



中国科学技术大学

# 第五章 光度学基础

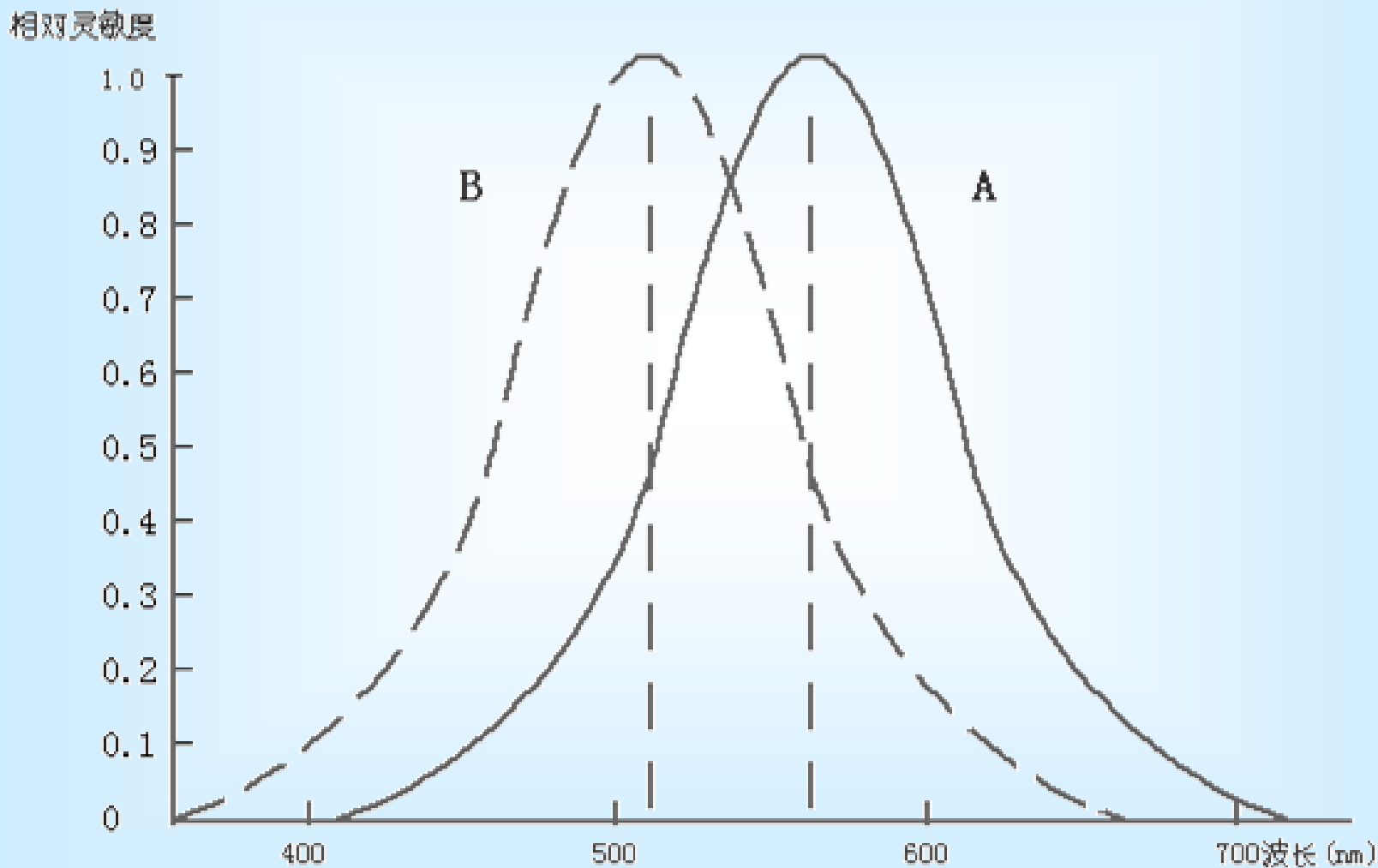
2015/11/6

# § 5.1 辐射量与光学量

# 不同工况下的光照度值

工况	光照度 (lx)
观看仪器的示值	30~50
一般阅读及书写	50~75
精细工作 (如修表)	100~200
摄影场内拍摄电影	1万
照相制版时的原稿	3万~4万
明朗夏日采光良好的室内	100~500
太阳直射时的地面照度	10万
满月在天顶时的地面照度	0.2
无月夜天光在地面产生的照度	$3 \times 10^{-4}$

# 光谱光效率函数曲线



# 光谱光效率函数数值表

颜色	波长	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$	颜色	波长	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$	颜色	波长	$V(\lambda)$	$V'(\lambda)$
紫	380	0.0000	0.0006	绿	500	0.323	0.982	橙	600	0.631	0.0332
	390	0.0001	0.0022		507	--	1.000		610	0.503	0.0159
	400	0.0004	0.0093		510	0.503	0.997		620	0.381	0.0074
	410	0.0012	0.0348		520	0.710	0.935		630	0.265	0.0033
	420	0.0040	0.0966		530	0.862	0.811		640	0.175	0.0015
	430	0.0116	0.1998	黄	540	0.954	0.650		650	0.107	0.0007
蓝	440	0.023	0.3281		550	0.995	0.481	红	660	0.061	0.0003
	450	0.038	0.455		555	1.000	--		670	0.032	0.0001
青	460	0.060	0.567		560	0.995	0.3288		680	0.017	0.00007
	470	0.091	0.676		570	0.952	0.2076		690	0.0082	0.00004
	480	0.139	0.793		580	0.870	0.1212		700	0.0041	0.00002
	490	0.208	0.904	590	0.757	0.0656	710		0.0021	0.00001	
									720	0.0010	0.00000
									730	0.0005	0.00000
									740	0.0002	0.00000
									750	0.0001	0.00000
									760	0.00006	0.00000

# 常用光源的发光效率

光源名称	发光效率 (lm/W)
钨丝灯	10~20
卤素钨灯	约30
荧光灯	30~60
氙灯	40~60
碳弧灯	40~60
钠光灯	约60
高压汞灯	60~70
镝灯	约80

为什么荧光灯  
比白炽灯省电?

# § 5.2 光传播过程中光学量的变化规律

# 光照度变化

- 点光源对接收面

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta$$

- 面光源对接收面

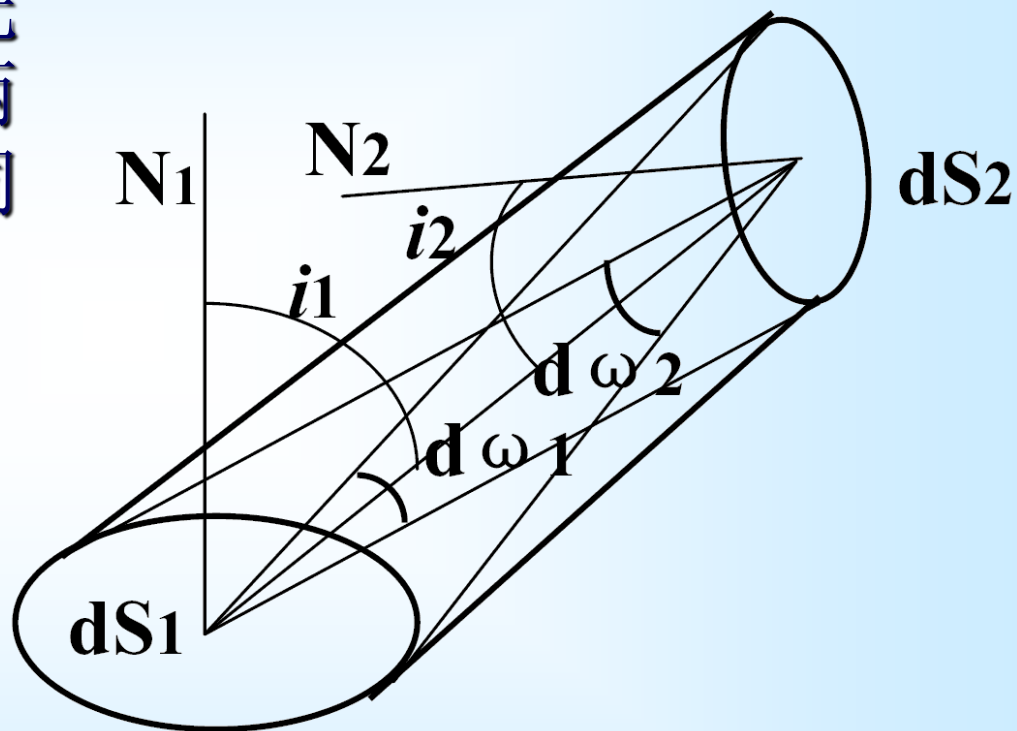
$$E = \frac{d\Phi}{dA} = \frac{L \cdot dA_s \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{r^2}$$



# 光亮度变化(I)

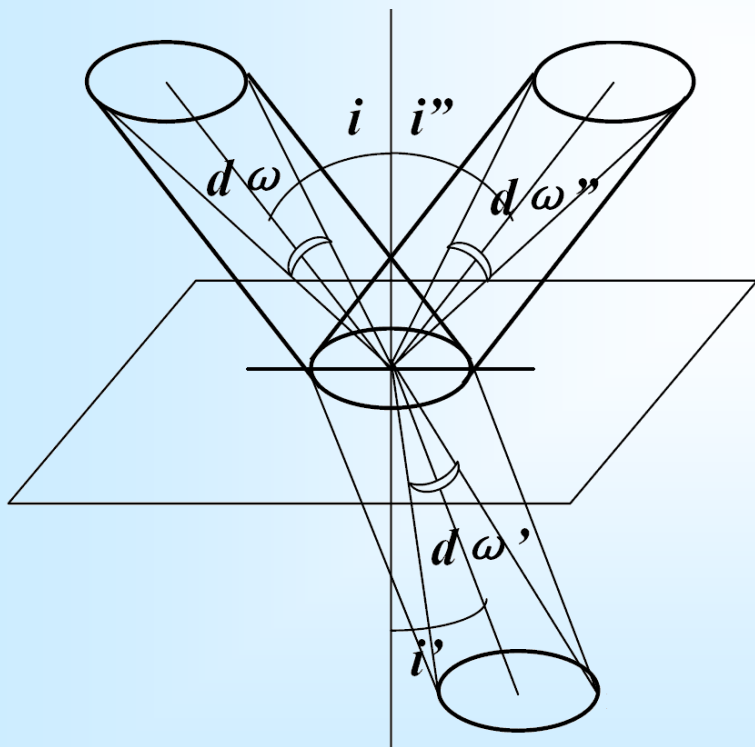
- 单一介质元光管内光亮度传递——任意两小截面上光亮度相同

$$L_1 = L_2$$



# 光亮度变化(II)

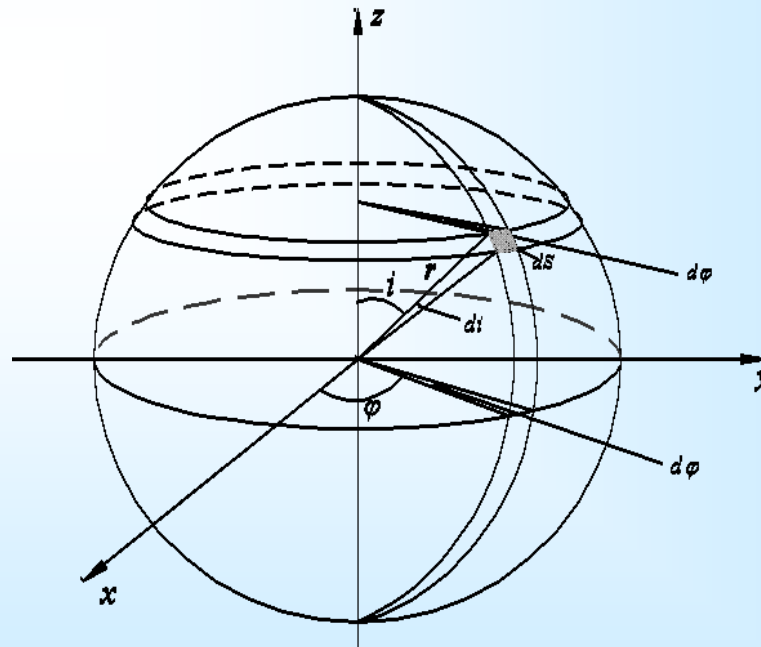
- 光束经过界面反射和折射的亮度



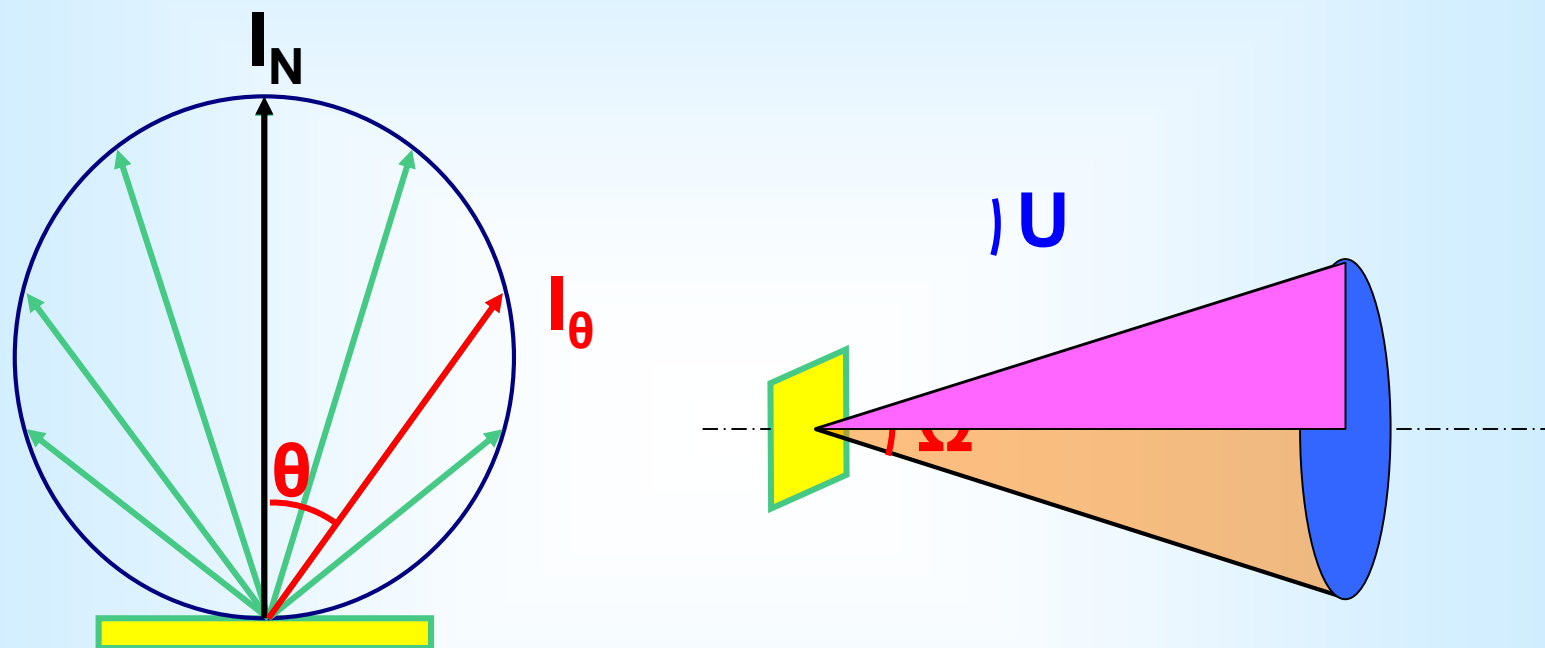
$$\text{反射 } L_1 = \rho \cdot L$$

$$\text{折射 } L' = (1 - \rho) \frac{n'^2}{n^2} L$$

$$\rho \text{ 很小 } \Rightarrow \frac{L'}{n'^2} = \frac{L}{n^2}$$



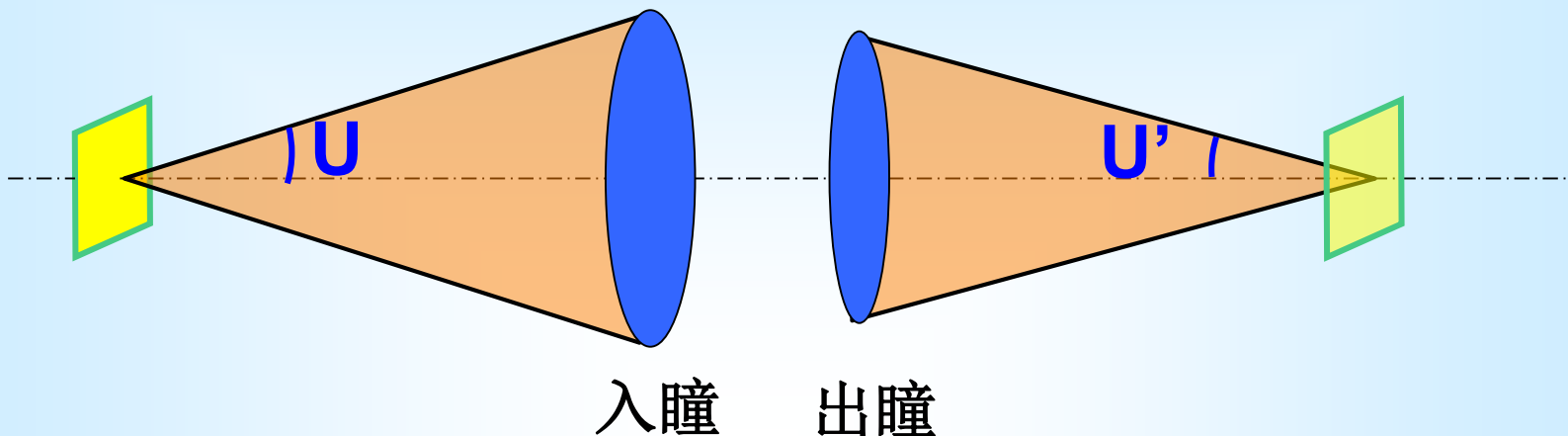
# 余弦辐射体



$$I_\theta = I_N \cdot \cos \theta$$

## § 5.3 像面光照度

# 轴上像点的光照度

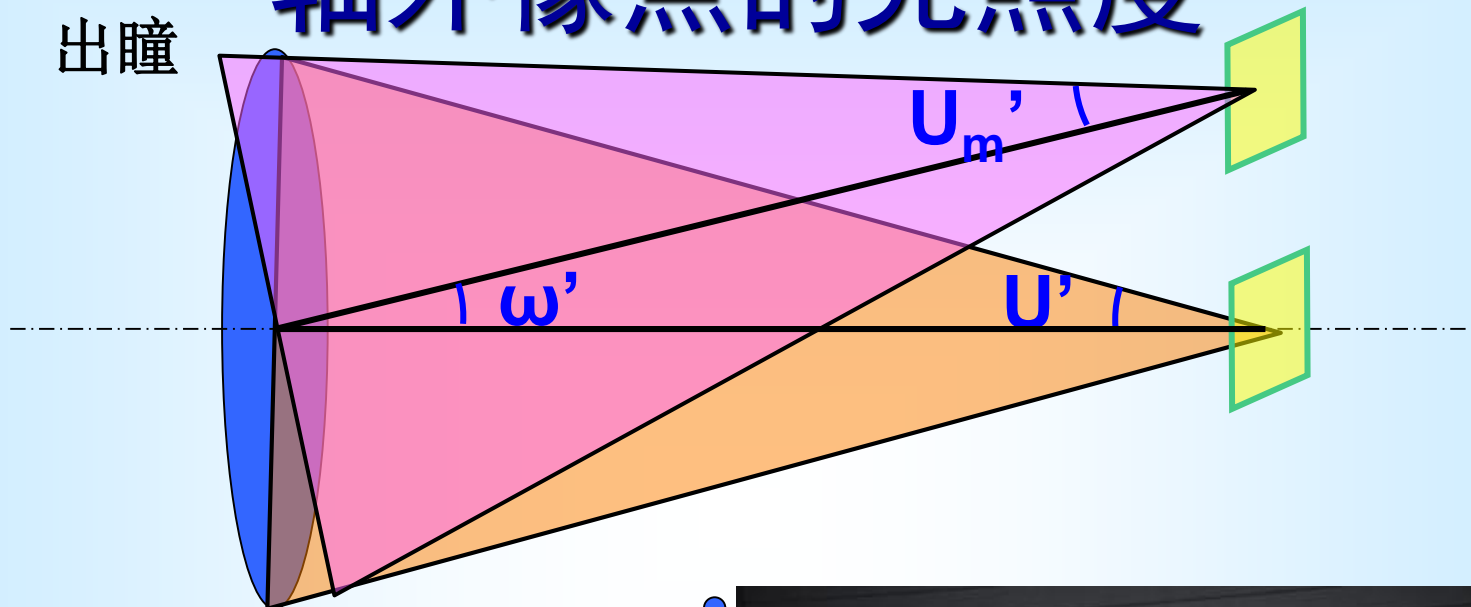


$$E' = \frac{1}{\beta^2} \pi \tau L \sin^2 U \quad \left\{ \begin{array}{l} E' \propto \sin^2 U \\ E' \propto \frac{1}{\beta^2} \end{array} \right.$$

高倍显微物镜孔径宜大还是宜小？

# 轴外像点的光照度

出瞳

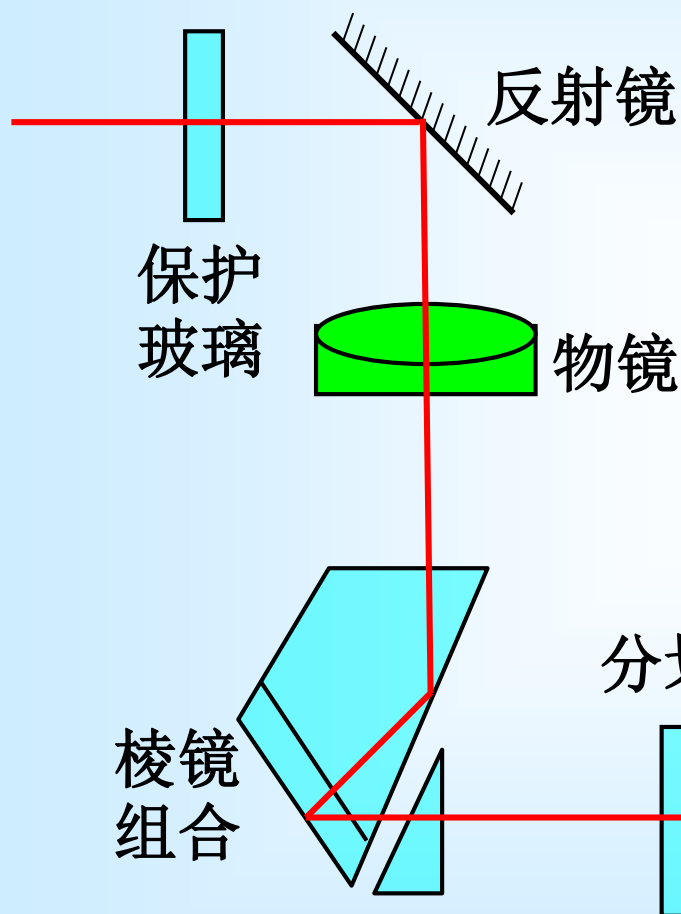


为何短焦镜头  
拍的照片常可  
看出边缘较暗?



# § 5.4 光学系统中的能量损失

# 例题——光学瞄准系统的能量损失



空气和折射率为1.5的玻璃（蓝色）的透射界面反射损失系数为0.04

空气和折射率为1.65的玻璃（绿色）的透射界面反射损失系数为0.06

反射镜面反射率为0.85

所有玻璃内部吸收系数为0.01，总厚度80mm

不计胶合面和内反射面的损失

$\tau=39\%$ （无增透膜）

$\tau=68\%$ （有增透膜）

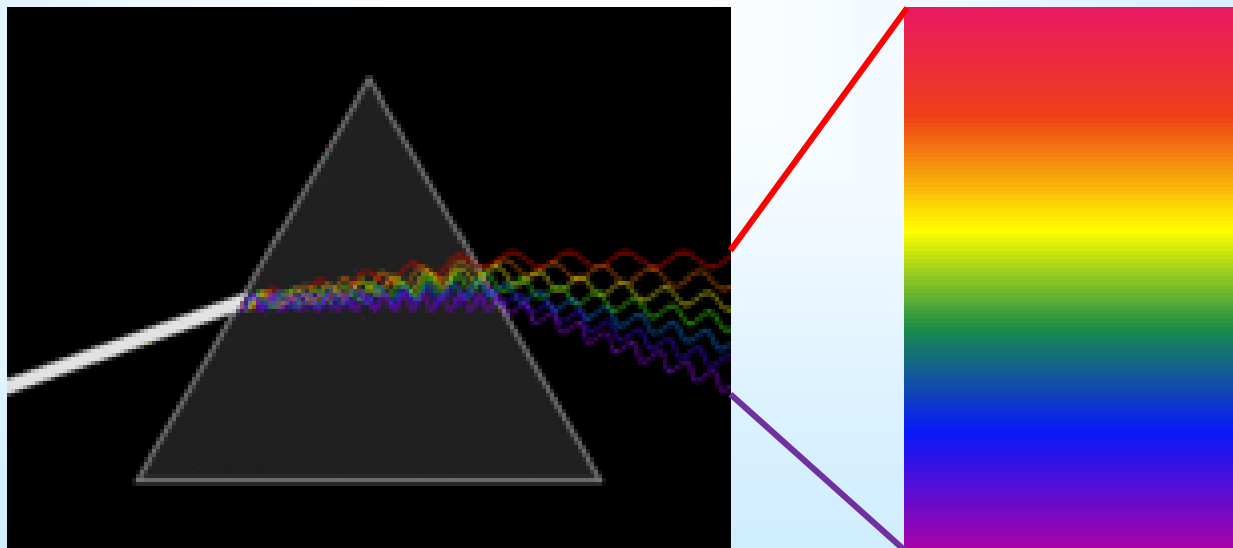


# § 5.5 颜色概述

# I. 颜色的基本知识

# 光与颜色

- 1666年，牛顿用三棱镜分解太阳光，发现看似无色的光线，经过三棱镜时，会根据波长和折射关系，依次为红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种色光



# 光与颜色

光的物理性质：

- 波长：

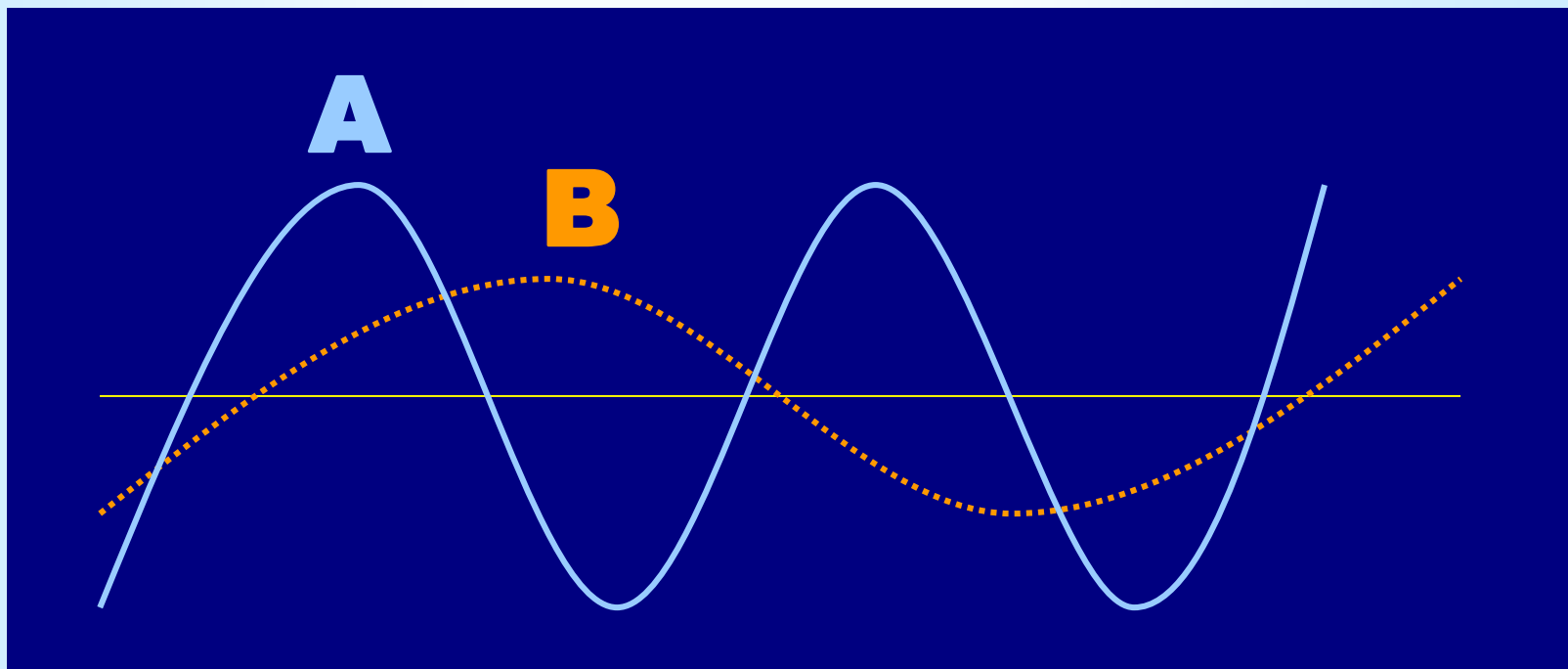
- 产生色调的区别
- 波长短的偏蓝，波长长的偏红

- 振幅：

- 产生明暗的区别
- 振幅大的偏亮，振幅小的偏暗

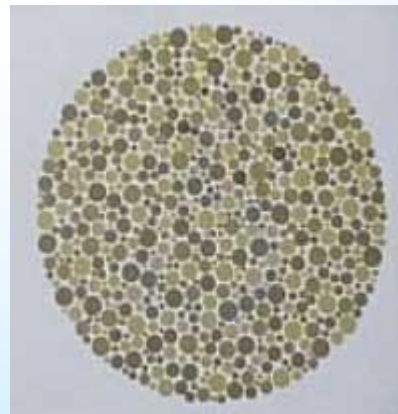
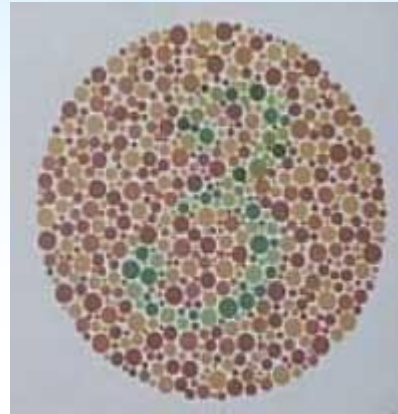
# 光与颜色

思考：哪一个偏蓝？哪一个较亮？



# 光与颜色

- 人类的视觉机能：
  - 杆状细胞：  
对光线的明暗有感应
  - 锥状细胞：  
含有感受红、绿、蓝光三原色的细胞  
(色盲?)

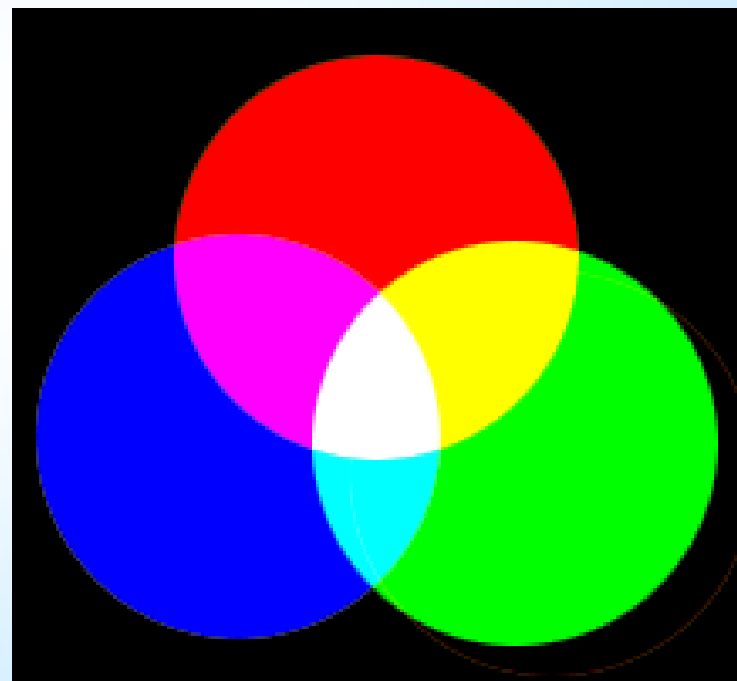


# 颜色种类

- 按表现分：
  - 非彩色
  - 彩色
- 按形成机制分：
  - 光源色：自发光形成的颜色
  - 物体色：本身不发光，凭借其他光源照明，通过反射或透射形成的颜色
  - 荧光色：物体受光照射激发的荧光与反射或透射光共同形成的颜色

# 颜色的混合——色光混合

- 光线三原色 RGB
  - 红 Red
  - 绿 Green
  - 蓝 Blue
- 加混色（色光混合）
  - 越加越亮（白）





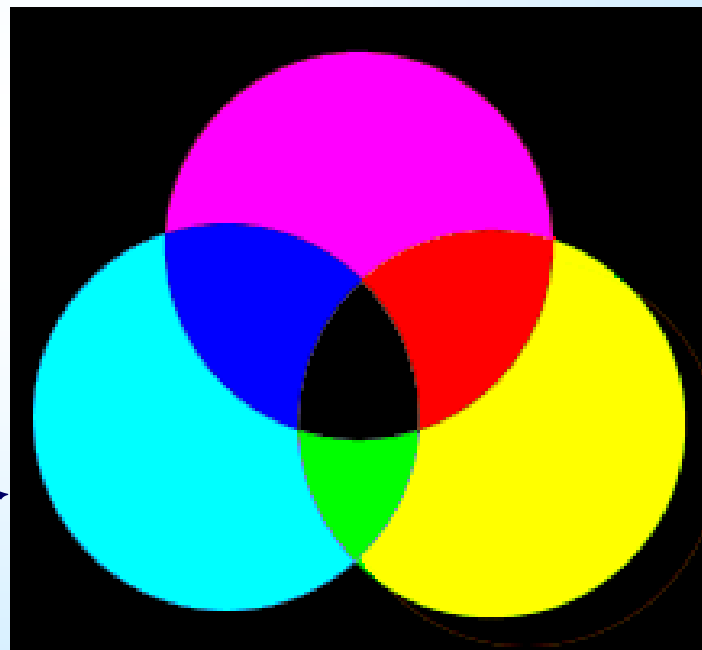
# 颜色的混合——色料混合

- 颜料三原色（印刷工业色 CMYK）

- 青 Cyan
- 洋红 Magenta
- 黄 Yellow
- 黑 Black

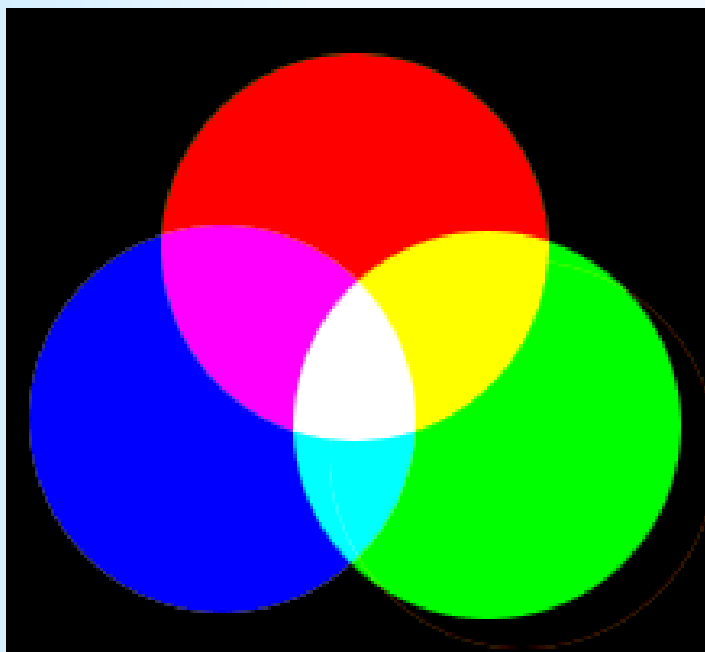
- 减混色（色料混合）

- 越加越暗（黑）

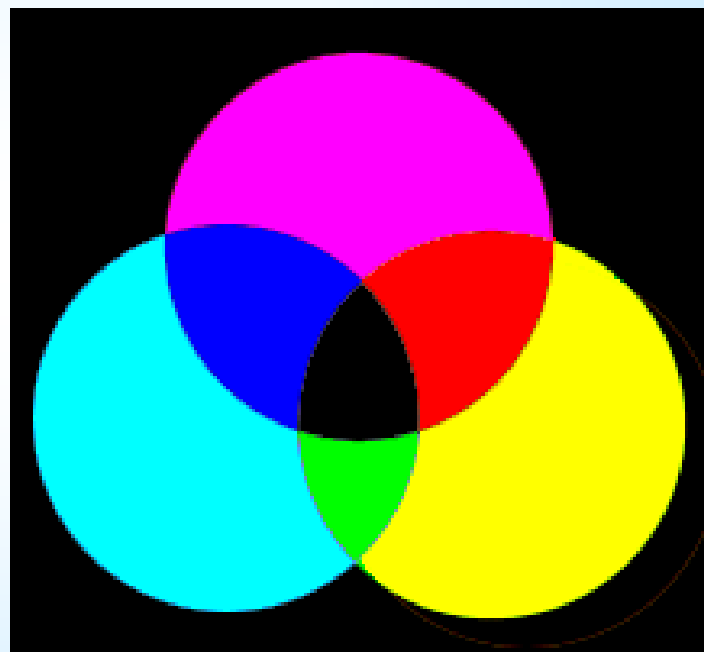


# 加混色与减混色对比

RGB



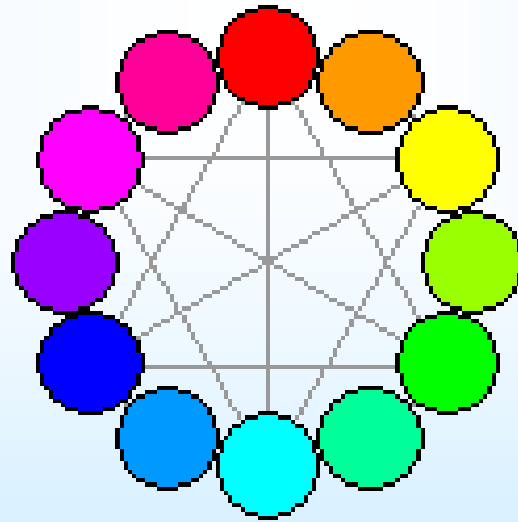
CMYK



注：互为补色

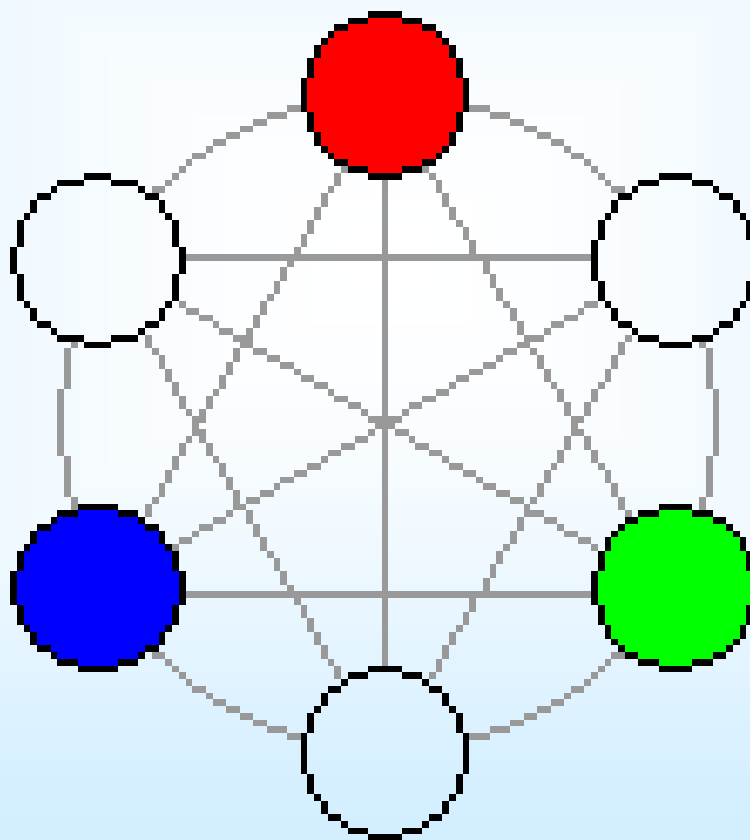
# 色环

- 色环实质上就是在彩色光谱中所见的长条形的色彩序列，只是将首尾连接在一起，使红色连接到另一端的紫色。

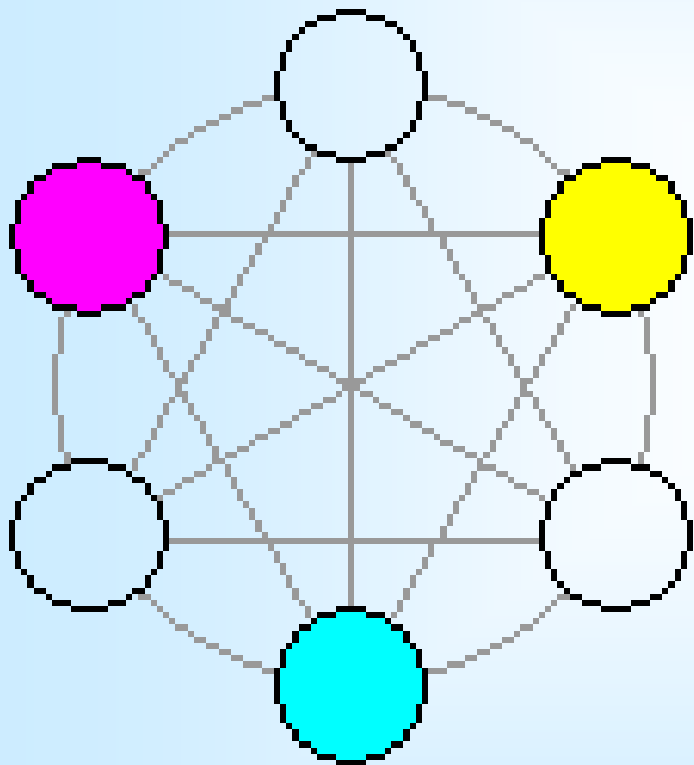


# 建立色环——基色

- 基色为红、绿、蓝。

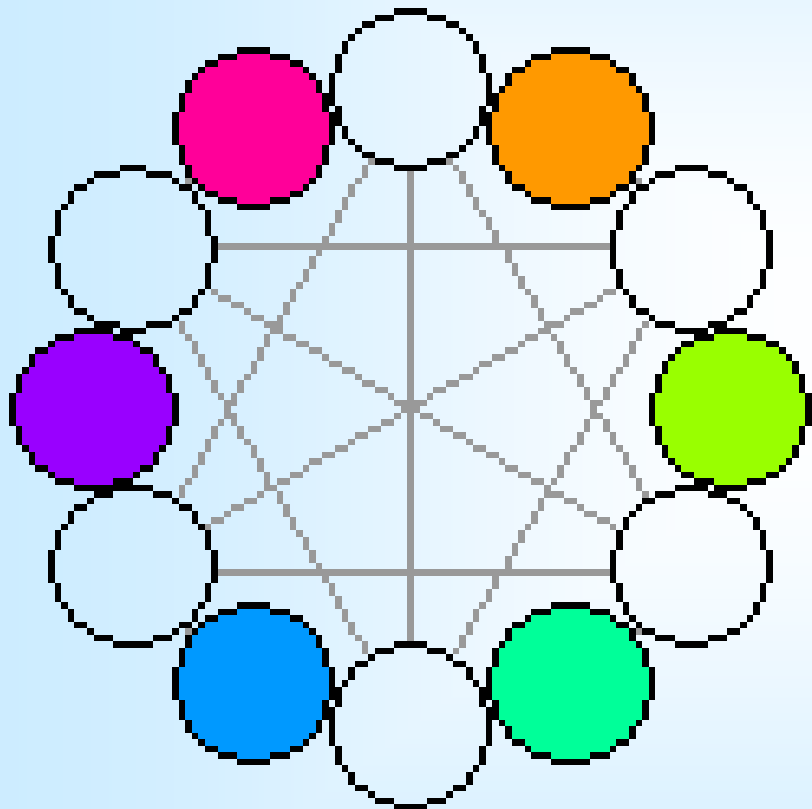


# 建立色环——生成色



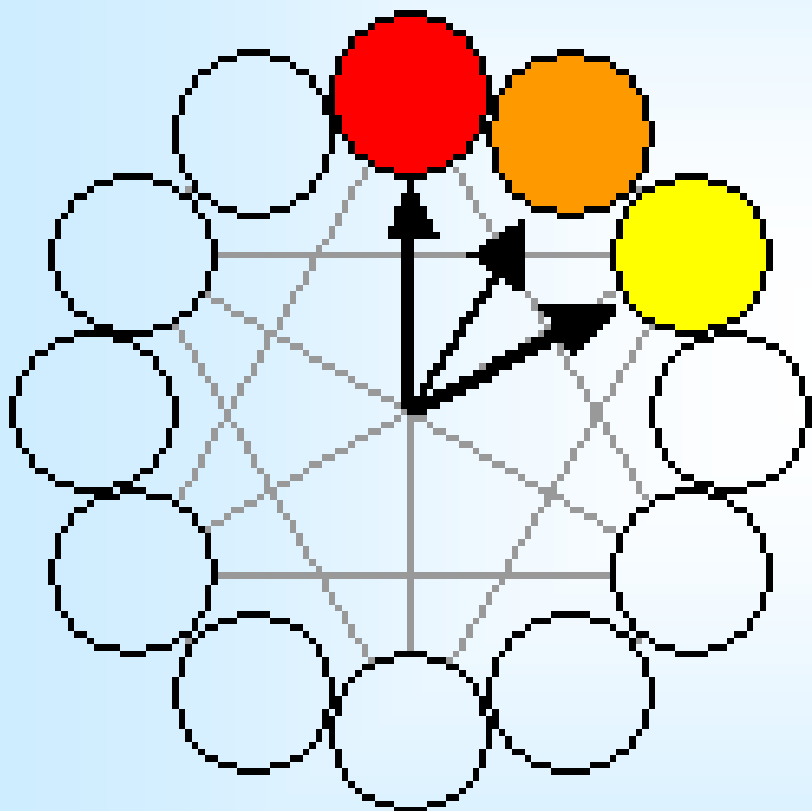
- 为了建立色环，下面我们希望了解通过混合任何两种邻近的基色获得的三种颜色。这些颜色即次生色：青、品红和黄。我们不是谈到过这三种颜色吗？是的，加色法中的次生色就是减色法中的基色。由此您可以推断出，减色法中的次生色也就是加色法中的基色。这就是加色模式和减色模式之间的相互关系。

# 建立色环——中间色



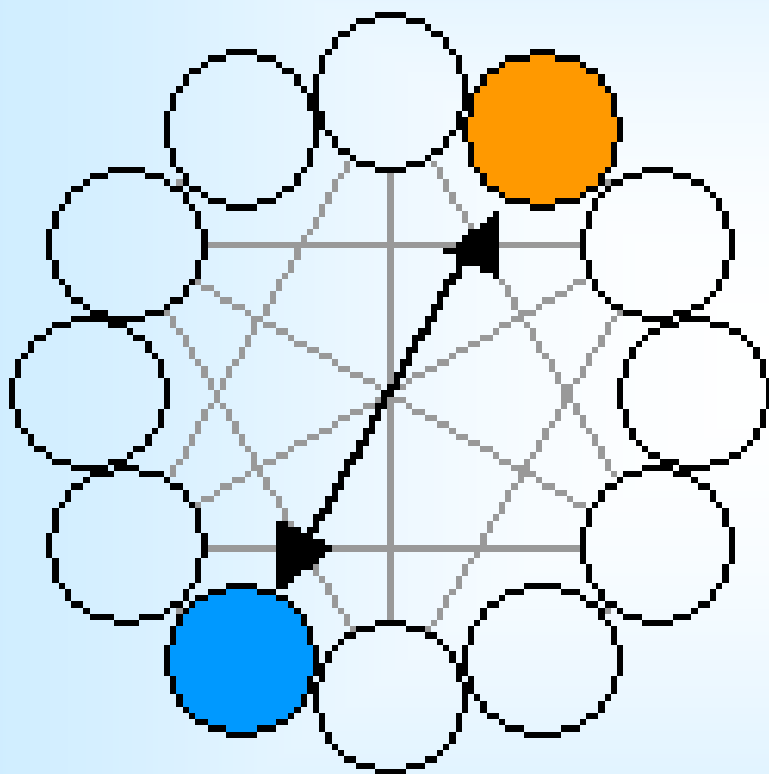
- 建立色环的最后一步是，再次找到现已填入色环的颜色之间的中间色。幸运的是，这些三次色对于加色法和减色法都是相同的。既然我们已经定义了 12 点色环中使用的颜色，那么就可以讨论这些颜色之间的相互关系。

# 相似色



- 相似色是指在给定颜色旁边的颜色。如果您以橙色开始并想得到它的两个相似色，就选定红色和黄色。使用相似色的配色方案可以提供颜色的协调和交融，类似于在自然界中所见到的那样。

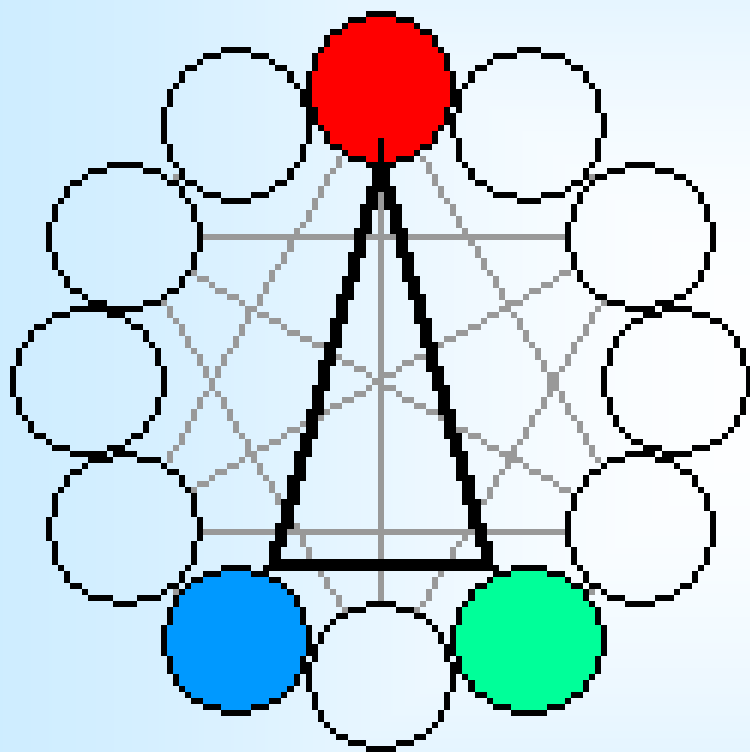
# 互补色



- 也称为对比色。互补色在色环上相互正对。如果希望更鲜明地突出某些颜色，则选择对比色是有用的。如果您在制作一幅柠檬的图片，使用蓝色的背景将使柠檬更突出。

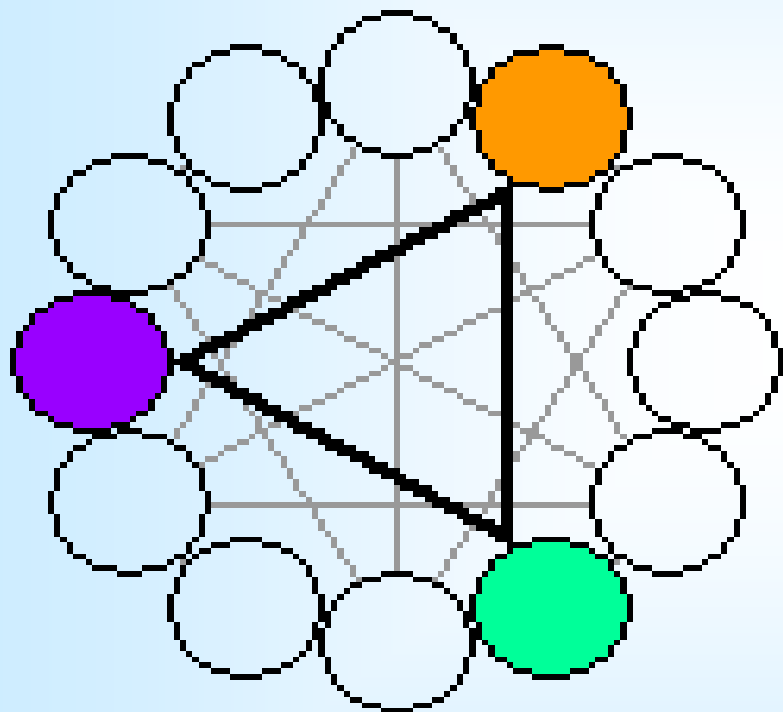


# 分列的互补色



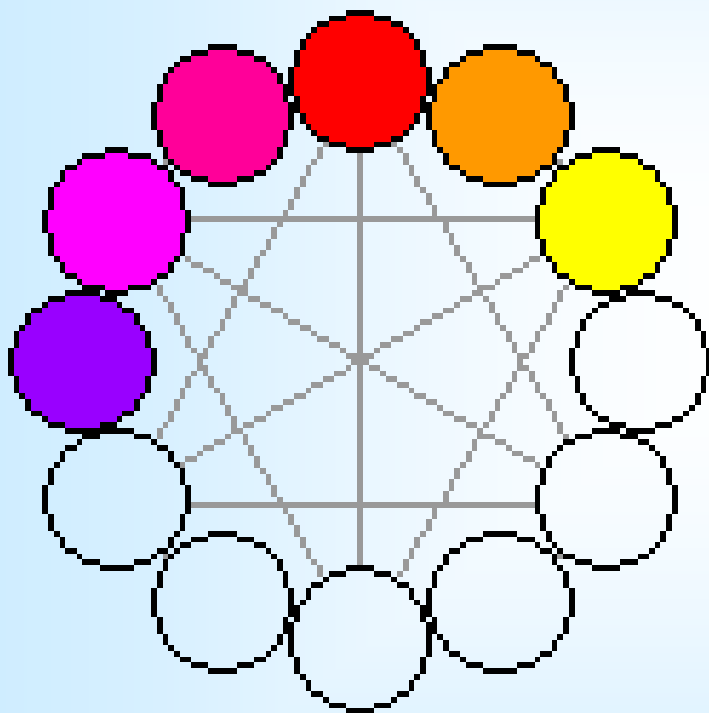
- 分列的互补色可由两种或三种颜色构成。选择一种颜色，在色环的另一边找到它的互补色，然后使用该互补色两边的一种或两种颜色。

# 三色组



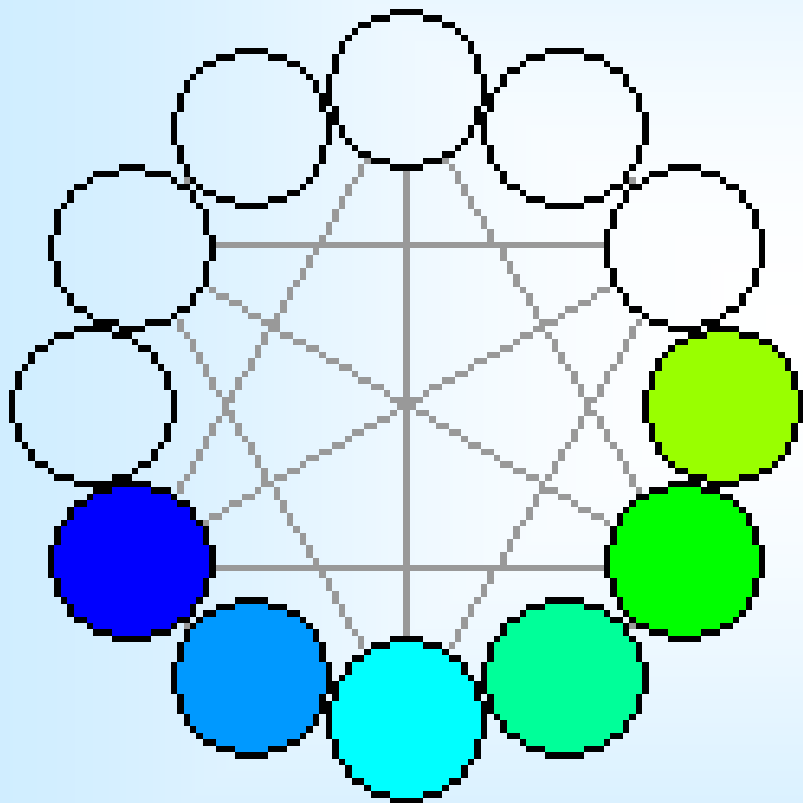
- 三色组是色环上等距离的任何三种颜色。在配色方案中使用三色组时，将给予观察者某种紧张感，这是因为这三种颜色均对比强烈。基色和次生色均是三色组。

# 暖色



- 暖色由红色调构成，如红色、橙色和黄色。这种颜色选择给人以温暖、舒适、有活力的感觉。这些颜色产生的视觉效果使其更贴近观众，并在页面上更显突出。

# 冷色



- 冷色来自于蓝色调，如蓝色、青色和绿色。这些颜色使配色方案显得稳定和清爽。它们看起来还有远离观众的效果，所以适于做页面背景。

# 颜色的三种表现特征

## 色调 Hue

- 区分不同彩色的特征。在可见光谱范围内，不同波长的辐射，在视觉上呈现不同色调，如红、黄、绿、蓝、紫等等。

## 明度 Value 、 Brightness

- 表示颜色的明亮程度。对于光源色，明度值与发光体的光亮度有关；对于物体色，此值和物体的透射比或反射比有关。

## 饱和度 Chroma、 Saturation

- 表示颜色接近光谱色的程度。

# 色调



# 明度

- 在无彩度中，明度最高是白色，最低是黑色，其间为各种深浅的灰色



高明度

低明度

# 饱和度

- 纯色饱和度最高，混色（不论白、灰、黑或有彩色）越多越降低其饱和度



低饱和度

高饱和度



# 颜色表现特征的不同称呼

色调	明度	饱和度
色相	明度	彩度
Hue	Value	Saturation
Hue	Lightness	Chroma

## 【思考】

以下哪一色的**明度**较高？哪一色的**饱和度**较高？

- A. 40% 纯红 + 60% 白
- B. 60% 纯红 + 40% 黑

## II. 数码图像颜色

# 位与颜色

bit (位) ——深度	颜色数
1	2 (monochrome)
2	4 (CGA)—(Color Graphic Adapter)
4	16 (EGA)—(Enhanced Graphic Adapter)
8	256 (VGA)—(Video Graphics Array)
16	65536 (High color, XGA)—(Extended Graphics Array)
24	16777216 (True color, SVGA)—(Super VGA)
32	16777216 (True color)+8bit (控制深度, 透明度)

# 颜色深度

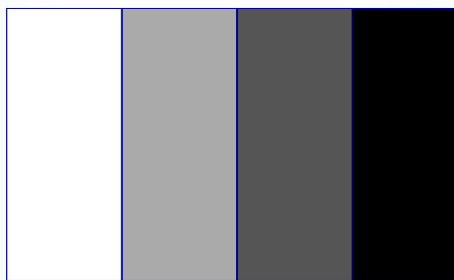
1 位      黑      白      黑白 2 色变化

8 位      灰      阶      256 色灰阶变化



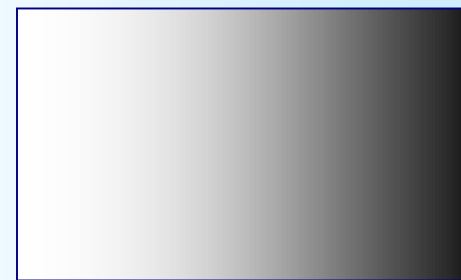
$$2^1=2$$

黑白 2 色变化



$$2^2=4$$

黑灰白 4 阶变化



$$2^8=256$$

256 灰阶变化

# 颜色数目—8位 (256) 索引色

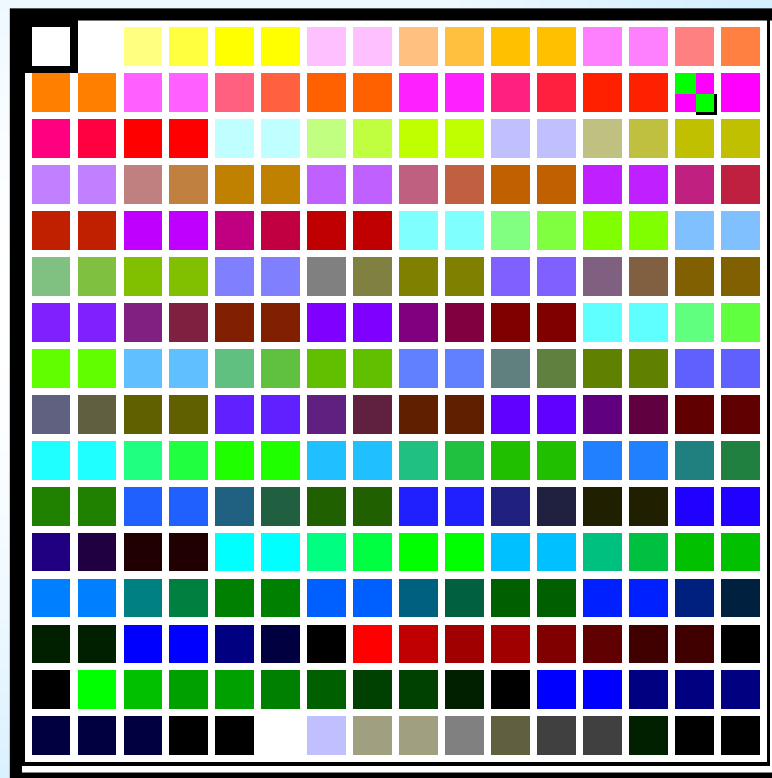
最多 256 色

R: 2bit—— (4色)

G: 3bit—— (8色)

B: 3bit—— (8色)

共 $4 \times 8 \times 8 = 256$ 色



# 颜色数目—16位（65536）色

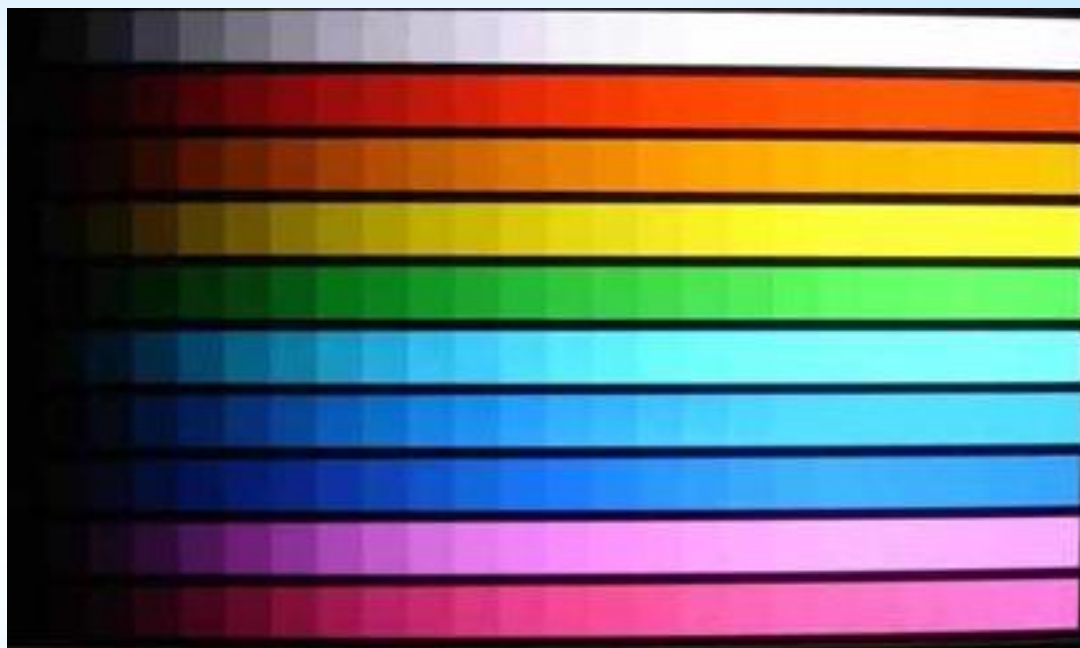
最多 65536 色

R: 5bit——（32色）

G: 6bit——（64色）

B: 5bit——（32色）

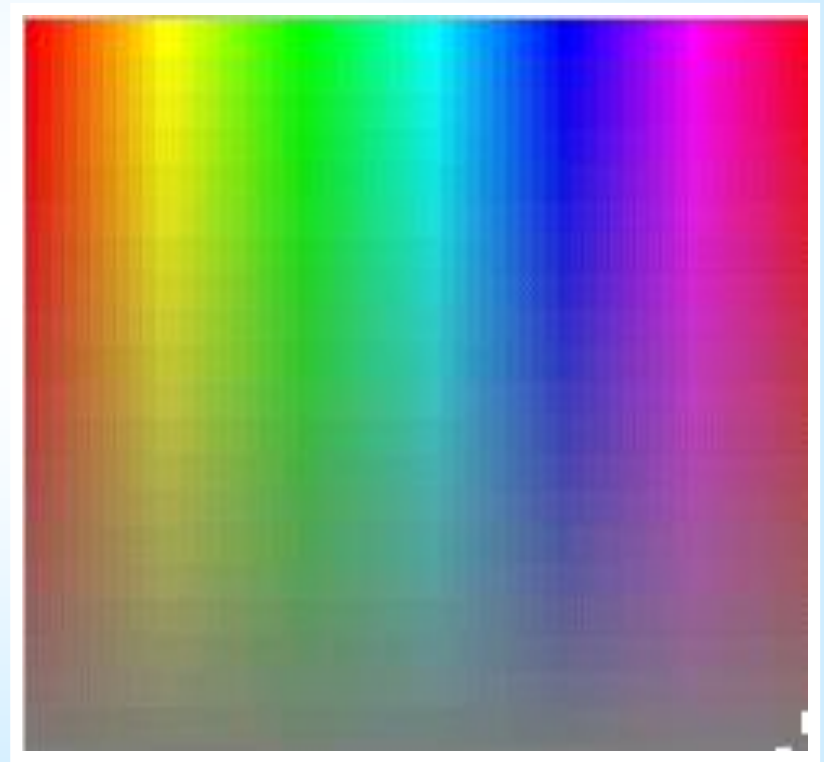
共 $32 \times 64 \times 32 = 65536$ 色



# 颜色数目—24位 (16777216) 色

R G B

$$2^8 \times 2^8 \times 2^8 \\ = 16,777,216$$



# 网页安全色彩（216色）

- 网页的色彩标示采用“RRGGBB”16进位制，每色由“00”（最暗）至“FF”（最亮）
- 网页的安全色彩为R、G、B值各为以下6种值之一：
  - “00”、“33”、“66”、“99”、“CC”、“FF”
  - 共  $6 \times 6 \times 6 = 216$



# 色彩的选择

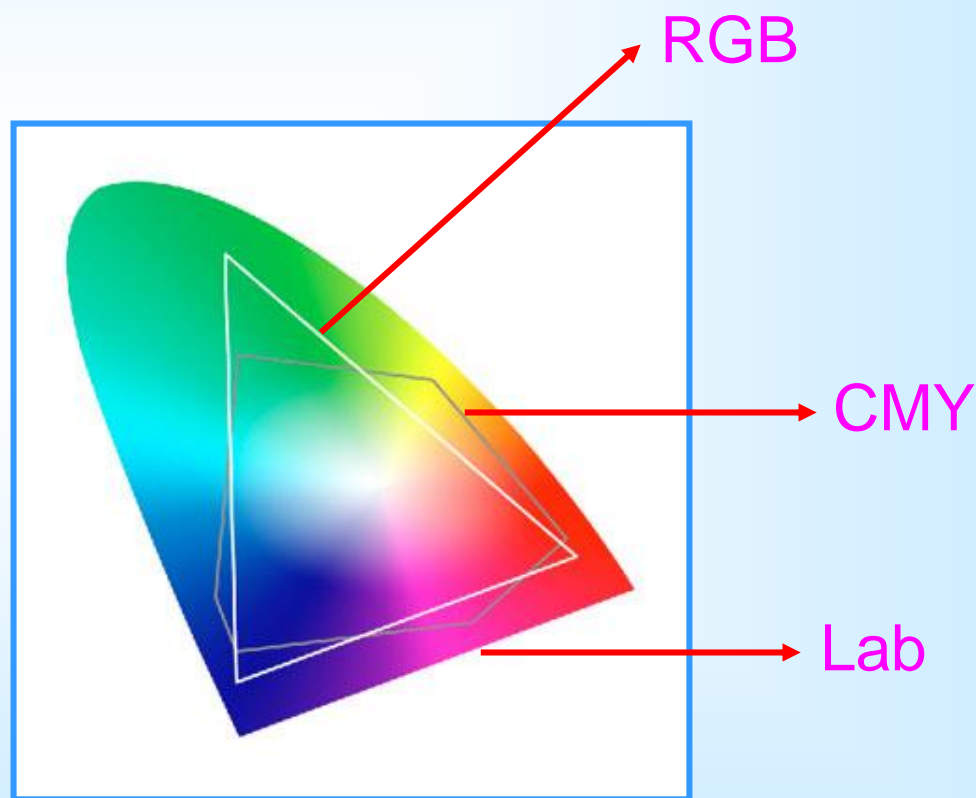
- 页面的色彩标示采用 “RRGGBB” 16进制表示法 (0~F)



	000000	
	666666	FF0000
	CCCCCC	
	FFFFFF	00FF00
		
		0000FF

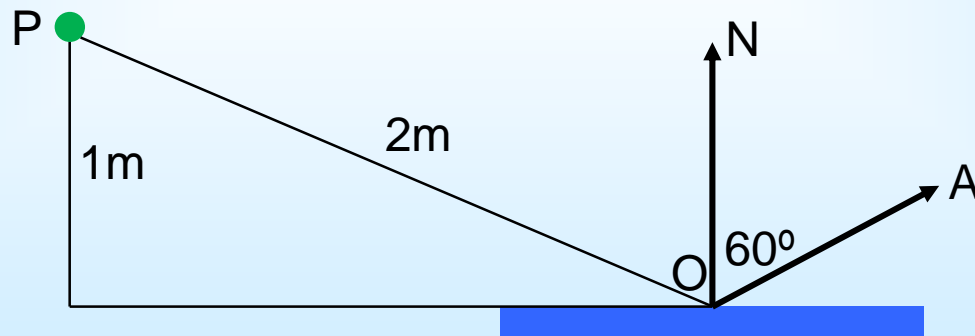
# 色域 (gamut)

- 屏幕
- 扫描仪
- 打印机
- 印刷机



# 本章例题

1. 如图，发光强度为 $50\text{cd}$ 的灯泡P照明直径为 $10\text{cm}$ 的漫反射面O，假定被照明表面漫反射系数为 $0.8$ ，且各方向光亮度相等；  
求：（1）漫反射面的光照度  
（2）光亮度及OA方向的发光强度 $I_{60^\circ}$



# 本章例题

2. 面积为 $1\text{cm}^2$ 的圆盘向一面均匀辐射单一频率的光，其辐射亮度 $L_e=1\text{W}/\text{cm}^2\text{ sr}$
- 求：（1）该圆盘辐射出的总辐射通量
- （2）用一个通光直径为 $10\text{cm}$ ，焦距为 $100\text{cm}$ 的凸透镜将圆盘成一个面积为 $0.25\text{cm}^2$ 的圆盘像，问通过像面的辐通量是多少（忽略系统光能损失）？

# 本章作业

- P106 (4,5)

# OK