

色彩的三要素：光，物体及观察者



[...物体有什么色彩？
三要素：光源、物体和观察者



一个光源，一个物体，两位观察者！解读意味着，每一位观察者都在其大脑中以其特有方式观察

第5章

三要素

三要素构成

我们周围充满色彩。无论看哪，各种色泽和强度的色彩映入眼帘。

但究竟什么是色彩？

色彩不是物体的物理属性。物体与辐射能相互作用，而我们的眼睛则可察觉这种相互作用。这种身体感觉传到大脑，经过大脑解读，我们就有了色彩体验。

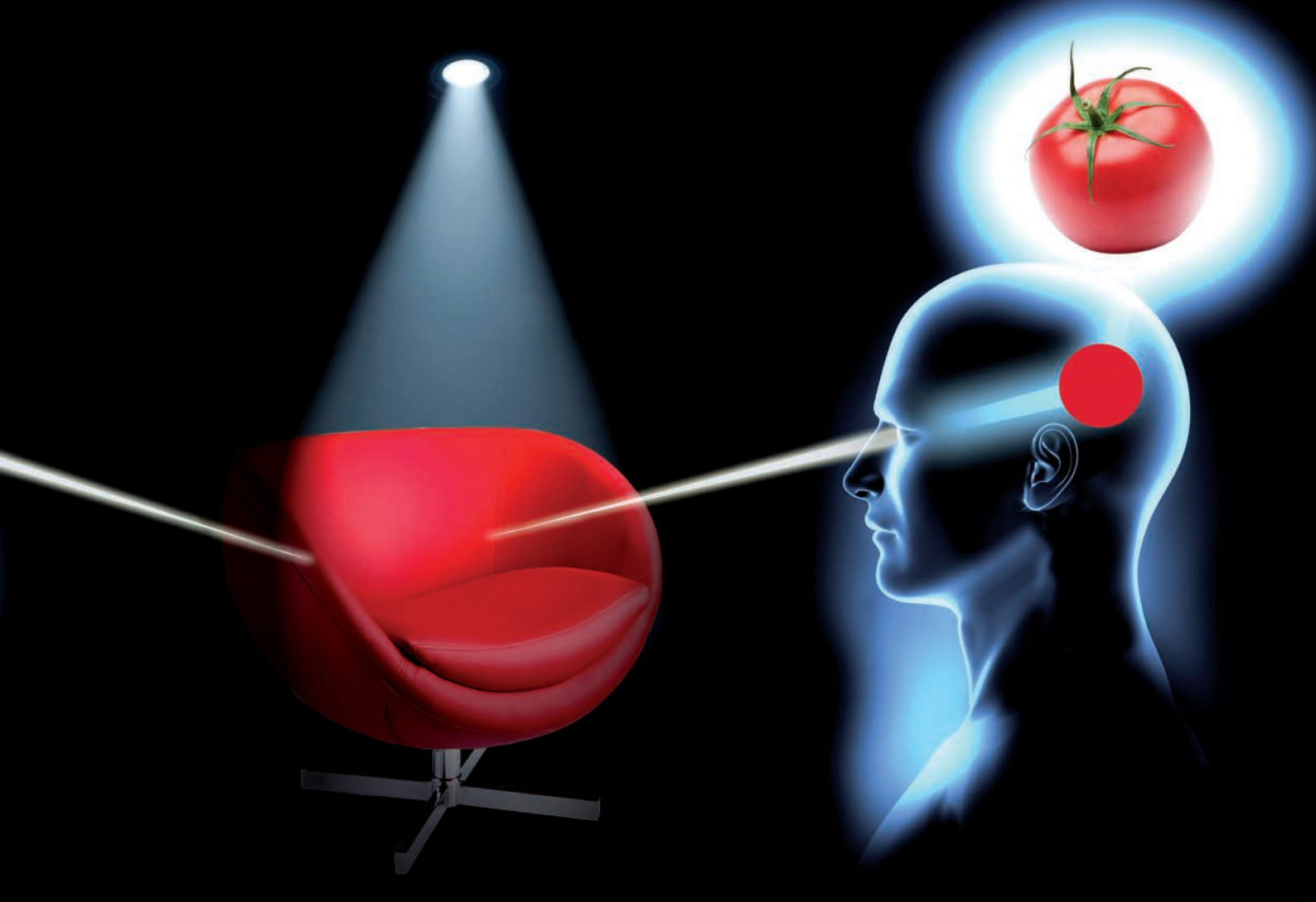
感觉具有主观性，每个人的色觉各不相同。物理、生理和心理因素都对感觉产生影响。因此，由于心态等条件的不同，人可能对同一种色彩产生不同的感觉。由此提出一个问题，能否以客观的数值表示人类观察者的视觉评估？

色彩是主观体验，无法以数字完整表述引起体验的色彩。但色度学为测量和鉴定色彩的物理组成部分提供有用的工具。

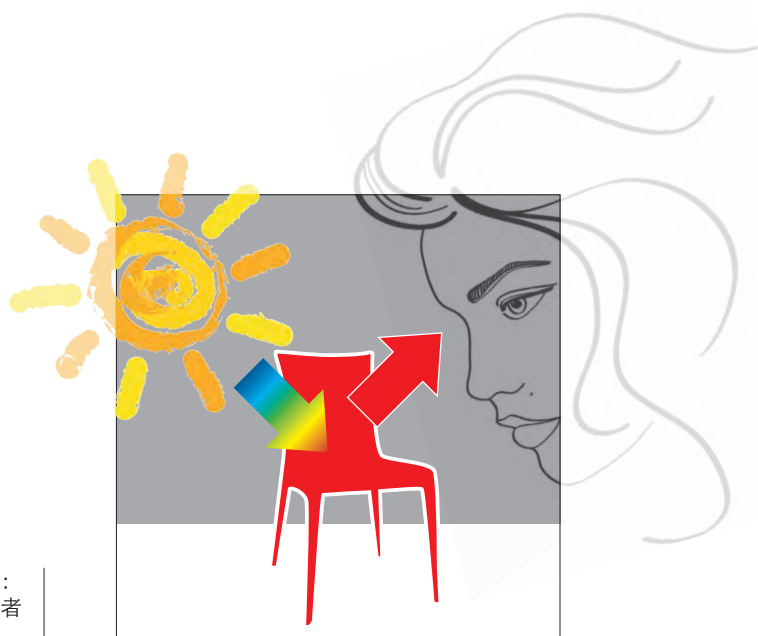
其中包括：

- 光源
- 物体
- 观察者

缺少任一要素，都不可能产生色彩印象。



对于三要素，色度学均已制定出量化方法。下文详细介绍如何以数字表示三要素各组成部分。



三要素构成：
光源、物体和观察者

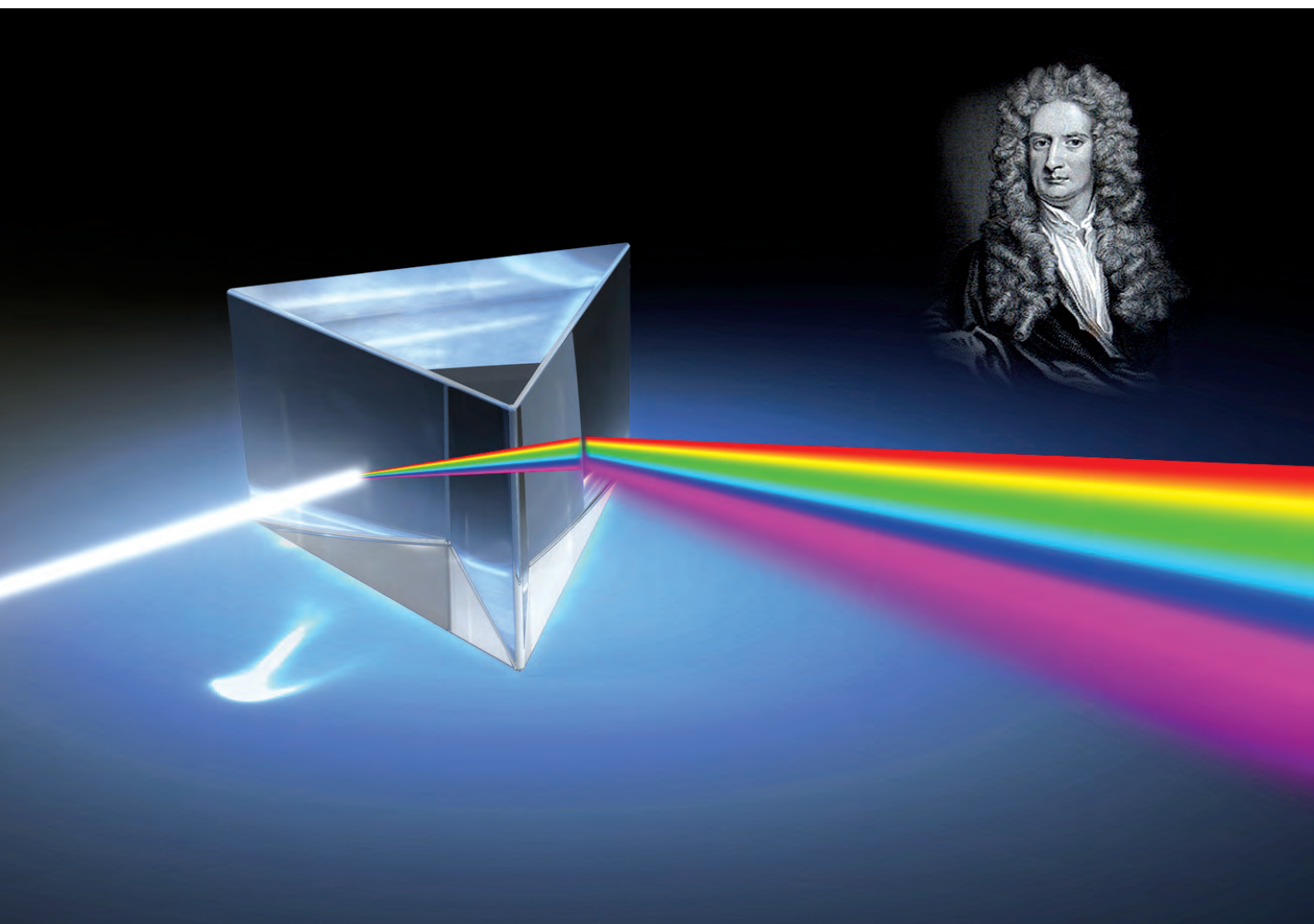
光 - 光源

光与物质相互作用

1666 年，物理学家艾萨克·牛顿正在进行日光实验。在晴朗的一天，通过百叶窗上的一个小孔，他让一束光线射进来。这束光穿过棱镜，然后牛顿将光投射在屏幕上。他发现，光分成与彩虹完全相同的各种色彩

参照乐谱音符，艾萨克·牛顿辨别出七种基本色相。

实际上，光是色彩的本质。牛顿从理论上正确阐明，各种色彩都是日光的组成部分。经过无数次实验，牛顿最终基本色相定为红、橙、黄、绿、靛、蓝、紫。

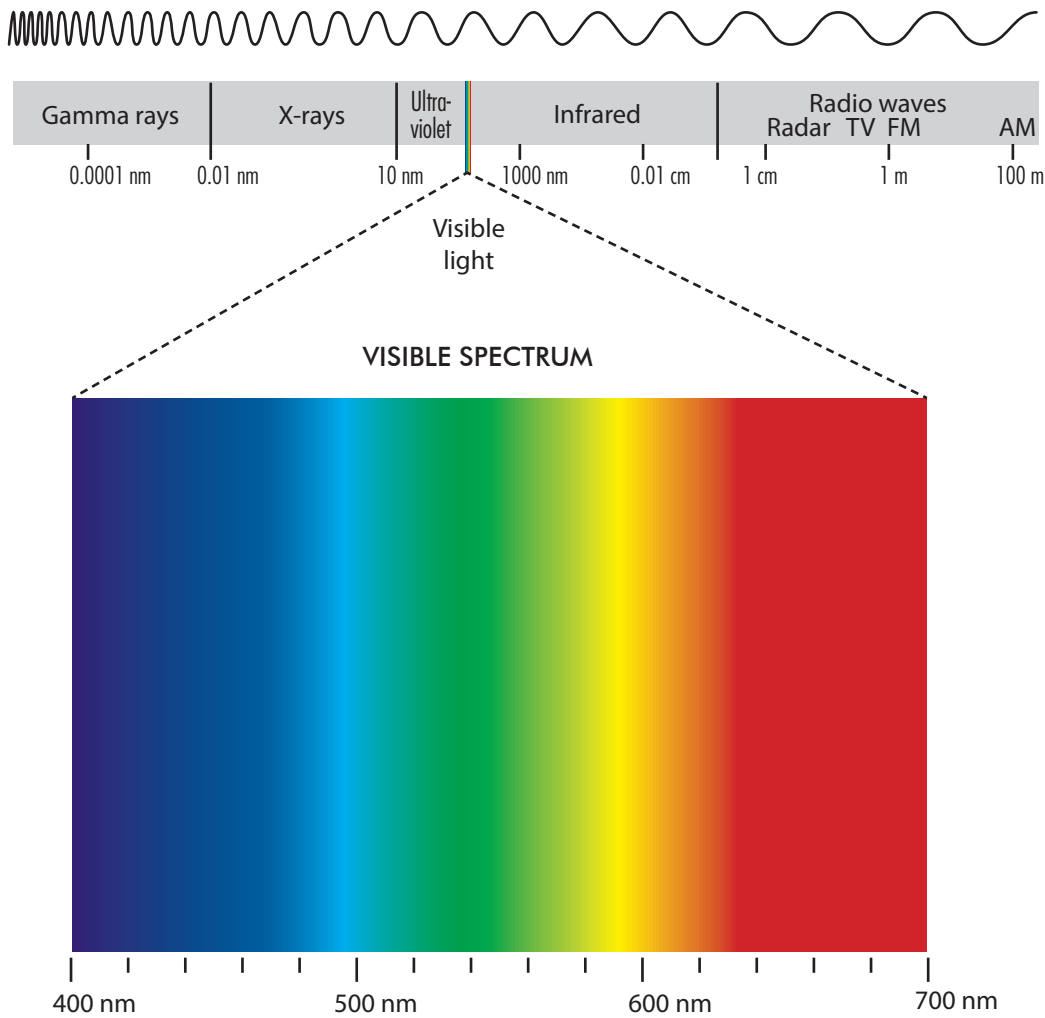


1666 年，物理学家艾萨克·牛顿将白色日光穿过棱镜。光线分解成各部分，进而得出色谱。

Violet indigo blue green yellow orange red

以牛顿的研究成果为基础，近代物理学家已确定，光由电磁波组成。X射线和无线电波也是如此。科学家按波长定义光线。波长测量单位是纳米，也就是一米的十亿分之一的(10⁻⁹m)。

色彩按波长顺序出现在彩虹中。可见光谱从最短到最长波长排列。蓝光波长最短，然后是绿光、黄光、橙光和红光。



电磁振荡的理论。这包括现代文明中使用的所有类型的辐射。

在400 - 700纳米范围内为人眼可见光谱

光源

三要素中的第一要素是光源。

发光方式多种多样，例如加热物体直到发光（灯泡中的钨丝），或者利用电弧或通过气体放电刺激电子或分子发光（氙气闪光灯）。

每种不同的光源各有不同的光色。光色堆砌照亮的物体色彩产生影响。光源色彩印象的度量是以开尔文温度单位 (K) 表示的色温。“黑体”（普朗克辐射体）是对色温的参考。

在现实中，“黑体”并不存在。它是物理模型概念，用作理论观察依据，以及对电磁辐射的实践研究参考。

黑体有两个非常重要的特性：

- 完全吸收外来所有波长的电磁辐射，
- 在每个光谱范围内，与温度相同的任何其他体相比，它的辐射功率更大。

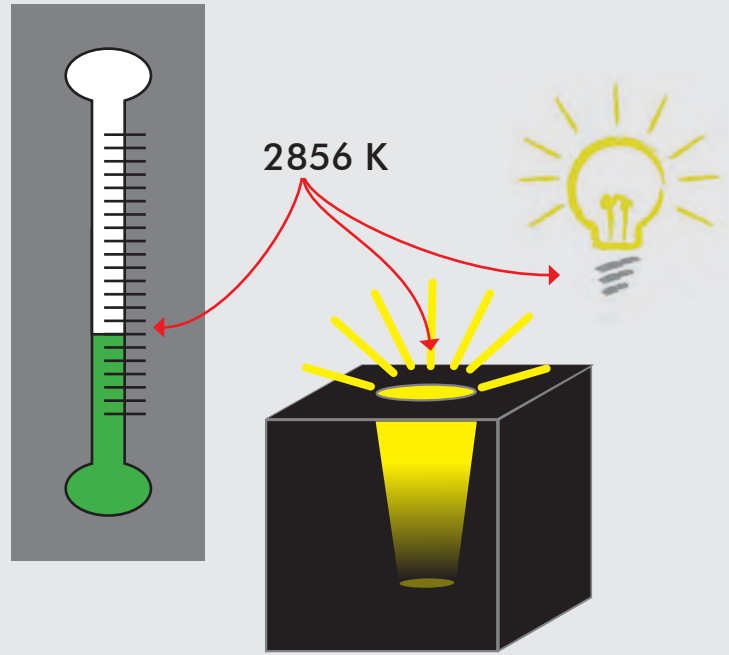
为确定光源的色温，加热黑体直到发出与实际光源色彩相同的光

最重要的自然光源是太阳。

通常，我们通过日光看到色彩。日光包括直射阳光和大气层辐射光。日光的光谱范围是 200 至 4000 K。它与加热到 5800 K 的黑体辐射相当。但此光源的质量和能量各有不同，也不恒定。日光受到地理位置、一年中的时节、天气条件、大气污染和一天中的时间影响，随之相应变化。因此，日光色温在 4000 至 6500 K 范围内发生变化。

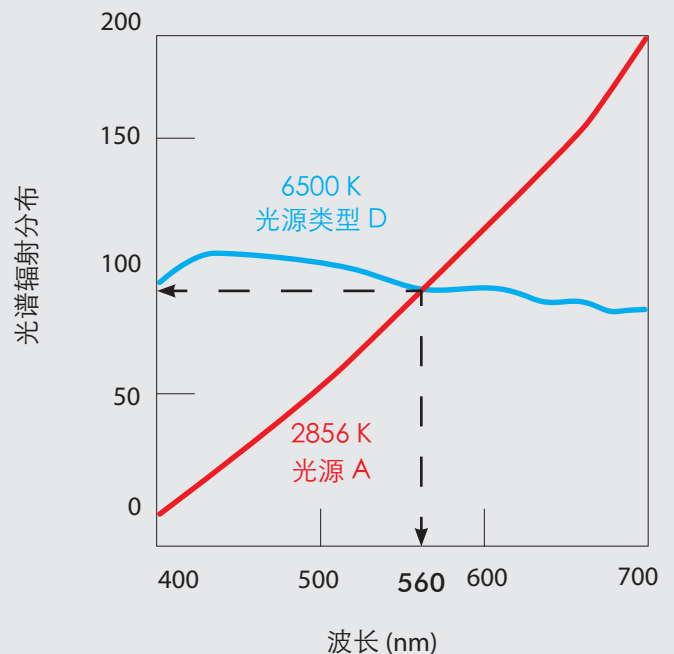
这种光源不适合色度计算。对于色彩测量，称为日光的光源必须标准化，以使其可复制并恒定

黑体



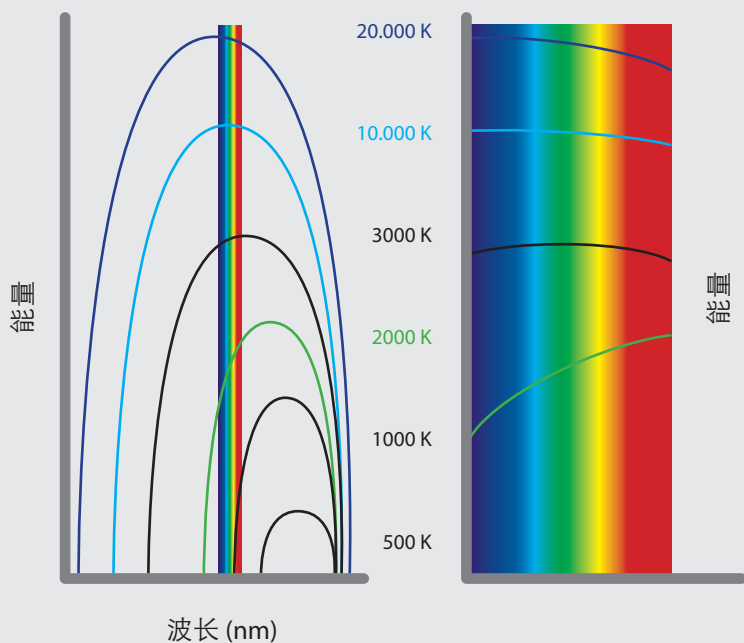
光源类型 A (灯泡) 的色温相当于加热到 2856 开尔文 (2856K) 的普朗克辐射体 (黑体) 的光色。

2 种光源的光谱辐射分布



在 560 nm 波长，两种光源的辐射能相同。出于标准化原因，将 560 nm 波长辐射能 定义为 100% 或相同。

色温



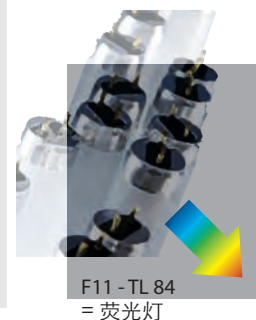
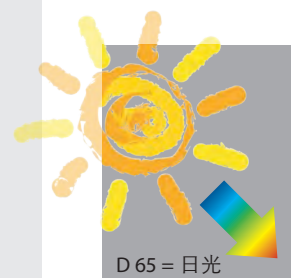
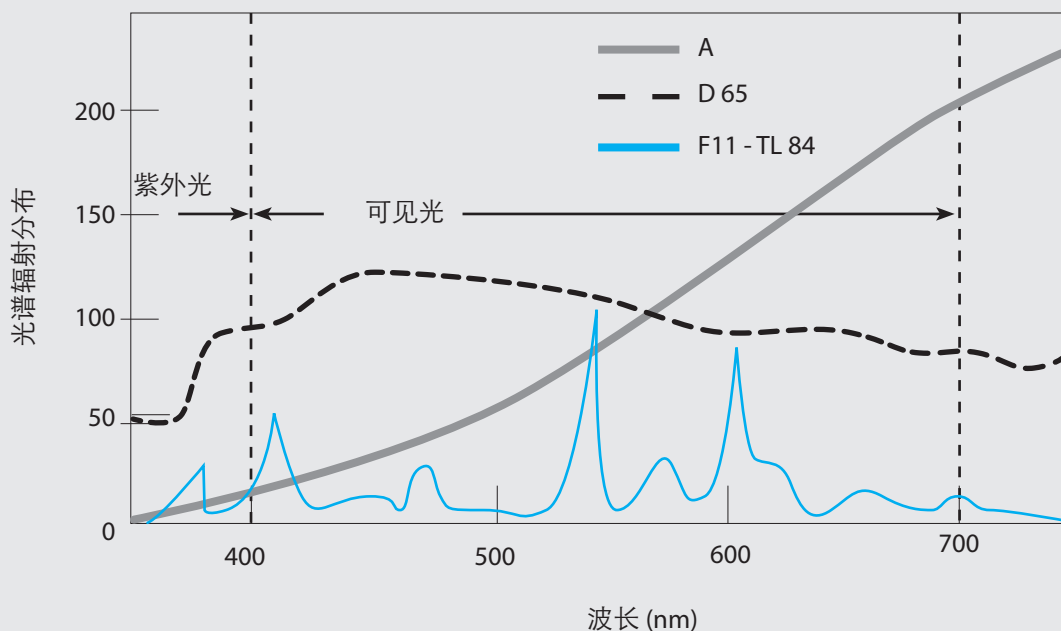
光源类型

不同光源下，物体的色彩印象也不相同，所以必须始终定义照明。

为了能够以可复制并恒定的方式描述光源，CIE*（国际照明委员会）经过对不同光源的评估和定性，制定出可靠的行业标准。此类定义的光源称为“标准光源”。标准光源并非实际光源。它们是按光谱辐射分布与自然光源相似这一标准加以定义。由 CIE 确立为标准的最重要光源类型为 D65（6504 K 日光）、A（钨丝灯）和 F11（荧光灯）。

(*) CIE: 国际照明委员会，成立于 1913 年，是在照明、色彩与色彩测量领域内唯一权威的国际性建议和标准化组织。

标准光源 A、D65 和 F11 - TL 84



最重要的标准光源类型：
D65、A 和 F11

物体 - 物质

光与物体相互作用

三要素中的第二要素是物体。

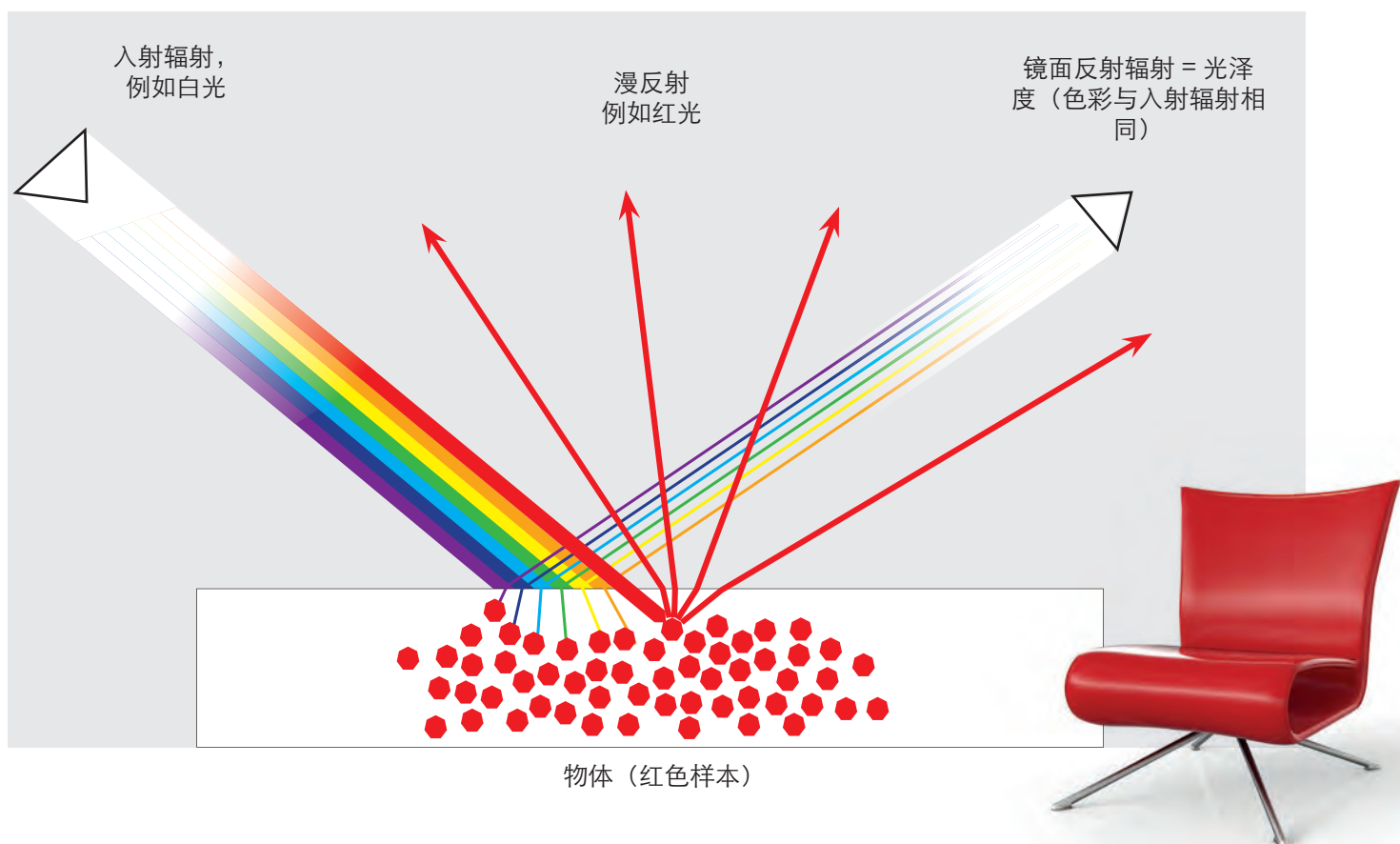
物体必须与光相互作用，才能让眼睛看到色彩。这种相互作用具有以下三种形式之一：

每个物体和每个表面都有具体特性，分别对照射光反射或吸收方式产生影响。存在以下区别：

- 不透明物体：光部分吸收，部分反射
- 透明物体：光部分反射，部分吸收，还有部分穿透，而不发生散射
- 半透明物体：光部分反射，部分吸收，还有部分穿透，但发生散射

或多或少，物体都有电磁辐射反射性

不同物质的视觉印象由多种因素共同确定，也包括物质本身的特性在内。因此，与哑光面色彩相比，亮光面样本色彩明显更加强烈、鲜艳。通过单独分析色彩特性（色彩）和几何特性（光泽度、形状和纹理），这一问题可以简化为，将物体发出的辐射（色彩）与镜面反射的辐射（光泽度）区分开来。区分出这两种辐射即可确定每个单独的组成部分。我们将在第 12 章（色彩测量领域内科学测量技术）详细介绍所用测量仪器和适用的分析方法



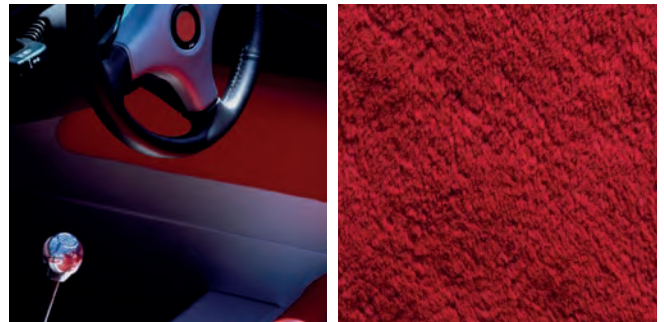
光与物体 相互作用。
例如红色样本

由镜面反射辐射产生的反射确定物体是有光泽、半哑光还是哑光。与其他产品相比，金属通常有更强的光线反射性，而与粗糙表面相比，光滑表面通常更有光泽。

漫反射是由物体、色彩及其构成共同确定的特性。

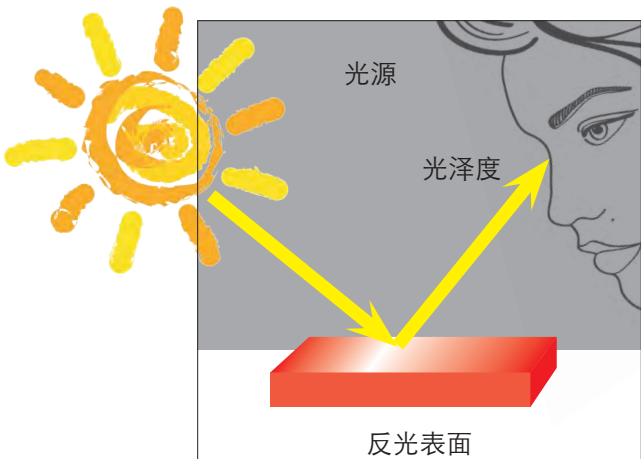
光照到物体时产生色彩，一部分光反射进入人眼。因此，对光的选择性吸收确定我们的色觉。吸收的光越多，产生的色彩越不强烈。如果所有光都被吸收，我们的色觉就是黑色。如果所有光都被反射(100%)，我们就看到白色。

因此，光的反射或吸收(镜面反射辐射、漫反射辐射和正常辐射)确定大多数物体的色彩和外观。可通过分光光度测量(一些特殊情况下也可使用测角光度法)，对这一现象的组成部分进行物理分析。此类分光光度测量生成光谱辐射分布或光谱曲线图表示物体对每种波长反射或透射的光辐射。光谱曲线描述物体的色彩和外观。

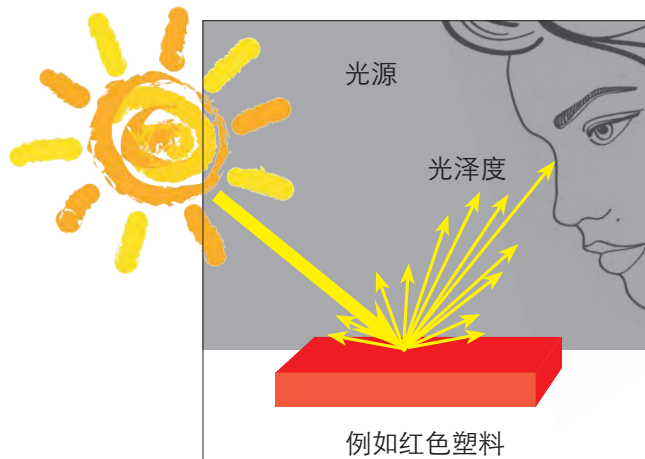


吸收、散射和光泽度确定产品外观。

反光表面光泽度



有纹理的表面光泽度

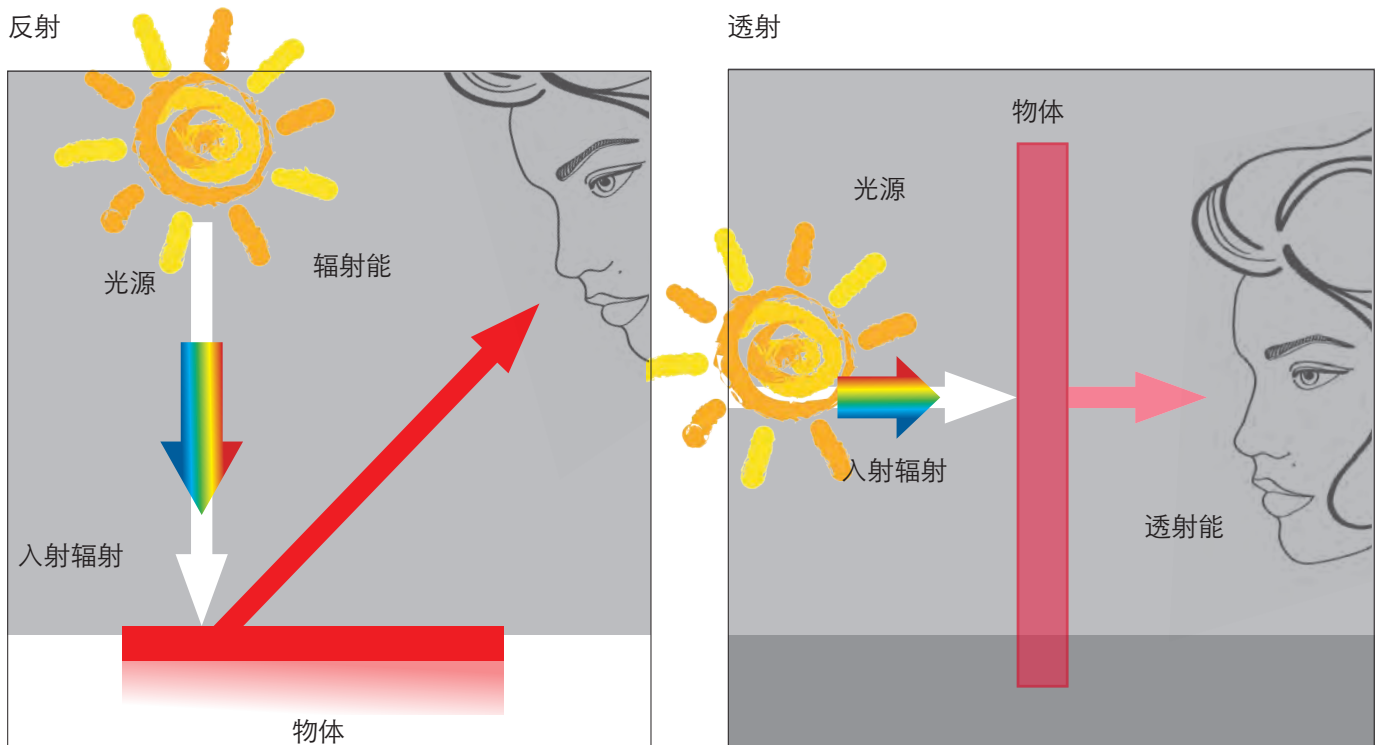


物体的色彩特性 - 色彩物理学

正如我们所知，色彩基于电磁波及其在可见光谱范围内的辐射分布。

在可见光谱范围内，射线波长介于 400 至 700 nm。物体的色彩产生自光照射物体表面。辐射部分吸收，部分反射或透射。反射或透射的辐射部分可由眼睛感知，经过大脑处理而产生色彩印象。

黄色物体吸收蓝色谱范围内的光。红色物体吸收蓝色、绿色和黄色谱范围内的光。在物理学中，我们以物体的光谱分布表示这种现象，正是由于这一特性，物体的色彩才得以确定和显现。对于 400- 700 nm 可见光谱范围，它是波长的函数，以典型图示表达经过反射或透射的入射光辐射部分。



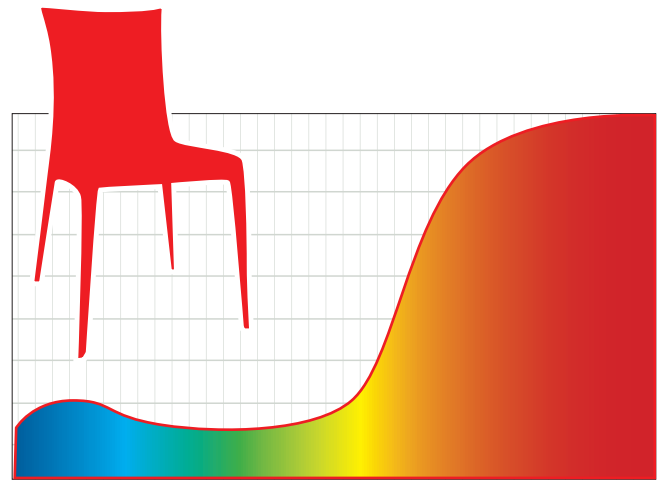
$$\text{反射率 } R\% = \frac{\text{反射光能/波长}}{\text{入射光能/波长}} \times 100$$

$$\text{透射率 } T\% = \frac{\text{透射光能/波长}}{\text{入射光能/波长}} \times 100$$

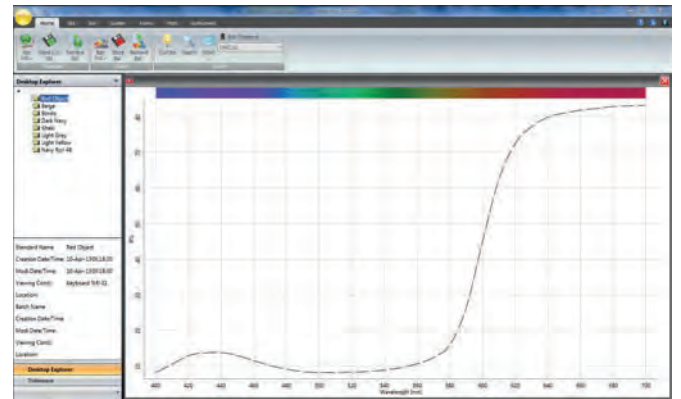
反射率 R% 值为入射光能/波长与反射光能/波长之比。这同样适用于透射率，其中入射辐射与出射辐射共同确定透射曲线特性。反射和透射曲线是物质属性。它们与使用的光源无关。先决条件是使用的光源在可见光所有范围内释放能量。

下例显示红色样本的反射曲线。 这条反射曲线描述样本的材质和色彩，它是“色彩特征”。

波长 (③, 以 nm 为单位)	反射率值 (R, 以 % 为单位)
400	8,17
410	10,47
420	12,87
430	13,67
440	13,76
450	12,92
460	11,46
470	10,11
480	9,10
490	8,40
500	8,12
510	8,14
520	8,25
530	8,45
540	8,84
550	9,50
560	10,63
570	12,36
580	15,97
590	26,40
600	45,11
610	62,43
620	72,43
630	77,21
640	79,64
650	81,01
660	81,81
670	82,30
680	82,64
690	83,01
700	83,19



红色样本的反射曲线



亮红色样本：在 $d/8^\circ$ 测量几何条件下，通过镜面反射光（光泽）进行测量



眼睛 - 观察者

人类观察者 - 色彩视觉

三要素中的第三要素是观察者，或者说是人的感知器官（眼睛和大脑皮层）。

物体反射或光源直接辐射的光被眼睛吸收，并由视网膜中的感光细胞转换。我们的大脑解读此信息，并产生色彩印象。

根据波长，眼睛对可见光谱范围内（请参见第 9 章）光的亮度表现出不同的敏感性。我们在不同的亮度级别上感知光照（亮/暗视觉），但也察觉色彩特性（色相和色度），并将色彩置入三维立体系统。

对于色彩视觉的三维立体性，先决条件是人眼存在三种不同类型的受体。在科学领域内，这是早已成立的事实。早在 1666 年牛顿发表有关棱镜分光的理论著作时，对人类色觉过程的科学探索便已开始。然而，直到可以测量眼内色彩受体的敏感性，才取得重大发现和长足进步。

1801 年，英国眼科医师和物理学家托马斯·杨提出三原色理论。理论指出，人类色觉完全产生自三种不同类型的受体（对色彩刺激的三色感知）。50 年后，德国科学家赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨帮助建立了托马斯·杨首先提出的色彩视觉加色理论。他证明，三原色（红绿蓝）足以产生所有其他色彩。

赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨
埃瓦尔德·赫林



托马斯·杨 赫尔曼·冯·赫尔姆霍茨 埃瓦尔德·赫

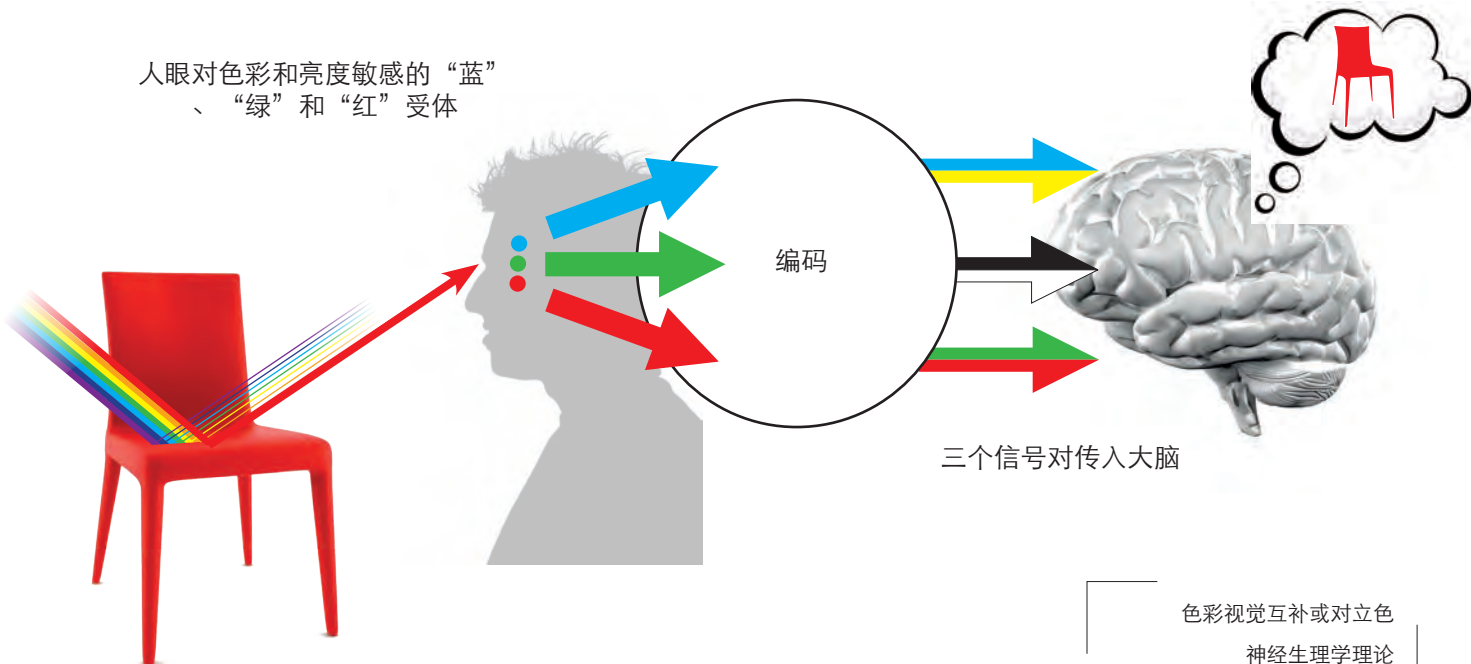
1878 年，埃瓦尔德·赫林发表对立色理论，作为赫尔姆霍茨和杨的三原色理论替代方案。赫林最初观察，“黄蓝”或“红绿”等色彩印象无法产生（黄蓝或红绿互相抵消）。因此，他假设视网膜存在三个独立的化学过程，各有两种对立色，而每一种都要与抑制和刺激部分达到平衡。对立色对有蓝/黄、红/绿和黑/白。

随后使用 3 种彩色光（红绿蓝）投射灯，经过多次试验表明，这 3 种透射灯的光强变化可产生多种色彩。实验结果使我们能够评估对色彩刺激的三色感知，此外，W. D. Wright 在 1928 年以及 J. D. Guild 在 1931 年分别开展的加性混色实验等也对此做出贡献。

到 20 世纪初，众多科学家为研究色觉系统做过无数次实验。20 世纪 30 年代以前，杨/赫尔姆霍茨与赫林都认为自己的理论正确，直到 E. Müller 最终证明对立色理论正确。

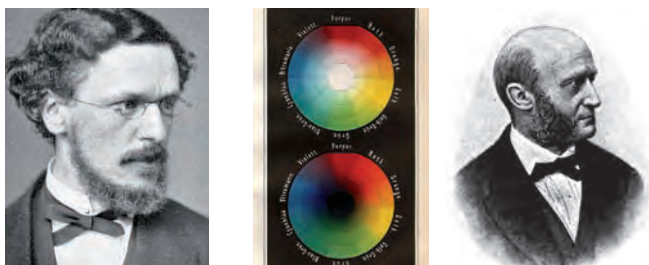
例如，自然色系统 (NCS) 和 $L^*a^*b^*$ 色彩模型均以对立色理论为依据。

人眼对色彩和亮度敏感的“蓝”、“绿”和“红”受体



三个信号对传入大脑

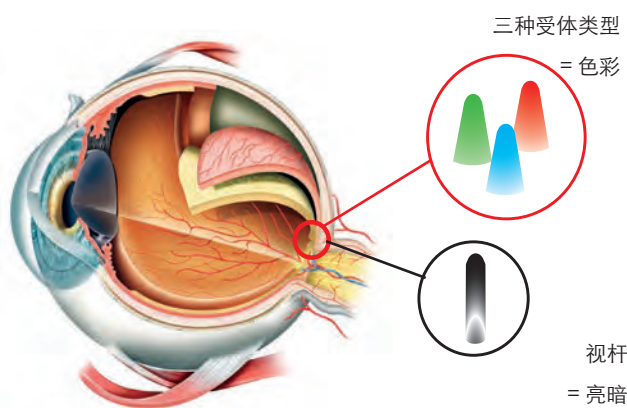
色彩视觉互补或对立色
神经生理学理论



威廉·冯·贝措尔德 贝措尔德色彩 (1874年) 恩斯特·冯·布吕克

人眼

我们看到的色彩是进入眼睛的不同长度的光波。经过物体反射的光刺激视网膜中的感光细胞。这些感光细胞包括视锥和视杆细胞。视锥细胞只对亮暗敏感并产生暗视觉，因此我们可在弱光下看到并区分出灰影。仅由视杆细胞产生视觉时，我们无法区分色彩。日光条件下，视杆细胞完全饱和，无法处理数据。良好照明（例如正常日光）条件下，我们只使用视锥细胞观看外界（亮视觉），完全依靠这些细胞区分色彩。

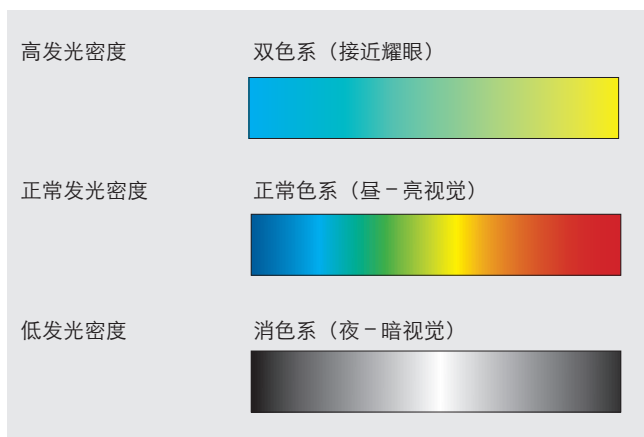


在视网膜内，约有 700 万个视锥细胞和 1.2 亿个视杆细胞。所有感光细胞都有相似的敏感性，但视锥细胞围绕同轴集中分布，这使其对侧向视觉更加敏感。眼睛有三种不同的受体类型（红绿蓝）。它们主要存在于视网膜中间黄斑。黄斑中心（中心凹）只有视锥细胞。绿红蓝三色一般分配比例为 40 : 20 : 1。对蓝色的最大敏感性为 477 nm，对绿色的最大敏感性为 540 nm，对红色的最大敏感性为 577 nm。蓝色视锥细胞又称 S 视锥细胞（S 表示短波长），绿色视锥细胞又称 M 视锥细胞（M 表示中波长），红色视锥细胞又称 L 视锥细胞（L 表示长波长）。

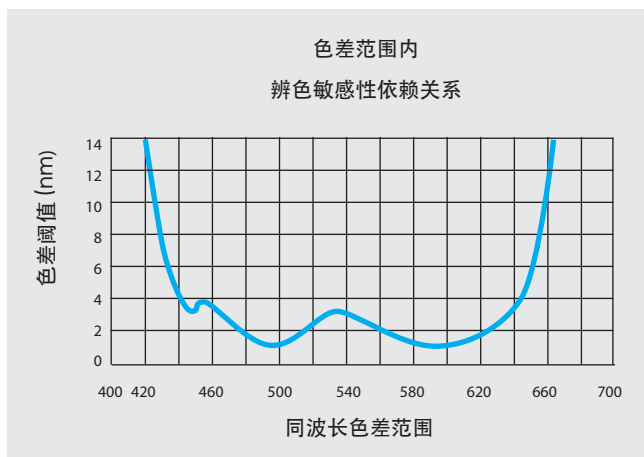
人眼辨色力（更确切地说是色差辨别能力）取决于发光密度。对于非常低的发光密度，在 400 nm 至 480 nm 范围内色彩刺激产生蓝紫表色，在 480 nm 至 570 nm 范围内感知绿色，而在 570 nm 至 700 nm（长波可见极限）范围内则感知红色。



贝措尔德-布吕克效应：外观和颜色的形式随发光密度变化



这种效应称为贝措尔德-布吕克现象（1873 年发现，以德国物理学家威廉·冯·贝措尔德和德奥生理学家恩斯特·威廉·冯·布吕克共同命名）。随着发光密度增加，辨色力增强，但在达到高密度时转而减弱。因此，照度剧增会使红色和绿色变得越来越像黄色，而使紫色和蓝绿色变得越来越像绿色。就耀眼而言，人眼只能感知发白的黄色和发白的蓝紫色。因此，仅凭黄蓝 2 种色彩，几乎便可实现双色系。在视觉和仪器色彩测量中，要确保照明条件正常（约为 1500 勒克斯），即符合亮视觉的先决条件。



List of references

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmeterik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmeterik-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmeterik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Publication data

发布者:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

电话: 1-800-982-6497 | 传真: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

正文:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Germany

www.hiller-direct-marketing.de

2019 年10月

© 版权 Datacolor。保留所有权利。

欧洲

Datacolor AG Europe
6343 Rotkreuz
电话: +41 44.835.3800

美国

Datacolor 总部
Lawrenceville, NJ
电话: +1 609.924.2189

亚洲

Datacolor Asia Pacific Limited
Hong Kong
电话: +852 24208283