

Ariel Xiong

浙江工商大学萨塞克斯人工智能学院

ArielHeleneto@outlook.com

2025 年 9 月 24 日

目录 I

- 1 光学频谱
 - 光
 - 光学频谱

- 2 色彩空间
 - 颜色
 - 理想色彩空间
 - 色彩空间设计

光学频谱分析和色彩空间管理初步

2025-09-24

目录

目录 I

- 光学频谱
 - 光
 - 光学频谱
- 色彩空间
 - 颜色
 - 理想色彩空间
 - 色彩空间设计

光的定义

定义 (光)

光通常指的是人类眼睛可以感受到的电磁波（可见光），视觉就是对于可见光的知觉。可见光只是电磁波谱上的某一段频谱，一般是定义为波长介于400至700纳米（nm）之间的电磁波，即波长比紫外线长，比红外线短的电磁波。

光的来源 I

在光的产生过程中，因为跃迁能级的不同，释放出不同频率的光子（爱因斯坦能量方程）。而不同频率的光会有着不同的颜色。

金属元素	锂	钠	钾 ¹	铷	钙	锶	钡	铜
焰色	紫红色	黄色	紫色	紫色	砖红色	洋红色	黄绿色	绿色

表: 焰色表²

Ariel Xiong
光学频谱分析和色彩空间管理初步

2025-09-24

光学频谱分析和色彩空间管理初步

- 光学频谱
 - 光
 - 光的来源

浙江工商大学

光的来源 I

在光的产生过程中，因为跃迁能级的不同，释放出不同频率的光子（爱因斯坦能量方程）。而不同频率的光会有着不同的颜色。

金属元素	锂	钠	钾 ¹	铷	钙	锶	钡	铜
焰色	紫红色	黄色	紫色	紫色	砖红色	洋红色	黄绿色	绿色

表: 焰色表²

光的来源 II

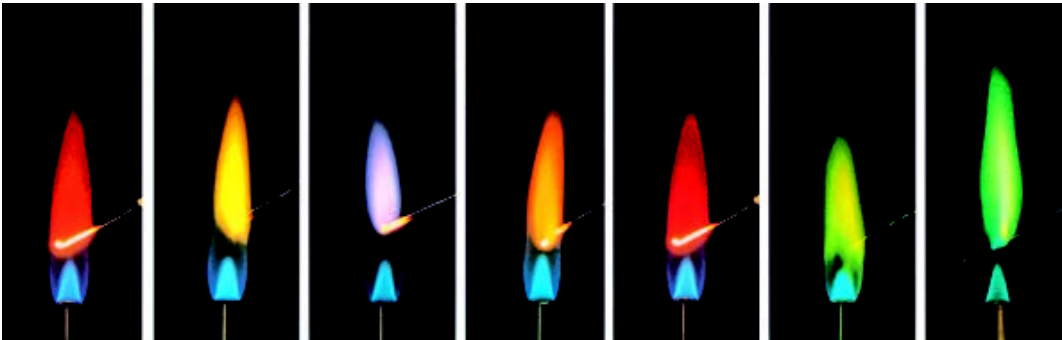


图: 金属的焰色试验³

¹透过蓝色钴玻璃观察

²参阅普通高中教科书化学必修第一册第42页表一些金属元素的焰色

³参阅普通高中教科书化学必修第一册第42页图2-9

Ariel Xiong

光学频谱分析和色彩空间管理初步

浙江工商大学

光学频谱分析和色彩空间管理初步

— 光学频谱

— 光

— 光的来源

2025-09-24

光的来源 II



“光”的频谱分析
“光”的频谱分析
“光”的频谱分析
“光”的频谱分析
“光”的频谱分析
“光”的频谱分析
“光”的频谱分析

激光

定义 (激光)

激光指透过刺激原子导致电子跃迁释放辐射能量而产生的具有同调性的增强光子束。

处于最低能量状态的原子叫做基态原子。基态原子吸收能量，它的电子会跃迁到较高能级，变为激发态原子。电子从较高能量的激发态跃迁到较低能量的激发态乃至基态时，将释放能量。光（辐射）是电子跃迁释放能量的重要形式。⁴

⁴普通高中教科书化学选择性必修2物质结构与性质第7页

光学频谱分析和色彩空间管理初步

光学频谱

光

激光

2025-09-24

激光

定义 (激光)

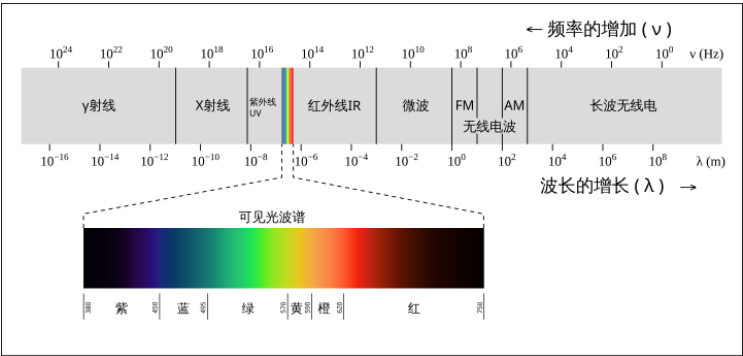
激光是指通过刺激原子导致电子跃迁释放辐射能量而产生的具有同调性的增强光子束。
处于最低能量状态的原子叫做基态原子。基态原子吸收能量，它的电子会跃迁到较高能级，变为激发态原子。电子从较高能量的激发态跃迁到较低能量的激发态乃至基态时，将释放能量。光（辐射）是电子跃迁释放能量的重要形式。⁴

⁴普通高中教科书化学选择性必修2物质结构与性质第7页

电磁波谱 I

可见光谱只占有宽广的电磁波谱的一小部分。此处定义光包含两侧看不到的部分。

电磁波谱 II



图：可见光谱

光学频谱分析和色彩空间管理初步

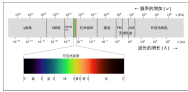
光学频谱

光学频谱

电磁波谱

2025-09-24

电磁波谱 II



光学频谱 I

定义 (光谱)

光谱指复色光通过色散系统（如棱镜、光栅）分光后，依光的波长（或频率）的大小顺次排列形成的图案。

发射光谱有的物体能自行发光，由它直接产生的光形成的光谱叫做发射光谱。发射光谱可分为三种不同类别的光谱：线状光谱、带状光谱和连续光谱。

吸收光谱在连续光谱中某些波长的光被物质吸收后产生的光谱被称作吸收光谱。

散射光谱当光照射到物质上时,会发生非弹性散射,在散射光中除有与激发光波长相同的弹性成分(瑞利散射)外,还有比激发光波长长的和短的成分,后一现象统称为拉曼效应。这种产生新波长的光的散射被称为拉曼散射,所产生的光谱被称为拉曼光谱或拉曼散射光谱。

光学频谱 II

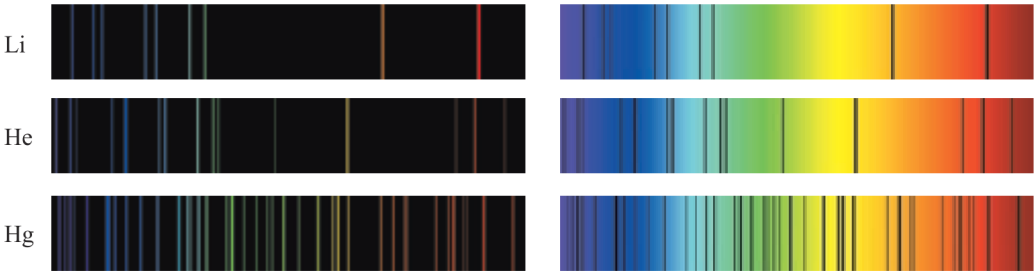


图: Li、He、Hg的发射光谱（左）和吸收光谱（右）

光学频谱分析和色彩空间管理初步

光学频谱

光学频谱

光学频谱

2025-09-24

光学频谱 II

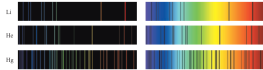


图: Li、He、Hg的发射光谱（左）和吸收光谱（右）

颜色

颜色又称色彩、色泽，是眼、脑和我们的生活经验对光的颜色类别描述的视觉感知特征。这种对颜色的感知来自可见光谱中的电磁辐射对人眼视锥细胞的刺激。颜色是由光反射所产生的，这种反射是由物体的物理性质决定的，如光的吸收、发射光谱等。

单色和混合色

2025-09-24

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

颜色

单色和混合色

大多数光源的光谱不是单色的，它们的光是由不同强度和波长的光混合组成的。人眼将许多这样的混合光的颜色与单色光源的光的颜色看成是同样。比如上面表格中的橙色，实际上就不是单色的600奈米的光，实际上它是由红色和绿色的光混合组成的（显示器无法产生单色的橙色）。出于眼睛的生理原理，我们无法区分这两种光的颜色。

也有许多颜色是不可能是单色的，因为没有这样的单色的颜色。比如说黑色、灰色和白色就是这样的颜色，粉红色或淡紫色也是这样的颜色。

令 $d\lambda_i$ 为某一波波长在 $[\lambda, \lambda + d\lambda]$ 区间的光强, 则单位波长区间的光强是 $I(\lambda) = \frac{d\lambda_i}{d\lambda}$, 称作谱密度。在现代化学中, 常利用原子光谱上的特征谱线来鉴定元素, 称为光谱分析。

色彩匹配实验 I

我们知道不同的色光混合起来会产生其他的颜色，这其实是人眼的一种生理反应。为了了解到底人眼是怎么融合不同颜色色光的，有人设计了一个实验来定量测量到底参入多少红、绿、蓝三原色会让人眼觉得待测色光和三色光混合色感觉完全一样。实验原理如 4 所示。

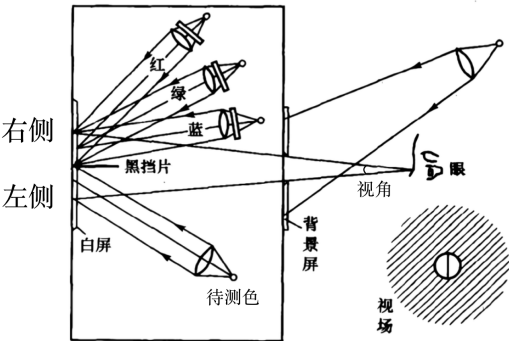


图: 实验原理

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

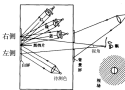
色彩空间设计

色彩匹配实验

2025-09-24

色彩匹配实验 I

我们知道不同的色光混合起来会产生其他的颜色，这其实是人眼的一种生理反应。为了了解到底人眼是怎么融合不同颜色色光的，有人设计了一个实验来定量测量到底参入多少红、绿、蓝三原色会让人眼觉得待测色光和三色光混合色感觉完全一样。实验原理如 4 所示。



实验原理

色彩匹配实验 II

其中 R 为 700 nm，G 为 546.1 nm，B 为 435.8 nm。
实验结果如 5 所示。

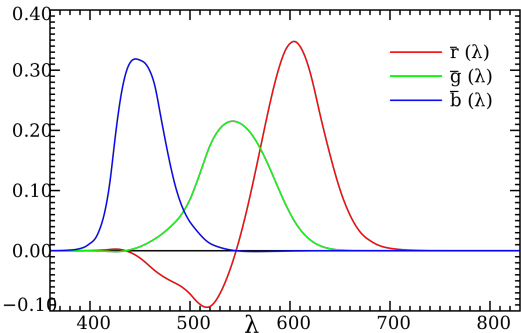


图: 光谱三刺激值曲线图

Ariel Xiong

浙江工商大学

光学频谱分析和色彩空间管理初步

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

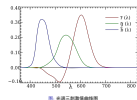
色彩空间设计

色彩匹配实验

2025-09-24

色彩匹配实验 II

其中 R 为 700nm，G 为 546.1nm，B 为 435.8nm。
实验结果如 5 所示。



CIE 1931-rgb 色度系统

根据 5 的结果，使用 $r = \frac{\bar{r}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ ， $g = \frac{\bar{g}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ 作图如 6 所示。
 $rg = (0, 0)$ 于 435.8 nm，通过 $rg = (0, 1)$ 于 546.1 nm，
通过 $rg = (1, 0)$ 于 700 nm。

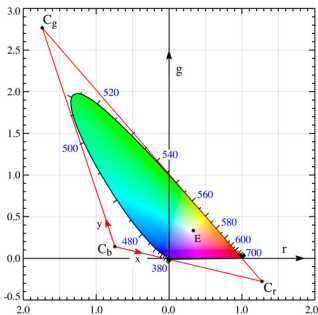


图: CIE rg色度图

Ariel Xiong

光学频谱分析和色彩空间管理初步

浙江工商大学

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

色彩空间设计

CIE 1931-rgb 色度系统

2025-09-24

CIE 1931-rgb 色度系统

根据 5 的结果，使用 $r = \frac{\bar{r}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ ， $g = \frac{\bar{g}}{\bar{r} + \bar{g} + \bar{b}}$ 作图如 6 所示。
 $rg = (0, 0)$ 于 435.8 nm，通过 $rg = (0, 1)$ 于 546.1 nm，
通过 $rg = (1, 0)$ 于 700 nm。



图: CIE rg色度图

CIE 1931 XYZ 色度系统

对 6 作几何变换，得到 7。

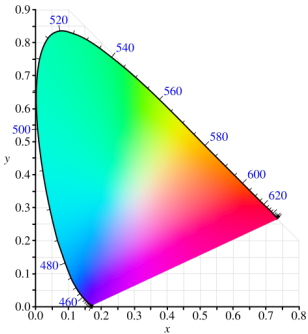


图: CIE xy色度图

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

色彩空间设计

CIE 1931 XYZ 色度系统

2025-09-24

CIE 1931 XYZ 色度系统

对 6 作几何变换，得到 7。



图: CIE xy色度图

光学频谱分析和色彩空间管理初步

一 色彩空间

色彩空间设计

2025-09-24

色彩空间

色彩空间，是对色彩的组织方式。借助色彩空间和针对物理设备的测试，可以得到色彩的固定模拟和数字表示。色彩空间可以只通过任意挑选一些颜色来定义，比如像彩通系统就只是把一组特定的颜色作为样本，然后给每个颜色定义名字和代码；也可以是基于严谨的数学定义，比如 Adobe RGB、sRGB。

样本法： MnO_4^- 紫色、 Cu^{2+} 浅蓝色、 Fe^{2+} 浅绿色、 Fe^{3+} 黄色、 Cr^{2+} 黄色、 Cr^{3+} 绿色、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 橙色、 CrO_4^{2-} 黄色、 $[\text{Fe}(\text{SCN})_x]^{3-x}$ 血红色。

Ariel Xiong

光学频谱分析和色彩空间管理初步

2025-09-24

光学频谱分析和色彩空间管理初步

- 色彩空间
 - 色彩空间设计
 - 色彩空间

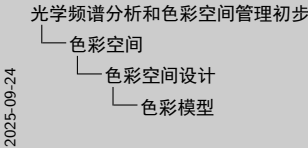
色彩空间

色彩空间，是对色彩的组织方式。借助色彩空间和针对物理设备的测试，可以得到色彩的固定模拟和数字表示。色彩空间可以只通过任意挑选一些颜色来定义，比如像彩通系统就只是把一组特定的颜色作为样本，然后给每个颜色定义名字和代码；也可以是基于严谨的数学定义，比如 Adobe RGB、sRGB。

样本法： MnO_4^- 紫色、 Cu^{2+} 浅蓝色、 Fe^{2+} 浅绿色、 Fe^{3+} 黄色、 Cr^{2+} 黄色、 Cr^{3+} 绿色、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 橙色、 CrO_4^{2-} 黄色、 $[\text{Fe}(\text{SCN})_x]^{3-x}$ 血红色。

色彩模型

色彩模型（英语：Color model）是一种抽象数学模型，通过一组数字来描述颜色（例如RGB使用三元组、CMYK使用四元组）。如果一个色彩模型与绝对色彩空间没有映射关系，那么它多少都是与特定应用要求几乎没有关系的任意色彩系统。

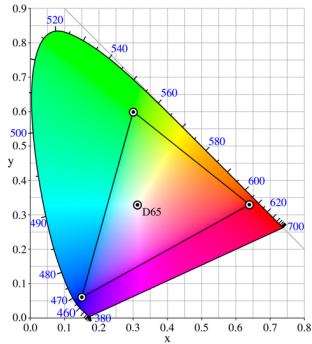


色彩模型

色彩模型（英语：Color model）是一种抽象数学模型，通过一组数字来描述颜色（例如RGB使用三元组、CMYK使用四元组）。如果一个色彩模型与绝对色彩空间没有映射关系，那么它多少都是与特定应用要求几乎没有关系的任意色彩系统。

RGB

RGB采用加法混色法，因为它是描述各种“光”通过何种比例来产生颜色。光线从暗黑开始不断叠加产生颜色。RGB描述的是红绿蓝三色光的数值。RGBA是在RGB上增加阿尔法通道实现透明效果。



图：sRGB 色度图

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

色彩空间设计

RGB

2025-09-24

RGB

RGB采用加法混色法，因为它是描述各种“光”通过何种比例来产生颜色。光线从暗黑开始不断叠加产生颜色。RGB描述的是红绿蓝三色光的数值。RGBA是在RGB上增加阿尔法通道实现透明效果。



图：sRGB 色度图

印刷四分色模式

印刷四分色模式（CMYK color model）是彩色印刷时采用的一种套色模式，利用色料的三原色混色原理，加上黑色油墨，共计四种颜色混合叠加，形成所谓“全彩印刷”。四种标准颜色是：

C：Cyan 青色或“水蓝”

M：Magenta 洋红色或“紫色”

Y：Yellow 黄色

K：Key plate 黑色。

光学频谱分析和色彩空间管理初步

色彩空间

色彩空间设计

印刷四分色模式

2025-09-24

印刷四分色模式

印刷四分色模式 (CMYK color model) 是彩色印刷时采用的一种套色模式，利用色料的三原色混色原理，加上黑色油墨，共计四种颜色混合叠加，形成所谓“全彩印刷”。四种标准颜色是：

C：Cyan 青色或“水蓝”

M：Magenta 洋红色或“紫色”

Y：Yellow 黄色

K：Key plate 黑色。

HSL

HSV（色相、饱和度、明度），是艺术家们常用的，因为与加法减法混色的术语相比，使用色相、饱和度等概念描述色彩更自然直观。

HSL（色相、饱和度、亮度），与HSV非常相似，仅用亮度（Lightness）替代了明度（Brightness）。二者区别在于，一种纯色的明度等于白色的明度，而纯色的亮度等于中度灰的亮度。

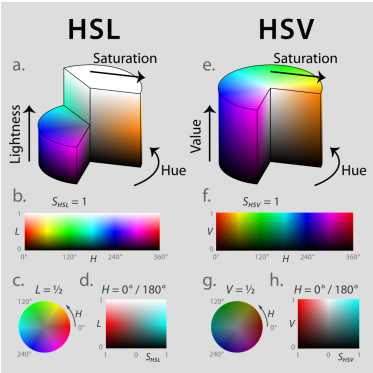


图: HSL 色度图

