ，表示物质对光的吸收程度。 $\lg(I_0/I_t)$ 式中 I_0 是通过均匀的液体介质的一束平行光的入射光的强度； I_t 是透射光强度； T 是透射比。 A 值越大，表示物质对光的吸收越大。根据比尔定律，吸光度与吸光物质的量浓度 c 成正比，以 A 对 c 作图，可得到光度分析的校准曲线。在多组分体系中，如果各组分的吸光质点彼此不发生作用，那么吸光度便等于各组分吸光度之和，这一规律称吸光度的加和性。据此可以进行多组分同时测定及某些化学反应平衡常数的测定。在吸光度测定中，为抵消吸收池对入射光的吸收、反射以及溶剂、试剂等对入射光的吸收、散射等因素，可选用双光束分光光度计，并选光学性质相同、厚度相等的吸收池分别盛待测溶液和参比溶液。

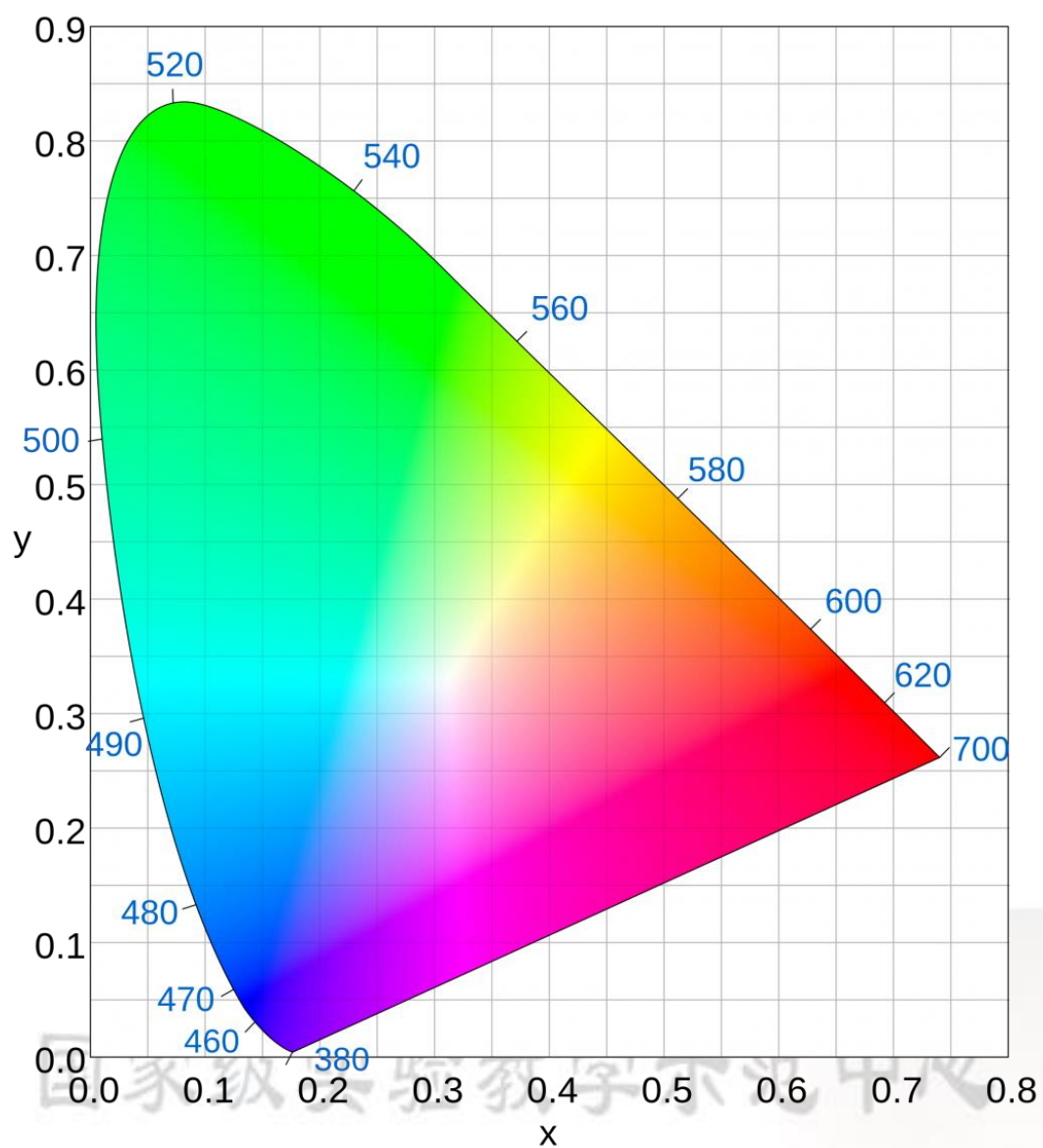


色度 (Chromaticity)

光谱仪可以测量样品的色度或颜色。色度是一个光度参数（匹配人眼的响应），通常用 CIE 标准坐标表示。人眼中有锥体细胞，它充当一个红，绿，蓝颜色传感器，你“看”到的每种颜色都是这些细胞综合响应的结果。同样的，光谱仪通过接收这些传感器（根据它的光谱输出）的光度响应来计算样品的颜色，使其最匹配我们所看到的颜色。光谱仪还可以进一步操作，通过量化所看到的样品的颜色，进而计算出以下参数：

- 相关色温 (CCT) —— 当绝对黑体发射出光与样品颜色一致时，黑体的温度。与传统意义上的“冷光源、热光源”不同，光源如果发蓝光可以被表述为冷光源，如果偏红光可以被表述为暖光源，然而黑体从红光到黄光到白光到绿光变化时，温度却逐渐升高。一个有很高相关色温的蓝光 LED 看起来比一个有很低色温的红光 LED 更“冷”。
- 色彩饱和度——这是测量样品的颜色有多丰富。越白的样品，越接近色度图的中间，越比接近色度图边缘的样品有更少的“色彩饱和度”。这于饱和度不同。
- 主波长——在这个波长下，可以用一条直线从 CIE 颜色图表中的白色“中心点”穿过 CIE 样品坐标，打在 CIE 图表边缘上。主波长不一定是光谱最高峰的波长。

色度通常由下面的图表来说明，它包含了人眼能够感知的每一种色调。在图像的边缘（从底角顺时针移动），可见光波长依次增大。每一种可以看到的颜色都可以通过图像边缘的波长的颜色叠加而成。样品通常会给出 CIE 的 xyz 坐标（通过 x-y 图可以看出），尽管经常用 $L^*a^*b^*$ 图。



样品的感知颜色将随着入射光的变化而变化，因此在进行颜色反射率测量时，表述出你用来照射你的样品的光的信息是很重要的。