TRƯỜNG ĐẠI HỌC SÂN KHẤU – ĐIỆN ẢNH HÀ NỘI
KHOA CÔNG NGHỆ ĐIỆN ẢNH – TRUYỀN HÌNH

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

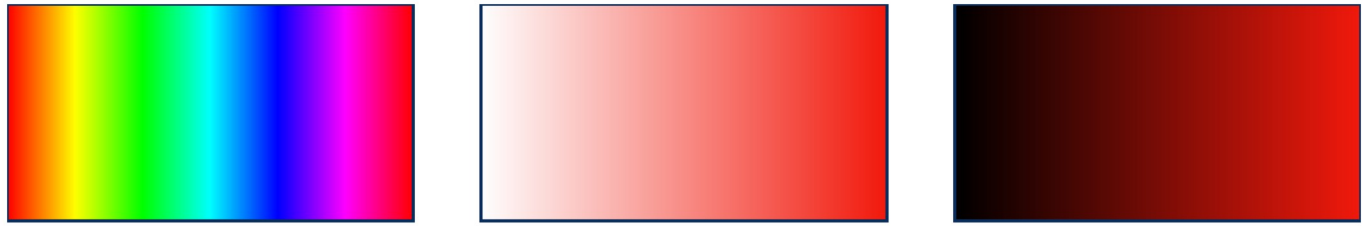
CHƯƠNG 7 · PHẦN C

Đo và mô tả màu

Ba thuộc tính của màu

- Sắc, độ bão hoà và độ sáng là ba câu hỏi độc lập
- Luminance, lightness và brightness là ba đại lượng khác nhau
- Nâu và hồng không phải là sắc riêng

Ba câu hỏi về một màu



(a) Sắc (hue)

Vị trí trên vòng màu: "màu gì".
Đo bằng góc, hoặc bước sóng chủ đạo.

(b) Độ bão hoà (saturation)

Màu đậm hay nhạt: mức pha trắng.
Trên giản đồ xy: xa hay gần điểm trắng.

(c) Độ sáng (lightness)

Sáng hay tối: lượng ánh sáng.
Ứng với đại lượng Y trong hệ CIE.

Thuật ngữ dùng ở đây	Tiếng Anh	Tên gọi khác	Ghi chú
Sắc	hue	sắc loại	cùng một khái niệm
Độ bão hoà	saturation	độ thuần, độ rực	hai tên gọi cho một khái niệm
Độ sáng của vật thể	lightness	độ sáng	so với trắng chuẩn, giá trị 0 – 100
Độ sáng cảm nhận của nguồn	brightness	—	không so với chuẩn nào, chỉ là cảm giác

Hình 7.23 — Ba thuộc tính của màu và bảng đối chiếu thuật ngữ

- Mô tả một màu bằng lời là trả lời ba câu hỏi độc lập nhau.
- Mỗi câu hỏi tương ứng với một thuộc tính: sắc, độ bão hoà, độ sáng.

Bảng 7.14 — Ba thuộc tính của màu

Thuộc tính	Câu hỏi	Đo bằng gì	Ví dụ
Sắc (hue)	Màu gì?	Góc trên vòng màu, hoặc bước sóng chủ đạo trên giản đồ sắc	đỏ, cam, lục lam
Độ bão hoà (saturation)	Đậm hay nhạt?	Khoảng cách từ điểm trắng tới màu, so với khoảng cách tới quỹ tích phổ	đỏ tươi so với hồng phấn
Độ sáng (lightness)	Sáng hay tối?	Đại lượng Y trong hệ CIE, hoặc L∗ trong hệ CIELAB	đỏ tươi so với đỏ đô

Ba từ tiếng Anh dễ nhầm

- **Luminance** — độ chói, đại lượng vật lý đo bằng cd/m², tuyến tính với năng lượng.
- **Lightness** — độ sáng cảm nhận của vật, so với trắng chuẩn trong cùng cảnh; chính là L∗ (0–100), phi tuyến với độ chói.
- **Brightness** — độ sáng cảm nhận của nguồn phát, không so với chuẩn nào; không có thang đo.
- Núm "brightness" trên màn hình thực chất điều khiển độ chói của đèn nền.
- Nhớ nhanh: luminance máy đo được; lightness người so sánh được; brightness người chỉ cảm thấy được.

Đối chiếu thuật ngữ; màu vô sắc và hữu sắc

- Một số tài liệu tiếng Việt gọi ba thuộc tính là "sắc loại", "độ thuần" hoặc "độ rực" và "độ sáng"; "độ thuần" và "độ rực" cùng chỉ độ bão hoà.
- Màu **vô sắc** (đen, xám, trắng) chỉ chiếm một điểm trên giản đồ sắc — điểm trắng — và chỉ khác nhau ở độ sáng.
- **Nâu** là màu cam có độ sáng thấp; **hồng** là màu đỏ có độ bão hoà thấp và độ sáng cao.
- Không có "đèn nâu": nâu chỉ tồn tại khi có vùng sáng hơn ở cạnh để so sánh.

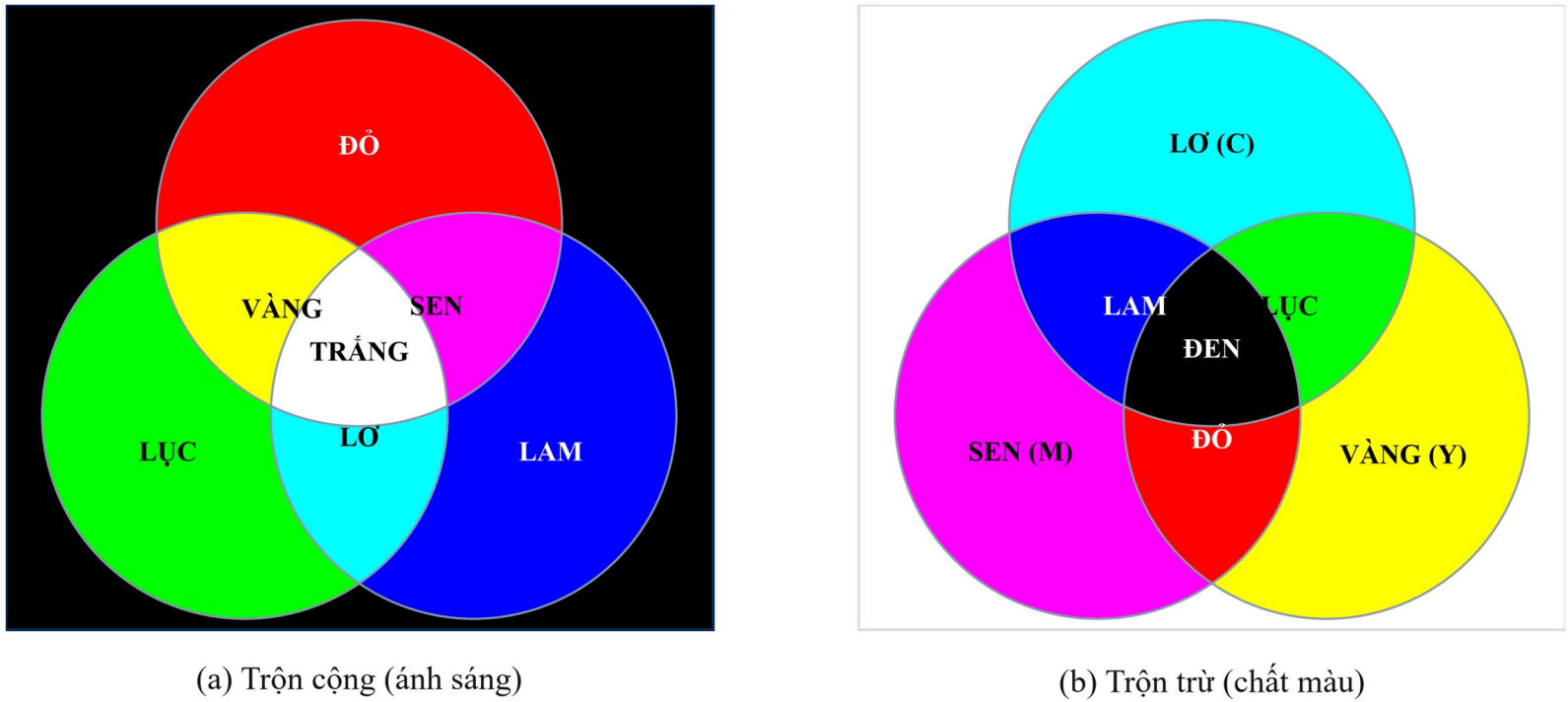
Những điều cần nhớ

- Ba thuộc tính: **sắc**, **độ bão hoà**, **độ sáng**, độc lập nhau.
- Luminance (máy đo), lightness (so với trắng chuẩn), brightness (chỉ là cảm giác).
- Màu vô sắc chỉ khác nhau ở độ sáng; nâu và hồng là biến thể của cam và đỏ.

Trộn cộng và trộn trừ

- Hai cách tạo màu hoạt động theo hai chiều ngược nhau
- Mỗi màu trừ là phần bù của một màu cộng
- Quan hệ bổ túc là công cụ sửa ám màu đơn giản nhất

Hai hệ đối nghịch



(a) Trộn cộng (ánh sáng)

(b) Trộn trừ (chất màu)

Hình 7.24 — Trộn cộng của ánh sáng và trộn trừ của chất màu

- Trộn cộng xuất phát từ nền đen và càng trộn càng sáng.
- Trộn trừ xuất phát từ nền trắng và càng trộn càng tối.

Bảng 7.15 — Trộn cộng và trộn trừ

	Trộn cộng	Trộn trừ
Đối tượng	Ánh sáng phát ra	Chất màu hấp thụ ánh sáng
Nền xuất phát	**Đen** — không có ánh sáng	**Trắng** — giấy đủ mọi bước sóng
Càng trộn thì	càng **sáng**	càng **tối**
Ba màu cơ bản	Đỏ (R), Lục (G), Lam (B)	Lơ (C), Sen (M), Vàng (Y)
Trộn cả ba cho ra	**Trắng**	**Đen** (thực tế là nâu bẩn, nên thêm mực K)
Gặp ở đâu	Màn hình, máy chiếu, đèn sân khấu, cảm biến máy quay	In ấn, gel lọc màu, sơn, thuốc nhuộm, phim âm bản

Vì sao hai hệ lại đối nghịch

- Mỗi màu cơ bản của trộn trừ là phần bù của một màu cộng.
- Mực **lơ** hấp thụ đỏ, cho lọt lục và lam.
- Mực **sen** hấp thụ lục, cho lọt đỏ và lam.
- Mực **vàng** hấp thụ lam, cho lọt đỏ và lục.
- Lơ chồng vàng: đỏ và lam bị chặn, chỉ còn **lục**; chồng cả ba thì ra màu đen.

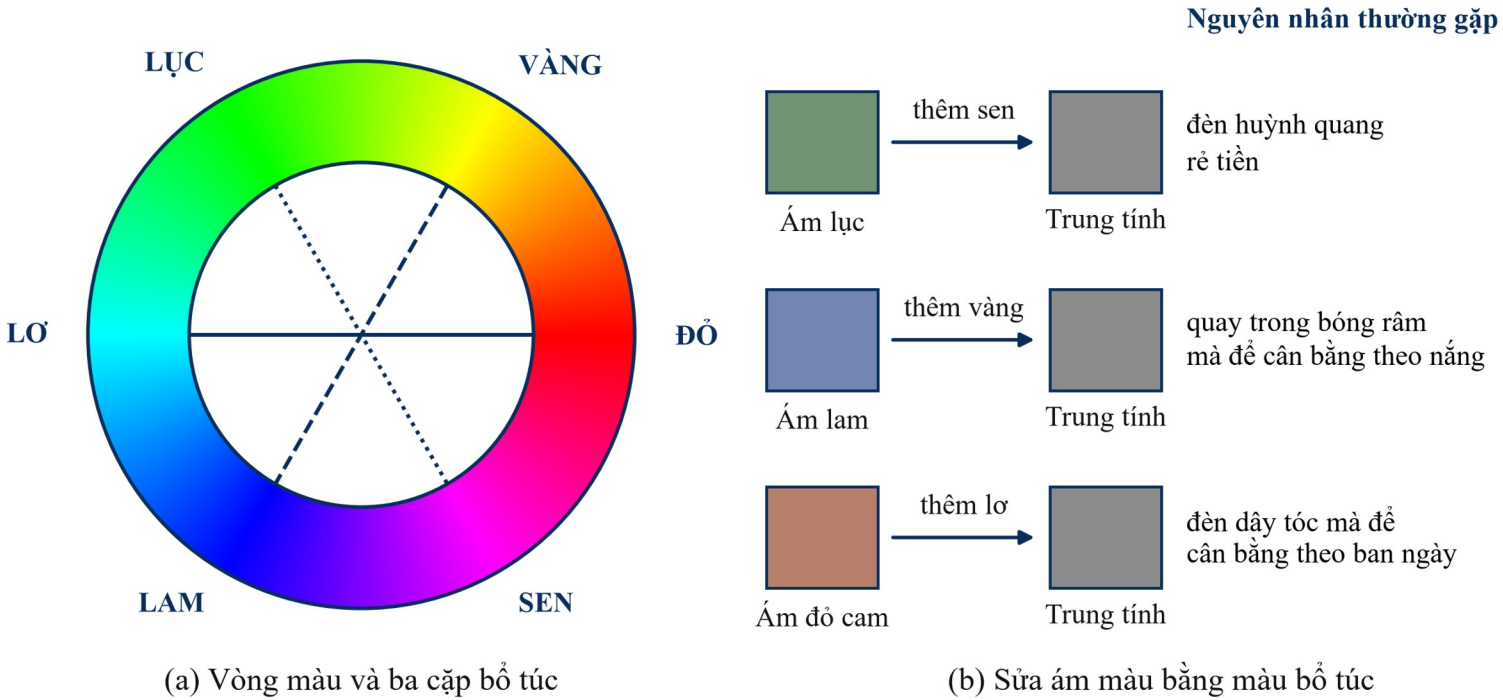
Ba màu cơ bản của trộn trừ

GHI NHỚ

Ba màu cơ bản của phép trộn trừ là lơ (cyan), sen (magenta) và vàng (yellow).

- Nếu thay lơ bằng lục thì phép trộn trừ không cho ra được toàn bộ dải màu.
- Kiểm tra ngay: ba hộp mực màu của máy in phun luôn ghi C, M, Y.

Quan hệ bổ túc trên vòng màu



(a) Vòng màu và ba cặp bổ túc

(b) Sửa ám màu bằng màu bổ túc

Hình 7.25 — Ba cặp màu bổ túc và cách dùng để sửa ám màu

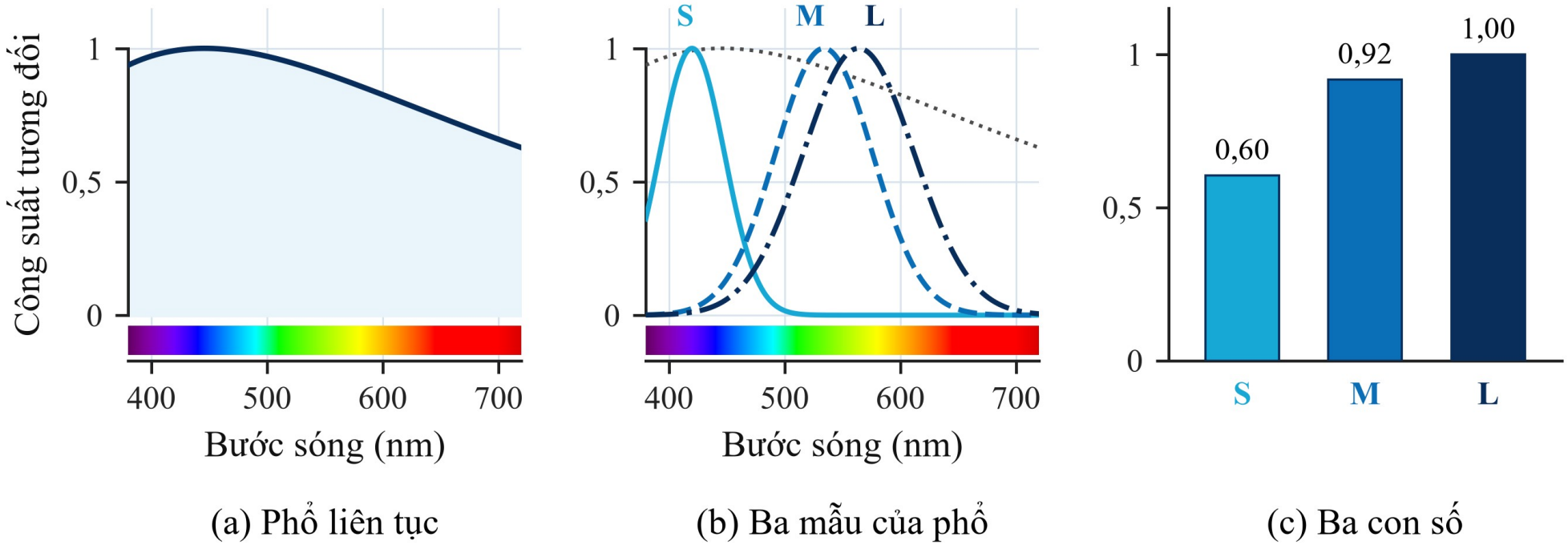
- Hai màu bổ túc nằm đối diện nhau; trộn cộng ở tỉ lệ thích hợp cho màu vô sắc.
- Muốn khử một ám màu, thêm màu bổ túc của nó.

Bảng 7.16 — Ba ám màu thường gặp và cách sửa

Ám màu	Thêm màu	Nguyên nhân thường gặp	Sửa ở đâu
Lục	Sen	Đèn huỳnh quang rẻ tiền, đèn LED có Duv dương	Gel minus green, hoặc trục tint của máy quay
Lam	Vàng	Quay trong bóng râm mà để cân bằng theo nắng	Gel CTO, hoặc hạ kelvin trên máy
Đỏ cam	Lơ	Đèn dây tóc mà để cân bằng theo ban ngày	Gel CTB, hoặc nâng kelvin trên máy

- Trục tint trong menu cân bằng trắng chính là trục lục – sen, độc lập với trục kelvin.

Ba bước lập luận về ánh sáng trắng



Hình 7.26 — Phổ liên tục, ba mẫu của võng mạc, ba con số gửi lên não

- Câu "ánh sáng trắng gồm ba màu đỏ, lục, lam" là không đúng.
- Đến đây đã đủ kiến thức về tế bào nón và đồng phân dị phổ để trình bày đầy đủ.

Phát biểu đúng

GHI NHỚ

Ba màu cơ bản là đặc điểm của người xem, không phải của ánh sáng.

- Ánh sáng trắng là phổ liên tục; mắt lấy ba mẫu của phổ bằng ba loại tế bào nón chồng lấn nhau.
- Thông tin rời mắt chỉ còn ba con số, nên hệ tái tạo chỉ cần ba màu cơ bản.
- Loài chim có bốn loại nón cần bốn màu; máy quay đa phổ nông nghiệp có tám kênh.

Những điều cần nhớ

- Trộn cộng (R, G, B) đi từ đen lên trắng; trộn trừ (C, M, Y) đi từ trắng xuống đen.
- Mỗi màu trừ là phần bù của một màu cộng.
- Muốn khử ám màu, thêm màu bổ túc của ám màu đó.
- Số lượng màu cơ bản phụ thuộc người xem, không phụ thuộc ánh sáng.

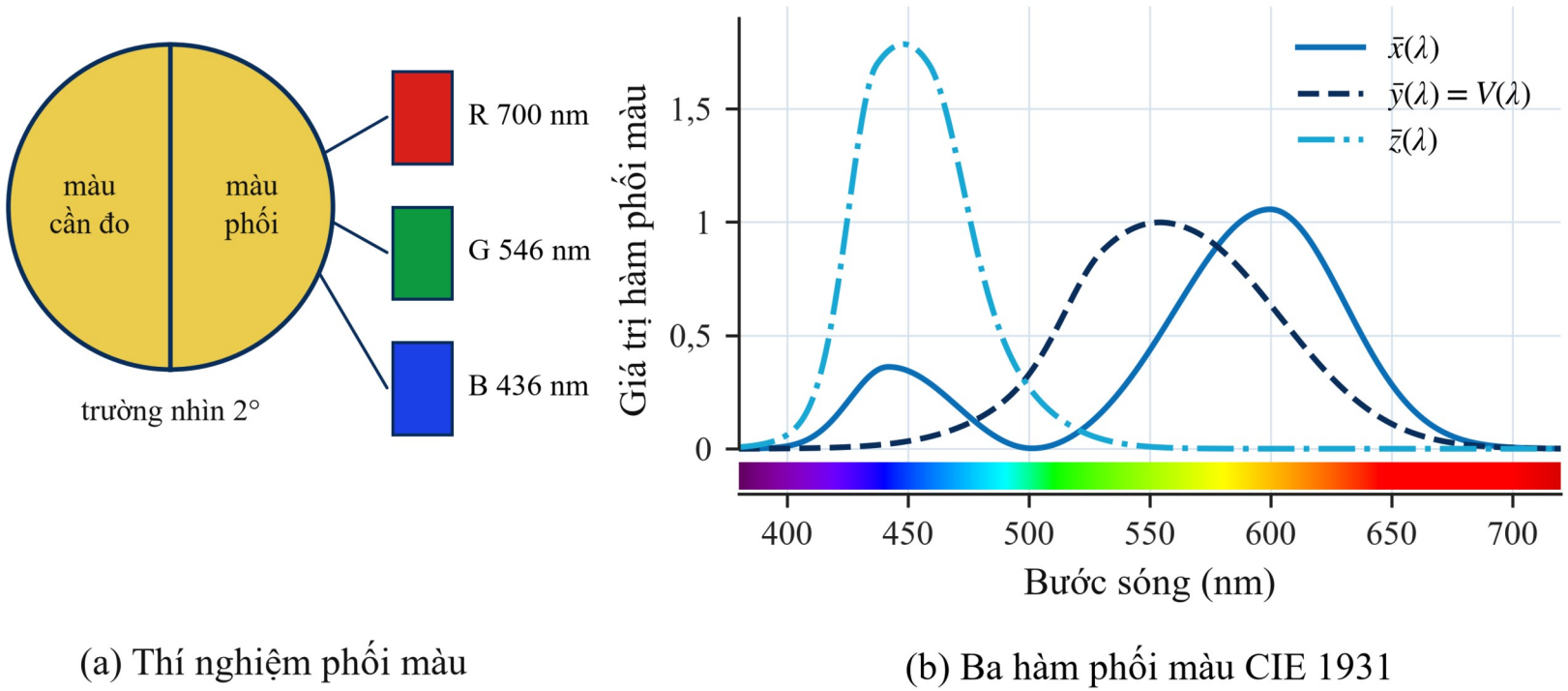
Hệ CIE 1931 và giản đồ sắc xy

- Gọi tên một màu bằng con số sao cho mọi phòng thí nghiệm hiểu như nhau
- Từ thí nghiệm phối màu đến không gian XYZ
- Giản đồ sắc xy và những điều giản đồ không cho biết

Bài toán cần giải và thí nghiệm phối màu

- Đến năm 1920 đã biết ba màu cơ bản là đủ, nhưng chưa có cách gọi tên màu bằng số.
- CIE công bố hệ đo màu năm **1931**; hệ này vẫn là nền móng sau gần một thế kỷ.
- Người quan sát nhìn vòng tròn chia đôi, trường nhìn **2°**: một nửa là ánh sáng đơn sắc, nửa kia là tổ hợp ba đèn đỏ 700 nm, lục 546 nm, lam 436 nm.
- Chỉnh cường độ ba đèn tới khi hai nửa trùng màu rồi ghi ba con số.

Ba hàm phối màu và người quan sát chuẩn



Hình 7.27 — Thí nghiệm phối màu và ba hàm phối màu chuẩn của hệ CIE 1931

- Lặp lại từ 380 tới 780 nm với nhiều người quan sát, ta được ba hàm phối màu của "người quan sát chuẩn 2°".
- Ở vùng lục lam phải cộng đèn đỏ sang phía màu cần đo: lượng phối màu âm.

Không gian XYZ

Ba giá trị kích thích của một phổ Φ(λ) bất kỳ (7.17):

$$X = \int \Phi(\lambda)\,\bar{x}(\lambda)\,d\lambda \;, \quad Y = \int \Phi(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)\,d\lambda \;, \quad Z = \int \Phi(\lambda)\,\bar{z}(\lambda)\,d\lambda$$

- Phép đổi trục tuyến tính làm ba hàm phối màu mới đều **không âm**.
- Hàm ȳ(λ) trùng với hiệu suất sáng V(λ) chuẩn hoá năm 1924, nên Y là **độ chói**.
- Điểm trắng năng lượng đều nằm ở toạ độ (1/3 ; 1/3).

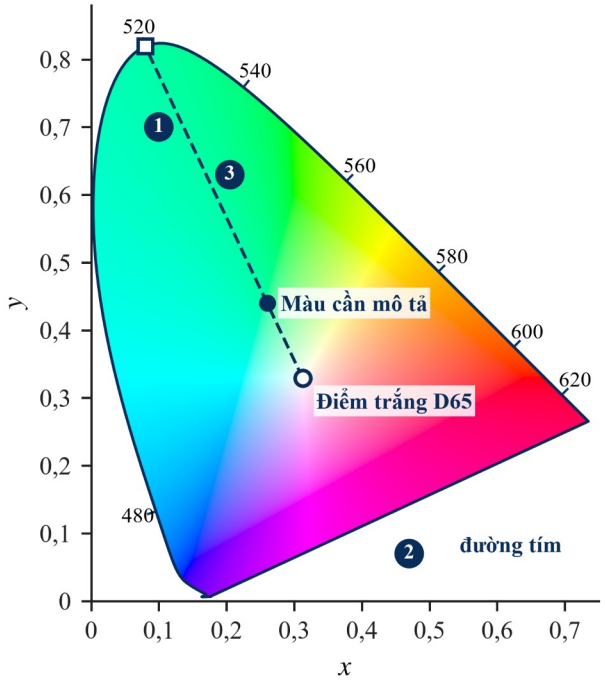
Toạ độ sắc xy

Chuẩn hoá ba giá trị kích thích (7.18):

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad x+y+z=1$$

- Chuẩn hoá để tách phần sắc ra khỏi độ chói.
- Ba toạ độ cộng bằng một nên hai toạ độ là đủ.
- Vẽ x trên trục hoành, y trên trục tung được **giản đồ sắc CIE 1931** hình móng ngựa.

Giản đồ sắc CIE 1931 xy



(a) Giản đồ sắc CIE 1931 xy

1 Quỹ tích phổ

Đường cong ngoài, là tập hợp các màu đơn sắc từ 380 đến 700 nm. Không màu nào của thế giới thực nằm ngoài đường này.

2 Đường tím

Đoạn thẳng nối hai đầu quỹ tích. Các màu trên đường này không ứng với bước sóng nào, chỉ xuất hiện khi trộn hai đầu của phổ.

3 Điểm trắng, bước sóng chủ đạo và độ tinh khiết

Kẻ tia từ điểm trắng qua màu cần mô tả tới quỹ tích: giao điểm cho sắc; tỉ số hai đoạn cho độ tinh khiết, tương ứng độ bão hoà.

Điều giản đồ không cho biết

Giản đồ chỉ mô tả sắc, không mô tả độ chói: nâu và cam nằm cùng một chỗ, chỉ khác nhau ở giá trị Y.

Hình 7.28 — Giản đồ sắc CIE 1931 xy và bốn điều cần biết khi đọc nó

- **Quỹ tích phổ**: các màu đơn sắc 380–700 nm; không màu thực nào nằm ngoài.
- **Đường tím** nối hai đầu quỹ tích; **điểm trắng** D65 ở (0,3127 ; 0,3290).

Bước sóng chủ đạo và độ tinh khiết

Độ tinh khiết kích thích (7.19):

$$p_e = \overline{WS} / \overline{WD} \times 100\ \%$$

- Kẻ tia từ điểm trắng W qua màu S tới quỹ tích tại D.
- Giao điểm D cho **sắc** (bước sóng chủ đạo).
- Tỉ số WS/WD cho **độ tinh khiết**, tương ứng độ bão hoà.

Ba giới hạn của giản đồ 1931

GHI NHỚ

Giản đồ chỉ mô tả sắc, không mô tả độ chói, và không đồng đều theo cảm nhận.

- Nâu và cam nằm cùng chỗ; chúng chỉ khác nhau ở Y, nên không có "vùng màu nâu".
- Khoảng cách hình học trong vùng lục ứng với khác biệt nhỏ hơn nhiều so với vùng lam (hình bầu dục MacAdam, 1942).
- So sánh hai gam bằng tỉ lệ diện tích trên giản đồ 1931 luôn phóng đại vùng lục.

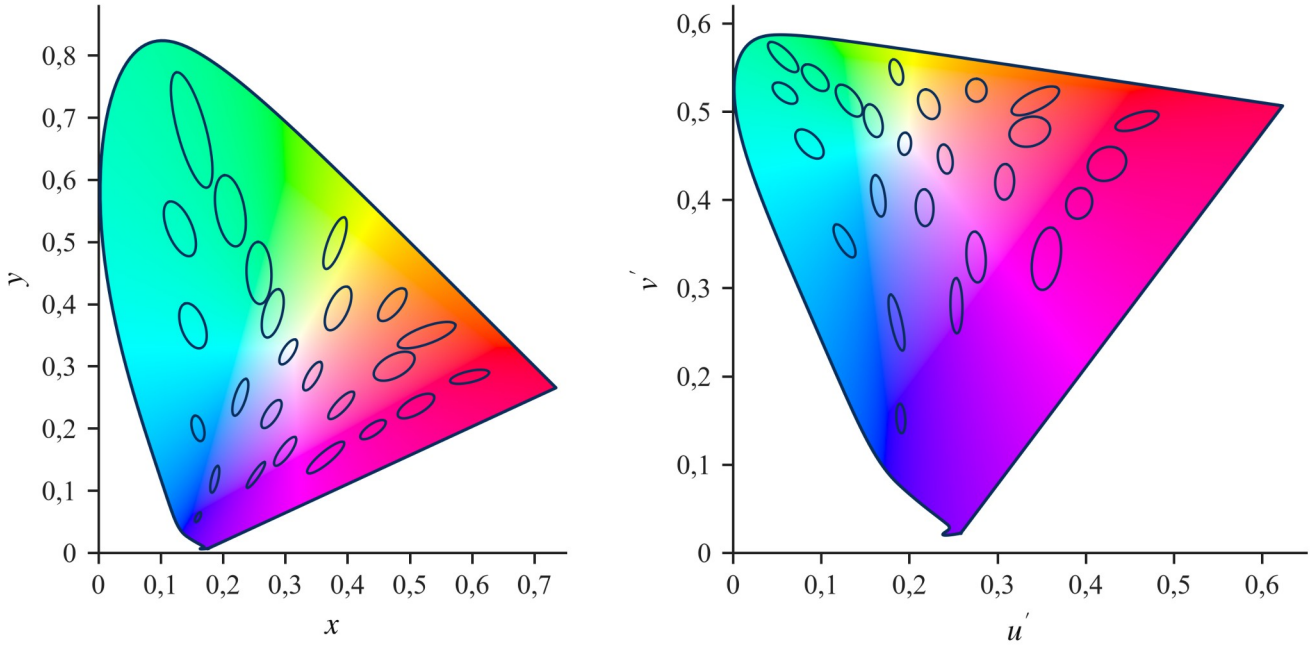
Bản cải tiến CIE 1976 u’v’

Phép đổi toạ độ (7.20):

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

- CIE công bố năm 1976 phép đổi toạ độ để đồng đều hơn theo cảm nhận.
- Mọi phép đo **khoảng cách màu** hiện đại thực hiện trên hệ này: Duv, sai số màu của màn hình.

So sánh xy và u’v’



(a) CIE 1931 xy (b) CIE 1976 u′v′

Hình 7.29 — Giản đồ CIE 1931 xy và CIE 1976 u’v’

- Hình bầu dục MacAdam chênh nhau tới 20 lần giữa vùng lam và vùng lục trên hệ 1931.
- Hệ 1976 thu hẹp chênh lệch ấy xuống còn khoảng 4 lần.

Bảng 7.17 — Dùng giản đồ nào cho việc gì

Công việc	Dùng hệ nào	Vì sao
Vẽ và so sánh gam màu các chuẩn	CIE 1931 xy	Quen thuộc; gam là tam giác nên đọc nhanh
Đo độ lệch Duv	CIE 1976 u’v’	Duv là một khoảng cách
Tính CCT	CIE 1976 u’v’	CCT là điểm gần nhất trên quỹ tích
Đo sai số ΔE của màn hình	CIELAB	Cần cả sắc lẫn độ sáng, đồng đều theo cảm nhận
Xác định bước sóng chủ đạo	CIE 1931 xy	Là phép chiếu hình học

Những điều cần nhớ

- Hệ CIE 1931 gọi tên màu bằng ba giá trị X, Y, Z; Y là độ chói.
- Toạ độ xy tách phần sắc; giản đồ sắc có quỹ tích phổ, đường tím và điểm trắng.
- Giản đồ 1931 không cho biết độ chói và không đồng đều theo cảm nhận.
- Phép đo khoảng cách màu dùng hệ u’v’ hoặc CIELAB.

Nhiệt độ màu, CCT và điểm trắng

- Bức xạ vật đen và quỹ tích Planck
- Nhiệt độ màu thật khác nhiệt độ màu tương quan
- Độ lệch Duv, trục tint và các điểm trắng chuẩn

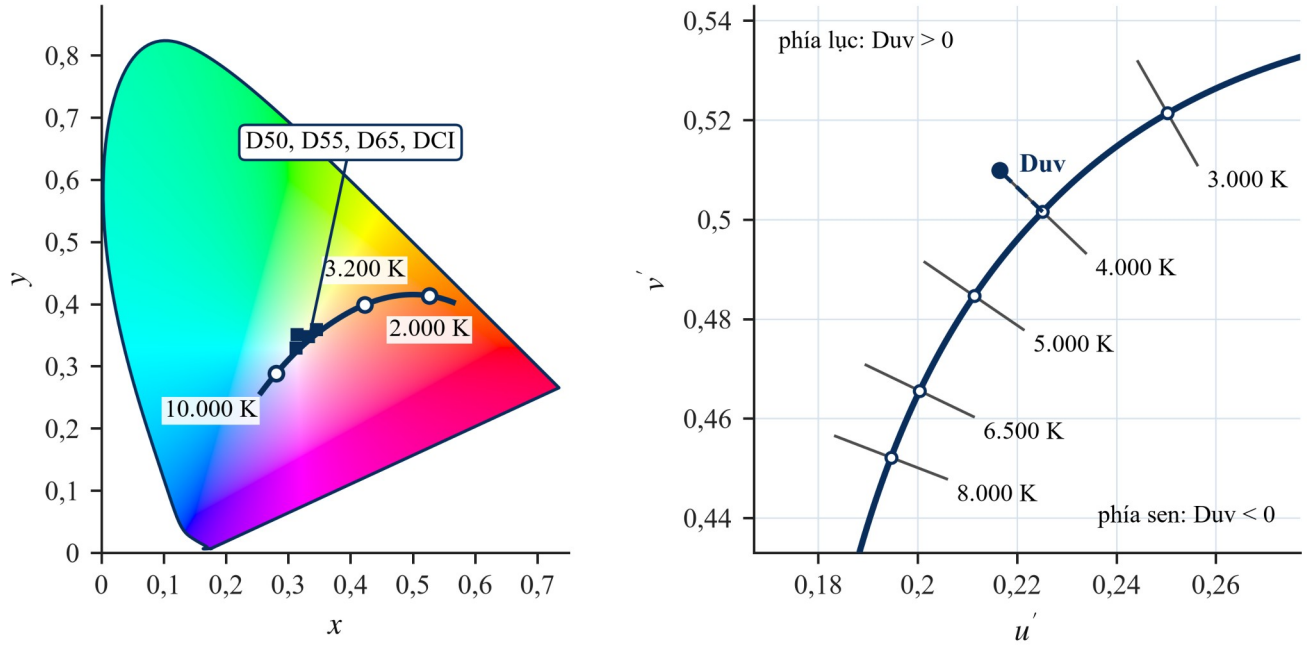
Định luật Planck

Phổ bức xạ của vật đen ở nhiệt độ T (7.21):

$$M_\lambda(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

- Vật đen hấp thụ hoàn toàn bức xạ tới; phổ phát ra chỉ phụ thuộc **nhiệt độ**.
- Nung thanh sắt: đỏ sẫm, đỏ cam, vàng, trắng chói — nguồn gốc khái niệm nhiệt độ màu.
- Định luật Wien (7.22): $\lambda_{max} \cdot T = 2{,}898 \times 10^6$ nm·K; vật đen 3200 K có đỉnh khoảng **906 nm**, trong vùng hồng ngoại, nên đèn dây tóc nóng mà tỏa chủ yếu nhiệt.

Quỹ tích Planck trên giản đồ sắc



(a) Quỹ tích Planck, CIE 1931 (b) CCT và độ lệch Duv, CIE 1976 u′v′

Hình 7.30 — Quỹ tích Planck, CCT và Duv trên hệ CIE 1976

- Vẽ toạ độ sắc của vật đen từ 1500 K tới 20000 K được quỹ tích Planck.
- Đường đi từ đỏ cam (nhiệt độ thấp), qua vùng trắng, tới lam (nhiệt độ cao).

Một nghịch lý ngôn ngữ

GHI NHỚ

Nhiệt độ màu càng cao thì ánh sáng càng ngả lam, tức là càng "lạnh" theo cảm giác thông thường.

- Nhiệt độ màu càng thấp thì càng ngả đỏ cam, tức càng "ấm".
- Cách nhớ: ngọn lửa có phần đỏ ở ngoài nguội hơn, phần xanh ở lõi nóng hơn.

Nhiệt độ màu thật và nhiệt độ màu tương quan

Nhiệt độ màu thật

- Chỉ dùng cho nguồn có toạ độ nằm đúng trên quỹ tích Planck.
- Đèn dây tóc, halogen và Mặt Trời gần thoả điều kiện, vì phát sáng bằng bức xạ nhiệt.

Nhiệt độ màu tương quan (CCT)

- Dùng cho nguồn không nằm trên quỹ tích: huỳnh quang, LED, phóng điện.
- Là nhiệt độ của vật đen có màu gần nhất, đo trên hệ u’v’.
- Hai đèn cùng CCT vẫn có thể lên hình khác nhau.

Độ lệch Duv

Khoảng cách tới điểm (u_o', v_o') gần nhất trên quỹ tích (7.23):

$$Duv = \pm\sqrt{(u' - u_0')^2 + (v' - v_0')^2}$$

- Duv là khoảng cách vuông góc từ nguồn tới quỹ tích Planck trên hệ u'v'.
- Duv **dương**: nguồn phía trên quỹ tích, ám **lục**. Duv **âm**: phía dưới, ám **sen**.
- Đèn huỳnh quang và LED rẻ tiền hầu như luôn có Duv dương, nên da người dưới đèn văn phòng trông tái.

Hai trục độc lập của cân bằng trắng

GHI NHỚ

Cân bằng trắng của máy quay có hai trục: kelvin (ấm – lạnh) và tint (lục – sen).

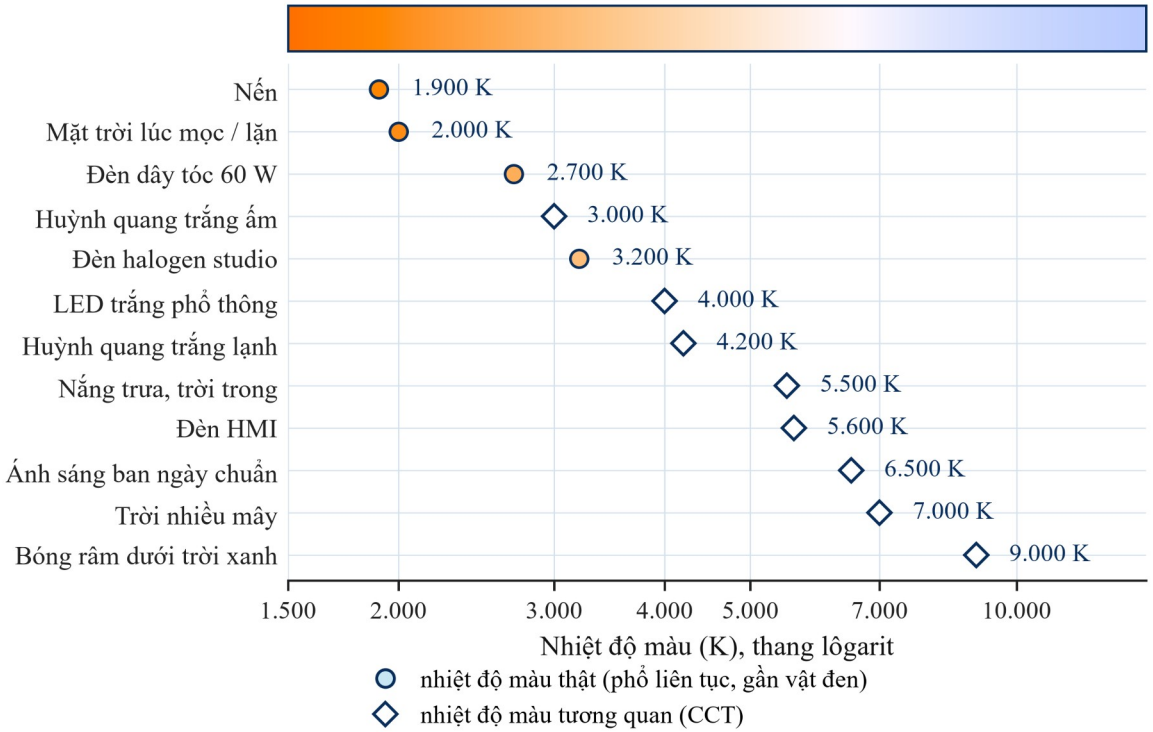
- Kelvin chạy dọc quỹ tích Planck; tint chạy vuông góc với quỹ tích và là Duv đổi dấu.
- Nếu Duv khác không thì không giá trị kelvin nào chữa được ám màu; phải chỉnh tint.
- Thiết bị chuyên nghiệp nên có |Duv| không vượt quá 0,006.

Bảng 7.18 — Bốn điểm trắng chuẩn

Ký hiệu	Toạ độ x ; y	CCT xấp xỉ	Dùng ở đâu
D65	0,3127 ; 0,3290	6504 K	Rec.709, sRGB, Rec.2020, Adobe RGB — chuẩn truyền hình và web
D55	0,3324 ; 0,3474	5503 K	Nhiếp ảnh phim, một số quy trình quét phim
D50	0,3457 ; 0,3585	5003 K	In ấn và tiền in ấn, ProPhoto RGB
DCI	0,3140 ; 0,3510	≈ 6300 K	Rạp chiếu phim số DCI-P3; lệch rõ về phía lục so với D65

- Điểm trắng D không nằm đúng trên quỹ tích Planck; chúng lệch nhẹ về phía lục.
- Chuyển bản DCI-P3 sang Rec.709 bắt buộc phải đổi điểm trắng, nếu không phim ngả lục.

Thang nhiệt độ màu các nguồn thông dụng



Hình 7.31 — Thang nhiệt độ màu và vị trí của các nguồn sáng thông dụng

- **Cảnh báo:** viết 3200 K, không viết 3200 °K.
- Kelvin là thang tuyệt đối, không kèm ký hiệu độ.

Đo nhiệt độ màu tại hiện trường

- **Đoán bằng mắt** — không tin cậy, vì thị giác đã thích nghi sắc; chỉ để ước lượng thô.
- **Máy đo màu cầm tay** — cách chuẩn; cho CCT, Duv, toạ độ xy, và với máy đo phổ cho cả chỉ số hoàn màu.
- **Chính máy quay** — quay thẻ trắng hoặc thẻ xám rồi đọc vectorscope; cho biết cần dịch hướng nào và bao nhiêu.
- Ánh nắng Hà Nội: giữa trưa 5200–5800 K, bảy giờ sáng khoảng 4000 K, gần hoàng hôn dưới 3000 K; trời nhiều mây 6500–7500 K; bóng râm trời trong trên 9000 K.

Những điều cần nhớ

- Nhiệt độ màu càng cao thì ánh sáng càng ngả lam.
- Đèn LED và huỳnh quang chỉ có CCT, không có nhiệt độ màu thật.
- Duv đo độ lệch khỏi quỹ tích; trục tint của máy quay sửa Duv, trục kelvin sửa CCT.
- Điểm trắng D65 cho Rec.709 và sRGB; DCI lệch về phía lục.

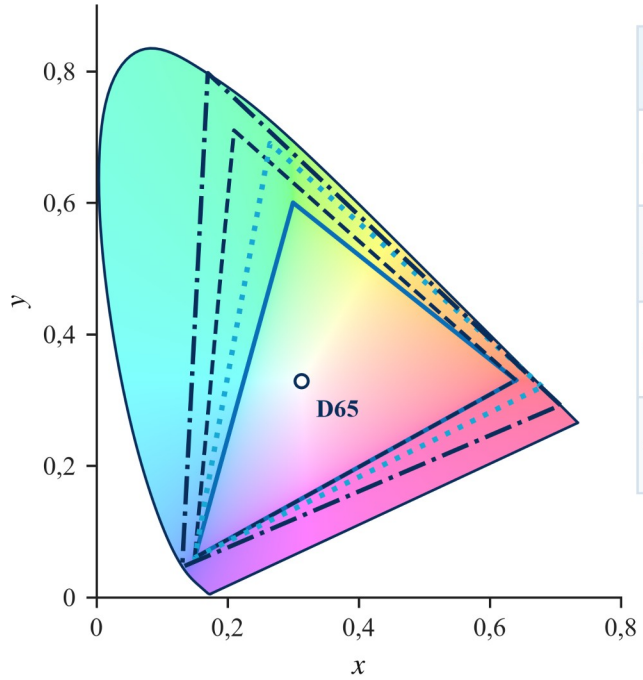
Gam màu và các không gian màu chuẩn

- Gam màu của thiết bị là một tam giác trên giản đồ sắc
- Bốn chuẩn gam màu và những khác biệt thực dụng giữa chúng
- Ánh xạ gam màu: cắt hay nén

Khái niệm gam màu

- **Gam màu** là tập hợp mọi màu mà thiết bị tạo ra hoặc ghi lại được.
- Màn hình ba màu cơ bản có gam là **tam giác** với ba đỉnh là toạ độ sắc của ba màu đó.
- Quỹ tích phổ là đường cong, gam là tam giác, nên không màn hình ba màu nào phủ hết màu nhìn thấy: đây là giới hạn hình học.
- Gam máy in (trộn trừ, bốn mực trở lên) không phải tam giác; hẹp hơn ở lam lục rực nhưng rộng hơn ở một số vùng vàng và lơ nhạt.
- Cần chế độ soft proof để mô phỏng gam máy in trước khi giao nộp bản in.

Bốn gam màu chuẩn



(a) giản đồ CIE 1931 xy

Chuẩn	Điểm trắng	Phủ giản đồ xy	Dùng ở đâu
Rec.709 / sRGB	D65	≈ 34 %	HDTV, web, phần lớn màn hình
Adobe RGB	D65	≈ 45 %	in ấn, nhiếp ảnh
DCI-P3	DCI (≈ 6.300 K)	≈ 45 %	chiếu phim số, màn hình HDR
Rec.2020	D65	≈ 63 %	UHD và HDR phát sóng

(b) bảng đối chiếu

Hình 7.32 — Bốn gam màu chuẩn trên giản đồ CIE 1931 và bảng đối chiếu

- Rec.2020 có gam rộng nhất trong các chuẩn thông dụng; Rec.709/sRGB là chuẩn truyền hình và web.
- Ba đỉnh của Rec.2020 nằm đúng trên quỹ tích phổ.

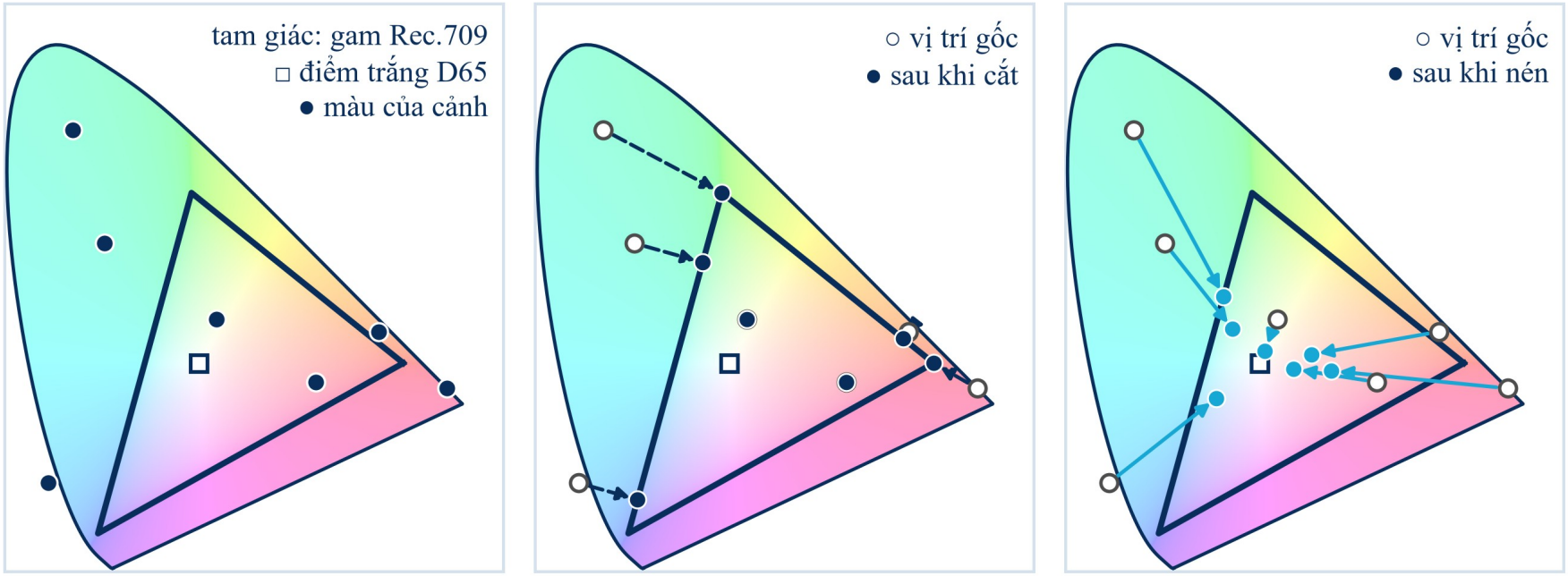
Bảng 7.19 — Toạ độ ba màu cơ bản của các chuẩn

Chuẩn	Đỏ (x ; y)	Lục (x ; y)	Lam (x ; y)	Điểm trắng
Rec.709 / sRGB	0,640 ; 0,330	0,300 ; 0,600	0,150 ; 0,060	D65
Adobe RGB	0,640 ; 0,330	0,210 ; 0,710	0,150 ; 0,060	D65
DCI-P3	0,680 ; 0,320	0,265 ; 0,690	0,150 ; 0,060	DCI
Display P3	0,680 ; 0,320	0,265 ; 0,690	0,150 ; 0,060	D65
Rec.2020	0,708 ; 0,292	0,170 ; 0,797	0,131 ; 0,046	D65

Nhận xét thực dụng từ bảng

- Rec.709 và sRGB có **cùng** ba màu cơ bản và điểm trắng; chỉ khác đường mã hoá phi tuyến (mục 7.20).
- Adobe RGB chỉ mở rộng ở đỉnh **lục**, sinh ra cho ngành in.
- DCI-P3 và Display P3 cùng ba màu cơ bản nhưng **khác điểm trắng**; nhầm hai chuẩn này là lỗi giao nộp phổ biến.
- Chưa có màn hình tiêu dùng nào phủ hết Rec.2020; màn hình HDR phổ biến phủ khoảng 90 % P3, tức chừng 70 % Rec.2020.

Ánh xạ gam màu



(a) màu gốc, có điểm ngoài gam (b) cắt về biên (c) nén theo cảm nhận

Hình 7.33 — Hai chiến lược ánh xạ gam màu: cắt về biên và nén theo cảm nhận

- Màu nằm ngoài gam đích phải được xử lý khi chuyển sang không gian màu hẹp hơn.

Bảng 7.20 — Hai chiến lược ánh xạ gam màu

Chiến lược	Cách làm	Ưu điểm	Nhược điểm
Cắt (clipping, colorimetric)	Màu ngoài gam dồn về điểm gần nhất trên biên; màu trong gam giữ nguyên	Màu trong gam đúng tuyệt đối; hợp đồ hoạ, logo	Mất chuyển sắc, thành mảng bệt ở vùng bão hoà
Nén theo cảm nhận (perceptual)	Toàn bộ vùng màu co về phía điểm trắng theo tỉ lệ mềm	Giữ thứ tự và chuyển sắc; hợp ảnh chụp và phim	Màu trong gam cũng đổi nhẹ; bão hoà chung giảm

- Ảnh có nội dung liên tục (cảnh quay, chân dung): dùng **nén**. Đồ hoạ màu phẳng (logo đài): dùng **cắt**.

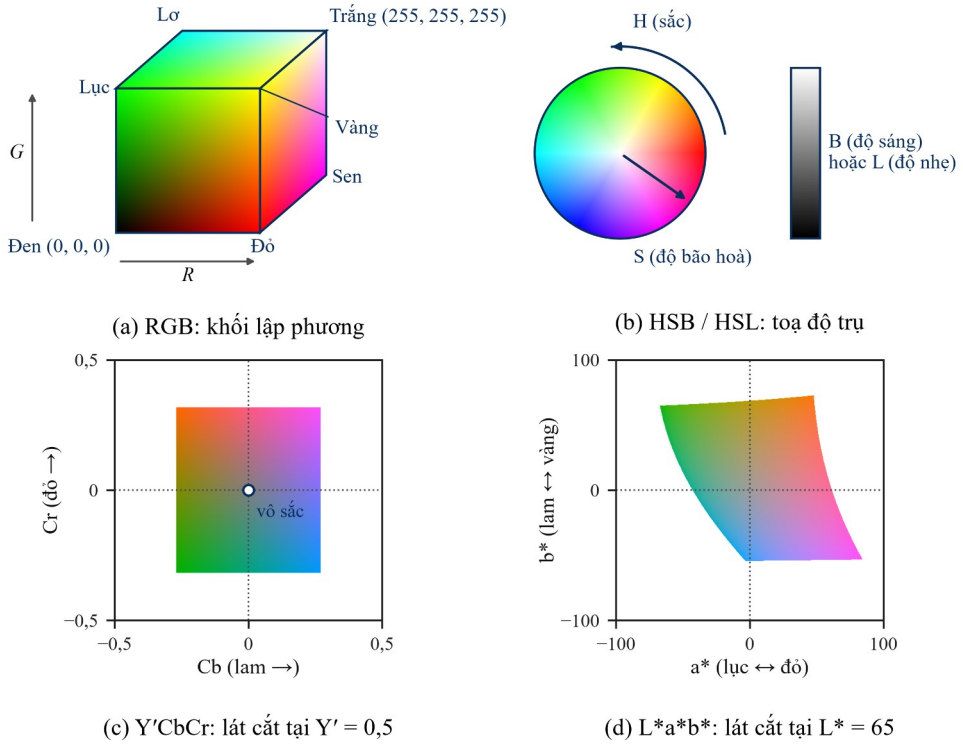
Những điều cần nhớ

- Gam màu của màn hình ba màu là một tam giác trên giản đồ sắc.
- Rec.709 và sRGB cùng gam; DCI-P3 và Display P3 khác điểm trắng.
- Ảnh liên tục dùng ánh xạ nén theo cảm nhận; đồ hoạ phẳng dùng cắt.

Các mô hình màu trong sản xuất

- Cùng một màu có thể mô tả bằng nhiều bộ ba con số
- RGB, CMYK, HSB/HSL, Y’CbCr và CIELAB
- ΔE đo khoảng cách giữa hai màu

Bốn mô hình màu thường gặp



(a) RGB: khối lập phương (b) HSB / HSL: toạ độ trụ

(c) Y′CbCr: lát cắt tại Y′ = 0,5 (d) L*a*b*: lát cắt tại L* = 65

Hình 7.34 — Khối RGB, trụ HSB/HSL, mặt phẳng Y′CbCr và lát cắt L ∗a ∗b ∗

- Mỗi mô hình là một cách chọn ba toạ độ cho cùng một màu.

RGB

GHI NHỚ

Giá trị RGB không phải là phần trăm và không nhân với nhau; chúng là ba toạ độ độc lập.

- Mỗi toạ độ chạy từ 0 tới 255 (8 bit) hoặc 0 tới 1023 (10 bit); hệ 8 bit có $256^3 = 16\,777\,216$ tổ hợp.
- RGB không đồng đều theo cảm nhận.
- Giá trị trong tệp thường đã qua gamma, nên lấy trung bình cộng giá trị mã hoá là sai về vật lý.

CMYK, HSB và HSL

- **CMYK** — bốn kênh mực: lơ, sen, vàng, đen (K = key). Mực đen thêm vào vì ba mực chồng nhau chỉ ra nâu bẩn và vì mực đen rẻ hơn.
- Chuyển RGB sang CMYK luôn mất màu và phụ thuộc giấy, mực; không có phép chuyển đúng duy nhất.
- **HSB, HSL** — toạ độ trụ: sắc theo góc, bão hoà theo bán kính, độ sáng theo trục đứng.
- Trong HSB, B = 1 cho màu rực; trong HSL, L = 1 luôn là trắng.
- Cả hai chỉ là cách viết lại RGB, không đồng đều và không dùng để đo sai số màu.

Y’CbCr — kênh độ chói và hai kênh hiệu màu

Mô hình quan trọng nhất với người làm video (7.24):

$$Y' = 0{,}2126R' + 0{,}7152G' + 0{,}0722B' \;;\quad C_b = \frac{B' - Y'}{1{,}8556},\quad C_r = \frac{R' - Y'}{1{,}5748}$$

- Hệ số 0,2126 / 0,7152 / 0,0722 là của Rec.709; Rec.601 (SD) dùng 0,299 / 0,587 / 0,114.
- Dùng nhầm bộ hệ số gây sai màu nhẹ nhưng nhìn thấy được, nhất là ở da người.
- Lợi ích chính: **lấy mẫu con** Cb và Cr mà mắt gần như không nhận ra (nhờ hàm độ nhạy tương phản, mục 7.10).
- Lợi ích lịch sử: tương thích ngược với truyền hình đen trắng.

Y’CbCr không phải là YUV

CẢNH BÁO

YUV là hệ tín hiệu analog của PAL (YIQ của NTSC); Y’CbCr là hệ số, nằm trong mọi tệp video ngày nay.

- YUV và YIQ là tín hiệu liên tục có sóng mang phụ, không tồn tại trong thiết bị số.
- FFmpeg vẫn gọi định dạng điểm ảnh là "yuv420p": đó là quán tính lịch sử.
- Tài liệu kỹ thuật cần dùng đúng tên Y’CbCr.

CIELAB và sai số màu ΔE

Khoảng cách giữa hai màu trong CIELAB (7.25):

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

- CIE công bố CIELAB năm 1976: không gian **gần đồng đều** theo cảm nhận.
- L∗ là độ sáng (0–100); a∗ là trục lục – đỏ; b∗ là trục lam – vàng.
- Hai trục a∗, b∗ phản ánh cấu trúc đối lập của thị giác (mục 7.7.3).

Bảng 7.21 — Ý nghĩa thực tế của các mức ΔE

Giá trị ΔE	Ý nghĩa
nhỏ hơn 1	Người quan sát bình thường **không** nhận ra khác biệt
1 – 2	Nhận ra khi hai màu đặt cạnh nhau; ngưỡng thường dùng khi kiểm tra màn hình
2 – 3,5	Nhận ra cả khi hai màu không đặt cạnh nhau
3,5 – 5	Khác biệt rõ ràng, không chấp nhận được trong công việc màu
lớn hơn 5	Hai màu bị coi là khác hẳn nhau

■ Công thức 1976 chưa hoàn hảo; CIE bổ sung ΔE94 và ΔE2000. Cùng một màn hình có thể ghi ΔE 2,5 (1976) hoặc 1,2 (2000).

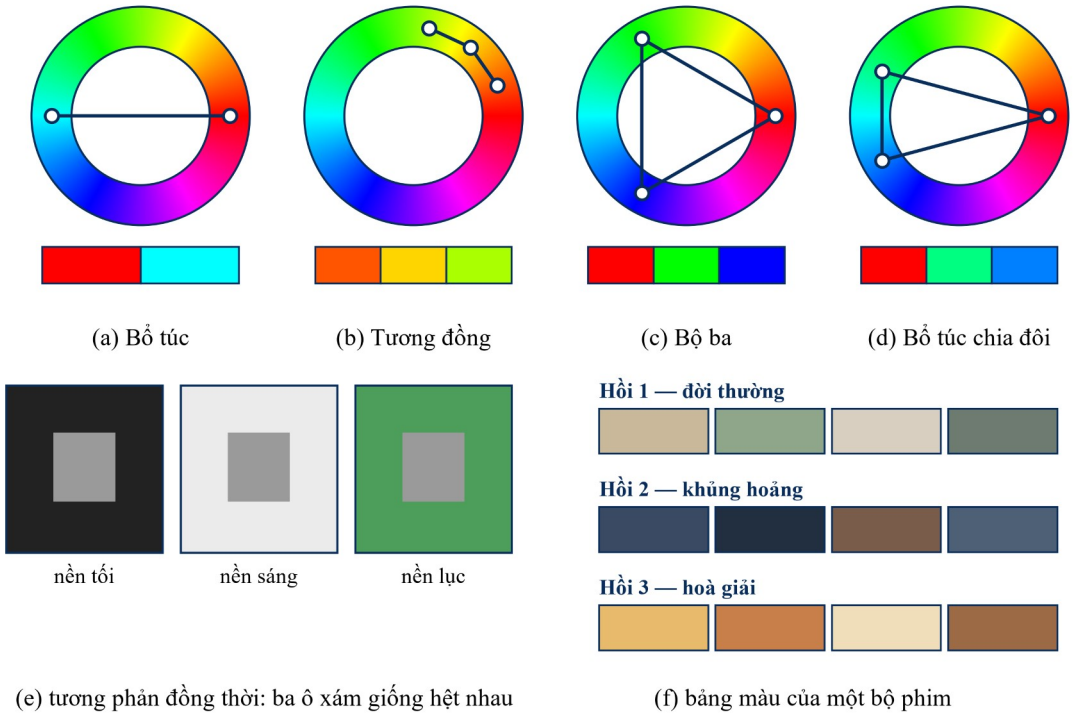
Những điều cần nhớ

- RGB là mô hình gần phần cứng nhất nhưng không đồng đều và đã qua gamma.
- CMYK, HSB, HSL không dùng để đo sai số màu.
- Y’CbCr tách độ chói khỏi hiệu màu để lấy mẫu con; không đồng nghĩa với YUV.
- CIELAB gần đồng đều; ΔE dưới 1 là không nhận ra khác biệt.

Phối màu có cơ sở

- Mỗi quan hệ phối màu có một biểu diễn hình học trên vòng màu
- Màu ấm và màu lạnh gắn với quỹ tích Planck
- Tương phản đồng thời và bảng màu của bộ phim

Bốn quan hệ phối màu



Hình 7.35 — Bốn quan hệ phối màu, tương phản đồng thời và bảng màu của một bộ phim

- Mỗi quan hệ phối màu là một hình học đơn giản trên vòng màu.

Bảng 7.22 — Bốn quan hệ phối màu

Quan hệ	Hình học trên vòng màu	Hiệu quả	Dùng khi nào
Bổ túc	Hai điểm đối xứng, cách nhau 180°	Tương phản mạnh nhất	Tách nhân vật khỏi nền; cặp cam – lơ
Tương đồng	Ba điểm liền nhau trong 60°	Hoà hợp, êm	Cảnh trữ tình, hồi tưởng
Bộ ba	Ba điểm cách đều 120°	Cân bằng mà sinh động	Hoạt hình, quảng cáo; một màu chính, hai màu phụ
Bổ túc chia đôi	Một điểm và hai điểm hai bên màu bổ túc của nó	Tương phản bổ túc nhưng dịu hơn	Khi bổ túc thuần quá gắt

Màu ấm và màu lạnh nói theo nhiệt độ màu

- Trục ấm – lạnh là hình chiếu của **quỹ tích Planck** lên vòng màu.
- Màu ấm nằm về phía nhiệt độ thấp của quỹ tích; màu lạnh về phía nhiệt độ cao.
- Chọn "tông ấm" cho cảnh là dịch điểm trắng dọc quỹ tích về phía nhiệt độ thấp: thao tác đo được bằng gel CTO hoặc nhiệt độ màu khi chỉnh màu, kiểm tra trên vectorscope.
- Cặp ấm – lạnh thuyết phục nhất khi tái tạo chênh lệch có thật: nắng chiều 3000 K trên mặt người, nền bóng râm trời xanh 8000 K.

Tương phản đồng thời

GHI NHỚ

Không đánh giá một màu khi nhìn nó cô lập; phần mềm chỉnh màu cần giao diện nền xám trung tính.

- Ô xám trên nền tối trông sáng hơn trên nền sáng; trên nền lục nó ngả sen.
- Đây là hệ quả của cơ chế thích nghi cục bộ ở võng mạc.
- Xem màu trong khung hình đầy đủ, trên nền phòng có độ sáng chuẩn; nền đen tuyền hoặc nền màu làm lệch đánh giá.

Bảng màu của một bộ phim

- **Bảng màu** (color script) là dải ô màu đại diện từng trường đoạn, xếp theo thời gian.
- Lập ở tiền kỳ cùng đạo diễn và hoạ sĩ thiết kế; chi phối màu tường, trang phục, nhiệt độ màu đèn và hướng chỉnh màu hậu kỳ.
- Mỗi hồi hoặc trạng thái tâm lý có một dải sắc riêng, giữ nguyên suốt trường đoạn.
- Chuyển dải ở điểm ngoặt của câu chuyện.
- Màu mang nghĩa (áo đỏ của nhân vật chính) nên vắng mặt ở phần còn lại của khung hình.

Những điều cần nhớ

- Bốn quan hệ: bổ túc 180°, tương đồng trong 60°, bộ ba 120°, bổ túc chia đôi.
- Màu ấm và lạnh là hai phía của quỹ tích Planck.
- Màu phụ thuộc môi trường xung quanh; chỉnh màu trên nền xám trung tính.
- Bảng màu lập kế hoạch màu cho cả tác phẩm từ tiền kỳ.

Bài thực hành số 2 — đọc và đo màu

- Bốn phần, tổng thời lượng khoảng 100 phút
- Đo nguồn sáng, chứng minh đồng phân dị phổ, so gam màn hình, lập bảng màu

Mục tiêu

- Đọc toạ độ sắc của một nguồn sáng trên giản đồ CIE và giải thích ý nghĩa của **CCT** và **Duv**.
- Chứng minh bằng thực nghiệm hiện tượng **đồng phân dị phổ**.
- So sánh gam màu của hai màn hình và chỉ ra hậu quả khi giao nộp sai không gian màu.
- Lập bảng màu cho một trường đoạn ngắn.

Thiết bị

- Máy đo màu cầm tay hiển thị CCT, Duv, toạ độ xy; nếu khoa không có, dùng ứng dụng trên điện thoại đã hiệu chuẩn và chấp nhận sai số.
- Ba nguồn sáng khác họ: dây tóc hoặc halogen, huỳnh quang, LED chỉnh được nhiệt độ màu.
- Hai mảnh vải hoặc bìa **cùng màu** dưới ánh sáng ban ngày nhưng khác vật liệu hoặc thuốc nhuộm.
- Hai màn hình khác nhau: thông thường và rộng gam (hoặc điện thoại đời mới).
- Máy quay và phần mềm chỉnh màu có vectorscope.

Phần 1 — Đo và định vị nguồn sáng (30 phút)

Nguồn sáng	CCT (K)	Duv	x	y	Phía quỹ tích
Đèn dây tóc / halogen					
Đèn huỳnh quang					
Đèn LED đặt 3200 K					
Đèn LED đặt 5600 K					
Ánh sáng cửa sổ ban ngày					

■ Chấm các điểm lên bản in giản đồ sắc có quỹ tích Planck. Nguồn nào có |Duv| lớn nhất? Dự đoán chiều ám da người, kiểm chứng bằng vectorscope.

Phần 2 — Chứng minh đồng phân dị phổ (25 phút)

- Đặt hai mảnh vải cạnh nhau dưới ánh sáng cửa sổ; xác nhận cùng màu và chụp ảnh làm bằng chứng.
- Chiếu bằng đèn huỳnh quang trong phòng và quan sát lại.
- Lặp lại dưới đèn LED và dưới đèn dây tóc.
- Quay cả bốn trường hợp với cùng cân bằng trắng; đo khoảng cách hai điểm màu trên vectorscope.
- Kết luận cần rút ra: hai mảnh đồng phân dưới nguồn này có thể lệch rõ dưới nguồn khác, mức lệch tăng theo độ khuyết phổ của nguồn.

Phần 3 — So sánh gam màu hai màn hình (25 phút)

- Mở cùng một ảnh có màu bão hoà mạnh (hoa đỏ, biển lam, lá lục) trên cả hai màn hình đặt cạnh nhau.
- Chụp cả hai màn hình bằng cùng máy, cùng phơi sáng và so sánh.
- Nếu phần mềm cho phép, gán nhầm không gian màu: tệp Display P3 khai báo là sRGB và ngược lại; ghi nhận hướng lệch.
- Kết luận cần rút ra: gán không gian **rộng** thành **hẹp** làm màu bão hoà quá mức; gán ngược lại làm màu xỉn. Đây là lỗi thường gặp nhất khi đưa tệp lên mạng xã hội.

Phần 4 — Lập bảng màu (20 phút)

- Chọn đoạn phim ngắn khoảng ba phút mà cả nhóm đã xem.
- Lấy 8–12 khung hình đại diện; dùng phần mềm rút 3–4 màu chủ đạo của mỗi khung.
- Xếp thành một dải theo thứ tự thời gian.
- Xác định đoạn phim dùng quan hệ phối màu nào trong bốn quan hệ ở mục 7.18.1 và giải thích lựa chọn gắn với nội dung ra sao.

Sản phẩm nộp

- Bản giản đồ sắc chấm năm điểm của Phần 1, kèm bảng số liệu.
- Bốn ảnh của Phần 2 xếp thành lưới.
- Ảnh chụp hai màn hình của Phần 3, kèm nhận xét.
- Dải bảng màu của Phần 4, kèm đoạn phân tích không quá mười lăm dòng.

Những điều cần nhớ

- Đo bằng máy cho CCT và Duv, không dựa vào mắt.
- Đồng phân dị phổ chỉ lộ ra khi đổi nguồn sáng.
- Gán sai không gian màu làm bão hoà quá mức hoặc xỉn màu.
- Bảng màu và quan hệ phối màu liên hệ trực tiếp với nội dung tác phẩm.

Kết thúc Phần C

Màu được mô tả bằng ba thuộc tính, đo trên giản đồ sắc CIE, đặt trong gam màu và mô hình màu thích hợp.
Các mục sau chuyển sang gamma, dải động, HDR và quản lý màu.