MỤC LỤC

Chương 7. Lý thuyết màu sắc và ánh sáng 9
7.1 Vị trí của chương trong cuốn sách 11
7.2 Bản chất của ánh sáng 13
7.3 Ánh sáng gặp vật chất 15
7.4 Bốn đại lượng trắc quang 19
7.5 Từ độ rọi tới phơi sáng 22
7.6 Bài thực hành số 1 — đo sáng và phơi sáng 28
7.7 Cấu tạo mắt và đường thị giác 30
7.8 Tế bào que, tế bào nón và nguyên lý ba màu 32
7.9 Thị giác sáng, thị giác tối và sự thích nghi 36
7.10 Cảm nhận phi tuyến và độ nhạy tương phản 38
7.11 Hằng số màu và thích nghi sắc 40
7.12 Ba thuộc tính của màu 41
7.13 Trộn cộng và trộn trừ 42
7.14 Hệ CIE 1931 và giản đồ sắc xy 45
7.15 Nhiệt độ màu, CCT và điểm trắng 49
7.16 Gam màu và các không gian màu chuẩn 52
7.17 Các mô hình màu trong sản xuất 54
7.18 Phối màu có cơ sở 57
7.19 Bài thực hành số 2 — đọc và đo màu 59
7.20 Gamma — vì sao tín hiệu hình phi tuyến 61
7.21 Dải động, stop và đường log 65
7.22 HDR — PQ và HLG 68
7.23 Quản lý màu trong dây chuyền 70
7.24 Công cụ đo trên hiện trường 73
7.25 Bài thực hành số 3 — log, LUT và đọc scope 77
7.26 Các họ nguồn sáng và phổ của chúng 79
7.27 Chỉ số hoàn màu 82
7.28 Nhấp nháy và tần số lưới điện 86
7.29 Kính lọc và gel 88
7.30 Cân bằng trắng trong thực tế 90
7.31 Bài thực hành số 4 — đo nguồn sáng và cân bằng trắng 94
7.32 Câu hỏi và bài tập ôn tập 97

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 7.1 Vị trí của Chương 7 trong cuốn sách — chương bản lề giữa miền âm thanh và ba chương video.....11
Hình 7.2 Phổ điện từ và vị trí của cửa sổ nhìn thấy; bên dưới là dải bước sóng 380 – 780 nm phóng to.....14
Hình 7.3 Tán sắc của ánh sáng trắng qua lăng kính, hiện trên mặt tường.....16
Hình 7.4 Ba hiện tượng cơ bản khi ánh sáng gặp mặt phân cách: phản xạ gương và khuếch tán, khúc xạ theo định luật Snell, tán sắc qua lăng kính.....16
Hình 7.5 Cầu vồng kép — tán sắc ánh sáng Mặt Trời qua các giọt nước mưa.....17
Hình 7.6 Tán xạ Rayleigh phụ thuộc bước sóng theo luỹ thừa bốn — nguồn gốc của trời xanh, hoàng hôn đỏ và mây trắng.....18
Hình 7.7 Ánh sáng phân cực sau phản xạ và tác dụng của kính lọc phân cực tròn khi xoay.....19
Hình 7.8 Hàm hiệu suất sáng V(λ) của thị giác sáng, đỉnh 555 nm, và đường V′(λ) của thị giác tối, đỉnh 507 nm.....20
Hình 7.9 Bốn đại lượng trắc quang cơ bản: quang thông, cường độ sáng, độ rọi và độ chói — mỗi đại lượng trả lời một câu hỏi khác nhau.....21
Hình 7.10 Luật nghịch đảo bình phương và luật cosin Lambert — hai định luật chi phối việc đặt đèn.....22
Hình 7.11 Thẻ xám trung tính (mặt xám) và thẻ trắng dùng để đo sáng và cân bằng trắng.....23
Hình 7.12 Thẻ xám 18 %, hệ số phản xạ của một số bề mặt thường gặp, và hai kiểu đo sáng.....23
Hình 7.13 Máy đo sáng quang điện cổ điển Leningrad-2, vòng tính khẩu độ và tốc độ màn trập.....25
Hình 7.14 Tam giác phơi sáng: ba đường đổi cùng một lượng ánh sáng nhưng gây ba hệ quả hình ảnh hoàn toàn khác nhau.....26
Hình 7.15 Cấu tạo mắt người, đường đi của ánh sáng, và bảng đối chiếu từng bộ phận với bộ phận tương ứng của máy quay.....30
Hình 7.16 Mật độ tế bào que và tế bào nón theo góc lệch khỏi trục nhìn, kèm ba hệ quả thực tế.....33
Hình 7.17 Ba đường nhạy phổ của tế bào nón S, M, L — chồng lấn rất nhiều, nhất là giữa M và L.....33
Hình 7.18 Đồng phân dị phổ: hai phổ khác hẳn nhau cho cùng một bộ ba giá trị kích thích S, M, L, nên mắt thấy cùng một màu vàng.....35
Hình 7.19 Ba dạng mù màu và hệ quả thiết kế; bên phải là hiện tượng hằng số màu — vì sao tờ giấy luôn nhìn thấy trắng.....36
Hình 7.20 Ba chế độ thị giác theo mức sáng, và hiệu ứng Purkinje giải thích vì sao cảnh đêm ngả xanh.....37
Hình 7.21 Mắt cảm nhận độ sáng theo hàm luỹ thừa; hệ quả là các bậc mã phải chia KHÔNG đều theo độ chói thật.....39
Hình 7.22 Hàm độ nhạy tương phản cho kênh độ chói và hai kênh màu — mắt nhạy với chi tiết độ chói hơn hẳn.....39
Hình 7.23 Ba thuộc tính của màu và bảng đối chiếu thuật ngữ.....41
Hình 7.24 Trộn cộng của ánh sáng và trộn trừ của chất màu — hai hệ đối nghịch nhau 43
Hình 7.25 Ba cặp màu bổ túc trên vòng màu, và cách dùng quan hệ bổ túc để sửa ám màu.....44

Hình 7.26 Ba bước lập luận: ánh sáng trắng là phổ liên tục, mắt lấy ba mẫu của phổ đó, não chỉ nhận được ba con số.....45
Hình 7.27 Thí nghiệm phối màu và ba hàm phối màu chuẩn của hệ CIE 1931.....46
Hình 7.28 Giản đồ sắc CIE 1931 xy và bốn điều cần biết khi đọc nó.....47
Hình 7.29 So sánh giản đồ CIE 1931 xy và CIE 1976 u′v′ — hệ 1976 đồng đều hơn nhiều theo cảm nhận.....48
Hình 7.30 Quỹ tích Planck trên giản đồ sắc, và cách đọc nhiệt độ màu tương quan cùng độ lệch Duv trên hệ CIE 1976.....49
Hình 7.31 Thang nhiệt độ màu và vị trí của các nguồn sáng thông dụng.....51
Hình 7.32 Bốn gam màu chuẩn trên giản đồ CIE 1931 và bảng đối chiếu.....53
Hình 7.33 Hai chiến lược ánh xạ gam màu: cắt về biên và nén theo cảm nhận.....54
Hình 7.34 Bốn mô hình màu thường gặp: khối RGB, trụ HSB/HSL, mặt phẳng Y′CbCr và lát cắt L\.....55
Hình 7.35 Hộp Color Picker và bảng Info của Photoshop: một màu, bốn mô hình biểu diễn (HSB, Lab, RGB, CMYK). Ô màu lấy từ ảnh bảng thử ColorChecker bằng công cụ Eyedropper.....57
Hình 7.36 Bốn quan hệ phối màu trên vòng màu, tương phản đồng thời, và bảng màu của một bộ phim.....58
Hình 7.37 Ba lý do độc lập dẫn tới việc mã hoá tín hiệu hình theo hàm phi tuyến.....61
Hình 7.38 Ba hàm chuyển đổi trên đường đi của tín hiệu hình và dạng đồ thị của chúng 62
Hình 7.39 Đường mã hoá Rec.709 và sRGB, và lý do cả hai đều có một đoạn thẳng ở gốc toạ độ.....64
Hình 7.40 Cùng một tệp dữ liệu, ba cách hiểu khác nhau về đường mã hoá cho ba kết quả hoàn toàn khác nhau.....65
Hình 7.41 Dải động của mắt người, phim nhựa, cảm biến hiện đại và màn hình — màn hình là cổ chai của cả dây chuyền.....66
Hình 7.42 Đường log so với Rec.709, lý do ảnh log trông nhạt, và ba điều cần nhớ khi quay log.....67
Hình 7.43 Ba đường mã hoá PQ, HLG và Rec.709 đặt trên cùng một thang độ chói, và bảng so sánh hai chuẩn HDR.....69
Hình 7.44 LUT 1D và LUT 3D — khác nhau ở khả năng đổi sắc; và hai loại LUT theo mục đích.....71
Hình 7.45 Dây chuyền ACES: IDT đưa mọi nguồn về một không gian trung gian, RRT nén dải động, ODT cho ra từng đích giao nộp.....72
Hình 7.46 Bốn công cụ đo trên hiện trường: thanh màu chuẩn, waveform, vectorscope và false colour.....74
Hình 7.47 Bốn công cụ đo của Lumetri Scopes trong Adobe Premiere Pro (Waveform, Vectorscope YUV, RGB Parade, Histogram) trên clip ColorChecker mẫu tổng hợp.....74
Hình 7.48 Thanh màu chuẩn trên Waveform và Vectorscope trong Adobe Premiere Pro (tệp thanh màu mẫu tổng hợp).....75
Hình 7.49 Waveform (Luma) với thang IRE trên dải xám trong Adobe Premiere Pro (tệp dải xám mẫu tổng hợp).....76
Hình 7.50 Mẫu thanh màu SMPTE RP 219 dùng làm tín hiệu tham chiếu.....77
Hình 7.51 Phổ đặc trưng của bốn họ nguồn sáng: sợi đốt và halogen, phóng điện HMI, huỳnh quang, và LED trắng.....79
Hình 7.52 Bóng HMI công suất lớn, nguồn sáng ban ngày 5600 K cho trường quay và ngoại cảnh.....80

Hình 7.53 Hiệu suất sáng của các họ đèn và bảng thông số cần đòi hỏi khi mua hoặc thuê đèn.....82
Hình 7.54 Tám mẫu màu của chỉ số Ra, và vì sao hai đèn cùng Ra vẫn có thể cho màu da hoàn toàn khác nhau.....83
Hình 7.55 Biểu đồ vector TM-30 với 16 nhóm sắc, và ý nghĩa của hai chỉ số Rf, Rg cùng chỉ số SSI.....84
Hình 7.56 Lưới 50 Hz cho ánh sáng nhấp nháy ở 100 Hz, và cửa sổ phơi sáng của ba tốc độ màn trập thường dùng.....86
Hình 7.57 Màn trập cuốn sinh vằn ngang; quay chậm hiếm khi rơi đúng bội số của chu kỳ nhấp nháy; và ba cách xử lý trên hiện trường.....88
Hình 7.58 Gel chuyển nhiệt độ màu, gel sửa ám lục, và các loại kính lọc lắp trước ống kính kèm lượng ánh sáng mất đi.....88
Hình 7.59 Cân bằng trắng có hai trục độc lập, bốn cách đặt, và cách xử lý cảnh có nguồn sáng hỗn hợp.....91
Hình 7.60 Lumetri Color trong Adobe Premiere Pro: lấy mẫu thẻ xám bằng White Balance Selector, Temperature và Tint tự điều chỉnh (tệp mẫu tổng hợp).....91
Hình 7.61 Bảng thử màu 24 ô (ColorChecker) với hàng xám dưới cùng.....93

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 7.1 Cấu trúc của Chương 7 10
Bảng 7.2 Đối chiếu miền âm thanh và miền ánh sáng 12
Bảng 7.3 Năm phần của Chương 7 13
Bảng 7.4 Bốn đại lượng trắc quang 21
Bảng 7.5 Hệ số phản xạ của một số bề mặt thường gặp 24
Bảng 7.6 Ba yếu tố phơi sáng và hệ quả hình ảnh của chúng 27
Bảng 7.7 Bảng phơi sáng nhanh theo điều kiện trời (ISO 100, khẩu độ f/16) 27
Bảng 7.8 Phiếu ghi kết quả Phần 1 29
Bảng 7.9 Bốn khác biệt căn bản giữa mắt và máy quay 31
Bảng 7.10 Tế bào que và tế bào nón 32
Bảng 7.11 Ba dạng mù màu hoàn toàn 35
Bảng 7.12 Ba chế độ thị giác 36
Bảng 7.13 Ba thuộc tính của màu 41
Bảng 7.14 Trộn cộng và trộn trừ 43
Bảng 7.15 Ba ám màu thường gặp và cách sửa 44
Bảng 7.16 Dùng giản đồ nào cho việc gì 48
Bảng 7.17 Bốn điểm trắng chuẩn 51
Bảng 7.18 Toạ độ ba màu cơ bản của các chuẩn thông dụng 53
Bảng 7.19 Hai chiến lược ánh xạ gam màu 54
Bảng 7.20 Ý nghĩa thực tế của các mức ΔE 57
Bảng 7.21 Bốn quan hệ phối màu và biểu diễn hình học của chúng 58
Bảng 7.22 Phiếu ghi kết quả Phần 1 60
Bảng 7.23 Ba hàm chuyển đổi của dây chuyền hình ảnh 63
Bảng 7.24 So sánh Rec.709 và sRGB 64
Bảng 7.25 Các họ đường log thông dụng 67
Bảng 7.26 Các định dạng HDR thông dụng 70
Bảng 7.27 LUT 1D và LUT 3D 71
Bảng 7.28 Bốn thành phần của ACES 73
Bảng 7.29 Các mức tham chiếu thường dùng trên waveform (ảnh Rec.709) 75
Bảng 7.30 Bảng false colour thường gặp (theo quy ước ARRI) 76
Bảng 7.31 Hai chỉ số của TM-30 84
Bảng 7.32 Danh sách kiểm tra khi chọn đèn theo chất lượng phổ 85
Bảng 7.33 Tốc độ màn trập theo hệ lưới điện 86
Bảng 7.34 Bảng quy đổi kính lọc ND 90
Bảng 7.35 Bốn cách đặt cân bằng trắng 92
Bảng 7.36 Phiếu ghi kết quả Phần 1 94
Bảng 7.37 Phiếu ghi kết quả Phần 2 95
Bảng 7.38 Chương 7 nối sang những chương nào 97

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu viết tắt	Thuật ngữ tiếng Anh đầy đủ	Ý nghĩa chuyên môn trong kỹ thuật Audio - Video
ADSR	Attack - Decay - Sustain - Release	Mô hình đường bao biên độ 4 giai đoạn theo thời gian trong thiết kế tiếng động
AES	Audio Engineering Society	Hội Kỹ sư Âm thanh Quốc tế — tổ chức ban hành các tiêu chuẩn âm thanh chuyên nghiệp
DAW	Digital Audio Workstation	Trạm làm việc âm thanh số (Pro Tools, DaVinci Resolve Fairlight, Nuendo, Reaper)
dB	Decibel	Đơn vị logarit biểu diễn tỷ số giữa hai đại lượng biên độ hoặc công suất
dB SPL	Decibel Sound Pressure Level	Mức áp suất âm thanh trong không khí quy chiếu theo ngưỡng nghe 20 µPa
dBFS	Decibels Relative to Full Scale	Thang đo decibel số toàn dải; 0 dBFS là trần tuyệt đối của hệ thống kỹ thuật số
dBTP	Decibels True Peak	Mức đỉnh thực của tín hiệu số có tính toán hiện tượng liên mẫu (inter-sample peaks)
dBA / dBC	A-weighted / C-weighted Decibels	Mức đo decibel qua mạch lọc bù trừ đặc tuyến độ nhạy của tai người
EBU	European Broadcasting Union	Hiệp hội Phát thanh Truyền hình Châu Âu (tác giả tiêu chuẩn EBU R128)
HRTF	Head-Related Transfer Function	Hàm truyền liên quan đến đầu người — cơ sở định vị không gian 3 chiều và âm thanh nhị nhĩ
ILD	Interaural Level Difference	Độ chênh lệch mức áp suất âm thanh giữa hai tai (chủ đạo ở tần số cao > 1,5 kHz)
ITD	Interaural Time Difference	Độ chênh lệch thời gian âm thanh truyền đến hai tai (chủ đạo ở tần số thấp < 1,5 kHz)
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector	Phân ban Vô tuyến của Liên minh Viễn thông Quốc tế (tác giả chuẩn BS.1770)
LKFS / LUFS	Loudness K-weighted / Units Full Scale	Đơn vị đo lường độ to cảm nhận chuẩn hóa theo ITU-R BS.1770
LRA	Loudness Range	Dải độ to — chỉ số mô tả độ động giữa đoạn to và đoạn nhỏ của chương trình (đơn vị LU)
NC / NR	Noise Criteria / Noise Rating	Đường cong tiêu chí đánh giá mức độ ồn nền của phòng thu

Ký hiệu viết tắt	Thuật ngữ tiếng Anh đầy đủ	Ý nghĩa chuyên môn trong kỹ thuật Audio - Video
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health	Viện Quốc gia về An toàn và Sức khỏe Nghề nghiệp Hoa Kỳ
RMS	Root Mean Square	Giá trị căn bậc hai trung bình bình phương (năng lượng hiệu dụng của tín hiệu)
RT60	Reverberation Time 60 dB	Thời gian để năng lượng âm vang suy giảm 60 dB sau khi ngắt nguồn âm
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers	Hiệp hội Kỹ sư Điện ảnh và Truyền hình Quốc tế
SNR	Signal-to-Noise Ratio	Tỷ số tín hiệu trên tạp âm (đo bằng dB)

CHƯƠNG 7
LÝ THUYẾT MÀU SẮC VÀ ÁNH SÁNG

Trắc quang · Thị giác màu · Hệ CIE · Gamma và HDR · Nguồn sáng

Sáu chương đầu của cuốn sách đi trọn một vòng quanh tín hiệu âm thanh: Chương 1 mô tả sóng âm trong không khí, Chương 2 mô tả tín hiệu trên dây dẫn, Chương 3 mô tả tín hiệu ở dạng số, Chương 4 mô tả tín hiệu trong miền tần số, Chương 5 mô tả micro và loa, còn Chương 6 mô tả toàn bộ thiết bị xử lý nằm giữa hai bộ chuyển đổi ấy.

Chương 7 là chương bản lề, mở ra miền thứ hai của cuốn sách là miền hình ảnh, đồng thời dựng nền móng vật lý và sinh lý cho ba chương video tiếp theo. Sau chương này, người đọc sẽ gặp lại từng khái niệm của nó trong chương Video số (lấy mẫu con màu, gamma, không gian màu, chuẩn giao nộp) và trong chương Camera (dải động, đo sáng, bố trí ánh sáng, các công cụ scope).

Chương đi theo đúng đường đi của ánh sáng: từ nguồn tới vật, từ vật tới mắt, từ mắt tới hệ mô tả màu, từ hệ mô tả màu tới con số trong tệp, rồi quay ngược về nguồn sáng để khép vòng. Mỗi chặng được trình bày ở ba lớp gồm hiện tượng vật lý, cách đo hiện tượng ấy và hệ quả thực hành khi quay cũng như khi hậu kỳ.

Mục tiêu của chương

Sau khi đọc xong chương này, người đọc có thể:

1. Giải thích được bản chất sóng và hạt của ánh sáng, và bác bỏ được quan niệm sai phổ biến rằng ánh sáng trắng gồm ba màu cơ bản.
2. Phân biệt và sử dụng đúng bốn đại lượng trắc quang; áp dụng được luật nghịch đảo bình phương và luật cosin khi bố trí đèn.
3. Thực hiện được cả hai kiểu đo sáng, chỉ ra được trường hợp đo phản xạ bị đánh lừa, và đặt được phơi sáng đúng bằng thẻ xám.
4. Mô tả được cấu tạo mắt người và ba loại tế bào nón; giải thích được nguyên lý ba màu và hiện tượng đồng phân dị phổ.
5. Giải thích được cơ sở sinh lý của gamma từ ngưỡng Weber và luật Stevens, cũng như cơ sở sinh lý của lấy mẫu con màu từ hàm độ nhạy tương phản.
6. Đọc được giản đồ sắc CIE 1931, xác định được bước sóng chủ đạo và độ tinh khiết, và nêu được ba giới hạn của giản đồ.
7. Phân biệt được nhiệt độ màu thật với CCT, đọc và sử dụng được độ lệch Duv trong cân bằng trắng.
8. So sánh được các gam màu chuẩn và chọn được chiến lược ánh xạ gam màu phù hợp với từng loại nội dung.

9. Giải thích được ba hàm OETF, EOTF, OOTF; nhận biết được hai kiểu gán sai không gian màu và cách phòng tránh.
10. Trình bày được nguyên lý đường log, phơi sáng cho log, và so sánh được hai chuẩn HDR là PQ với HLG.
11. Sử dụng đúng thứ tự LUT kỹ thuật và LUT sáng tạo; trình bày được vai trò của bốn thành phần trong hệ ACES.
12. Đọc thành thạo waveform, vectorscope, histogram và false colour; đặt được phơi sáng cho da người bằng false colour.
13. Nhận dạng được bốn họ nguồn sáng qua phổ; đọc và sử dụng được các chỉ số hoàn màu CRI, R9, TM-30 và SSI khi chọn đèn.
14. Tính được các tốc độ màn trập an toàn dưới lưới điện 50 Hz của Việt Nam, và xử lý được hiện tượng vằn sáng khi quay chậm.
15. Thực hiện được cân bằng trắng bằng cả bốn cách, sử dụng được gel chuyển nhiệt độ màu và tính được độ dịch mired.

Cấu trúc của chương

Chương gồm ba mươi mốt mục chia thành năm phần, kèm bốn bài thực hành đặt ở cuối bốn phần:

Bảng 7.1 Cấu trúc của Chương 7

Phần	Các mục	Nội dung	Bài thực hành
A	7.1 – 7.6	Vị trí chương, bản chất ánh sáng, ánh sáng gặp vật chất, bốn đại lượng trắc quang, từ độ rọi tới phơi sáng	Số 1 — Đo sáng và phơi sáng
B	7.7 – 7.11	Cấu tạo mắt, tế bào que và nón, nguyên lý ba màu và đồng phân dị phổ, ba chế độ thị giác, cảm nhận phi tuyến, hằng số màu	—
C	7.12 – 7.19	Ba thuộc tính của màu, trộn cộng và trộn trừ, hệ CIE 1931, nhiệt độ màu và CCT, gam màu, các mô hình màu, phối màu có cơ sở	Số 2 — Đọc và đo màu
D	7.20 – 7.25	Gamma và ba hàm chuyển đổi, dải động và đường log, HDR với PQ và HLG, LUT và ACES, các công cụ đo trên hiện trường	Số 3 — Log, LUT và đọc scope
E	7.26 – 7.31	Bốn họ nguồn sáng, chỉ số hoàn màu, nhấp nháy và lưới điện 50 Hz, kính lọc và gel, cân bằng trắng trong thực tế	Số 4 — Đo nguồn sáng và cân bằng trắng

Bốn bài thực hành được thiết kế để người đọc tự thực hiện với thiết bị phổ thông, và có thể làm ngay sau khi đọc xong mỗi phần.

Kiến thức cần có trước khi đọc

Chương này giả định người đọc đã nắm được: khái niệm sóng, tần số và bước sóng (Chương 1); thang decibel và các mức tham chiếu (Chương 1 và Chương 6); phổ tín hiệu (Chương 4); lấy mẫu, lượng tử hoá và độ sâu bit (Chương 3); và các khái niệm về chuẩn mức, đồng hồ đo, quy chuẩn giao nộp (Chương 6).

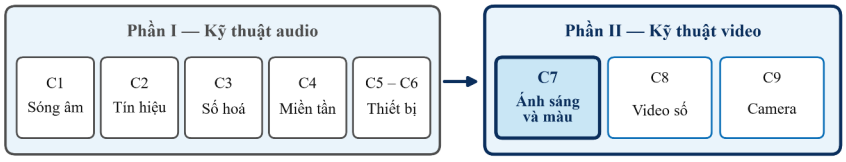
Về toán, chương sử dụng hàm luỹ thừa và hàm lôgarit, tích phân xác định ở mức khái niệm, và phép nhân ma trận 3×3. Những chỗ dùng tới tích phân đều kèm giải thích bằng lời, nhờ đó người đọc chưa cần tính được vẫn hiểu được ý nghĩa.

7.1 Vị trí của chương trong cuốn sách

7.1.1 Từ miền âm thanh sang miền hình ảnh

Sáu chương đầu của cuốn sách đi trọn một vòng quanh tín hiệu âm thanh: từ sóng áp suất trong không khí, qua micro và loa, qua dây dẫn và bộ chuyển đổi số, tới toàn bộ những thiết bị xử lý nằm ở giữa. Từ chương này, cuốn sách chuyển sang miền thứ hai là miền hình ảnh, và hai miền ấy có nhiều điểm tương đồng hơn người ta thường nghĩ.

Cả âm thanh lẫn ánh sáng đều là sóng và đều có phổ. Cả hai được cơ quan cảm giác của con người thu nhận theo cách phi tuyến, và chính sự phi tuyến ấy quyết định cách mã hoá chúng thành con số. Mỗi miền còn có hệ chuẩn mức, quy chuẩn giao nộp và bộ công cụ đo riêng mà người làm nghề buộc phải đọc được. Người đọc đã nắm chắc dBu, LUFS và đồng hồ đo mức ở Chương 6 sẽ thấy IRE, nit và waveform ở chương này khá quen thuộc.



	Miền âm thanh (Chương 1 – 6)	Miền hình ảnh (Chương 7 – 9)
Kích thích vật lý	Sóng cơ trong không khí, 20 Hz – 20 kHz	Sóng điện từ, 380 – 780 nm
Cơ quan thu	Ốc tai — hàng nghìn tế bào lông theo tần số	Võng mạc — chỉ ba loại tế bào nón
Hệ quả quyết định	Tai phân tích được phổ: nghe ra từng hoạ âm	Mắt chỉ lấy ba mẫu của phổ: hai phổ khác hẳn nhau vẫn có thể cho cùng một màu
Chuẩn giao nộp	Độ to −23 LUFS (QCVN 115:2017/BTTTT)	Không gian màu Rec.709, điểm trắng D65

Hình 7.1 Vị trí của Chương 7 trong cuốn sách — chương bản lề giữa miền âm thanh và ba chương video

7.1.2 Ba điểm giống nhau đáng ghi nhớ

Bảng 7.2 Đối chiếu miền âm thanh và miền ánh sáng

Vấn đề	Trong âm thanh	Trong ánh sáng
Đại lượng vật lý gốc	Áp suất âm, đo bằng pascal; công suất âm, đo bằng watt	Công suất bức xạ, đo bằng watt; quang thông, đo bằng lumen
Phổ	Phân bố năng lượng theo tần số, 20 Hz – 20 kHz	Phân bố năng lượng theo bước sóng, 380 – 780 nm
Cơ quan thu nhận	Ốc tai phân tích được phổ thành hàng nghìn dải tần	Võng mạc chỉ lấy BA mẫu của phổ — đây là khác biệt lớn nhất
Cảm nhận phi tuyến	Độ to cảm nhận theo hàm luỹ thừa của cường độ; sinh ra thang decibel và các đường đẳng độ to	Độ sáng cảm nhận theo hàm luỹ thừa của độ chói; sinh ra gamma và các đường mã hoá phi tuyến
Chuẩn mức và giao nộp	dBu, dBFS, LUFS; QCVN 115:2017/BTTTT quy định −23 LUFS	IRE, nit, mã 10 bit; Rec.709 và Rec.2020 quy định đường mã hoá và gam màu
Công cụ đo	Đồng hồ VU, PPM, True Peak, đồ thị phổ	Waveform, vectorscope, histogram, false colour

Sự tương ứng này là một công cụ thực sự hữu ích: mỗi khi gặp một khái niệm mới trong ba chương video, người đọc nên tự đặt câu hỏi khái niệm ấy tương ứng với đại lượng nào bên âm thanh. Phần lớn các trường hợp đều có câu trả lời, và việc đối chiếu như vậy rút ngắn đáng kể thời gian nắm vấn đề.

7.1.3 Một điểm khác nhau quyết định tất cả

Tuy nhiên, phép so sánh này không còn đúng ở một điểm, và điểm đó lại là nền móng của toàn bộ kỹ thuật màu.

> **GHI NHỚ 7.1 — TAI PHÂN TÍCH PHỔ — MẮT CHỈ LẤY BA MẪU**
>
> Ốc tai người có khoảng ba nghìn năm trăm tế bào lông trong, mỗi tế bào nhạy nhất với một tần số riêng. Nhờ vậy tai *phân tích* được phổ: khi nghe một hợp âm, người có kinh nghiệm chỉ ra được từng nốt trong đó.
>
> Võng mạc người chỉ có ba loại tế bào nón, nên toàn bộ phổ ánh sáng gồm hàng trăm bước sóng bị nén xuống đúng *ba* con số trước khi rời khỏi mắt. Thông tin phổ đã mất không thể lấy lại được.
>
> Hệ quả trực tiếp là chỉ cần ba màu cơ bản đã tái tạo được gần hết những màu mắt thấy, trong khi âm thanh không có "ba âm cơ bản" tương ứng. Mọi màn hình, máy in và máy quay đều dựa trên đặc điểm này của mắt người.

7.1.4 Bản đồ chương

Chương được tổ chức theo đúng đường đi của ánh sáng: từ nguồn tới vật, từ vật tới mắt, từ mắt tới hệ mô tả màu, từ hệ mô tả màu tới con số trong tệp, rồi quay ngược về nguồn sáng để khép vòng.

Bảng 7.3 Năm phần của Chương 7

Phần	Các mục	Câu hỏi trung tâm	Bài thực hành
A	7.1 – 7.6	Ánh sáng là gì và đo nó bằng gì?	Số 1 — Đo sáng và phơi sáng
B	7.7 – 7.11	Mắt người biến ánh sáng thành cảm giác ra sao?	—
C	7.12 – 7.19	Làm sao mô tả một màu bằng con số?	Số 2 — Đọc và đo màu
D	7.20 – 7.25	Ánh sáng biến thành con số trong tệp thế nào?	Số 3 — Log, LUT và scope
E	7.26 – 7.31	Nguồn sáng nào cho màu đúng, và đo bằng gì?	Số 4 — Đo nguồn sáng và cân bằng trắng

Bốn bài thực hành được thiết kế để người đọc tự thực hiện với thiết bị phổ thông, và có thể làm ngay sau khi đọc xong mỗi phần.

7.2 Bản chất của ánh sáng

7.2.1 Sóng điện từ

Ánh sáng là sóng điện từ: một trường điện và một trường từ dao động vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền. Khác với sóng âm, sóng điện từ không cần môi trường vật chất mà truyền được trong chân không, nhờ đó ánh sáng Mặt Trời tới được Trái Đất.

Trong chân không, mọi sóng điện từ đều truyền với cùng một tốc độ, và tốc độ này liên hệ với bước sóng và tần số theo quan hệ quen thuộc:

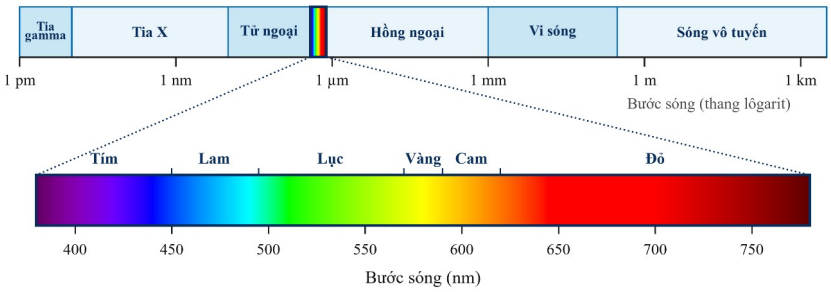
$$c = \lambda f \quad ; \quad c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s} \tag{7.1}$$

Trong đó λ là bước sóng, tính bằng mét (với ánh sáng thường dùng nanomét, 1 nm = 10^{-9} m), f là tần số tính bằng hertz. Tốc độ ánh sáng trong chân không là một hằng số định nghĩa của hệ SI: mét được định nghĩa dựa trên tốc độ này chứ không phải ngược lại.

Ánh sáng lục 550 nm ứng với tần số khoảng 545 nghìn tỉ hertz, cao hơn tần số âm thanh cao nhất mà tai nghe được chừng hai mươi bảy tỉ lần. Không thiết bị điện tử nào theo kịp dao động đó, nên khác với âm thanh, dạng sóng của ánh sáng không bao giờ được ghi lại. Máy quay chỉ ghi năng lượng của ánh sáng, và chỉ ghi qua ba bộ lọc màu; đó là một khác biệt kỹ thuật căn bản giữa hai miền.

7.2.2 Phổ điện từ và cửa sổ nhìn thấy

Ánh sáng nhìn thấy chỉ là một khe rất hẹp trong toàn bộ phổ điện từ, trải từ khoảng 380 nm (tím) tới khoảng 780 nm (đỏ). Nếu vẽ toàn phổ điện từ trên thang lôgarit từ sóng vô tuyến tới tia gamma, khe nhìn thấy chỉ chiếm chưa tới một phần trăm chiều dài.



Hình 7.2 Phổ điện từ và vị trí của cửa sổ nhìn thấy; bên dưới là dải bước sóng 380 – 780 nm phóng to

Hai vùng ngay sát hai bên cửa sổ nhìn thấy có ý nghĩa thực tế với người quay phim:

- **Tử ngoại (UV), dưới 380 nm:** có nhiều trong ánh sáng ban ngày ở vùng núi cao và trên mặt nước. Một số vật liệu phát huỳnh quang dưới UV nên màu lên hình khác với màu mắt thấy, và kính lọc UV chặn phần bức xạ này.
- **Hồng ngoại (IR), trên 780 nm:** cảm biến silic vẫn nhạy tới khoảng 1100 nm nên máy quay phải có một kính lọc chặn IR đặt ngay trước cảm biến. Khi chồng nhiều kính lọc ND dày, phần IR lọt qua nhiều hơn phần nhìn thấy khiến vải đen ngả nâu đỏ, do đó cần kính lọc IR cut, xem mục 7.29.

7.2.3 Hạt photon và năng lượng

Ánh sáng đồng thời cũng là dòng hạt. Mỗi photon mang một lượng năng lượng xác định phụ thuộc tần số:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{(J)} \tag{7.2}$$

Trong đó h là hằng số Planck, bằng $6{,}626 \times 10^{-34}$ J·s. Công thức này giải thích vì sao ánh sáng tím có khả năng gây hại và làm phai màu mạnh hơn ánh sáng đỏ: photon tím mang năng lượng gần gấp đôi. Công thức cũng giải thích cơ chế của cảm biến ảnh, trong đó một photon đủ năng lượng đập vào lớp silic sẽ giải phóng một electron, và số electron thu được chính là con số mà máy quay ghi lại. Nội dung này sẽ được trình bày kỹ ở chương về video số.

7.2.4 Chiết suất

Trong môi trường vật chất, ánh sáng đi chậm hơn. Tỉ số giữa tốc độ trong chân không và tốc độ trong môi trường gọi là chiết suất:

$$n = \frac{c_0}{v} \quad ; \quad \lambda_{\text{mt}} = \frac{\lambda_0}{n} \tag{7.3}$$

Tần số không đổi khi ánh sáng đi từ môi trường này sang môi trường khác, chỉ bước sóng thay đổi. Vì màu sắc do tần số quyết định, ánh sáng không đổi màu khi vào nước hay thuỷ tinh. Chiết suất của một số môi trường thông dụng: không khí 1,0003; nước 1,333; thuỷ tinh quang học 1,45 – 1,95; kim cương 2,42.

7.2.5 Ánh sáng trắng là phổ liên tục

Nhiều tài liệu phổ thông có câu "ánh sáng trắng gồm ba màu cơ bản là đỏ, lục và lam". Nhận định này sai, và nếu không được làm rõ ngay từ đầu thì sẽ gây khó khăn cho toàn bộ phần còn lại của chương.

> **GHI NHỚ 7.2 — ÁNH SÁNG TRẮNG LÀ MỘT PHỔ LIÊN TỤC**
>
> Ánh sáng trắng của Mặt Trời hoặc của đèn dây tóc có phổ *liên tục*: nó chứa mọi bước sóng trong khoảng nhìn thấy, không phải ba vạch riêng biệt.
>
> Đỏ, lục, lam là ba màu cơ bản của *hệ tái tạo*, không phải ba thành phần của ánh sáng. Chúng được chọn vì khớp với ba loại tế bào nón của mắt người, không phải vì ánh sáng có cấu tạo như vậy.
>
> Như vậy, ba màu cơ bản là đặc điểm của người xem, không phải đặc điểm của ánh sáng. Một loài chim có bốn loại tế bào nón sẽ cần bốn màu cơ bản để tái tạo được màu sắc đối với mắt của nó.

Toàn bộ mục 7.13 sẽ quay lại vấn đề này với đầy đủ chứng cứ. Ở đây chỉ cần ghi nhớ rằng phổ ánh sáng là liên tục, còn việc mắt lấy mẫu phổ ấy mới tạo ra ba con số.

7.3 Ánh sáng gặp vật chất

Khi một chùm sáng đập vào vật chất, năng lượng của nó phân chia thành ba phần: phần bị phản xạ, phần bị hấp thụ, và phần truyền qua. Ba phần này cộng lại bằng một, và mỗi phần đều phụ thuộc bước sóng:

$$\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \tag{7.4}$$

Chính sự phụ thuộc bước sóng của ba hệ số này tạo ra toàn bộ màu sắc của thế giới vật thể. Một quả cà chua có màu đỏ vì hệ số phản xạ $\rho(\lambda)$ của vỏ cao ở vùng bước sóng dài và thấp ở vùng bước sóng ngắn, chứ không phải vì bản thân quả cà chua "phát ra" màu đỏ.

7.3.1 Phản xạ: gương và khuếch tán

Phản xạ có hai dạng thái cực. Phản xạ *gương* xảy ra trên bề mặt nhẵn ở quy mô bước sóng: tia tới và tia phản xạ nằm trong cùng một mặt phẳng, góc phản xạ bằng góc tới. Phản xạ *khuếch tán* xảy ra trên bề mặt nhám, khi ánh sáng bật đi mọi hướng gần như đều nhau.

Hầu hết vật thể thật nằm giữa hai thái cực đó. Một khuôn mặt người vừa khuếch tán (lớp da) vừa có phản xạ gương cục bộ (lớp dầu trên bề mặt); vệt sáng gương ấy tạo cảm giác về độ ẩm và độ căng của da, và là yếu tố mà người quay phải kiểm soát bằng phấn trang điểm hoặc bằng góc đèn.

7.3.2 Khúc xạ và định luật Snell

Khi đi xiên qua mặt phân cách giữa hai môi trường có chiết suất khác nhau, tia sáng đổi hướng theo định luật Snell:

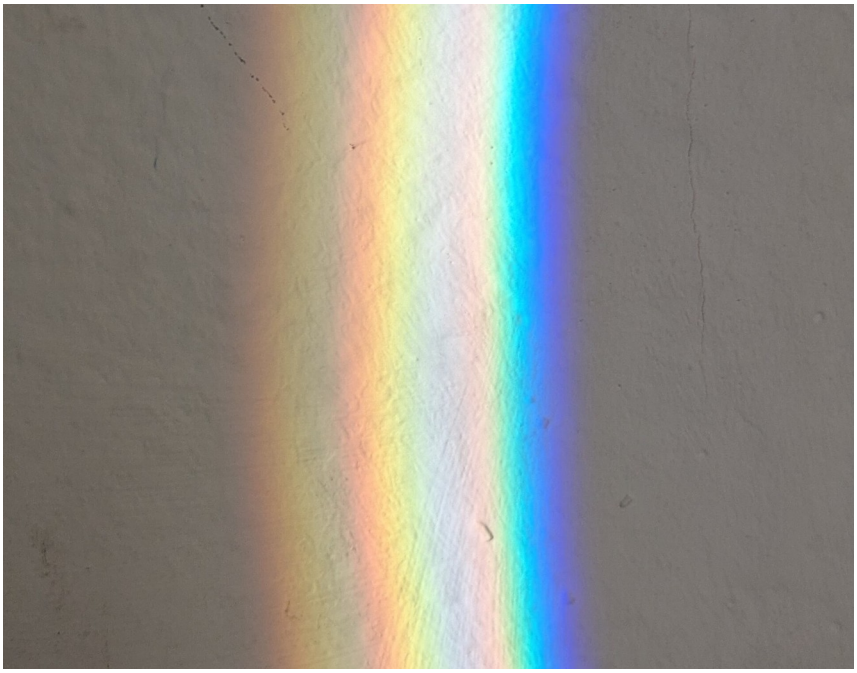
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \tag{7.5}$$

Toàn bộ quang học ống kính dựa trên công thức này. Công thức cũng giải thích hiện tượng phản xạ toàn phần khi ánh sáng đi từ môi trường chiết suất cao sang môi trường chiết suất thấp với góc tới đủ lớn, là nguyên lý của sợi quang dùng để truyền tín hiệu video đường dài.

7.3.3 Tán sắc

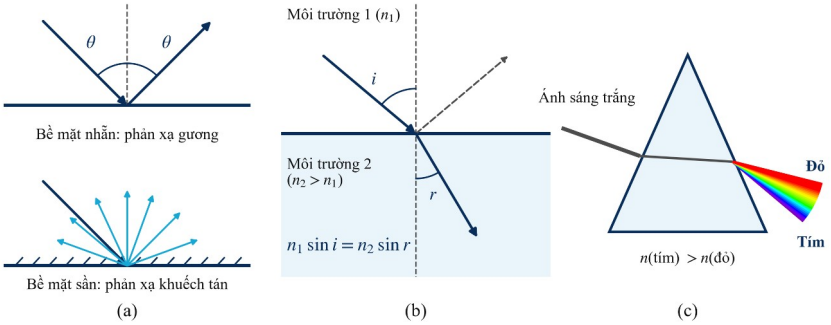
Chiết suất của mọi vật liệu thực đều phụ thuộc bước sóng: ánh sáng tím bị bẻ nhiều hơn ánh sáng đỏ. Hệ quả là một chùm sáng trắng đi qua lăng kính sẽ *tán sắc* thành một dải phổ liên tục. Thí nghiệm này do Newton thực hiện năm 1666 và là bằng chứng đầu tiên cho kết luận ở mục 7.2.5.

Hình 7.3 cho thấy chùm sáng trắng sau khi đi qua lăng kính bị tách thành dải màu liên tục từ đỏ đến tím trên mặt tường, đúng như hiện tượng tán sắc vừa mô tả.



Hình 7.3 Tán sắc của ánh sáng trắng qua lăng kính, hiện trên mặt tường

Nguồn: Aligatorigiganti, CC0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026) (đã cắt).



Hình 7.4 Ba hiện tượng cơ bản khi ánh sáng gặp mặt phân cách: phản xạ gương và khuếch tán, khúc xạ theo định luật Snell, tán sắc qua lăng kính

Trong ống kính, tán sắc là một khuyết tật cần khử vì nó gây ra *sắc sai*, biểu hiện là viền tím hoặc viền lục ở rìa những vùng tương phản mạnh. Ống kính chất

lượng cao ghép nhiều loại thuỷ tinh có đường tán sắc khác nhau để bù trừ, và những ống kính đắt tiền thường ghi ED hoặc LD trên thân, ký hiệu của thuỷ tinh tán sắc thấp.

Hình 7.5 là một ví dụ tự nhiên của tán sắc: các giọt nước mưa đóng vai trò lăng kính và tách ánh sáng Mặt Trời thành các cung màu, trong ảnh còn thấy cả cung phụ mờ hơn ở bên trái.



Hình 7.5 Cầu vồng kép — tán sắc ánh sáng Mặt Trời qua các giọt nước mưa

Nguồn: Muttnick, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

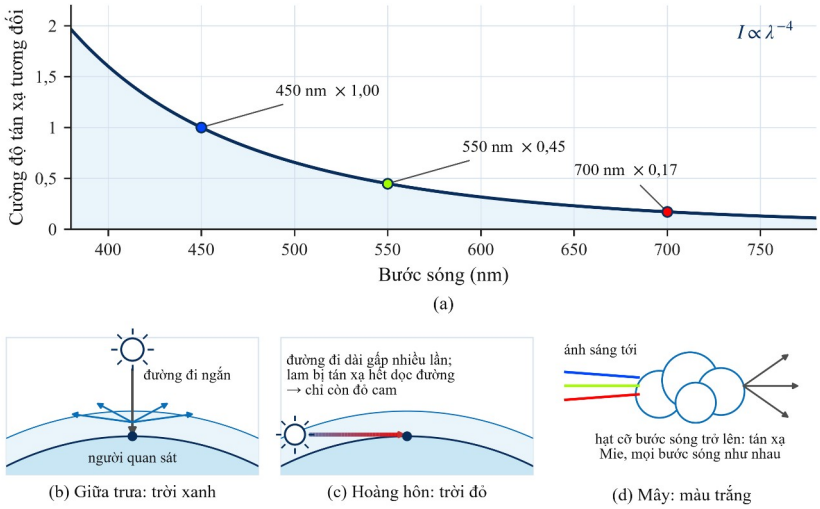
7.3.4 Tán xạ: vì sao trời xanh và hoàng hôn đỏ

Khi ánh sáng gặp những hạt nhỏ hơn nhiều so với bước sóng, chẳng hạn phân tử khí trong khí quyển, nó bị *tán xạ* theo mọi hướng với cường độ phụ thuộc rất mạnh vào bước sóng:

$$I_s \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad \text{(Rayleigh)} \tag{7.6}$$

Số mũ bốn là con số quyết định. Ánh sáng lam 450 nm bị tán xạ mạnh hơn ánh sáng đỏ 700 nm khoảng sáu lần, vì tỉ số $(700/450)^4$ xấp xỉ 5,9. Vì vậy khi nhìn lên bầu trời — tức là nhìn vào ánh sáng đã bị tán xạ — ta thấy màu lam. Khi nhìn thẳng vào Mặt Trời lúc hoàng hôn, ánh sáng phải đi qua một lớp khí quyển dày hơn nhiều, phần lam đã bị tán xạ hết dọc đường, chỉ còn lại phần đỏ và cam đi thẳng tới mắt.

Khi hạt tán xạ có kích thước xấp xỉ hoặc lớn hơn bước sóng, như giọt nước trong mây, hạt bụi hay hạt khói, cơ chế chuyển sang *tán xạ Mie* và gần như không phụ thuộc bước sóng. Vì vậy mây có màu trắng, sương mù có màu trắng xám và khói dày cũng có màu trắng.



Hình 7.6 Tán xạ Rayleigh phụ thuộc bước sóng theo luỹ thừa bốn — nguồn gốc của trời xanh, hoàng hôn đỏ và mây trắng

GHI NHỚ 7.3 — BA HỆ QUẢ THỰC TẾ KHI QUAY

Bóng râm ngoài trời được chiếu bằng ánh sáng tán xạ từ bầu trời nên có nhiệt độ màu rất cao, từ 7500 đến 9000 K; nếu quay người trong bóng râm mà cân bằng trắng theo ánh nắng thì màu da sẽ xanh xao.

Cảnh xa bị "mù khí quyển": càng xa, tán xạ dọc đường càng nhiều, độ tương phản càng giảm và màu càng ngả lam. Đây là gợi ý chiều sâu mạnh nhất trong khuôn hình phong cảnh, và hiệu ứng này có thể được tăng hoặc giảm ở khâu chỉnh màu.

Giờ vàng, khoảng một tiếng sau bình minh và trước hoàng hôn, có nhiệt độ màu thấp và ánh sáng xiên, hai đặc điểm mà người quay phim luôn tìm kiếm; tuy nhiên ở vĩ độ Việt Nam, khoảng thời gian này không kéo dài quá hai mươi phút.

7.3.5 Hấp thụ chọn lọc — nguồn gốc thật của màu vật thể

Màu của một vật không nằm trong bản thân vật đó mà là kết quả của phép nhân giữa phổ nguồn sáng và đường hấp thụ của vật:

Nếu chiếu ánh sáng trắng có đủ mọi bước sóng vào một vỏ cà chua có hệ số phản xạ cao ở 600 – 700 nm và thấp ở phần còn lại, phổ tới mắt sẽ tập trung ở vùng đỏ và quả cà chua có màu đỏ. Tuy nhiên, nếu chiếu vào chính quả cà chua ấy một nguồn sáng không có bước sóng đỏ, chẳng hạn đèn hơi natri màu vàng của đường phố, thì vỏ cà chua không có gì để phản xạ và trông xám đen.

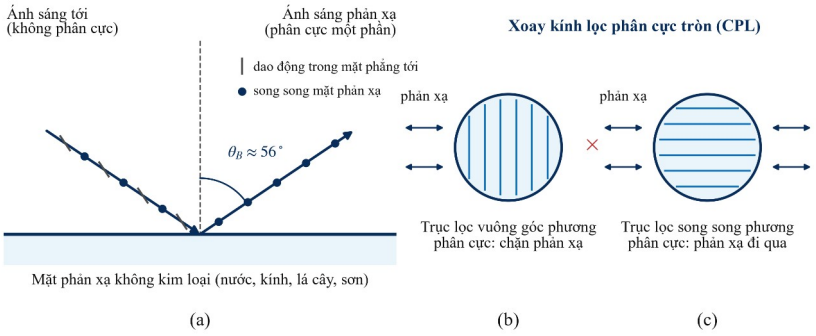
GHI NHỚ 7.4 — NGUYÊN LÝ NỀN TẢNG CỦA CẢ PHẦN E

Vật thể không thể phản xạ bước sóng mà nguồn sáng không có. Do đó *chất lượng phổ* của đèn, chứ không chỉ nhiệt độ màu, quyết định màu sắc thể hiện trên hình.

Đây là lý do tồn tại của các chỉ số hoàn màu CRI, TM-30 và SSI ở mục 7.27, cũng là lý do một đèn LED chất lượng thấp có thể cho màu da xám xịt dù đã cân bằng trắng đúng.

7.3.6 Phân cực và kính lọc CPL

Ánh sáng tự nhiên có vectơ điện dao động theo mọi phương vuông góc với hướng truyền. Sau khi phản xạ trên một mặt điện môi nhẵn, như mặt kính, mặt nước, lá cây bóng hay mặt sơn, thành phần dao động song song với mặt phản xạ chiếm ưu thế và ánh sáng trở thành ánh sáng *phân cực* một phần. Mức phân cực đạt cực đại ở một góc tới riêng gọi là góc Brewster, khoảng 56° đối với mặt kính.



Hình 7.7 Ánh sáng phân cực sau phản xạ và tác dụng của kính lọc phân cực tròn khi xoay

Kính lọc phân cực (CPL) chỉ cho phần dao động theo một phương nhất định đi qua. Khi xoay kính trước ống kính sẽ có các tác dụng sau:

- Khử hoặc giảm mạnh phản xạ trên mặt kính, mặt nước, mặt sơn, nhờ đó cho phép nhìn xuyên qua cửa kính hoặc nhìn thấy đáy hồ.
- Làm sẫm bầu trời xanh và tăng độ tương phản của mây, vì ánh sáng tán xạ từ bầu trời cũng phân cực một phần, mạnh nhất ở vùng cách Mặt Trời 90°.
- Tăng độ bão hoà của lá cây và mặt sơn, do khử đi lớp phản xạ gương trắng phủ trên màu thật.

Cái giá phải trả là mất khoảng một tới hai stop ánh sáng, và với ống kính góc rộng, bầu trời có thể bị sẫm không đều vì góc so với Mặt Trời thay đổi trong khuôn hình. Cần dùng loại phân cực tròn (CPL) thay vì phân cực thẳng, vì phân cực thẳng làm nhiễu hệ lấy nét tự động và hệ đo sáng của máy hiện đại.

7.4 Bốn đại lượng trắc quang

7.4.1 Bức xạ và trắc quang — hai hệ đại lượng song song

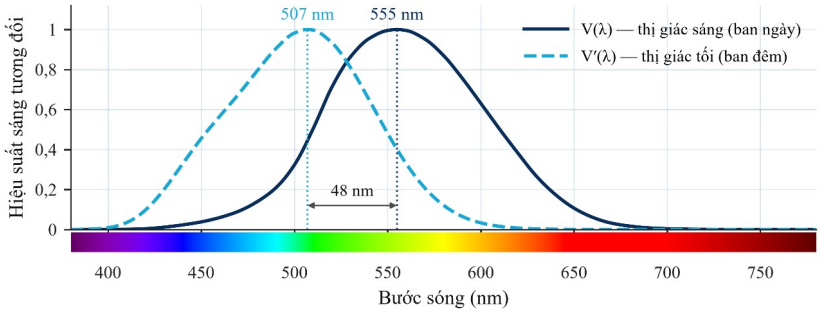
Có hai cách đo ánh sáng, và việc lẫn lộn hai cách này là một trong những lỗi phổ biến nhất khi đọc thông số thiết bị.

- **Đại lượng bức xạ (radiometric):** đo năng lượng vật lý thuần tuý, đơn vị watt; một watt bức xạ ở 400 nm và một watt ở 550 nm là như nhau về mặt vật lý.
- **Đại lượng trắc quang (photometric):** đo năng lượng đã nhân với độ nhạy của mắt người, đơn vị lumen và các đơn vị dẫn xuất; một watt ở 400 nm gần như không cho lumen nào, trong khi một watt ở 555 nm cho tới 683 lumen.

Người làm hình ảnh hầu như luôn dùng hệ trắc quang, vì điều cần quan tâm là ánh sáng mà mắt người và cảm biến thu nhận được chứ không phải tổng năng lượng vật lý. Cầu nối giữa hai hệ là hàm hiệu suất sáng.

7.4.2 Hàm hiệu suất sáng V(λ)

Hàm V(λ) mô tả độ nhạy tương đối của mắt người theo bước sóng trong điều kiện đủ sáng. Hàm này đạt cực đại ở 555 nm, thuộc vùng lục vàng, và giảm nhanh về hai phía; do Uỷ ban Chiếu sáng Quốc tế (CIE) chuẩn hoá năm 1924, nó là cơ sở của mọi đơn vị trắc quang.



Hình 7.8 Hàm hiệu suất sáng V(λ) của thị giác sáng, đỉnh 555 nm, và đường V′(λ) của thị giác tối, đỉnh 507 nm

Quang thông, tức tổng lượng ánh sáng "hữu ích với mắt" mà một nguồn phát ra, được tính bằng cách nhân phổ bức xạ với V(λ) rồi lấy tích phân:

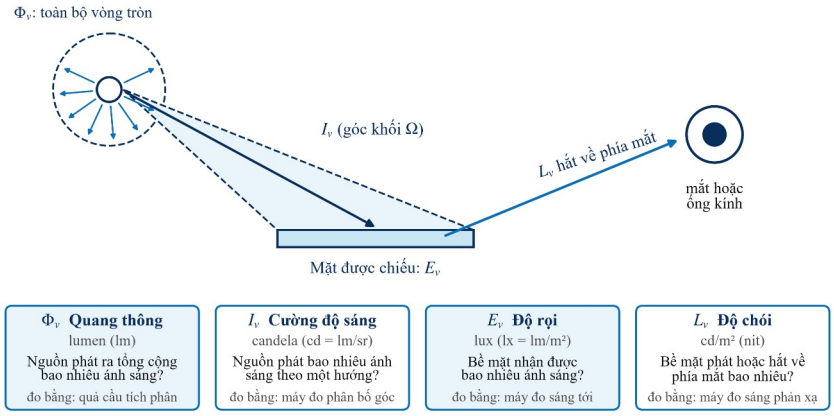
$$\Phi_v = K_m \int_{380}^{780} \Phi_{e,\lambda}\, V(\lambda)\, d\lambda \quad , \quad K_m = 683 \text{ lm/W} \tag{7.7}$$

Hằng số K bằng 683 lm/W là hệ số quy đổi tại đỉnh của V(λ), và cũng chính là con số dùng trong định nghĩa hiện hành của candela.

> **GHI NHỚ 7.5 — ĐỊNH NGHĨA HIỆN HÀNH CỦA CANDELA**
>
> **Từ năm 1979, candela được định nghĩa như sau:** candela là cường độ sáng, theo một phương cho trước, của một nguồn phát bức xạ đơn sắc tần số 540 × 10¹² Hz — tức bước sóng khoảng 555 nm trong chân không — và có cường độ bức xạ theo phương đó bằng 1/683 watt trên steradian.
>
> Các định nghĩa trước đó, dựa trên "ngọn nến chuẩn" hoặc trên bức xạ của vật đen ở nhiệt độ đông đặc của platin, đã không còn được sử dụng.

7.4.3 Bốn đại lượng và bốn câu hỏi

Bốn đại lượng trắc quang cơ bản trả lời bốn câu hỏi khác nhau, nên việc nhầm lẫn giữa chúng dẫn tới sai sót khi mua đèn và khi đo sáng.



Hình 7.9 Bốn đại lượng trắc quang cơ bản: quang thông, cường độ sáng, độ rọi và độ chói — mỗi đại lượng trả lời một câu hỏi khác nhau

Bảng 7.4 Bốn đại lượng trắc quang

Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị	Câu hỏi	Đo bằng gì
Quang thông	Φ_v	lumen (lm)	Nguồn phát ra tổng cộng bao nhiêu ánh sáng?	quả cầu tích phân trong phòng thí nghiệm
Cường độ sáng	I_v	candela (cd = lm/sr)	Nguồn phát bao nhiêu ánh sáng THEO MỘT HƯỚNG?	máy đo phân bố góc
Độ rọi	E_v	lux (lx = lm/m²)	Bề mặt NHẬN được bao nhiêu ánh sáng?	máy đo sáng tới, đầu đo hình bán cầu
Độ chói	L_v	cd/m² (nit)	Bề mặt PHÁT hoặc HẮT về phía mắt bao nhiêu ánh sáng?	máy đo sáng phản xạ, đầu đo góc hẹp

Các định nghĩa vi phân tương ứng:

$$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega} \quad (\text{cd} = \text{lm/sr}) \tag{7.8}$$

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \quad (\text{lx} = \text{lm/m}^2) \tag{7.9}$$

$$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega\, dA\cos\theta} \quad (\text{cd/m}^2) \tag{7.10}$$

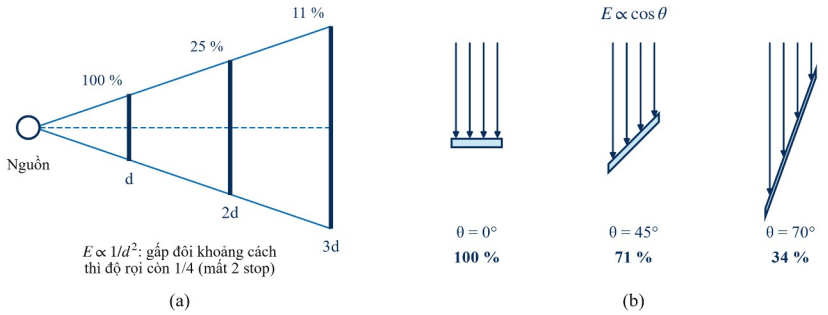
Trong bốn đại lượng, *độ chói* là đại lượng gần với cảm nhận nhất và cũng là đại lượng mà máy quay thực sự ghi lại. Màn hình cũng được đặc tả bằng độ chói: một màn hình SDR tham chiếu có độ chói trắng 100 cd/m², còn một màn hình HDR có thể lên tới 1000 cd/m² hoặc hơn. Đơn vị nit dùng trong ngành hiển thị chính là cd/m².

7.4.4 Luật nghịch đảo bình phương và luật cosin

Hai định luật hình học chi phối toàn bộ việc bố trí đèn:

$$E_v = \frac{I_v}{d^2} \quad ; \quad E_v = \frac{I_v \cos\theta}{d^2} \quad \text{(Lambert)} \tag{7.11}$$

Công thức thứ nhất là luật nghịch đảo bình phương: độ rọi giảm theo bình phương khoảng cách. Công thức thứ hai là luật cosin Lambert: độ rọi còn giảm theo cosin của góc giữa tia sáng và pháp tuyến bề mặt.



Hình 7.10 Luật nghịch đảo bình phương và luật cosin Lambert — hai định luật chi phối việc đặt đèn

QUY TẮC 7.1 — HỆ QUẢ THỰC HÀNH: QUY TẮC "GẤP ĐÔI LÀ MẤT HAI STOP"

Khi đưa đèn ra xa gấp đôi thì độ rọi giảm bốn lần, tức là mất đúng hai stop; ngược lại, khi kéo đèn lại gần một nửa thì độ rọi tăng thêm hai stop.

Vì vậy trong thực tế, dịch chuyển đèn là cách chỉnh độ sáng nhanh và chính xác hơn nhiều so với thay đổi công suất, đồng thời còn làm thay đổi độ mềm của ánh sáng, vì nguồn càng gần thì góc nhìn từ chủ thể càng rộng và bóng đổ càng mềm.

Luật này cũng lý giải một tình huống quen thuộc: hai người đứng cách đèn 2 m và 3 m sẽ chênh nhau khoảng 1,2 stop, đủ để một người bị cháy sáng hoặc chìm trong tối, trong khi nếu cả hai đứng cách đèn 8 m và 9 m thì chênh lệch chỉ còn 0,3 stop.

7.5 Từ độ rọi tới phơi sáng

7.5.1 Hệ số phản xạ và thẻ xám 18 %

Máy đo sáng không nhìn thấy vật thể mà chỉ đo ánh sáng. Cầu nối giữa độ rọi (ánh sáng đến bề mặt) và độ chói (ánh sáng rời bề mặt về phía máy quay) là hệ số phản xạ [20]:

Hình 7.11 giới thiệu một bộ thẻ xám và thẻ trắng thương mại, loại thẻ được đặt tại vị trí chủ thể để đo sáng phản xạ hoặc đặt cân bằng trắng.



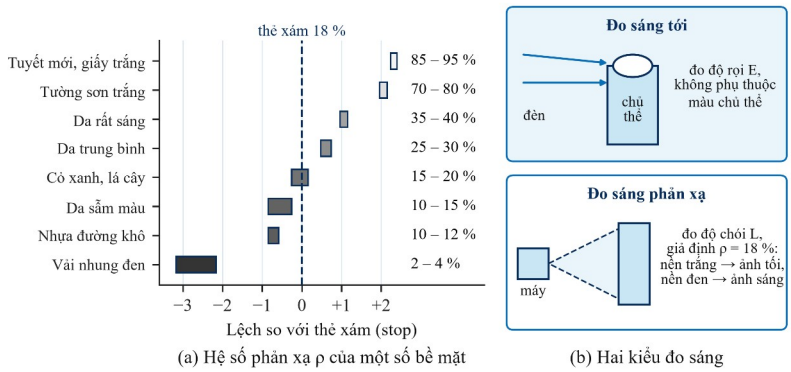
Hình 7.11 Thẻ xám trung tính (mặt xám) và thẻ trắng dùng để đo sáng và cân bằng trắng

Nguồn: Ansgar Koreng, CC BY 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026) (đã cắt).

$$L_v = \frac{\rho E_v}{\pi} \quad (\mathrm{cd/m^2}) \tag{7.12}$$

Số π ở mẫu số xuất hiện vì bề mặt khuếch tán lý tưởng hắt ánh sáng ra toàn bộ nửa không gian phía trước.

Thế giới thực có hệ số phản xạ rất khác nhau, nhưng giá trị trung bình của một cảnh thông thường xoay quanh 18 %. Con số này là cơ sở của thẻ xám chuẩn, một tấm bìa phản xạ đúng 18 % ánh sáng, và mọi hệ đo sáng phản xạ đều được hiệu chuẩn để đặt thẻ này vào giữa dải.



(a) Hệ số phản xạ ρ của một số bề mặt (b) Hai kiểu đo sáng

Hình 7.12 Thẻ xám 18 %, hệ số phản xạ của một số bề mặt thường gặp, và hai kiểu đo sáng

Bảng 7.5 Hệ số phản xạ của một số bề mặt thường gặp

Bề mặt	Hệ số phản xạ ρ	Lệch so với thẻ xám
Tuyết mới, giấy trắng	85 – 95 %	+2,3 stop
Tường sơn trắng	70 – 80 %	+2,0 stop
Da người rất sáng	35 – 40 %	+1,0 stop
Da người trung bình	25 – 30 %	+0,6 stop
Thẻ xám chuẩn	18 %	0 (mốc)
Cỏ xanh, lá cây	15 – 20 %	≈ 0
Da người sẫm màu	10 – 15 %	−0,5 tới −0,8 stop
Nhựa đường khô	10 – 12 %	−0,7 stop
Vải nhung đen	2 – 4 %	−2,5 tới −3,2 stop

7.5.2 Hai kiểu đo sáng

Có hai cách đo, cho hai loại thông tin khác hẳn nhau:

Hình 7.13 là một máy đo sáng quang điện cổ điển, có đầu đo dạng khuếch tán trắng và vòng tính cho phép đọc trực tiếp cặp khẩu độ và tốc độ màn trập từ giá trị đo.



Hình 7.13 Máy đo sáng quang điện cổ điển Leningrad-2, vòng tính khẩu độ và tốc độ màn trập

Nguồn: Dmitry Makeev, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026) (đã cắt).

– **Đo sáng tới (incident):** đặt máy tại vị trí chủ thể, đầu đo hình bán cầu hướng về phía máy quay để đo độ rọi. Kết quả không phụ thuộc màu và độ sáng của chủ thể nên cho ngay khẩu độ đúng, và đây là cách đo chuẩn của điện ảnh.
– **Đo sáng phản xạ (reflected):** đứng tại vị trí máy quay, đo độ chói của chủ thể qua một góc hẹp. Kết quả phụ thuộc hệ số phản xạ nên dễ bị sai lệch bởi nền quá sáng hoặc quá tối, và đây là cách mà mọi hệ đo sáng trong thân máy đang sử dụng.

CẢNH BÁO 7.1 — VÌ SAO ĐO PHẢN XẠ BỊ ĐÁNH LỪA

Máy đo phản xạ được hiệu chuẩn với giả định "cảnh trung bình phản xạ 18 %", nên luôn đưa đối tượng mà nó đo về mức xám giữa.

Khi quay người mặc áo trắng trên nền tuyết, máy thấy cảnh quá sáng và đóng khẩu lại, kết quả là tuyết thành xám và mặt người bị tối. Ngược lại, khi quay người trên nền vải đen, máy mở khẩu ra, kết quả là nền đen thành xám và mặt người bị cháy.

Có ba cách khắc phục: dùng đo sáng tới, đo phản xạ trên một thẻ xám đặt tại vị trí chủ thể, hoặc bù trừ phơi sáng bằng tay theo bảng hệ số phản xạ ở trên.

7.5.3 Giá trị phơi sáng EV và tam giác phơi sáng

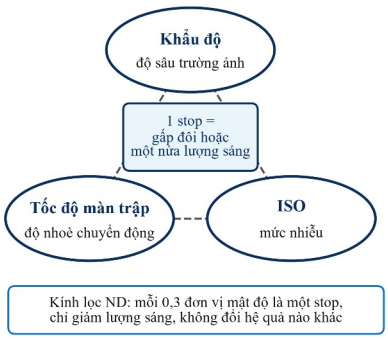
Giá trị phơi sáng EV gộp khẩu độ và tốc độ màn trập thành một con số duy nhất:

$$\mathrm{EV} = \log_2 \frac{N^2}{t} \quad ; \quad \mathrm{EV}_{100} = \log_2 \frac{L_v S}{K} \quad , \quad K \approx 12{,}5 \tag{7.13}$$

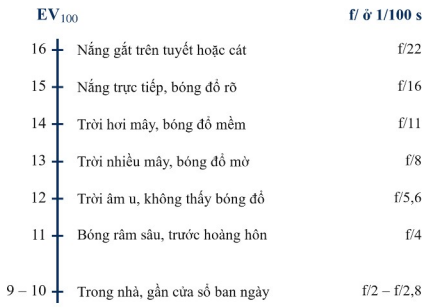
Trong đó N là trị số khẩu độ (f-number), t là thời gian phơi tính bằng giây, S là độ nhạy ISO, K là hằng số hiệu chuẩn máy đo, thường lấy 12,5. Điều kiện phơi sáng đúng chính là đẳng thức:

$$\frac{N^2}{t} = \frac{L_v S}{K} \tag{7.14}$$

Từ đẳng thức này suy ra toàn bộ "tam giác phơi sáng" mà người quay phim làm việc hằng ngày: mỗi khi thay đổi một trong ba yếu tố khẩu độ, tốc độ, ISO thì phải bù bằng một yếu tố khác để giữ nguyên vế trái. Tuy nhiên, ba yếu tố ấy không tương đương nhau về hệ quả hình ảnh.



(a) Ba núm cùng đổi một lượng sáng



(b) Thang EV theo điều kiện trời

Hình 7.14 Tam giác phơi sáng: ba đường đổi cùng một lượng ánh sáng nhưng gây ba hệ quả hình ảnh hoàn toàn khác nhau

Bảng 7.6 Ba yếu tố phơi sáng và hệ quả hình ảnh của chúng

Yếu tố	Đổi một stop nghĩa là	Hệ quả hình ảnh kèm theo	Mức tự do khi quay phim
Khẩu độ	Nhân hoặc chia f-number cho √2 (ví dụ f/2,8 → f/4)	Đổi độ sâu trường ảnh; ống kính thường nét nhất ở khoảng f/4 – f/5,6	Tự do — nhưng là lựa chọn NGHỆ THUẬT, không nên đổi tuỳ tiện
Tốc độ màn trập	Nhân đôi hoặc chia đôi thời gian phơi	Đổi độ nhoè chuyển động; quy ước điện ảnh là góc 180°, tức t = 1/(2 × số hình mỗi giây)	RẤT HẠN CHẾ — đổi tốc độ là đổi cảm giác chuyển động, và còn vướng nhấp nháy lưới điện (mục 7.28)
ISO	Nhân đôi hoặc chia đôi độ nhạy	Đổi mức nhiễu; nhiều máy có một hoặc hai mức ISO gốc cho chất lượng tốt nhất	Tự do trong phạm vi ISO gốc; ra ngoài phạm vi đó thì mất dải động
Kính lọc ND	Mỗi 0,3 đơn vị mật độ là một stop	Không đổi gì khác — chỉ giảm lượng sáng	Công cụ ĐÚNG nhất để giữ nguyên cả ba yếu tố trên khi trời quá sáng

Bảng trên giải thích vì sao trong đoàn phim, người quay hầu như không đổi tốc độ màn trập, hạn chế đổi ISO, giữ khẩu độ theo ý đồ tạo hình và điều chỉnh ánh sáng bằng đèn hoặc bằng kính lọc ND. Đây là điểm khác biệt căn bản giữa tư duy quay phim và tư duy chụp ảnh.

7.5.4 Quy tắc Sunny 16

Một quy tắc kinh nghiệm rất bền: dưới nắng trực tiếp giữa trưa, đặt khẩu độ f/16 và tốc độ màn trập bằng nghịch đảo của ISO thì phơi sáng đúng, chẳng hạn với ISO 100 là f/16 và 1/100 giây. Quy tắc này tương đương $EV_{100} = 15$ và có thể dùng để kiểm tra nhanh xem máy đo sáng có hỏng hay không.

Bảng 7.7 Bảng phơi sáng nhanh theo điều kiện trời (ISO 100, khẩu độ f/16)

Điều kiện	EV_{100}	Khẩu độ tương đương ở 1/100 s
Nắng gắt trên tuyết hoặc trên cát	16	f/22
Nắng trực tiếp, bóng đổ rõ nét	15	f/16
Trời hơi mây, bóng đổ mềm	14	f/11
Trời nhiều mây, bóng đổ mờ	13	f/8
Trời âm u, không thấy bóng đổ	12	f/5,6
Bóng râm sâu hoặc ngay trước hoàng hôn	11	f/4
Trong nhà, gần cửa sổ ban ngày	9 – 10	f/2 – f/2,8
Trong nhà, đèn phòng khách buổi tối	5 – 7	không đủ sáng

Bảng này đáng ghi nhớ vì hai lý do. Thứ nhất, nó cho phép ước lượng nhanh xem một bối cảnh có đủ sáng để quay hay không, ngay cả trước khi lấy máy đo ra, điều rất hữu ích khi khảo sát bối cảnh. Thứ hai, nó là công cụ kiểm tra chéo: nếu máy đo sáng cho một giá trị lệch quá một stop so với bảng trong điều kiện trời rõ ràng, nhiều khả năng máy đã hỏng hoặc đầu đo bị bẩn.

Sunny 16 có hai quy tắc liên quan dùng cho điều kiện thiếu sáng. Quy tắc "Looney 11" dùng cho cảnh trăng tròn ngoài trời: đặt f/11 và tốc độ màn trập bằng nghịch đảo của ISO, tương đương EV_{100} khoảng −3. Quy tắc "Moony 11 – 8 – 5,6" phân biệt ba pha trăng: f/11 cho trăng tròn, f/8 cho trăng khuyết một nửa, f/5,6 cho trăng lưỡi liềm. Cả hai quy tắc chỉ đúng khi bầu trời quang mây và không có ô nhiễm ánh sáng đô thị, điều kiện hiếm gặp ở nội thành Hà Nội, nơi độ chói nền của bầu trời đêm thường cao hơn ánh trăng.

> **CẢNH BÁO 7.2 — MỘT LƯU Ý VỀ SỐ HÌNH MỖI GIÂY**
>
> Mọi giá trị trong bảng đều tính cho tốc độ màn trập bằng nghịch đảo của ISO. Khi quay phim, tốc độ màn trập bị ràng buộc bởi số hình mỗi giây và góc màn trập nên không thể chọn tự do.
>
> Với truyền hình Việt Nam quay 25 hình mỗi giây ở góc 180°, tốc độ cố định là 1/50 giây, khi đó chỉ còn hai biến là khẩu độ và ISO. Vì vậy kính lọc ND gần như bắt buộc đối với người quay phim, trong khi người chụp ảnh hiếm khi cần tới.

7.6 Bài thực hành số 1 — đo sáng và phơi sáng

Mục tiêu

- Kiểm chứng luật nghịch đảo bình phương bằng phép đo thật.
- Phân biệt được bằng thực nghiệm hai kiểu đo sáng tới và đo sáng phản xạ, và chỉ ra được trường hợp đo phản xạ bị sai lệch.
- Đặt được phơi sáng đúng cho một chân dung bằng thẻ xám.
- Lập được bảng đối chiếu giữa độ rọi đo được và khẩu độ thực dùng.

Thiết bị

- Một máy quay hoặc máy ảnh có chế độ chỉnh tay hoàn toàn, có histogram hoặc waveform.
- Một máy đo sáng cầm tay có cả đầu đo bán cầu (đo tới) và đầu đo góc hẹp (đo phản xạ); nếu không có, dùng ứng dụng đo lux trên điện thoại cho phần đo độ rọi.
- Một đèn LED công suất vừa, có thể chỉnh độ sáng, đặt trên chân.
- Thẻ xám 18 %, một tờ giấy trắng A4, một tấm vải đen.
- Thước dây 5 m.

Phần 1 — Kiểm chứng luật nghịch đảo bình phương (25 phút)

Đặt đèn cố định, đặt máy đo sáng ở khoảng cách 1 m và đo độ rọi, sau đó lặp lại ở 1,41 m; 2 m; 2,83 m và 4 m. Kết quả được ghi vào bảng.

Bảng 7.8 Phiếu ghi kết quả Phần 1

Khoảng cách d (m)	Độ rọi đo được (lx)	Độ rọi dự đoán (lx)	Sai lệch (stop)
1,00	(mốc)	(mốc)	0
1,41		E_1 / 2	
2,00		E_1 / 4	
2,83		E_1 / 8	
4,00		E_1 / 16	

Câu hỏi thảo luận: nếu kết quả đo lệch nhiều so với dự đoán ở khoảng cách gần, hãy giải thích nguyên nhân. Gợi ý: luật nghịch đảo bình phương chỉ đúng với nguồn *điểm*, trong khi một đèn LED có mặt phát rộng 30 cm không còn là nguồn điểm khi đo ở khoảng cách 1 m.

Phần 2 — Hai kiểu đo sáng (30 phút)

Nhờ một người ngồi trước ba nền lần lượt: nền giấy trắng, nền trung tính và nền vải đen, giữ nguyên đèn và khoảng cách.

- Với mỗi nền: đo sáng tới tại vị trí mặt người và ghi khẩu độ mà máy đo đề nghị.
- Với mỗi nền: để máy quay ở chế độ tự động và ghi khẩu độ mà máy chọn.
- Chụp hoặc quay thử ba trường hợp ở cả hai chế độ, rồi xem lại và so sánh độ sáng của *khuôn mặt* giữa sáu ảnh.

Kết quả cần rút ra: khẩu độ theo đo sáng tới không đổi qua ba nền, trong khi khẩu độ máy tự chọn thay đổi tới hai stop. Do đó, trong sáu ảnh, chỉ ba ảnh dùng đo sáng tới cho độ sáng mặt người như nhau.

Phần 3 — Đặt phơi sáng bằng thẻ xám (25 phút)

- Đặt thẻ xám tại vị trí mặt người, mặt thẻ hướng về máy quay, chiếu cùng ánh sáng chính.
- Mở waveform hoặc histogram của máy và chỉnh khẩu độ cho tới khi thẻ xám nằm ở khoảng 40 – 45 % trên waveform (với ảnh Rec.709).
- Cất thẻ xám, quan sát vị trí của khuôn mặt trên waveform và ghi lại, rồi so sánh với giá trị 55 – 70 % là khoảng thường gặp cho da sáng và 35 – 50 % cho da sẫm.
- Lặp lại toàn bộ với một người có màu da khác hẳn, ghi nhận sự khác biệt và tự trả lời: vì sao không thể đặt phơi sáng theo một con số cố định cho mọi màu da.

Phần 4 — Kiểm chứng Sunny 16 (15 phút, cần trời nắng)

Ra ngoài trời nắng giữa trưa, đặt máy ở ISO 100, tốc độ 1/100 giây, khẩu độ f/16, rồi quay hoặc chụp một cảnh có cả vùng sáng và vùng tối. Sau đó kiểm tra histogram và so sánh với kết quả đo bằng máy đo sáng.

Kết quả cần có

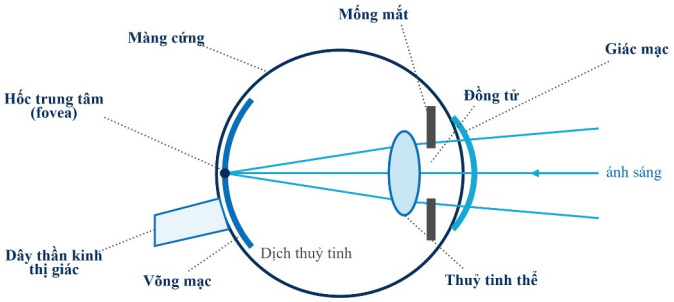
Sau bài thực hành, người đọc nên có: bảng số liệu Phần 1 kèm nhận xét về sai lệch; sáu ảnh của Phần 2 xếp thành lưới có chú thích khẩu độ; ảnh chụp màn hình waveform của Phần 3 cho cả hai màu da; và một đoạn kết luận ngắn trả lời câu hỏi: trong điều kiện nào thì đo sáng phản xạ vẫn là lựa chọn hợp lý?

Nếu có điều kiện, nên làm bài thực hành cùng hai ba người: một người thao tác máy, một người ghi số liệu và một người kiểm tra chéo. Việc kiểm tra chéo giữ vai trò quan trọng nhất, vì phần lớn sai số trong các phép đo trắc quang của người mới làm đến từ thao tác chứ không phải từ thiết bị: đầu đo đặt lệch hướng, có người đứng chắn nguồn sáng, hoặc đèn chưa ổn định nhiệt độ màu.

7.7 Cấu tạo mắt và đường thị giác

7.7.1 Đường đi của ánh sáng trong mắt

Ánh sáng vào mắt lần lượt qua bốn chặng. *Giác mạc* là lớp trong suốt ở mặt trước, đảm nhiệm khoảng hai phần ba tổng công suất khúc xạ của mắt. *Đồng tử* là lỗ ở giữa mống mắt, thay đổi đường kính từ khoảng 2 mm khi sáng tới 8 mm khi tối. *Thuỷ tinh thể* là thấu kính mềm, đổi độ cong nhờ cơ mi để lấy nét. Cuối cùng, ánh sáng đi qua khối *dịch thuỷ tinh* và đập lên *võng mạc* ở đáy mắt.



Bộ phận của mắt	Bộ phận máy quay	Điểm khác
Giác mạc, thuỷ tinh thể	Ống kính	Mắt đổi tiêu cự bằng độ cong thuỷ tinh thể; ống kính đổi khoảng cách giữa các nhóm thấu kính
Mống mắt, đồng tử	Khẩu độ	Đồng tử mở được khoảng 4 stop (2 – 8 mm); khẩu độ ống kính mở được 8 – 10 stop
Võng mạc	Cảm biến	Mật độ không đều, chỉ nét ở hốc trung tâm; cảm biến có mật độ điểm ảnh đều khắp
Chuyển động mắt và não	Không có	Mắt quét liên tục rồi não ghép lại; máy quay chụp cả khung hình cùng lúc

Hình 7.15 Cấu tạo mắt người, đường đi của ánh sáng, và bảng đối chiếu từng bộ phận với bộ phận tương ứng của máy quay

7.7.2 Mắt và máy quay — giống và khác

Phép so sánh mắt với máy quay rất phổ biến và hữu ích, nhưng chỉ đúng ở lớp ngoài; bốn điểm khác nhau dưới đây quan trọng hơn nhiều so với những điểm giống nhau.

Bảng 7.9 Bốn khác biệt căn bản giữa mắt và máy quay

Vấn đề	Mắt người	Máy quay
Cách lấy nét	Đổi ĐỘ CONG của thuỷ tinh thể nhờ cơ mi; tiêu cự thay đổi, khoảng cách tới võng mạc cố định	Đổi KHOẢNG CÁCH giữa các nhóm thấu kính; tiêu cự và khoảng cách tới cảm biến đều có thể thay đổi
Phạm vi khẩu độ	Đồng tử mở được từ 2 mm tới 8 mm — chỉ khoảng 4 stop	Khẩu độ ống kính thường mở được 8 – 10 stop, từ f/1,4 tới f/22
Phân bố điểm thu	Mật độ tế bào RẤT không đều: chỉ vùng hốc trung tâm rộng khoảng 2° là thật sắc nét	Mật độ điểm ảnh ĐỀU khắp bề mặt cảm biến
Cách tạo ảnh	Mắt QUÉT liên tục bằng những chuyển động giật nhanh, não ghép các mảnh lại thành một ảnh liền mạch — đây là khác biệt lớn nhất	Cảm biến chụp CẢ khung hình cùng một lúc (hoặc quét từng hàng rất nhanh, xem mục 7.28)

Điểm khác cuối cùng có hệ quả thực hành rất lớn. Khi đứng trong một cảnh, người ta có cảm giác nhìn thấy toàn bộ cảnh rõ nét và đủ sáng, nhưng cảm giác ấy là do não dựng lại từ hàng chục lần quét, mỗi lần với một mức thích nghi khác nhau. Máy quay không làm được điều đó vì nó chụp một lần, với một khẩu độ và một tốc độ. Vì vậy cảnh mà mắt thấy là "bình thường" có thể vượt xa dải động của cảm biến, và người quay buộc phải can thiệp bằng cách thêm đèn cho vùng tối, che bớt vùng sáng, hoặc chấp nhận mất một đầu.

7.7.3 Từ võng mạc tới vỏ não thị giác

Võng mạc không chỉ là bề mặt thu nhận mà còn là một tầng xử lý. Tín hiệu từ các tế bào cảm quang đi qua lớp tế bào lưỡng cực và lớp tế bào hạch, ở đó xảy ra hai việc quan trọng:

- **Nén dữ liệu:** khoảng 126 triệu tế bào cảm quang hội tụ về chỉ khoảng một triệu sợi thần kinh thị giác. Tỉ lệ nén trung bình hơn một trăm lần nhưng không đều: ở hốc trung tâm gần như một tế bào nón có một sợi riêng, còn ở ngoại vi thì hàng trăm tế bào que gộp chung một sợi.
- **Chuyển sang mã đối lập:** tín hiệu ba kênh S, M, L được tổ hợp lại thành một kênh độ sáng và hai kênh màu đối lập là đỏ–lục và lam–vàng. Đây là bằng chứng sinh lý trực tiếp cho việc video số tách tín hiệu thành Y′ và hai kênh Cb, Cr, cấu trúc mà mục 7.17 và chương video số sẽ trình bày kỹ.

Từ đó tín hiệu đi qua thể gối ngoài của đồi thị rồi tới vỏ não thị giác sơ cấp ở thuỳ chẩm. Toàn bộ chặng đường này mất khoảng 100 mili giây, và đó là một trong những lý do khiến con người không cảm nhận được các chuyển động giật của chính mắt mình.

7.7.4 Trường nhìn và hệ quả khi chọn tiêu cự

Trường nhìn của hai mắt người trải khoảng 200° theo phương ngang, trong đó vùng nhìn được bằng cả hai mắt, tức vùng có cảm giác chiều sâu lập thể, rộng

khoảng 120°. Tuy nhiên, như đã nêu, chỉ khoảng 2° ở giữa là thật sự sắc nét, và chừng 30° quanh đó là vùng mà người ta thực sự "chú ý" tới trong một lần nhìn.

Con số 30° ấy có một hệ quả kỹ thuật đáng chú ý. Trên máy quay cảm biến toàn khổ 36 × 24 mm, ống kính cho góc nhìn ngang khoảng 30° là ống tiêu cự 65 tới 70 mm. Đó là lý do ống 50 mm được gọi là "ống tiêu chuẩn" và khoảng 40 – 70 mm được coi là dải cho phối cảnh "tự nhiên", vì dải này gần nhất với vùng chú ý của mắt người.

Ống góc rộng cho góc nhìn lớn hơn nhiều so với vùng chú ý, nên phóng đại cảm giác chiều sâu và làm vật gần trông lớn bất thường; ống tiêu cự dài cho góc nhìn hẹp hơn, nên nén chiều sâu và làm các lớp trong khuôn hình như dồn lại. Cả hai đều là hiệu ứng tạo hình có chủ ý chứ không phải "sai lệch", song người quay cần biết mình đang lệch khỏi cách nhìn tự nhiên theo hướng nào.

GHI NHỚ 7.6 — MỘT HỆ QUẢ KHÁC: KHOẢNG CÁCH NGỒI XEM

Nếu người xem ngồi sao cho màn hình chiếm đúng 30° trường nhìn, họ sẽ cảm nhận khuôn hình gần đúng như người quay đã nhìn thấy qua ống tiêu chuẩn.

Với màn hình rộng 55 inch (khoảng 1,22 m), góc 30° ứng với khoảng cách ngồi chừng 2,3 m. Ngồi xa hơn thì mất chi tiết, còn ngồi gần hơn thì thấy được nhiều chi tiết hơn nhưng phải đảo mắt liên tục.

Đây là cơ sở của các khuyến nghị về khoảng cách xem trong tiêu chuẩn truyền hình, và cũng là lý do độ phân giải rất cao chỉ có ý nghĩa với người ngồi gần; nội dung này sẽ được tính cụ thể ở chương Video số.

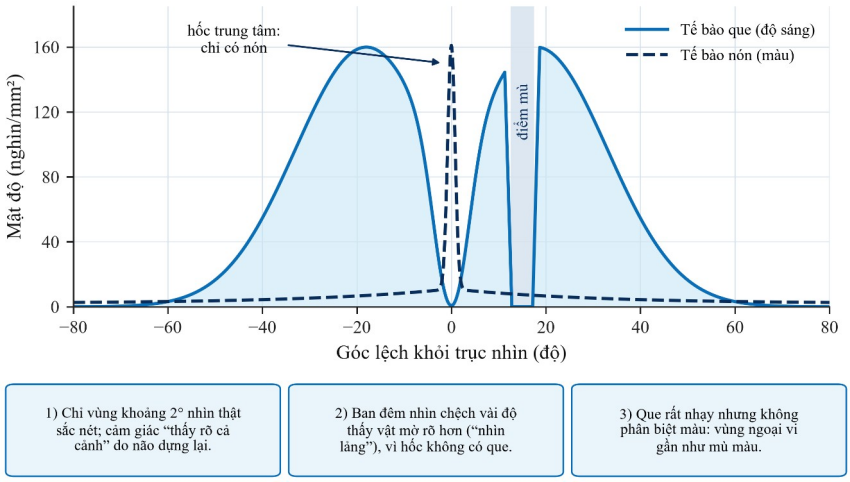
7.8 Tế bào que, tế bào nón và nguyên lý ba màu

7.8.1 Hai loại tế bào, hai nhiệm vụ

Võng mạc người có hai loại tế bào cảm quang với vai trò hoàn toàn khác nhau.

Bảng 7.10 Tế bào que và tế bào nón

Đặc điểm	Tế bào QUE (rod)	Tế bào NÓN (cone)
Số lượng	khoảng 120 triệu	khoảng 6 triệu
Độ nhạy sáng	rất cao — phát hiện được vài photon	thấp hơn khoảng 100 lần
Phân biệt màu	KHÔNG — chỉ có một loại sắc tố	CÓ — ba loại sắc tố khác nhau
Độ phân giải	thấp; nhiều tế bào gộp chung một sợi thần kinh	cao; ở hốc trung tâm gần như một–một
Phân bố	tập trung ở ngoại vi, đỉnh quanh ±18°; KHÔNG có ở hốc trung tâm	tập trung dày đặc ở hốc trung tâm, thưa dần ra ngoài
Hoạt động ở mức sáng	dưới khoảng 0,01 cd/m² (thị giác tối)	trên khoảng 3 cd/m² (thị giác sáng)
Thời gian thích nghi	chậm — 20 tới 30 phút để thích nghi tối	nhanh — vài phút



Hình 7.16 Mật độ tế bào que và tế bào nón theo góc lệch khỏi trục nhìn, kèm ba hệ quả thực tế

GHI NHỚ 7.7 — HAI HỆ QUẢ ĐÁNG NHỚ CỦA SỰ PHÂN BỐ KHÔNG ĐỀU

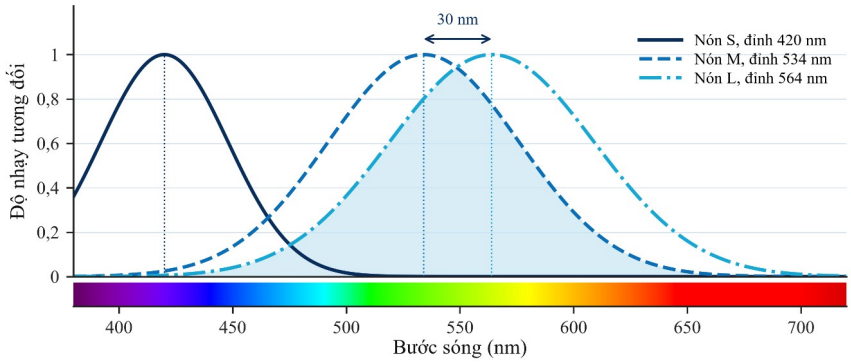
Vùng nhìn thật sắc nét chỉ rộng khoảng 2°, tương đương móng tay cái nhìn ở tầm tay duỗi thẳng, còn toàn bộ cảm giác "thấy rõ cả cảnh" là do não dựng lại từ nhiều lần quét. Vì vậy người xem phim chỉ nhìn được một chỗ mỗi lúc, và người dựng phim phải dẫn dắt ánh mắt bằng bố cục và độ sáng.

Ban đêm, muốn thấy một vật rất mờ thì phải nhìn *chệch* đi vài độ, vì hốc trung tâm không có tế bào que; các nhà thiên văn gọi kỹ thuật này là "nhìn lảng". Người đọc có thể thử bằng cách tìm một ngôi sao mờ trên bầu trời đêm.

7.8.2 Ba loại tế bào nón

Ba loại tế bào nón được đặt tên theo bước sóng mà chúng nhạy nhất [15]:

- Nón S (short): đỉnh nhạy ở khoảng 420 nm, vùng lam tím.
- Nón M (medium): đỉnh nhạy ở khoảng 534 nm, vùng lục.
- Nón L (long): đỉnh nhạy ở khoảng 564 nm, vùng lục vàng.



Hình 7.17 Ba đường nhạy phổ của tế bào nón S, M, L — chồng lấn rất nhiều, nhất là giữa M và L

Ba con số này đáng chú ý ở hai điểm. Thứ nhất, đỉnh của nón L nằm ở 564 nm, thuộc vùng lục vàng chứ không phải vùng đỏ, mặc dù nó vẫn thường được gọi

là "nón đỏ"; cách gọi ấy dễ gây hiểu nhầm nên sách này tránh dùng. Thứ hai, đỉnh của M và L chỉ cách nhau 30 nm, nghĩa là hai đường nhạy này chồng lấn gần như hoàn toàn. Chính sự chồng lấn ấy khiến việc phân biệt màu đỏ với màu lục phụ thuộc vào phép trừ hai tín hiệu rất gần nhau, một phép toán nhạy cảm và cũng là lý do mù màu đỏ–lục là dạng mù màu phổ biến nhất.

Tỉ lệ ba loại nón cũng chênh lệch rất lớn. Nón S chỉ chiếm khoảng 5 đến 10 phần trăm tổng số nón và gần như vắng mặt ở tâm hốc trung tâm, do đó mắt phân giải chi tiết ở vùng lam kém hơn hẳn so với vùng lục và đỏ. Đây là một trong những lý do kỹ thuật cho phép lấy mẫu con thành phần màu trong video số.

> **GHI NHỚ 7.8 — SỐ LƯỢNG VÀ TỈ LỆ CÁC LOẠI TẾ BÀO THỊ GIÁC**
>
> Tế bào nón S chiếm khoảng 5 đến 10 phần trăm tổng số nón, tức khoảng 5 đến 10 tế bào S trên 100 tế bào nón.
>
> Võng mạc người có khoảng 120 triệu tế bào que và khoảng 6 triệu tế bào nón.

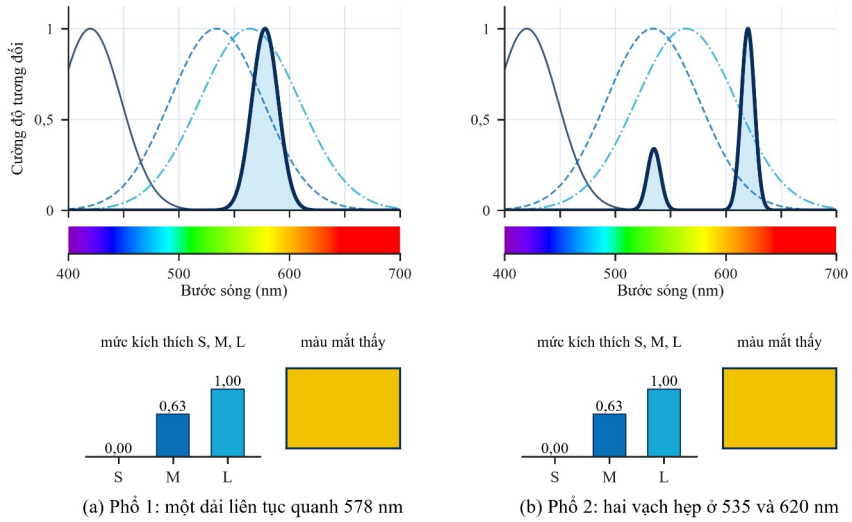
7.8.3 Nguyên lý ba màu và hệ quả của nó

Vì mắt chỉ lấy ba mẫu của phổ, một màu bất kỳ mà mắt nhìn thấy có thể mô tả đầy đủ bằng đúng ba con số: mức kích thích của S, M và L. Đó là *nguyên lý ba màu*, và toàn bộ ngành tái tạo hình ảnh dựa trên nguyên lý này.

> **GHI NHỚ 7.9 — NGUYÊN LÝ BA MÀU — PHÁT BIỂU CHÍNH XÁC**
>
> Muốn một hệ tái tạo cho ra đúng cảm giác màu của một cảnh, hệ đó không cần tái tạo lại phổ của cảnh mà chỉ cần tạo ra một phổ khác, bất kỳ phổ nào, sao cho ba tích phân với ba đường nhạy S, M, L cho ra đúng ba con số ấy.
>
> Vì vậy ba đèn cơ bản đủ để tái tạo phần lớn màu nhìn thấy, và đây là lý do tồn tại của mọi màn hình RGB, mọi máy chiếu, mọi máy quay ba kênh.

7.8.4 Đồng phân dị phổ

Hệ quả trực tiếp và quan trọng nhất của nguyên lý ba màu là hiện tượng *đồng phân dị phổ* (metamerism): hai phổ hoàn toàn khác nhau vẫn cho ra cùng một bộ ba con số, nên mắt thấy chúng cùng một màu.



(a) Phổ 1: một dải liên tục quanh 578 nm (b) Phổ 2: hai vạch hẹp ở 535 và 620 nm

Hình 7.18 Đồng phân dị phổ: hai phổ khác hẳn nhau cho cùng một bộ ba giá trị kích thích S, M, L, nên mắt thấy cùng một màu vàng

Đồng phân dị phổ vừa là điều kiện tồn tại của ngành hình ảnh, vừa là nguồn gốc của những rắc rối dai dẳng nhất:

- **Mặt tích cực:** nếu không có đồng phân dị phổ thì không có màn hình nào hoạt động được, vì không màn hình nào tái tạo được phổ thật của một cảnh nắng chiều.
- **Mặt tiêu cực:** hai vật đồng phân dưới đèn này sẽ khác màu dưới đèn khác, vì phổ nguồn sáng thay đổi thì hai tích phân không còn bằng nhau nữa; vì vậy một bộ trang phục khớp màu dưới đèn phim trường có thể lệch màu khi ra ngoài trời.
- **Mặt phức tạp nhất:** ba đường nhạy của cảm biến máy quay không giống hệt ba đường nhạy của mắt người, nên hai vật đồng phân với mắt vẫn có thể khác màu với máy. Hiện tượng này gọi là lỗi đồng phân của máy quay, và là lý do chỉ số SSI ra đời (mục 7.27).

7.8.5 Mù màu và hệ quả khi làm đồ hoạ truyền hình

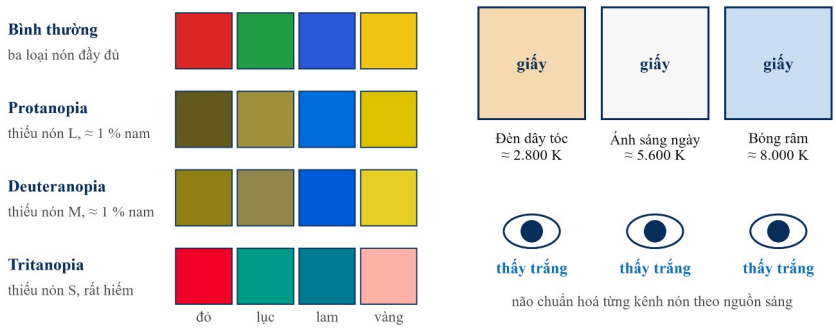
Khi thiếu hẳn một loại nón, người ta mất khả năng phân biệt một trục màu. Ba dạng mù màu hoàn toàn và tần suất của chúng như sau:

Bảng 7.11 Ba dạng mù màu hoàn toàn

Tên gọi	Thiếu loại nón	Tần suất	Cặp màu bị lẫn
Protanopia	nón L	khoảng 1 % nam giới	đỏ và lục; màu đỏ còn trông tối hơn bình thường
Deuteranopia	nón M	khoảng 1 % nam giới	đỏ và lục; độ sáng cảm nhận gần như bình thường
Tritanopia	nón S	rất hiếm, dưới 0,01 %	lam và vàng

Ngoài ba dạng hoàn toàn còn có các dạng suy giảm nhẹ hơn và phổ biến hơn nhiều. Tính chung, khoảng 8 phần trăm nam giới và 0,5 phần trăm nữ giới có

một dạng rối loạn sắc giác nào đó, nên trong một nhóm bốn mươi người thường có một tới hai người.



(a) Ba dạng mù màu (b) Hằng số màu

Hình 7.19 Ba dạng mù màu và hệ quả thiết kế; bên phải là hiện tượng hằng số màu — vì sao tờ giấy luôn nhìn thấy trắng

QUY TẮC 7.2 — QUY TẮC THIẾT KẾ ĐỒ HOẠ TRUYỀN HÌNH

Không bao giờ dùng riêng màu để mang thông tin: bảng tỉ số bóng đá phân biệt hai đội bằng màu đỏ và màu lục sẽ vô nghĩa với hai phần trăm khán giả nam.

Luôn thêm ít nhất một dấu hiệu thứ hai như hình dạng, chữ, vị trí hoặc chênh lệch độ sáng rõ rệt. Chênh lệch độ sáng là dấu hiệu an toàn nhất vì dựa trên kênh mà mọi dạng mù màu đều giữ nguyên.

Cách kiểm tra nhanh là chuyển đồ hoạ sang đen trắng: nếu vẫn phân biệt được thì thiết kế đạt.

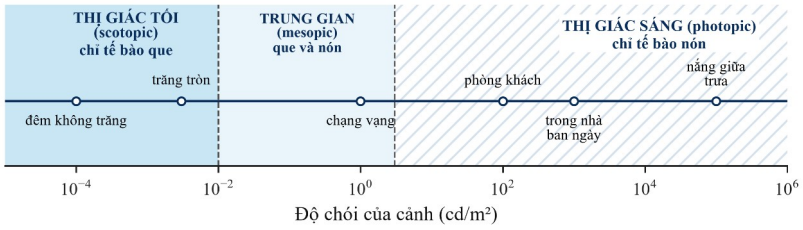
7.9 Thị giác sáng, thị giác tối và sự thích nghi

7.9.1 Ba chế độ thị giác

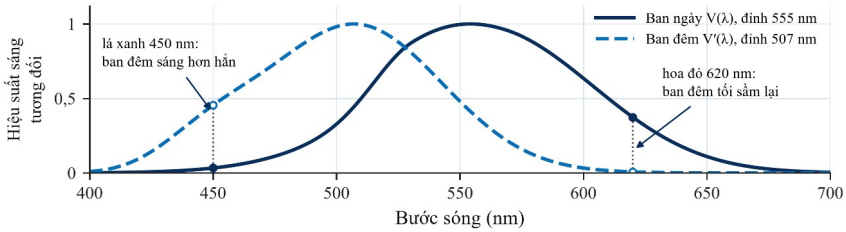
Tuỳ mức sáng của cảnh, mắt làm việc ở một trong ba chế độ với hai loại tế bào tham gia theo tỉ lệ khác nhau:

Bảng 7.12 Ba chế độ thị giác

Chế độ	Mức độ chói của cảnh	Tế bào hoạt động	Đặc điểm cảm nhận
Thị giác SÁNG (photopic)	trên khoảng 3 cd/m²	chỉ tế bào nón	phân biệt màu đầy đủ, độ phân giải cao nhất, đỉnh nhạy 555 nm
Thị giác TRUNG GIAN (mesopic)	khoảng 0,01 – 3 cd/m²	cả que lẫn nón	màu nhạt dần, đỉnh nhạy dịch dần về phía lam
Thị giác TỐI (scotopic)	dưới khoảng 0,01 cd/m²	chỉ tế bào que	KHÔNG phân biệt màu, độ phân giải thấp, đỉnh nhạy 507 nm



(a) Ba chế độ thị giác theo mức sáng



(b) Hiệu ứng Purkinje: cảnh đêm ngả xanh

Hình 7.20 Ba chế độ thị giác theo mức sáng, và hiệu ứng Purkinje giải thích vì sao cảnh đêm ngả xanh

GHI NHỚ 7.10 — THỊ GIÁC SÁNG VÀ THỊ GIÁC TỐI

Ban ngày (photopic, tế bào nón) có đỉnh ở 555 nm; ban đêm (scotopic, tế bào que) có đỉnh ở 507 nm, tức dịch về phía lam.

Đường mà CIE chuẩn hoá năm 1924 và dùng để định nghĩa mọi đơn vị trắc quang là đường thị giác sáng V(λ); đường V′(λ) của thị giác tối được chuẩn hoá sau, năm 1951, và không dùng trong định nghĩa candela.

7.9.2 Hiệu ứng Purkinje

Vì đỉnh nhạy dịch từ 555 nm xuống 507 nm khi trời tối, độ sáng tương đối giữa các màu thay đổi. Một bông hoa đỏ và một chiếc lá xanh có thể sáng ngang nhau dưới nắng, nhưng lúc chạng vạng thì chiếc lá trông sáng hẳn lên còn bông hoa thì tối sầm lại. Hiện tượng này mang tên nhà sinh lý học Séc Jan Evangelista Purkyně, người mô tả nó năm 1819.

Hiệu ứng Purkinje là cơ sở sinh lý cho một quy ước tạo hình đã tồn tại từ thời phim đen trắng: cảnh đêm được quay với ánh sáng ngả lam. Quy ước này không phải là sự bịa đặt nghệ thuật, mà tái tạo đúng cảm giác mà thị giác tối của người xem sẽ có nếu họ thực sự đứng trong cảnh đó.

QUY TẮC 7.3 — BA GHI CHÚ KHI QUAY CẢNH ĐÊM

Không nên chỉ hạ sáng. Cảnh đêm quay đúng thường được chiếu sáng khá nhiều rồi mới hạ xuống ở khâu chỉnh màu, vì làm như vậy mới có đủ tín hiệu, ít nhiễu và giữ được chi tiết trong vùng tối.

Ngả lam nhẹ ở vùng tối và giữ vùng sáng gần trung tính là cách phổ biến nhất, còn ngả lam đều cả khung hình sẽ tạo cảm giác giả.

Nếu trong cảnh có nguồn sáng thực (đèn đường, cửa sổ, màn hình điện thoại), nên để các nguồn này ấm hơn phần còn lại, bởi chính chênh lệch nhiệt độ màu giữa nguồn thực và ánh sáng nền, chứ không phải mức độ tối, mới tạo cảm giác đêm.

7.9.3 Thích nghi sáng và thích nghi tối

Mắt người thích nghi được với dải sáng rộng khoảng 24 stop, từ ánh sao mờ tới nắng trên tuyết, nhưng dải đó không khả dụng cùng một lúc. Trong một lần nhìn, không thích nghi lại, mắt chỉ phân biệt được khoảng 14 stop. Việc chuyển từ mức thích nghi này sang mức khác cần thời gian, và thời gian đó rất không đối xứng:

- **Thích nghi sáng (từ tối ra sáng):** diễn ra nhanh, khoảng 5 phút là gần xong; cảm giác chói loà khi bước từ rạp chiếu phim ra ngoài trời chỉ kéo dài vài chục giây.
- **Thích nghi tối (từ sáng vào tối):** diễn ra rất chậm, vì tế bào nón thích nghi xong trong khoảng 7 phút, nhưng tế bào que cần tới 20 – 30 phút để đạt độ nhạy tối đa; trên đường cong thích nghi có một điểm gãy rõ rệt, gọi là điểm gãy que–nón, xảy ra sau khoảng 7 tới 10 phút.

GHI NHỚ 7.11 — HỆ QUẢ VỚI PHÒNG DỰNG VÀ PHÒNG CHỈNH MÀU

Vì thích nghi tối diễn ra chậm, người chỉnh màu phải làm việc trong môi trường có độ sáng nền ổn định. Tiêu chuẩn phòng chỉnh màu quy định tường xám trung tính, độ chói nền khoảng 10 phần trăm độ chói trắng của màn hình, và không có ánh sáng lọt vào thay đổi trong ngày.

Nếu bật đèn trần hoặc mở rèm giữa buổi, mức thích nghi của mắt thay đổi và mọi quyết định về vùng tối đã thực hiện trước đó không còn đáng tin cậy.

Cũng vì lý do này, không nên duyệt bản chỉnh màu ngay sau khi vừa từ ngoài nắng bước vào phòng; người duyệt cần ngồi ít nhất mười phút trước khi đưa ra nhận xét về vùng tối.

7.10 Cảm nhận phi tuyến và độ nhạy tương phản

Mục này ngắn nhưng là mục bản lề của cả chương: nó giải thích vì sao tín hiệu hình phải được mã hoá *phi tuyến*, và toàn bộ Phần D là hệ quả kỹ thuật của những nội dung nêu ở đây.

7.10.1 Ngưỡng Weber

Câu hỏi đặt ra là độ chói cần thay đổi bao nhiêu thì mắt mới nhận ra; câu trả lời không phải một lượng cố định mà là một *tỉ lệ* cố định:

$$\frac{\Delta L}{L} = \text{const} \approx 0{,}01 \quad \text{(Weber)} \tag{7.15}$$

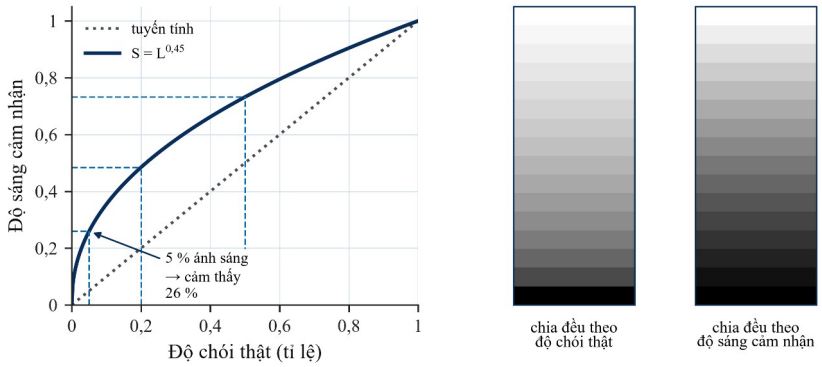
Nghĩa là trên nền tối, chỉ cần thêm một chút ánh sáng là đã nhận ra, còn trên nền sáng thì phải thêm nhiều hơn hẳn mới nhận ra được. Định luật này do Ernst Weber phát biểu năm 1834 và đúng khá tốt trong khoảng sáng trung bình.

7.10.2 Luật Stevens

Tích phân ngưỡng Weber trên toàn dải cho ra quan hệ giữa kích thích và cảm giác dưới dạng hàm luỹ thừa:

$$S = kI^{n} \quad \text{(Stevens)} \tag{7.16}$$

Với độ sáng, số mũ n vào khoảng 0,33 đến 0,50 tuỳ điều kiện đo. Con số này rất gần với 0,45, chính là số mũ trong đường mã hoá của Rec.709, và sự trùng hợp đó không phải ngẫu nhiên.



(a) Cảm nhận theo luỹ thừa (b) Hệ quả: chia bậc mã phải không đều

Hình 7.21 Mắt cảm nhận độ sáng theo hàm luỹ thừa; hệ quả là các bậc mã phải chia KHÔNG đều theo độ chói thật

GHI NHỚ 7.12 — ĐÂY LÀ GỐC CỦA GAMMA

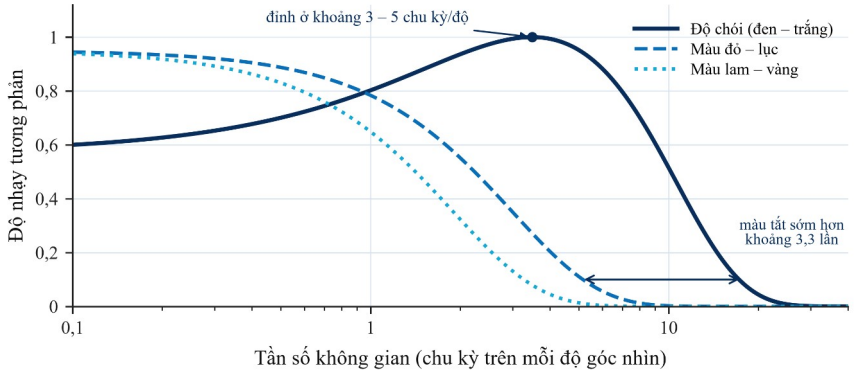
Nếu mã hoá độ chói một cách tuyến tính, tức mỗi bậc mã ứng với một lượng ánh sáng bằng nhau, thì phần lớn số mã sẽ dồn vào vùng sáng, nơi mắt gần như không phân biệt được, còn vùng tối chỉ còn vài mức và sẽ lộ rõ vệt bậc.

Nếu mã hoá theo một đường cong gần với đường cảm nhận của mắt, các bậc mã sẽ cách đều nhau *trong cảm nhận của mắt người*; khi ấy 8 bit là đủ cho ảnh SDR, thay vì cần tới 12 – 14 bit nếu mã tuyến tính.

Đó là toàn bộ lý do tồn tại của gamma; nội dung này được tiếp tục ở mục 7.20.

7.10.3 Độ nhạy tương phản theo tần số không gian

Câu hỏi thứ hai là mắt nhạy nhất với chi tiết cỡ nào. Câu trả lời nằm ở hàm độ nhạy tương phản, vẽ theo tần số không gian tính bằng chu kỳ trên mỗi độ góc nhìn.



Hình 7.22 Hàm độ nhạy tương phản cho kênh độ chói và hai kênh màu — mắt nhạy với chi tiết độ chói hơn hẳn

Ba nhận xét quan trọng rút ra từ đồ thị này:

– **Đỉnh nhạy nằm ở 3 – 5 chu kỳ mỗi độ, không phải ở tần số cao nhất.** Mắt nhạy nhất với chi tiết cỡ trung bình, còn chi tiết cực nhỏ và mảng cực lớn đều

kém nhạy hơn. Vì vậy độ phân giải rất cao chỉ có ý nghĩa khi người xem ngồi đủ gần màn hình, và nội dung này sẽ được tính cụ thể ở chương video số.

– **Hai kênh màu tắt sớm hơn kênh độ chói khoảng ba tới bốn lần.** Đây là cơ sở sinh lý trực tiếp của lấy mẫu con thành phần màu 4:2:2 và 4:2:0: có thể ghi thông tin màu thưa hơn thông tin độ chói mà mắt gần như không nhận ra.
– **Mọi thao tác về độ nét nên thực hiện trên kênh độ chói.** Làm sắc, khử nhiễu hay tăng chi tiết trên kênh màu gần như không mang lại lợi ích nhìn thấy được mà lại dễ sinh viền màu giả.

7.11 Hằng số màu và thích nghi sắc

7.11.1 Vì sao tờ giấy luôn nhìn thấy trắng

Xét một tờ giấy trắng đặt dưới đèn dây tóc 2800 K rồi mang ra bóng râm trời xanh 8000 K. Phổ ánh sáng phản xạ vào mắt trong hai trường hợp khác nhau hoàn toàn: trường hợp đầu giàu bước sóng dài, trường hợp sau giàu bước sóng ngắn. Nếu chụp ảnh bằng máy quay đặt cố định một giá trị cân bằng trắng, hai ảnh sẽ khác màu rõ rệt [16].

Tuy vậy, mắt người vẫn thấy tờ giấy là trắng trong cả hai trường hợp. Hiện tượng này gọi là *hằng số màu* (colour constancy), và cơ chế đứng sau nó gọi là *thích nghi sắc* (chromatic adaptation).

7.11.2 Mô hình von Kries

Mô hình đơn giản nhất và vẫn được dùng phổ biến nhất là mô hình do Johannes von Kries đề xuất năm 1902: ba kênh nón được nhân độc lập với ba hệ số điều chỉnh: $L' = k_L \cdot L$, $M' = k_M \cdot M$, $S' = k_S \cdot S$, trong đó L, M, S là đáp ứng của ba loại tế bào nón và k_L, k_M, k_S là các hệ số khuếch đại tương ứng.

Nghĩa là hệ thị giác tự "cân bằng trắng" bằng cách hạ độ khuếch đại của kênh đang bị nguồn sáng kích thích nhiều nhất: dưới đèn dây tóc giàu bước sóng dài, kênh L bị hạ độ khuếch đại, còn dưới trời râm giàu bước sóng ngắn, kênh S bị hạ. Kết quả là tỉ lệ ba tín hiệu từ tờ giấy trắng gần như không đổi.

> **GHI NHỚ 7.13 — ĐÂY LÀ CƠ SỞ SINH LÝ CỦA CÂN BẰNG TRẮNG**
>
> **Máy quay không tự thực hiện được việc này:** nó ghi lại đúng phổ đến cảm biến, nhân với ba đường nhạy cố định của mình và cho ra ba con số phản ánh trung thực nguồn sáng, kể cả khi nguồn sáng ám màu rất mạnh.
>
> Vì vậy cần có khâu *cân bằng trắng* mô phỏng lại việc mà não người làm tự động. Về mặt toán học, cân bằng trắng của máy quay chính là mô hình von Kries: nhân ba kênh với ba hệ số. Xem mục 7.30.
>
> Cũng vì con người thích nghi còn máy thì không, người quay phim không thể tin vào mắt mình để đánh giá nhiệt độ màu tại hiện trường mà phải dùng thẻ trắng, máy đo màu hoặc màn hình đã hiệu chuẩn.

7.11.3 Giới hạn của hằng số màu

Hằng số màu hoạt động tốt nhưng không hoàn hảo, và việc nắm được giới hạn của nó rất có ích:

– Cơ chế này cần *thời gian*: thích nghi sắc hoàn toàn mất khoảng một tới hai phút, nên khi cắt cảnh trong phim, người xem không kịp thích nghi và cảm nhận rất rõ chênh lệch nhiệt độ màu giữa hai cảnh liền nhau; đây là công cụ tạo hình mạnh nhưng cũng là lỗi ghép nối phổ biến.

– Cơ chế này cần một *tham chiếu*: nếu toàn bộ trường nhìn chỉ có một màu, hệ thị giác không có gì để chuẩn hoá, và đó là lý do người ta đưa một vùng trung tính vào khuôn hình khi muốn khán giả cảm nhận đúng màu của phần còn lại.

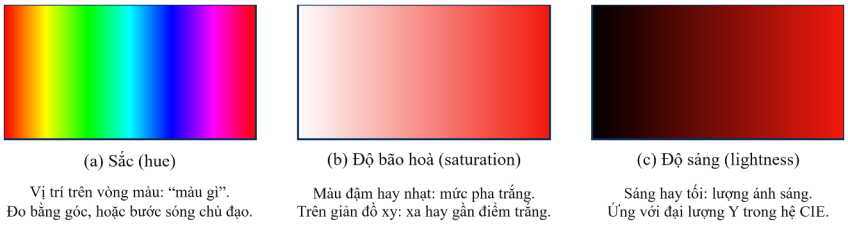
– Cơ chế này không hoàn toàn: với nguồn sáng có phổ vạch mạnh như đèn hơi natri, hằng số màu gần như thất bại và mọi vật đều trông vàng cam.

– Cơ chế này là nguồn gốc của những ảo giác màu nổi tiếng, trong đó có bức ảnh "chiếc váy" gây tranh cãi năm 2015: cùng một ảnh, hai người giả định hai nguồn sáng khác nhau và thấy hai bộ màu khác nhau.

7.12 Ba thuộc tính của màu

7.12.1 Ba câu hỏi về một màu

Muốn mô tả một màu bằng lời, người ta trả lời ba câu hỏi độc lập với nhau, tương ứng với ba thuộc tính của 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

Bảng 7.13 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

7.12.2 Ba từ tiếng Anh dễ nhầm

Trong tiếng Anh có ba từ đều dịch được thành "độ sáng", và việc phân biệt chúng là bắt buộc khi đọc tài liệu kỹ thuật:

- **Luminance:** độ chói, đại lượng *vật lý* đo bằng cd/m², máy đo được và tuyến tính với năng lượng.
- **Lightness:** độ sáng *cảm nhận* của một vật thể, so với một trắng chuẩn trong cùng cảnh; đây là L* trong hệ CIELAB, chạy từ 0 tới 100 và phi tuyến với độ chói.
- **Brightness:** độ sáng *cảm nhận* của một nguồn phát, không so với chuẩn nào; đại lượng này không có thang đo chuẩn mà chỉ là cảm giác, và núm "brightness" trên màn hình thực chất điều khiển độ chói của đèn nền.

Có thể ghi nhớ nhanh như sau: luminance là đại lượng máy đo được, lightness là đại lượng người so sánh được, còn brightness là đại lượng người chỉ cảm thấy được.

7.12.3 Đối chiếu thuật ngữ

Bộ thuật ngữ dùng trong sách này thống nhất với tài liệu quốc tế hiện hành. Trong một số tài liệu tiếng Việt, ba thuộc tính của màu còn được gọi là "sắc loại", "độ thuần" hay "độ rực" và "độ sáng", trong đó "độ thuần" và "độ rực" cùng chỉ khái niệm độ bão hoà chứ không phải hai thuộc tính khác nhau. Bảng ở Hình 7.23 đối chiếu các tên gọi này.

7.12.4 Màu vô sắc và màu hữu sắc

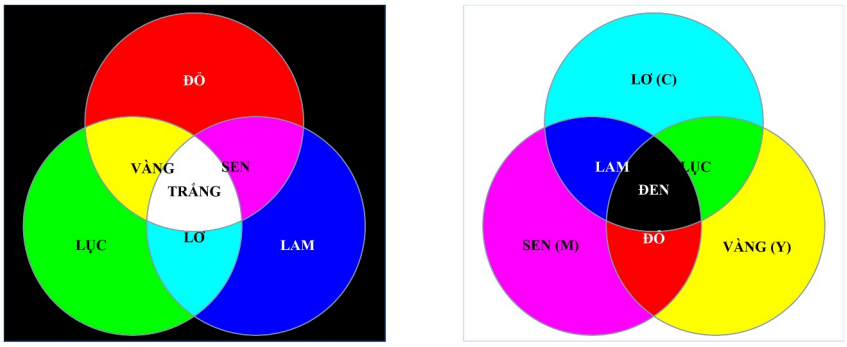
Màu *vô sắc* là những màu không có sắc: đen, các mức xám và trắng. Trên giản đồ sắc, chúng chỉ chiếm đúng một điểm là điểm trắng, và chỉ khác nhau ở độ sáng.

Màu *hữu sắc* là mọi màu còn lại. Cần lưu ý rằng có những màu quen thuộc không nằm trên vòng phổ: nâu không phải là một sắc riêng mà là màu cam có độ sáng thấp, còn hồng là màu đỏ có độ bão hoà thấp và độ sáng cao. Vì vậy không thể có "đèn nâu", do màu nâu chỉ tồn tại khi có một vùng sáng hơn ở cạnh để so sánh.

7.13 Trộn cộng và trộn trừ

7.13.1 Hai hệ đối nghịch

Có hai cách tạo màu, và chúng hoạt động theo hai chiều ngược nhau.



(a) Trộn cộng (ánh sáng) (b) Trộn trừ (chất màu)

Hình 7.24 Trộn cộng của ánh sáng và trộn trừ của chất màu — hai hệ đối nghịch nhau

Bảng 7.14 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 phải thêm mực đen 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

7.13.2 Vì sao hai hệ lại đối nghịch

Ba màu cơ bản trừ không được chọn tuỳ tiện, bởi mỗi màu trừ chính là *phần bù* của một màu cộng:

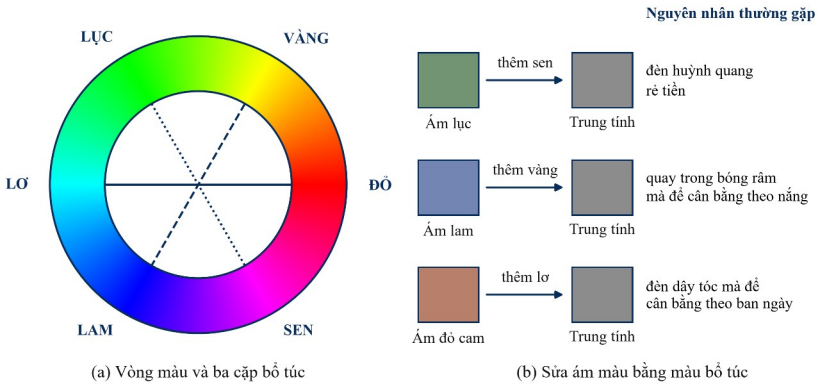
- Mực lơ (cyan) hấp thụ ánh sáng đỏ và cho lọt lục với lam.
- Mực sen (magenta) hấp thụ ánh sáng lục và cho lọt đỏ với lam.
- Mực vàng (yellow) hấp thụ ánh sáng lam và cho lọt đỏ với lục.

Vì vậy, khi chồng mực lơ lên mực vàng, mực lơ chặn đỏ và mực vàng chặn lam nên chỉ còn lục lọt qua, cho ra màu lục; khi chồng cả ba mực, cả ba thành phần đều bị chặn và kết quả là màu đen.

> **GHI NHỚ 7.14 — BA MÀU CƠ BẢN CỦA TRỘN TRỪ**
>
> 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; vì thế mọi máy in đều dùng bộ ba lơ, sen, vàng.
>
> Có thể kiểm tra ngay bằng cách mở hộp mực bất kỳ của máy in phun: ba hộp màu luôn ghi C, M, Y, tức cyan, magenta, yellow.

7.13.3 Quan hệ bổ túc và ứng dụng sửa ám màu

Hai màu gọi là *bổ túc* nếu khi trộn cộng chúng với tỉ lệ thích hợp thì được màu vô sắc; trên vòng màu, hai màu bổ túc nằm đối diện nhau.



(a) Vòng màu và ba cặp bổ túc (b) Sửa ám màu bằng màu bổ túc

Hình 7.25 Ba cặp màu bổ túc trên vòng màu, và cách dùng quan hệ bổ túc để sửa ám màu

Quan hệ bổ túc là công cụ sửa lỗi màu mạnh nhất và đơn giản nhất: muốn khử một ám màu, thêm màu bổ túc của nó. Ba trường hợp thường gặp nhất ở hiện trường Việt Nam là:

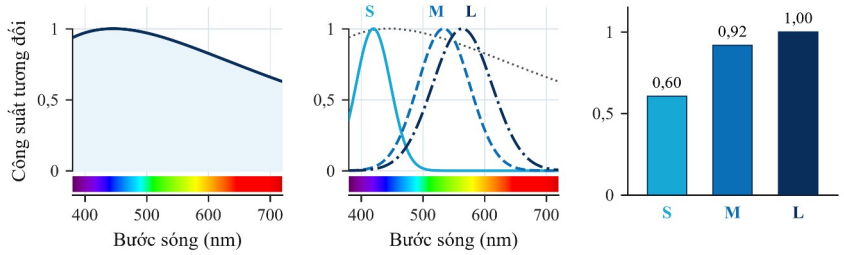
Bảng 7.15 Ba ám màu thường gặp và cách sửa

Ám màu	Thêm màu	Nguyên nhân thường gặp	Sửa ở đâu
Ám LỤC	Sen (magenta)	đèn huỳnh quang rẻ tiền, đèn LED có Duv dương	gel minus green trên đèn, hoặc trục tint của máy quay
Ám LAM	Vàng	quay trong bóng râm mà để cân bằng theo nắng	gel CTO, hoặc hạ kelvin trên máy
Ám ĐỎ CAM	Lơ (cyan)	đèn dây tóc mà để cân bằng theo ban ngày	gel CTB, hoặc nâng kelvin trên máy

Trục "tint" trong menu cân bằng trắng của mọi máy quay chính là trục lục – sen này. Trục này độc lập với trục kelvin, và hiểu được điều đó là chìa khoá để cân bằng trắng nhanh dưới đèn huỳnh quang.

7.13.4 Gỡ bỏ một hiểu nhầm nền tảng

Ở mục 7.2.5 đã nói ngắn gọn rằng câu "ánh sáng trắng gồm ba màu đỏ, lục, lam" là sai. Đến đây, sau khi đã trình bày về ba loại tế bào nón và về đồng phân dị phổ, có thể nêu đầy đủ ba bước của lập luận.



(a) Phổ liên tục (b) Ba mẫu của phổ (c) Ba con số

Hình 7.26 Ba bước lập luận: ánh sáng trắng là phổ liên tục, mắt lấy ba mẫu của phổ đó, não chỉ nhận được ba con số

GHI NHỚ 7.15 — PHÁT BIỂU ĐÚNG

Ánh sáng trắng là một phổ *liên tục* gồm vô số bước sóng.

Mắt người lấy *ba mẫu* của phổ đó bằng ba loại tế bào nón có đường nhạy chồng lấn nhau.

Vì thông tin rời khỏi mắt chỉ còn ba con số, một hệ tái tạo chỉ cần ba màu cơ bản để đánh lừa được mắt.

Do đó, ba màu cơ bản là đặc điểm của người xem, không phải của ánh sáng: một loài chim có bốn loại nón sẽ cần bốn màu cơ bản, máy quay đa phổ dùng cho nông nghiệp có tám kênh, còn màn hình dành cho người thì chỉ cần ba.

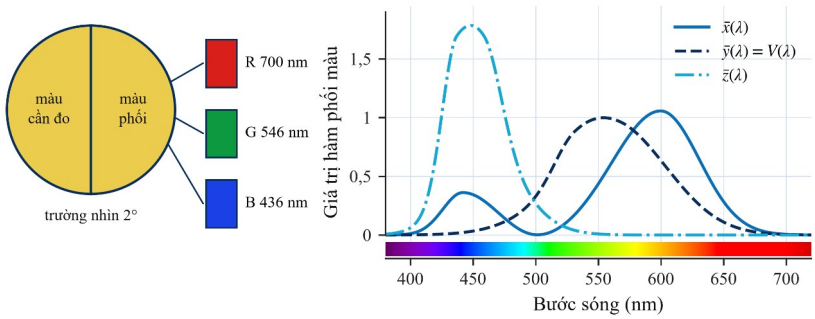
7.14 Hệ CIE 1931 và giản đồ sắc xy

7.14.1 Bài toán cần giải

Đến năm 1920, ngành công nghiệp đã biết rằng ba màu cơ bản là đủ, nhưng chưa có cách nào gọi tên một màu bằng con số sao cho hai phòng thí nghiệm ở hai nước hiểu giống nhau. Uỷ ban Chiếu sáng Quốc tế (Commission Internationale de l'Éclairage, viết tắt CIE) nhận nhiệm vụ xây dựng hệ đó và công bố kết quả năm 1931. Hệ CIE 1931 đến nay vẫn là nền móng của mọi hệ mô tả màu, sau gần một thế kỷ [15], [18].

7.14.2 Thí nghiệm phối màu

Cơ sở thực nghiệm là một thí nghiệm đơn giản đến mức đáng ngạc nhiên. Người quan sát nhìn vào một vòng tròn chia đôi qua một trường nhìn 2°, đúng bằng vùng hốc trung tâm. Nửa bên trái được chiếu bằng một ánh sáng *đơn sắc* ở bước sóng cần đo, nửa bên phải được chiếu bằng tổ hợp ba đèn cơ bản đỏ 700 nm, lục 546 nm và lam 436 nm. Người quan sát chỉnh cường độ ba đèn cho tới khi hai nửa *trùng màu*, rồi ghi lại ba con số [8], [22].



(a) Thí nghiệm phối màu (b) Ba hàm phối màu CIE 1931

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

Lặp lại phép đo cho từng bước sóng từ 380 tới 780 nm, với hàng chục người quan sát, kết quả là ba đường cong gọi là *hàm phối màu*. Các đường cong này mô tả "người quan sát chuẩn 2°", một con người thống kê không tồn tại trong thực tế nhưng là cơ sở của toàn bộ ngành đo màu.

Thí nghiệm gặp một trở ngại: với những bước sóng vùng lục lam, không tổ hợp ba đèn nào cho kết quả khớp. Người quan sát buộc phải thêm một lượng đèn đỏ sang phía màu cần đo, điều này tương đương với một lượng phối màu *âm*, nên hàm phối màu ở hệ RGB gốc có phần âm và gây bất tiện cho tính toán trong thời kỳ chưa có máy tính.

7.14.3 Không gian XYZ

CIE giải quyết vấn đề số âm bằng một phép đổi trục tuyến tính sang ba đại lượng mới đặt tên X, Y, Z. Phép đổi được chọn sao cho đồng thời thoả mãn ba điều kiện: ba hàm phối màu mới đều không âm; hàm $\bar{y}(\lambda)$ trùng đúng với hàm hiệu suất sáng $V(\lambda)$ đã chuẩn hoá năm 1924; và điểm trắng năng lượng đều nằm ở toạ độ (1/3, 1/3).

Điều kiện thứ hai quan trọng nhất về mặt thực hành vì nó khiến đại lượng Y mang đúng nghĩa *độ chói*. Nhờ vậy, chỉ cần xét Y là biết màu đó sáng bao nhiêu, độc lập với sắc của nó, và toàn bộ khái niệm "kênh độ chói" trong video số bắt nguồn từ lựa chọn này.

Ba giá trị kích thích của một phổ bất kỳ được tính bằng tích phân:

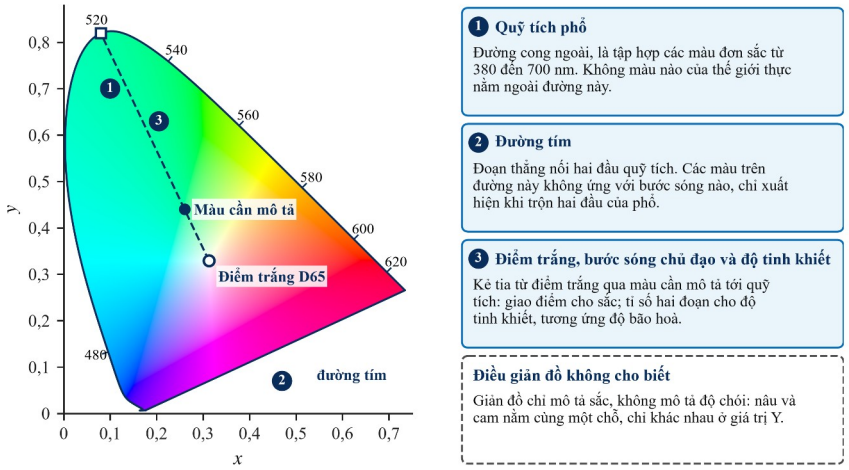
$$X = \int \Phi(\lambda)\,\bar{x}(\lambda)\,d\lambda \quad , \quad Y = \int \Phi(\lambda)\,\bar{y}(\lambda)\,d\lambda \quad , \quad Z = \int \Phi(\lambda)\,\bar{z}(\lambda)\,d\lambda \tag{7.17}$$

7.14.4 Toạ độ sắc xy và giản đồ sắc

Ba số X, Y, Z chứa cả thông tin về sắc lẫn về độ chói. Muốn tách riêng phần sắc, người ta chuẩn hoá:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad , \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad , \quad x + y + z = 1 \tag{7.18}$$

Vì ba toạ độ x, y, z cộng lại bằng một nên chỉ cần hai trong ba là đủ. Vẽ x lên trục hoành và y lên trục tung sẽ được *giản đồ sắc CIE 1931*, có hình móng ngựa quen thuộc.



(a) Giản đồ sắc CIE 1931 xy

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

Bốn thành phần của giản đồ:

- **Quỹ tích phổ:** đường cong ngoài, là tập hợp các màu đơn sắc từ 380 tới 700 nm; không màu nào của thế giới thực nằm ngoài đường này.
- **Đường tím:** đoạn thẳng nối hai đầu quỹ tích. Các màu trên đường này không ứng với bước sóng nào mà chỉ xuất hiện khi trộn hai đầu của phổ, và đó là lý do trong dải cầu vồng không có màu sen.
- **Điểm trắng:** vị trí của nguồn sáng tham chiếu. Với Rec.709 và sRGB, điểm trắng D65 nằm ở (0,3127 ; 0,3290).
- **Bước sóng chủ đạo và độ tinh khiết:** kẻ một tia từ điểm trắng qua màu cần mô tả tới quỹ tích, giao điểm cho biết sắc. Tỉ số giữa đoạn từ điểm trắng tới màu và đoạn từ điểm trắng tới quỹ tích cho biết độ tinh khiết, tương ứng với độ bão hoà.

$$p_e = \overline{WS} / \overline{WD} \times 100\ \% \qquad (7.19)$$

7.14.5 Điều giản đồ KHÔNG cho biết

GHI NHỚ 7.16 — BA GIỚI HẠN CỦA GIẢN ĐỒ 1931

Giản đồ chỉ mô tả sắc, không mô tả độ chói. Màu nâu và màu cam nằm cùng một vị trí trên giản đồ và chỉ khác nhau ở giá trị Y, vì vậy không có "vùng màu nâu" trên giản đồ sắc.

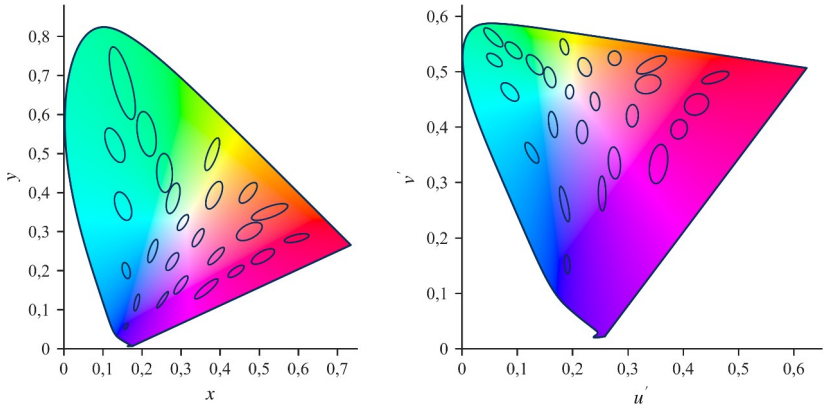
Giản đồ không đồng đều theo cảm nhận: một khoảng cách hình học trong vùng lục ứng với khác biệt màu nhỏ hơn nhiều so với cùng khoảng cách đó trong vùng lam. David MacAdam đã chứng minh điều này năm 1942 bằng những hình bầu dục mang tên ông.

Diện tích trên giản đồ không tỉ lệ với "số lượng màu". Vì lý do trên, việc so sánh hai gam màu bằng tỉ lệ diện tích trên giản đồ 1931 luôn phóng đại vùng lục.

7.14.6 Bản cải tiến CIE 1976 u′v′

Để khắc phục nhược điểm không đồng đều, CIE công bố năm 1976 một phép đổi toạ độ mới:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad , \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \tag{7.20}$$



(a) CIE 1931 xy (b) CIE 1976 u′v′

Hình 7.29 So sánh giản đồ CIE 1931 xy và CIE 1976 u'v' — hệ 1976 đồng đều hơn nhiều theo cảm nhận

Giản đồ u′v′ không hoàn hảo nhưng đồng đều hơn hẳn, vì vậy mọi phép đo hiện đại liên quan tới khoảng cách màu đều thực hiện trên hệ 1976, trong đó có độ lệch Duv của nguồn sáng (mục 7.15) và sai số màu của màn hình. Giản đồ 1931 vẫn được dùng để vẽ gam màu vì quen thuộc và vì hình dạng tam giác gam hiện rõ hơn.

Bảng 7.16 Dùng giản đồ nào cho việc gì

Công việc	Dùng hệ nào	Vì sao
Vẽ và so sánh gam màu của các chuẩn	CIE 1931 xy	quen thuộc, gam là tam giác nên đọc nhanh; sai lệch về đồng đều không ảnh hưởng tới việc đọc hình dạng
Đo độ lệch Duv của nguồn sáng	CIE 1976 u′v′	Duv là một KHOẢNG CÁCH, nên phải đo trên hệ đồng đều
Tính nhiệt độ màu tương quan CCT	CIE 1976 u′v′	CCT được định nghĩa là điểm GẦN NHẤT trên quỹ tích, tức cũng là một phép đo khoảng cách
Đo sai số màu ΔE của màn hình	CIELAB (dẫn xuất từ 1976)	cần cả sắc lẫn độ sáng, và cần đồng đều theo cảm nhận
Xác định bước sóng chủ đạo	CIE 1931 xy	là phép chiếu hình học, không phụ thuộc tính đồng đều

Về mặt lịch sử, các hình bầu dục MacAdam vẽ năm 1942 chính là dữ liệu thực nghiệm đã dẫn tới việc CIE phải tìm một hệ toạ độ đồng đều hơn. David MacAdam cho người quan sát chỉnh một màu cho tới khi vừa đủ nhận ra khác biệt với màu chuẩn, lặp lại theo mọi hướng quanh màu chuẩn rồi nối các điểm ngưỡng lại, và kết quả là những hình bầu dục có kích thước chênh nhau tới hai mươi lần giữa vùng lam và vùng lục. Ba mươi tư năm sau, hệ 1976 ra đời để thu hẹp chênh lệch ấy xuống còn khoảng bốn lần.

7.15 Nhiệt độ màu, CCT và điểm trắng

7.15.1 Bức xạ vật đen

Mọi vật có nhiệt độ trên không tuyệt đối đều phát bức xạ điện từ. Với một vật lý tưởng hấp thụ hoàn toàn mọi bức xạ tới, gọi là *vật đen*, phổ phát ra phụ thuộc duy nhất vào nhiệt độ, theo định luật Planck:

$$M_\lambda(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \tag{7.21}$$

Khi nung một thanh sắt, ban đầu nó đỏ sẫm, rồi đỏ cam, vàng và cuối cùng là trắng chói. Toàn bộ chuỗi màu ấy tương ứng với nhiệt độ tăng dần, và đó chính là nguồn gốc của khái niệm *nhiệt độ màu*.

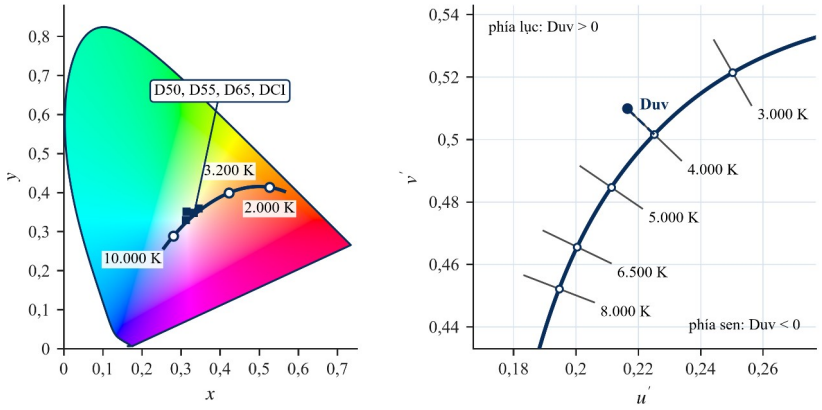
Bước sóng có công suất cực đại dịch về phía ngắn khi nhiệt độ tăng, theo định luật dịch chuyển Wien:

$$\lambda_{\max} T = 2{,}898 \times 10^6 \ \text{nm} \cdot \text{K} \tag{7.22}$$

Với vật đen 3200 K, đỉnh nằm ở khoảng 906 nm, tức đã thuộc vùng hồng ngoại. Vì vậy đèn dây tóc rất nóng nhưng không sáng nhiều: phần lớn năng lượng phát ra dưới dạng nhiệt chứ không phải ánh sáng nhìn thấy.

7.15.2 Quỹ tích Planck trên giản đồ sắc

Vẽ toạ độ sắc của vật đen ở mọi nhiệt độ từ 1500 K tới 20000 K lên giản đồ sẽ được một đường cong gọi là *quỹ tích Planck*, đi từ vùng đỏ cam ở nhiệt độ thấp, qua vùng trắng, tới vùng lam ở nhiệt độ cao.



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

Hình 7.30 Quỹ tích Planck trên giản đồ sắc, và cách đọc nhiệt độ màu tương quan cùng độ lệch Duv trên hệ CIE 1976

GHI NHỚ 7.17 — MỘT NGHỊCH LÝ NGÔN NGỮ CẦN 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 ánh sáng càng ngả đỏ cam, tức là càng "ấm". Điều này ngược với trực giác và là nguồn nhầm lẫn dai dẳng. Có thể nhớ qua hình ảnh ngọn lửa: phần đỏ ở ngoài nguội hơn, phần xanh ở lõi nóng hơn.

7.15.3 Nhiệt độ màu thật và nhiệt độ màu TƯƠNG QUAN

Sự phân biệt dưới đây đặc biệt quan trọng trong thời đại đèn LED.

- *Nhiệt độ màu thật* chỉ dùng được cho nguồn sáng có toạ độ sắc nằm đúng trên quỹ tích Planck. Đèn dây tóc, halogen và Mặt Trời gần thoả mãn điều kiện này, vì cơ chế phát sáng của chúng thật sự là bức xạ nhiệt.
- *Nhiệt độ màu tương quan (CCT)* dùng cho những nguồn không nằm trên quỹ tích như đèn huỳnh quang, đèn LED và đèn phóng điện. CCT là nhiệt độ của vật đen có màu gần nhất với nguồn đó, đo trên hệ CIE 1976, nên câu "đèn LED này 5600 K" thực chất có nghĩa là CCT của nó là 5600 K.

Sự khác biệt này có ý nghĩa thực tế: hai đèn có cùng CCT 5600 K vẫn có thể lên hình rất khác nhau nếu chúng lệch về hai phía khác nhau của quỹ tích, hoặc nếu phổ của chúng khuyết những đoạn khác nhau.

7.15.4 Độ lệch Duv và trục tint

Khoảng cách vuông góc từ toạ độ của nguồn tới quỹ tích Planck, đo trên hệ u′v′, gọi là độ lệch Duv:

$$\mathrm{Duv} = \pm\sqrt{(u' - u'_0)^2 + (v' - v'_0)^2} \tag{7.23}$$

Theo quy ước dấu, Duv dương nghĩa là nguồn nằm phía trên quỹ tích, tức ám lục, còn Duv âm nghĩa là nằm phía dưới, tức ám sen. Đèn huỳnh quang và đèn LED chất lượng thấp hầu như luôn có Duv dương, và đó là lý do da người dưới đèn văn phòng trông tái.

> **GHI NHỚ 7.18 — HAI TRỤC ĐỘC LẬP**
>
> Cân bằng trắng của máy quay có hai trục. Trục thứ nhất là kelvin, chạy dọc quỹ tích Planck và sửa ám ấm – lạnh; trục thứ hai là tint, chạy vuông góc với quỹ tích và sửa ám lục – sen, trong đó trục tint chính là Duv đổi dấu.
>
> Người mới thường chỉ chỉnh kelvin rồi ngạc nhiên vì ảnh vẫn bị ám. Nếu nguồn sáng có Duv khác không thì không giá trị kelvin nào khắc phục được, và cần chỉnh tint.
>
> Với thiết bị chuyên nghiệp, nên yêu cầu |Duv| không vượt quá 0,006; máy đo màu cầm tay hiển thị con số này ngay bên cạnh CCT.

7.15.5 Các điểm trắng chuẩn

Một hệ màu phải quy định rõ "trắng là gì". Bốn điểm trắng thường gặp [2]:

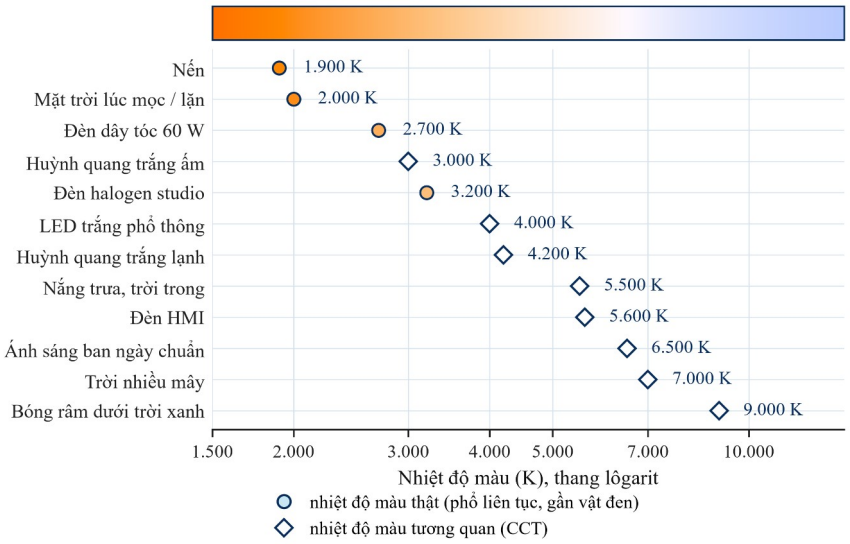
Bảng 7.17 Bốn điểm trắng chuẩn

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 của 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 theo chuẩn DCI-P3; lệch rõ về phía LỤC so với D65

Chữ D viết tắt của "daylight", và con số là nhiệt độ chia cho một trăm. Cần lưu ý rằng các điểm trắng D không nằm đúng trên quỹ tích Planck, vì chúng dựa trên phổ ban ngày đo thực tế, vốn lệch nhẹ về phía lục so với vật đen cùng nhiệt độ.

Điểm trắng DCI đáng chú ý vì lệch xa nhất. Một bản phim được chỉnh màu cho rạp DCI-P3 khi chuyển sang bản Rec.709 cho truyền hình bắt buộc phải qua phép chuyển đổi điểm trắng, nếu không toàn bộ phim sẽ ngả lục.

7.15.6 Bảng 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 7.3 — VIẾT ĐÚNG ĐƠN VỊ KELVIN

Viết là 3200 K, KHÔNG viết 3200 °K.

Kelvin là thang nhiệt độ tuyệt đối và không kèm ký hiệu độ; ký hiệu độ chỉ dùng với thang Celsius và Fahrenheit.

7.15.7 Đo nhiệt độ màu trong thực tế

Có ba cách xác định nhiệt độ màu tại hiện trường, với độ tin cậy rất khác nhau.

- **Đoán bằng mắt:** không đáng tin cậy vì thị giác đã thích nghi sắc (mục 7.11); người quay đứng trong phòng đèn dây tóc mười phút sẽ thấy ánh sáng ấy là "trắng", nên cách này chỉ dùng để ước lượng thô.
- **Đo bằng máy đo màu cầm tay:** đây là cách chuẩn. Máy cho CCT, Duv, toạ độ xy, và với máy đo phổ thì cho cả phổ đầy đủ cùng các chỉ số hoàn màu; đầu đo cần đặt tại vị trí chủ thể, hướng về phía nguồn sáng chính.
- **Đo bằng chính máy quay:** quay một thẻ trắng hoặc thẻ xám rồi đọc trên vectorscope. Cách này không cho ra con số kelvin nhưng cho biết chính xác cần dịch về hướng nào và bao nhiêu, đó mới là thông tin cần thiết.

Về nguồn sáng ban ngày, nhiệt độ màu của nó thay đổi liên tục trong ngày và theo thời tiết. Ở vĩ độ Hà Nội, ánh nắng trực tiếp lúc giữa trưa vào khoảng 5200 – 5800 K, nhưng cùng ngày đó lúc bảy giờ sáng có thể chỉ 4000 K, và lúc gần hoàng hôn xuống dưới 3000 K; trời nhiều mây nâng lên 6500 – 7500 K, còn bóng râm dưới bầu trời trong xanh có thể vượt 9000 K.

Vì vậy khi quay ngoài trời trong một buổi dài, cân bằng trắng đặt lúc bắt đầu sẽ sai dần về cuối. Có hai cách xử lý: đo lại sau mỗi bốn mươi lăm phút, hoặc quay ở định dạng raw và sửa ở hậu kỳ; cách thứ hai an toàn hơn nhưng đòi hỏi phải quay kèm thẻ màu chuẩn ở đầu mỗi cảnh để có mốc.

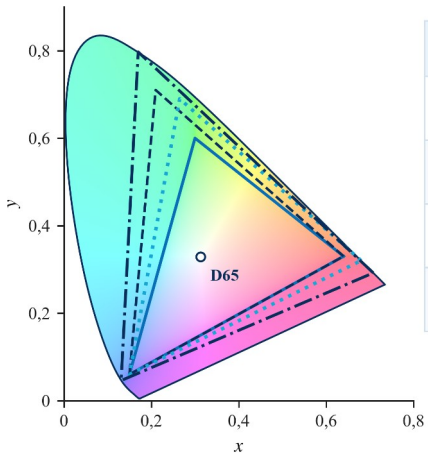
7.16 Gam màu và các không gian màu chuẩn

7.16.1 Khái niệm gam màu

Gam màu (gamut) của một thiết bị là tập hợp tất cả những màu mà thiết bị đó tạo ra hoặc ghi lại được. Với một màn hình ba màu cơ bản, gam màu trên giản đồ sắc là một *tam giác* có ba đỉnh là toạ độ sắc của ba màu cơ bản. Mọi màu bên trong tam giác đều tạo được bằng cách trộn cộng ba màu cơ bản với hệ số dương, còn mọi màu bên ngoài thì không.

Vì quỹ tích phổ là một đường *cong* còn gam là một *tam giác*, không màn hình ba màu cơ bản nào phủ hết được toàn bộ màu nhìn thấy; đây là một giới hạn hình học chứ không phải giới hạn công nghệ.

7.16.2 Bốn gam màu chuẩn



(a) giản đồ CIE 1931 xy

Chuẩn	Điểm trắng	Phủ gian 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

Bảng 7.18 Toạ độ ba màu cơ bản của các chuẩn thông dụng

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

Một số nhận xét thực dụng từ bảng này [1], [2], [3], [14]:

- Rec.709 và sRGB có cùng ba màu cơ bản và cùng điểm trắng, chỉ khác nhau ở đường mã hoá phi tuyến (mục 7.20). Vì vậy, "chuyển từ sRGB sang Rec.709" là nói về gamma chứ không phải về gam màu.
- Adobe RGB chỉ mở rộng ở đỉnh lục; chuẩn này sinh ra cho ngành in, nơi mực lơ và mực lục vượt ra ngoài gam sRGB.
- DCI-P3 và Display P3 có cùng ba màu cơ bản nhưng khác điểm trắng, và việc nhầm lẫn hai chuẩn này là lỗi rất phổ biến khi giao nộp.
- Rec.2020 có ba màu cơ bản nằm đúng trên quỹ tích phổ, tức là ba màu đơn sắc. Chưa có màn hình tiêu dùng nào phủ hết Rec.2020; phần lớn màn hình HDR hiện nay phủ khoảng 90 phần trăm P3, tức chừng 70 phần trăm Rec.2020.

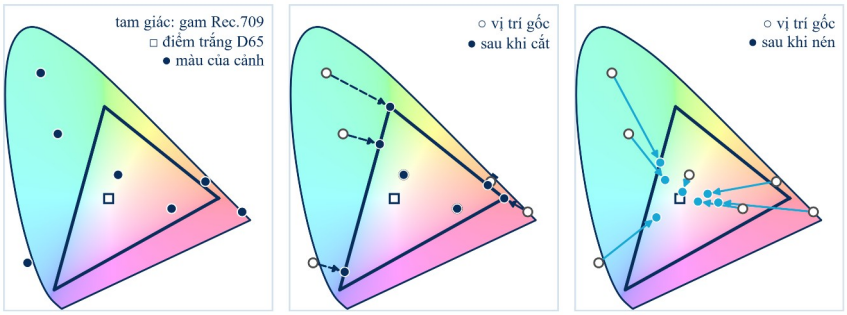
7.16.3 Gam màu máy in

Gam của máy in có hình dạng khác hẳn tam giác vì máy in dùng trộn trừ với bốn hoặc nhiều mực. Gam này hẹp hơn gam màn hình ở vùng lam lục rực nhưng lại rộng hơn ở một số vùng vàng và lơ nhạt, do đó không thể nói gam nào "lớn hơn" một cách tuyệt đối.

Hệ quả thực hành là một khung hình đẹp trên màn hình có thể in ra xỉn màu, và ngược lại. Vì vậy người làm hậu kỳ cần một chế độ "soft proof", tức mô phỏng gam máy in ngay trên màn hình, trước khi giao nộp bản in.

7.16.4 Ánh xạ gam màu

Khi chuyển một hình ảnh từ không gian màu rộng sang không gian màu hẹp hơn, những màu nằm ngoài gam đích phải được xử lý. Có hai chiến lược cơ bản và chúng cho kết quả rất khác nhau.



(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

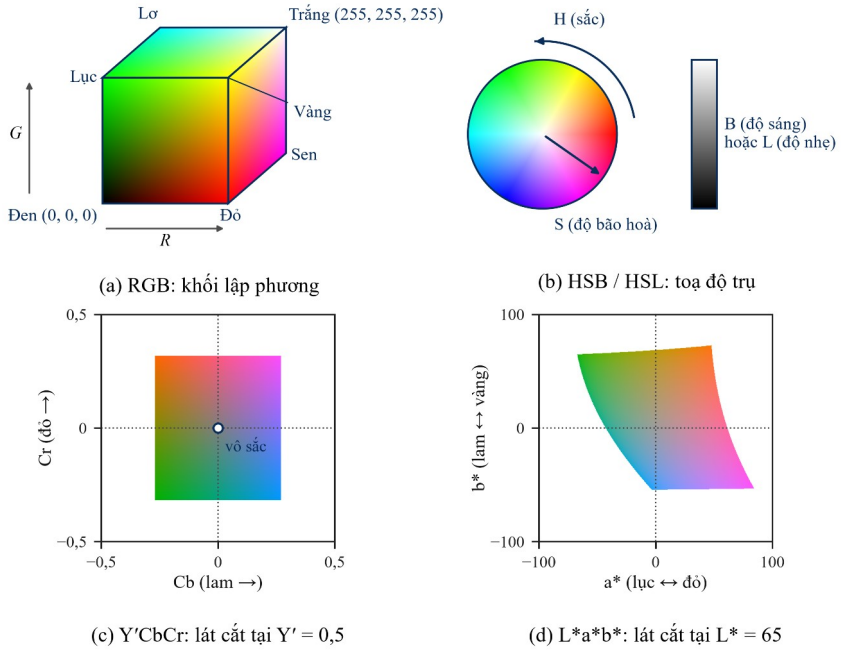
Bảng 7.19 Hai chiến lược ánh xạ gam màu

Chiến lược	Cách làm	Ưu điểm	Nhược điểm
CẮT (clipping / colorimetric)	Mọi màu ngoài gam bị dồn về điểm gần nhất trên biên; màu trong gam giữ nguyên chính xác	Màu trong gam đúng tuyệt đối; phù hợp với đồ hoạ, logo, biểu đồ	Nhiều màu khác nhau rơi vào cùng một điểm → mất chuyển sắc, thành mảng bệt ở vùng bão hoà
NÉN theo cảm nhận (perceptual)	Toàn bộ vùng màu bị co lại về phía điểm trắng theo một tỉ lệ mềm	Giữ được thứ tự và chuyển sắc trên toàn ảnh; phù hợp với ảnh chụp và phim	Màu trong gam cũng bị đổi nhẹ; độ bão hoà chung giảm một chút

Quy tắc chọn như sau: với hình ảnh có nội dung liên tục như cảnh quay, chân dung, phong cảnh thì dùng nén theo cảm nhận; với đồ hoạ có màu phẳng cần chính xác tuyệt đối như logo đài, bảng biểu thì dùng cắt. Nếu một khung hình có cả hai loại nội dung, thường phải xử lý riêng lớp đồ hoạ.

7.17 Các mô hình màu trong sản xuất

Cùng một màu có thể mô tả bằng nhiều bộ ba con số khác nhau, mỗi bộ gọi là một *mô hình màu* và mỗi mô hình sinh ra để phục vụ một mục đích riêng. Mục này điểm qua năm mô hình mà người làm hình ảnh gặp hằng ngày.



*Hình 7.34 Bốn mô hình màu thường gặp: khối RGB, trụ HSB/HSL, mặt phẳng Y'CbCr và lát cắt L*a*b* tại L* = 65.*

7.17.1 RGB

Ba trục vuông góc ứng với ba màu cơ bản, mỗi trục chạy từ 0 tới giá trị tối đa. Đây là mô hình gần nhất với phần cứng, vì cảm biến ghi ba kênh và màn hình phát ba kênh, nên nó là mô hình mặc định của mọi thiết bị. Mô hình này có hai giới hạn:

- RGB không đồng đều theo cảm nhận: hai màu cách nhau 10 đơn vị trong RGB có thể khác nhau rất nhiều hoặc gần như không phân biệt được, tuỳ vị trí trong khối.
- Giá trị RGB trong tệp thường đã qua gamma nên không tỉ lệ với lượng ánh sáng. Trộn hai màu bằng cách lấy trung bình cộng giá trị RGB đã mã hoá là một phép toán sai về mặt vật lý, dù nhiều phần mềm vẫn làm như vậy.

> **GHI NHỚ 7.19 — GIÁ TRỊ RGB KHÔNG PHẢI PHẦN TRĂM**
>
> Giá trị RGB không phải là "phần trăm" và không nhân với nhau mà là ba toạ độ độc lập, mỗi toạ độ chạy từ 0 tới 255 với 8 bit hoặc 0 tới 1023 với 10 bit. Số tổ hợp màu của hệ 8 bit là $256^3 = 16\,777\,216$.

7.17.2 CMYK

Bốn kênh ứng với bốn loại mực trong in ấn: lơ, sen, vàng và đen. Mực đen (K, viết tắt của "key") được thêm vào vì ba mực màu chồng lên nhau chỉ cho ra một màu nâu bẩn chứ không phải đen thật, và vì mực đen có chi phí thấp hơn nhiều so với ba mực màu.

Người làm truyền hình hiếm khi dùng CMYK, trừ khi thực hiện ấn phẩm quảng bá cho chương trình. Điều cần ghi nhớ là mọi phép chuyển RGB sang CMYK đều làm mất màu và phụ thuộc loại giấy, loại mực, nên không tồn tại một phép chuyển "đúng" duy nhất.

7.17.3 HSB và HSL

Đây là hai mô hình toạ độ trụ, được xây dựng để người dùng chỉnh màu bằng tay thuận tiện: sắc theo góc quay, độ bão hoà theo bán kính, độ sáng theo trục đứng. Khác biệt giữa HSB và HSL nằm ở cách định nghĩa trục đứng: trong HSB, B bằng 1 cho ra màu bão hoà đậm nhất; trong HSL, L bằng 1 luôn cho ra màu trắng.

Cả hai chỉ là cách viết lại của RGB và không mang thêm thông tin nào, nên vẫn không đồng đều theo cảm nhận và không dùng để đo sai số màu được.

7.17.4 Y′CbCr và phân biệt với YUV

Đây là mô hình quan trọng nhất với người làm video, vì nó tách tín hiệu thành một kênh độ chói và hai kênh hiệu màu [2], [17]:

$$Y' = 0{,}2126\,R' + 0{,}7152\,G' + 0{,}0722\,B' \quad ; \quad C_b = \frac{B' - Y'}{1{,}8556} \quad , \quad C_r = \frac{R' - Y'}{1{,}5748} \tag{7.24}$$

Ba hệ số 0,2126 / 0,7152 / 0,0722 là hệ số của Rec.709, phản ánh đóng góp khác nhau của ba màu cơ bản vào cảm giác độ sáng; chúng khác với hệ số của Rec.601 dùng cho truyền hình độ nét tiêu chuẩn (0,299 / 0,587 / 0,114) và với hệ số của Rec.2020. Dùng nhầm bộ hệ số sẽ gây sai màu nhẹ nhưng nhìn thấy được, đặc biệt ở vùng da người.

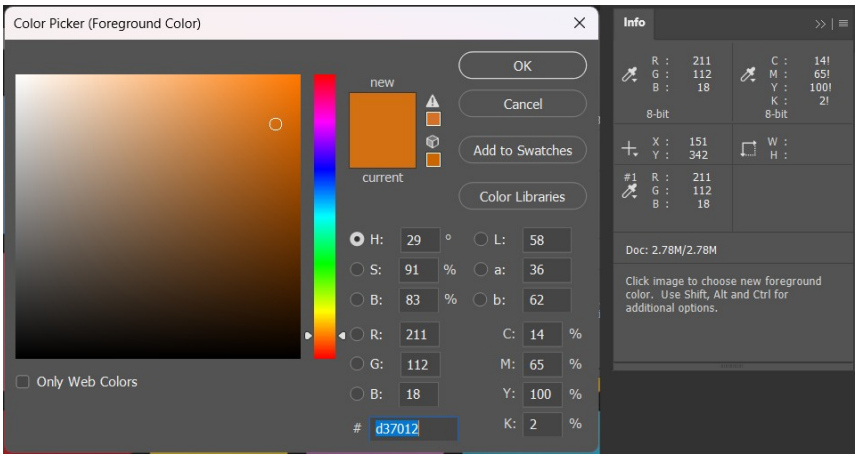
Việc tách kênh này có hai lợi ích. Thứ nhất, nó cho phép *lấy mẫu con* thành phần màu, tức ghi Cb và Cr với độ phân giải thấp hơn Y′ mà mắt gần như không nhận ra, nhờ hàm độ nhạy tương phản ở mục 7.10. Thứ hai, nó tương thích ngược với truyền hình đen trắng, vì máy thu đen trắng chỉ cần lấy kênh Y′ và bỏ qua hai kênh còn lại. Lợi ích thứ hai mang tính lịch sử, còn lợi ích thứ nhất là lý do hệ này vẫn tồn tại.

> **CẢNH BÁO 7.4 — Y′CbCr KHÔNG PHẢI LÀ YUV**
>
> YUV là tên của hệ tín hiệu analog trong truyền hình màu PAL, còn YIQ là hệ tương ứng của NTSC. Cả hai đều là tín hiệu liên tục, có sóng mang phụ và không tồn tại trong thiết bị số.
>
> Y′CbCr là hệ số, với Cb và Cr là hai giá trị nguyên có mức trung tính ở giữa dải; đây là hệ có mặt trong mọi tệp video ngày nay.
>
> **Nhiều phần mềm cũng gọi tên không chính xác:** trong FFmpeg, định dạng điểm ảnh vẫn mang tên "yuv420p" dù thực chất là Y′CbCr. Người đọc cần biết đây là quán tính lịch sử và phải dùng đúng tên khi viết tài liệu kỹ thuật.

7.17.5 L*a*b* và khái niệm ΔE

Hệ CIELAB do CIE công bố năm 1976 nhằm tạo một không gian gần đồng đều theo cảm nhận, với ba trục: L* là độ sáng cảm nhận chạy từ 0 tới 100, a* là trục lục – đỏ và b* là trục lam – vàng. Hai trục a*, b* phản ánh đúng cấu trúc đối lập của thị giác đã nói ở mục 7.7.3 [8].

Hình 7.35 cho thấy cùng một ô màu cam của bảng thử ColorChecker được biểu diễn đồng thời trong các mô hình HSB, Lab, RGB và CMYK, cùng giá trị thập lục phân và các giá trị đo ở bảng Info.



Hình 7.35 Hộp Color Picker và bảng Info của Photoshop: một màu, bốn mô hình biểu diễn (HSB, Lab, RGB, CMYK). Ô màu lấy từ ảnh bảng thử ColorChecker bằng công cụ Eyedropper

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Photoshop 2025), 07/11/2026.

Vì không gian này gần đồng đều nên khoảng cách hình học trong đó có nghĩa, và khoảng cách ấy gọi là ΔE:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \tag{7.25}$$

Bảng 7.20 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 được nếu hai màu đặt cạnh nhau; ngưỡng thường dùng khi kiểm tra màn hình
2 – 3,5	Nhận ra được 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

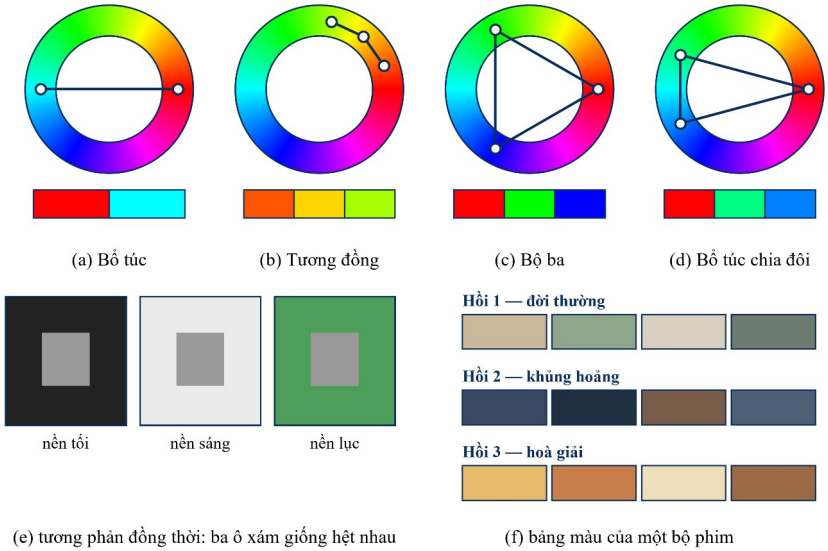
Công thức ΔE ở trên là công thức gốc năm 1976. Do chưa hoàn hảo, nó đã được CIE bổ sung hai phiên bản cải tiến là ΔE94 và ΔE2000, có tính thêm trọng số cho sắc và độ bão hoà. Khi đọc thông số hiệu chuẩn màn hình, cần xem nhà sản xuất dùng phiên bản nào, vì cùng một màn hình có thể được ghi ΔE 2,5 theo công thức 1976 và ΔE 1,2 theo công thức 2000.

7.18 Phối màu có cơ sở

Bốn mục trước đã xây dựng xong bộ công cụ đo màu; mục này dùng bộ công cụ ấy để bàn về một chủ đề vốn thường bị coi là thuần cảm tính, đó là chọn

màu cho một tác phẩm. Cách tiếp cận của sách là chỉ ra rằng mỗi quan hệ phối màu đều có một biểu diễn hình học rõ ràng trên vòng màu hoặc trên giản đồ sắc.

7.18.1 Bốn quan hệ phối màu



Hình 7.36 Bốn quan hệ phối màu trên vòng màu, tương phản đồng thời, và bảng màu của một bộ phim

Bảng 7.21 Bốn quan hệ phối màu và biểu diễn hình học của chúng

Quan hệ	Hình học trên vòng màu	Hiệu quả	Dùng khi nào
Bổ túc	Hai điểm đối xứng qua tâm, cách nhau 180°	Tương phản mạnh nhất có thể	Tách nhân vật khỏi nền; cặp cam – lơ là công thức quen thuộc của phim hành động
Tương đồng	Ba điểm liền nhau trong khoảng 60°	Hoà hợp, êm, ít xung đột	Cảnh trữ tình, hồi tưởng; tạo cảm giác thống nhất cho một trường đoạn
Bộ ba	Ba điểm cách đều 120°	Cân bằng mà vẫn sinh động	Phim hoạt hình, quảng cáo; cần chọn một màu giữ vai chính, hai màu còn lại làm phụ
Bổ túc chia đôi	Một điểm và hai điểm hai bên màu bổ túc của nó	Giữ độ tương phản của bổ túc nhưng dịu hơn	Lựa chọn an toàn khi bổ túc thuần trông quá gắt

7.18.2 Màu ấm và màu lạnh nói theo nhiệt độ màu

Cách phân đôi vòng màu thành "nửa ấm" và "nửa lạnh" thường được trình bày như một quy ước cảm tính, nhưng thực ra nó có cơ sở đo được: trục ấm – lạnh chính là hình chiếu của quỹ tích Planck lên vòng màu. Màu ấm là những màu nằm về phía nhiệt độ thấp của quỹ tích, còn màu lạnh là những màu về phía nhiệt độ cao.

Như vậy, khi người quay chọn "tông ấm" cho một cảnh, thao tác thực chất là dịch điểm trắng của cảnh dọc theo quỹ tích Planck về phía nhiệt độ thấp. Thao tác này đo được, thực hiện bằng gel CTO trên đèn hoặc bằng nhiệt độ màu trong khâu chỉnh màu, và có thể kiểm tra bằng vectorscope.

Từ đó rút ra một nguyên tắc thực hành: cặp màu ấm – lạnh có sức thuyết phục nhất khi nó tái tạo một chênh lệch nhiệt độ màu có thật trong tự nhiên. Ánh nắng chiều 3000 K rọi vào mặt người trên nền bóng râm trời xanh 8000 K là một cặp ấm – lạnh mà mắt người chấp nhận ngay, vì đó là cảnh gặp hằng ngày.

7.18.3 Tương phản đồng thời

Màu mà người xem thấy phụ thuộc mạnh vào những gì bao quanh nó: một ô xám đặt trên nền tối trông sáng hơn hẳn so với chính ô xám ấy đặt trên nền sáng, và đặt trên nền lục thì ngả sang sắc sen. Hiện tượng này gọi là *tương phản đồng thời* và là hệ quả trực tiếp của cơ chế thích nghi cục bộ ở võng mạc.

> **GHI NHỚ 7.20 — HAI HỆ QUẢ KHI CHỈNH MÀU**
>
> Không đánh giá một màu khi nhìn nó cô lập mà cần xem trong ngữ cảnh khung hình đầy đủ, trên nền phòng có độ sáng chuẩn.
>
> Giao diện phần mềm chỉnh màu phải có nền xám trung tính, vì giao diện nền đen tuyền hoặc nền màu sẽ làm lệch mọi đánh giá về vùng tối và về ám màu. Vì vậy các phần mềm chuyên nghiệp đều dùng tông xám và cho phép chỉnh độ sáng giao diện.

7.18.4 Bảng màu của một bộ phim

Trong sản xuất phim, việc chọn màu không dừng ở từng khung hình mà được lập kế hoạch cho cả tác phẩm dưới dạng một *bảng màu* (color script): một dải các ô màu đại diện cho từng trường đoạn, xếp theo thứ tự thời gian.

Bảng màu được lập ở khâu tiền kỳ cùng với đạo diễn và hoạ sĩ thiết kế, rồi chi phối toàn bộ các quyết định sau đó: màu tường của bối cảnh, màu trang phục, nhiệt độ màu của đèn và cuối cùng là hướng chỉnh màu ở hậu kỳ. Ba nguyên tắc thường dùng:

- Mỗi hồi hoặc mỗi trạng thái tâm lý của nhân vật có một dải sắc riêng và giữ nguyên dải đó suốt trường đoạn.
- Chuyển đổi giữa các dải nên xảy ra ở những điểm ngoặt của câu chuyện, để người xem cảm nhận được sự thay đổi mà không gọi tên được.
- Màu dùng cho một chi tiết mang nghĩa (chẳng hạn chiếc áo đỏ của nhân vật chính) nên vắng mặt ở phần còn lại của khung hình, để chi tiết ấy giữ được sức nặng.

7.19 Bài thực hành số 2 — đọc và đo màu

Mục tiêu

- Đọc được toạ độ sắc của một nguồn sáng trên giản đồ CIE và giải thích được ý nghĩa của CCT cùng Duv.
- Chứng minh bằng thực nghiệm hiện tượng đồng phân dị phổ.

- So sánh được gam màu của hai màn hình khác nhau và chỉ ra hậu quả khi giao nộp sai không gian màu.
- Lập được bảng màu cho một trường đoạn ngắn.

Thiết bị

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

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

Đo lần lượt ba nguồn sáng, ghi lại với mỗi nguồn CCT, Duv và toạ độ x, y, rồi chấm ba điểm lên một bản in giản đồ sắc có vẽ sẵn quỹ tích Planck.

Bảng 7.22 Phiếu ghi kết quả Phần 1

Nguồn sáng	CCT (K)	Duv	x	y	Nằm phía nào 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					

Câu hỏi thảo luận: xác định nguồn có |Duv| lớn nhất, dự đoán màu da người sẽ bị ám về phía nào dưới nguồn đó, rồi kiểm chứng bằng cách quay thử và xem trên vectorscope.

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

- Đặt hai mảnh vải cạnh nhau dưới ánh sáng cửa sổ ban ngày, xác nhận bằng mắt rằng chúng cùng màu và chụp một ảnh làm bằng chứng.
- Mang cả hai vào phòng, chiếu bằng đèn huỳnh quang và quan sát lại.
- Lặp lại dưới đèn LED và dưới đèn dây tóc.
- Quay cả bốn trường hợp bằng máy quay với cùng một cân bằng trắng, rồi so sánh trên vectorscope: đo khoảng cách giữa hai điểm màu.

Kết quả cần rút ra: hai mảnh vải đồng phân dưới nguồn này có thể lệch màu rõ rệt dưới nguồn khác, và mức lệch phụ thuộc mức độ khuyết phổ của nguồn.

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

- Mở cùng một tệp ảnh có màu bão hoà mạnh (hoa đỏ tươi, biển lam, lá lục) trên cả hai màn hình, đặt cạnh nhau.
- Chụp ảnh cả hai màn hình bằng cùng một máy, cùng một phơi sáng, rồi so sánh.
- Nếu phần mềm cho phép, gán nhầm không gian màu (mở một tệp Display P3 mà khai báo là sRGB, và ngược lại) rồi ghi nhận hướng sai lệch.

Kết quả cần rút ra: gán nhầm không gian màu rộng thành hẹp làm màu bão hoà quá mức, còn gán ngược lại làm màu xỉn đi. Đây là lỗi thường gặp nhất khi đưa tệp lên mạng xã hội.

Phần 4 — Lập bảng màu (20 phút)

Chọn một đoạn phim ngắn khoảng ba phút đã xem, lấy tám tới mười hai khung hình đại diện, dùng phần mềm rút ra ba tới bốn màu chủ đạo của mỗi khung và xếp thành một dải theo thứ tự thời gian.

Sau đó xác định trên vòng màu xem đoạn phim dùng quan hệ phối màu nào trong bốn quan hệ ở mục 7.18.1, và giải thích lựa chọn đó gắn với nội dung ra sao.

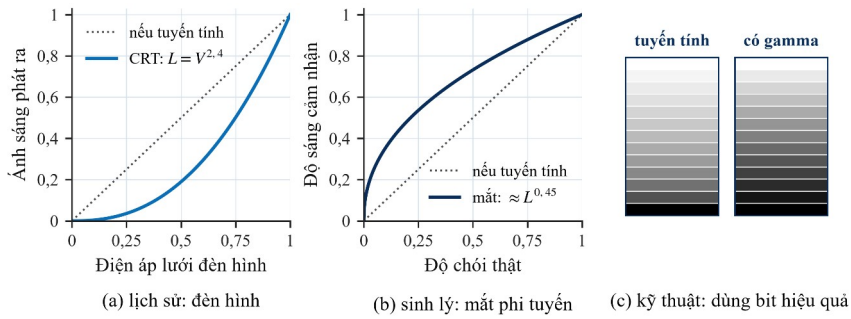
Kết quả cần có

Sau bài thực hành, người đọc nên có: bản giản đồ sắc có 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; và dải bảng màu của Phần 4 kèm một đoạn phân tích ngắn.

7.20 Gamma — vì sao tín hiệu hình phi tuyến

7.20.1 Ba lý do, không phải một

Nếu chỉ hỏi "gamma là gì" thì câu trả lời đơn giản là một hàm luỹ thừa áp lên tín hiệu hình; câu hỏi đáng đặt ra hơn là "vì sao phải có nó", và câu trả lời gồm ba lý do độc lập nhau: một lý do lịch sử, một lý do sinh lý và một lý do kỹ thuật [17].



Hình 7.37 Ba lý do độc lập dẫn tới việc mã hoá tín hiệu hình theo hàm phi tuyến

Lý do thứ nhất: lịch sử. Đèn hình CRT của truyền hình cổ điển có quan hệ giữa điện áp lưới và ánh sáng phát ra là một hàm luỹ thừa với số mũ khoảng 2,4. Đây là đặc tính vật lý của súng điện tử và không điều chỉnh được. Để ảnh trên

màn hình giống cảnh thật, phía camera phải áp sẵn hàm nghịch đảo, tức luỹ thừa với số mũ khoảng 0,45.

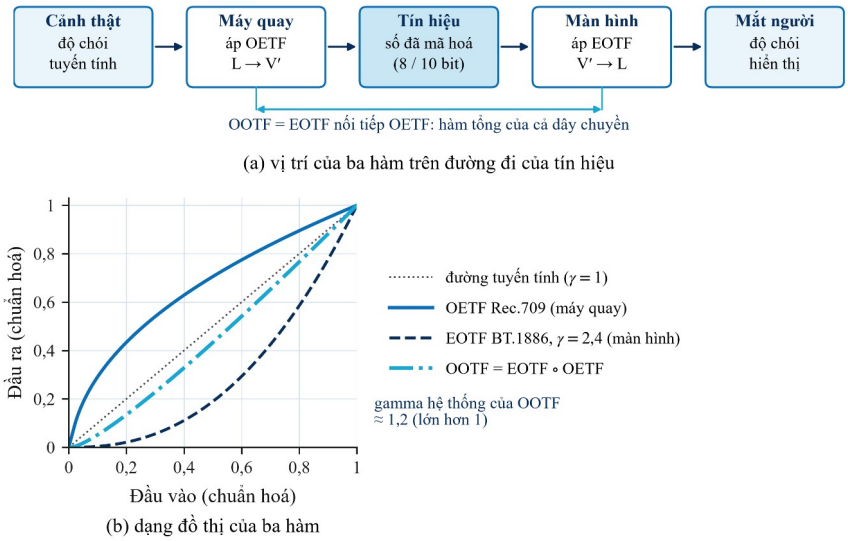
Lý do thứ hai: sinh lý. Như đã chứng minh ở mục 7.10, mắt người cảm nhận độ sáng theo hàm luỹ thừa với số mũ khoảng 0,33 tới 0,50, và đường cong ấy gần trùng với đường mã hoá mà đèn hình CRT đòi hỏi. Sự trùng hợp này là may mắn của lịch sử kỹ thuật: hàm bù cho đèn hình hoá ra cũng là hàm phù hợp với mắt.

Lý do thứ ba: kỹ thuật. Với số bit hữu hạn, mã hoá tuyến tính lãng phí phần lớn số mã vào vùng sáng, nơi mắt gần như không phân biệt được các mức liền nhau, trong khi vùng tối chỉ còn vài mức và sinh vệt bậc. Mã hoá theo gamma phân bố các bậc đều nhau theo cảm nhận của mắt người, nhờ đó 8 bit đủ cho ảnh SDR.

> **GHI NHỚ 7.21 — VÌ SAO GAMMA VẪN TỒN TẠI KHI KHÔNG CÒN ĐÈN HÌNH CRT**
>
> Đèn hình CRT đã biến mất khỏi thị trường từ khoảng năm 2010 nhưng gamma vẫn còn, vì hai lý do kia vẫn nguyên giá trị: mắt vẫn phi tuyến và số bit vẫn hữu hạn.
>
> Màn hình LCD và OLED ngày nay thực chất tuyến tính ở tầng vật lý, nhưng được cố ý mô phỏng đặc tuyến của CRT bằng mạch điện tử để tương thích với toàn bộ kho nội dung đã có. Tiêu chuẩn ITU-R BT.1886 chính là bản mô tả toán học của đặc tuyến CRT ấy, được ban hành năm 2011 cho màn hình phẳng.

7.20.2 Ba hàm OETF, EOTF và OOTF

Ba chữ viết tắt này thường bị dùng lẫn lộn, trong khi việc phân biệt được chúng là điều kiện để hiểu mọi tài liệu về HDR [5].



Hình 7.38 Ba hàm chuyển đổi trên đường đi của tín hiệu hình và dạng đồ thị của chúng

Bảng 7.23 Ba hàm chuyển đổi của dây chuyền hình ảnh

Tên đầy đủ	Viết tắt	Ở đâu	Chuyển từ gì sang gì
Opto-Electronic Transfer Function	OETF	trong MÁY QUAY	độ chói tuyến tính của cảnh → giá trị tín hiệu
Electro-Optical Transfer Function	EOTF	trong MÀN HÌNH	giá trị tín hiệu → độ chói phát ra
Opto-Optical Transfer Function	OOTF	toàn dây chuyền	độ chói của cảnh → độ chói trên màn hình; bằng EOTF nối tiếp OETF

7.20.3 Gamma hệ thống và vì sao nó không bằng 1

Nếu OETF và EOTF là hai hàm ngược nhau thì OOTF phải bằng 1, tức màn hình tái tạo đúng độ chói của cảnh; tuy nhiên thực tế không như vậy, và đó là chủ ý thiết kế.

$$L = (V')^{\gamma} \quad , \quad \gamma = 2{,}4 \quad ; \quad \gamma_{\text{ht}} = \gamma_{\text{OETF}} \cdot \gamma_{\text{EOTF}} \approx 1{,}2 \tag{7.26}$$

Gamma hệ thống của một dây chuyền truyền hình được thiết kế trong khoảng 1,1 đến 1,2, tức ảnh trên màn hình có độ tương phản cao hơn cảnh thật một chút, vì ba lý do sau:

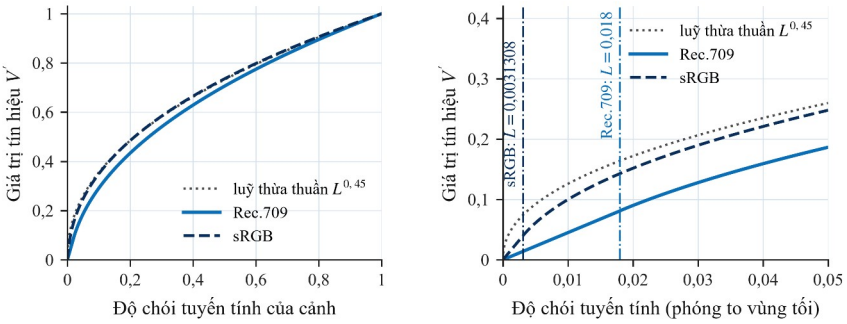
- **Môi trường xem tối hơn môi trường quay.** Một cảnh ngoài trời có độ chói hàng nghìn cd/m², còn màn hình trong phòng chỉ 100 cd/m²; khi mức thích nghi của mắt thấp hơn, độ tương phản cảm nhận giảm, và gamma hệ thống lớn hơn 1 bù lại phần giảm đó.
- **Ánh sáng lạc trong phòng xem.** Một phần ánh sáng phòng phản xạ trên mặt màn hình, nâng mức đen lên và làm giảm tương phản thực tế.
- **Hiệu ứng viền tối.** Một hình ảnh nhìn qua "khung cửa sổ" trên nền tối trông kém tương phản hơn so với cùng hình ảnh ấy khi lấp đầy trường nhìn.

Vì vậy trong hệ SDR, giá trị gamma hệ thống 1,2 là con số được các tiêu chuẩn nhắm tới cho môi trường xem tối, và khoảng 1,1 cho môi trường xem sáng hơn.

7.20.4 Đường Rec.709 và đường sRGB

Đây là hai đường mã hoá thông dụng nhất; chúng gần nhau nhưng không giống nhau [2], [13].

$$V' = 4{,}500\,L \quad (L < 0{,}018) \quad ; \quad V' = 1{,}099\,L^{0{,}45} - 0{,}099 \quad (L \geq 0{,}018) \tag{7.27}$$



(a) hai đường mã hoá thông dụng (b) đoạn thẳng ở gốc toạ độ

Hình 7.39 Đường mã hoá Rec.709 và sRGB, và lý do cả hai đều có một đoạn thẳng ở gốc toạ độ

Cả hai đường đều gồm hai đoạn: một đoạn thẳng ở vùng rất tối, rồi nối sang hàm luỹ thừa. Lý do là hàm luỹ thừa thuần có đạo hàm tiến tới vô cùng tại điểm không, nên nhiễu ở vùng tối sẽ bị khuếch đại vô hạn và mạch analog thời đó không thực hiện nổi. Điểm nối của Rec.709 nằm ở độ chói 0,018, của sRGB ở 0,0031308.

Bảng 7.24 So sánh Rec.709 và sRGB

	Rec.709	**sRGB**
Ba màu cơ bản	giống hệt nhau	giống hệt nhau
Điểm trắng	D65	D65
Số mũ của đoạn luỹ thừa	0,45	1/2,4 ≈ 0,4167
Điểm nối đoạn thẳng	L = 0,018	L = 0,0031308
Gamma hiệu dụng tổng thể	≈ 1,95	≈ 2,2
Sinh ra cho	truyền hình, môi trường xem tối	màn hình máy tính, môi trường xem sáng
Hậu quả khi gán nhầm	ảnh hơi nhạt ở vùng tối	ảnh hơi tối ở vùng tối

Chênh lệch giữa hai đường không lớn nhưng có thật và nhìn thấy được ở vùng tối, nên trong một dây chuyền nghiêm túc cần khai báo rõ đang dùng đường nào.

7.20.5 Hậu quả khi gán sai không gian màu

Một tệp hình ảnh chỉ chứa những con số, còn ý nghĩa của các con số ấy do *siêu dữ liệu* quy định: chúng được mã hoá theo đường nào, trong gam màu nào, với điểm trắng nào. Nếu phần mềm hiểu sai siêu dữ liệu, hoặc nếu tệp không mang siêu dữ liệu, kết quả sẽ sai lệch rõ rệt.



Hình 7.40 Cùng một tệp dữ liệu, ba cách hiểu khác nhau về đường mã hoá cho ba kết quả hoàn toàn khác nhau

CẢNH BÁO 7.5 — HAI KIỂU SAI VÀ DẤU HIỆU NHẬN BIẾT

Ảnh đã có gamma mà bị hiểu là tuyến tính: phần mềm áp thêm một lần gamma nữa, khiến ảnh tối sập, vùng tối mất hết chi tiết và màu bão hoà quá mức.

Ảnh tuyến tính mà bị hiểu là đã có gamma: phần mềm không áp gamma, nên ảnh trông nhạt và phẳng, tương phản thấp, giống hệt ảnh log chưa xử lý.

Cách phòng ngừa là đặt mọi phần mềm trong dây chuyền cùng một cấu hình quản lý màu, bảo đảm mọi tệp trung gian mang siêu dữ liệu đầy đủ và luôn kiểm tra bằng một thẻ màu chuẩn quay kèm ở đầu mỗi cảnh.

7.21 Dải động, stop và đường log

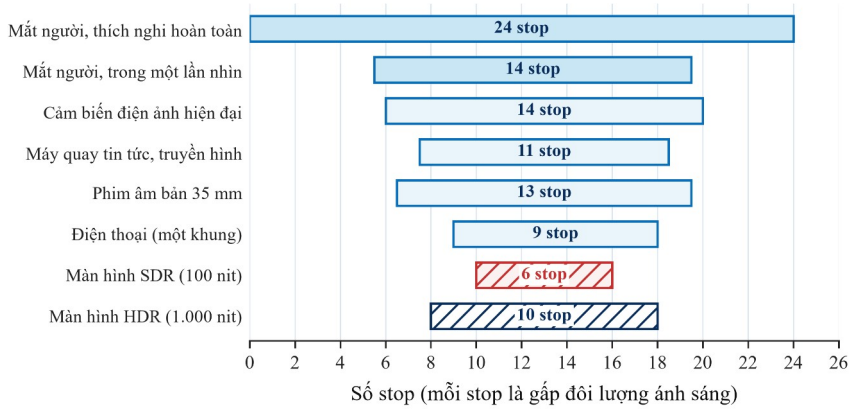
7.21.1 Định nghĩa stop và cách đếm dải động

Stop là đơn vị đo tỉ lệ ánh sáng theo thang lôgarit cơ số hai: một stop tương ứng với gấp đôi hoặc một nửa lượng ánh sáng. Dải động của một thiết bị là số stop giữa mức sáng nhất và mức tối nhất mà nó ghi được có ý nghĩa:

$$\mathrm{DR} = \log_2 \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \quad \text{(stop)} \tag{7.28}$$

Ranh giới trên là mức bão hoà, tức điểm mà thêm ánh sáng cũng không làm giá trị tăng nữa và ảnh bị cháy sáng. Ranh giới dưới không rõ ràng như vậy: đó là mức mà tín hiệu chìm vào nhiễu. Vì vậy con số dải động của một cảm biến phụ thuộc vào định nghĩa "chìm vào nhiễu" mà nhà sản xuất chọn, và các con số quảng cáo thường rộng rãi hơn con số đo theo tiêu chuẩn.

7.21.2 So sánh dải động của các khâu



Hình 7.41 Dải động của mắt người, phim nhựa, cảm biến hiện đại và màn hình — màn hình là cổ chai của cả dây chuyền

GHI NHỚ 7.22 — CỔ CHAI NẰM Ở MÀN HÌNH, KHÔNG PHẢI Ở CẢM BIẾN

Cảm biến điện ảnh hiện đại ghi được 13 – 15 stop, trong khi màn hình SDR tham chiếu chỉ hiển thị được khoảng 6 stop.

Vì vậy khâu chỉnh màu không chỉ nhằm làm cho ảnh đẹp hơn. Công việc thật sự của khâu này là nén dải động của cảnh xuống vừa dải động của màn hình, đồng thời quyết định phần nào của cảnh được ưu tiên giữ chi tiết.

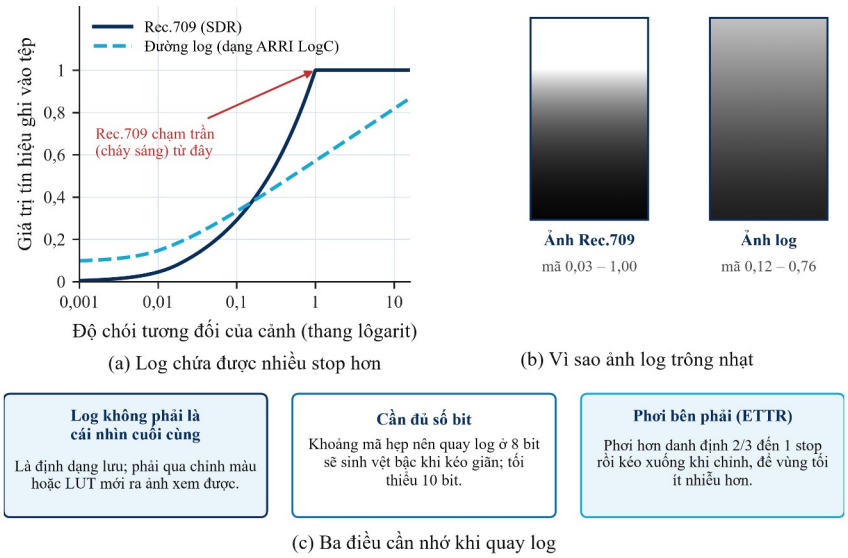
Đây cũng là lý do HDR ra đời: công nghệ này mở rộng đầu ra của dây chuyền, còn đầu vào đã đủ rộng từ lâu.

7.21.3 Nguyên lý đường log

Nếu ghi một cảnh 14 stop bằng đường Rec.709, cảnh sẽ chạm trần ở khoảng stop thứ 6 và mọi vùng sáng hơn đều bị cháy. Đường log giải quyết vấn đề này bằng cách dùng hàm lôgarit thay cho hàm luỹ thừa [17]:

$$V' = a\log_{10}(L + c) + b \quad (L > \text{cut}) \tag{7.29}$$

Hàm lôgarit có tính chất then chốt là mỗi lần nhân đôi lượng ánh sáng thì giá trị tín hiệu tăng thêm một lượng cố định. Nhờ vậy toàn bộ dải động của cảm biến được trải đều trên dải mã, không đoạn nào được ưu tiên hơn đoạn nào.



Hình 7.42 Đường log so với Rec.709, lý do ảnh log trông nhạt, và ba điều cần nhớ khi quay log

Mỗi hãng máy quay có một họ đường log riêng, khác nhau ở tham số chứ không khác ở nguyên lý:

Bảng 7.25 Các họ đường log thông dụng

Hãng	Tên đường log	Ghi chú
Sony	S-Log2, S-Log3	S-Log3 nâng vùng tối cao hơn, dễ chỉnh hơn nhưng lộ nhiễu hơn nếu thiếu sáng
ARRI	Log C (nhiều phiên bản theo đời máy)	được coi là chuẩn tham chiếu của điện ảnh; Log C4 dùng cho cảm biến mới nhất
Canon	C-Log, C-Log2, C-Log3	C-Log3 là dung hoà giữa dải động và độ dễ chỉnh
Panasonic	V-Log, V-Log L	V-Log L là bản rút gọn cho máy phổ thông, dải động hẹp hơn
Nikon	N-Log	
Blackmagic	Blackmagic Film Gen 5	
RED	Log3G10	

Sách cố ý không đi vào tham số cụ thể của từng hãng vì chúng thay đổi theo đời máy; điều cần nắm là nguyên lý chung và ba hệ quả thực hành dưới đây.

7.21.4 Vì sao ảnh log trông nhạt và bệt

Vì log dồn toàn bộ 14 stop vào dải mã 0 – 1, mỗi stop chỉ chiếm một khoảng mã rất hẹp. Một cảnh bình thường có thể chỉ trải trong khoảng mã 0,32 đến 0,72, tức chưa tới một nửa dải, nên khi hiển thị trực tiếp khoảng mã hẹp ấy lên màn hình, ảnh có màu xám đục, độ tương phản thấp và màu nhợt nhạt.

QUY TẮC 7.4 — BA ĐIỀU BẮT BUỘC KHI QUAY LOG

Log không phải là hình ảnh cuối cùng mà là *định dạng lưu*: ảnh bắt buộc phải qua chỉnh màu hoặc qua một LUT kỹ thuật mới trở thành ảnh xem được. Giao nộp một bản dựng còn nguyên log là lỗi nghiêm trọng.

Cần đủ số bit. Vì khoảng mã hẹp, quay log ở 8 bit rồi kéo giãn ra sẽ sinh vệt bậc rõ rệt trên bầu trời và trên da người; do đó cần tối thiểu 10 bit, tốt nhất là ghi ngoài ở 10 hoặc 12 bit.

Phải theo dõi bằng LUT: một LUT xem trước được cắm vào màn hình hiện trường để đánh giá đúng phơi sáng và bố cục ánh sáng, vì không thể đánh giá chính xác bằng ảnh log thô.

7.21.5 Phơi sáng cho log và kỹ thuật phơi bên phải

Nhiễu của cảm biến gần như không đổi theo mức tín hiệu, trong khi tín hiệu thì thay đổi. Vì vậy tỉ số tín hiệu trên nhiễu ở vùng tối luôn kém hơn ở vùng sáng. Kỹ thuật *phơi bên phải* (expose to the right, viết tắt ETTR) tận dụng đặc điểm này: phơi sáng hơn mức danh định từ hai phần ba tới một stop, rồi kéo xuống ở khâu chỉnh màu.

Kết quả là vùng tối nhận được nhiều tín hiệu hơn nên sau khi kéo xuống thì ít nhiễu hơn hẳn. Cái giá phải trả là mất bớt khoảng dự phòng ở vùng sáng, nên kỹ thuật này chỉ an toàn khi:

- Cảnh không có vùng sáng cực đại quan trọng cần giữ chi tiết.
- Có công cụ theo dõi tin cậy, như false colour hoặc waveform, để biết chắc chưa chạm trần.
- Cảnh được quay ở định dạng log hoặc raw với đủ số bit để kéo xuống mà không sinh vệt bậc.

7.22 HDR — PQ và HLG

7.22.1 Vì sao SDR không đủ

Hệ SDR được thiết kế cho màn hình có độ chói trắng 100 cd/m². Con số ấy phù hợp với đèn hình CRT của thập niên 1990, nhưng nhỏ hơn thế giới thực hàng nghìn lần: bầu trời trưa hè có độ chói khoảng 8000 cd/m², còn mặt kim loại phản chiếu nắng lên tới hàng chục nghìn.

Mọi cảnh quay đều phải nén xuống trần 100 cd/m². Hậu quả là ánh nắng trên hình không cho cảm giác chói như ánh nắng thật, ngọn nến không có cảm giác lung linh, và cảnh đêm không thật sự tối vì mức đen bị nhiễu và ánh sáng phòng nâng lên.

HDR mở rộng trần đó: màn hình HDR tiêu dùng đạt 600 tới 1500 cd/m², màn hình tham chiếu chuyên nghiệp đạt 1000 tới 4000. Tuy nhiên khi trần được mở rộng thì đường mã hoá cũ không còn đủ, vì hàm luỹ thừa của Rec.709 khi kéo lên 1000 cd/m² sẽ sinh vệt bậc rõ rệt ở vùng tối. Do đó cần một đường mã hoá mới, và hai đường đã được chuẩn hoá.

7.22.2 PQ — SMPTE ST 2084

PQ (Perceptual Quantizer) do Dolby phát triển và được SMPTE chuẩn hoá năm 2014. Đường này được thiết kế dựa trực tiếp trên ngưỡng phân biệt của mắt người (mô hình Barten), sao cho mỗi bậc mã đúng bằng một ngưỡng vừa đủ nhận ra, trên toàn dải từ 0,0001 tới 10 000 cd/m² [4], [6].

$$\mathrm{PQ}(Y) = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2} \quad , \quad Y = \frac{L}{10\,000} \tag{7.30}$$

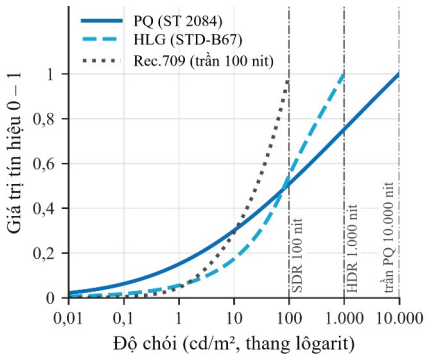
Đặc điểm quyết định của PQ là tính *tuyệt đối*: mỗi giá trị mã ứng với một độ chói xác định bằng cd/m², không phụ thuộc màn hình. Mã 0,5 luôn có nghĩa là 92 cd/m², còn mã 1,0 luôn có nghĩa là 10 000 cd/m².

7.22.3 HLG — ARIB STD-B67

HLG (Hybrid Log-Gamma) do đài BBC của Anh và đài NHK của Nhật cùng phát triển, được chuẩn hoá trong ARIB STD-B67 và trong Rec.2100. Tên gọi phản ánh cấu tạo: nửa dưới của đường là hàm căn (tương đương gamma), nửa trên là hàm lôgarit [4], [7].

$$\mathrm{HLG}(E) = \sqrt{3E} \ \left(E \le \frac{1}{12} \right) \quad ; \quad \mathrm{HLG}(E) = a \ln(12E - b) + c \ \left(E > \frac{1}{12} \right) \tag{7.31}$$

Đặc điểm quyết định của HLG là tính *tương đối*: mã 1,0 nghĩa là "sáng nhất mà màn hình này làm được", chứ không phải một con số cd/m² cụ thể. Nhờ vậy cùng một tín hiệu hiển thị hợp lý trên màn hình 400 cd/m² lẫn màn hình 2000 cd/m².



(a) Ba đường mã hoá trên một thang độ chói

	PQ (ST 2084)	HLG (STD-B67)
Kiểu thang	Tuyệt đối: mã 0,5 luôn là 92 nit	Tương đối: theo trần của từng màn hình
Siêu dữ liệu	Bắt buộc (tĩnh hoặc động)	Không cần
Tương thích SDR	Không, phải chuyển đổi	Có, máy SDR xem tạm được
Dùng nhiều ở	Đĩa, phát trực tuyến, rạp số	Phát sóng trực tiếp, truyền hình
Điểm yếu	Phải biết trần màn hình mới hiển thị đúng	Ít điều khiển được mức chói tuyệt đối

(b) So sánh hai chuẩn HDR

Hình 7.43 Ba đường mã hoá PQ, HLG và Rec.709 đặt trên cùng một thang độ chói, và bảng so sánh hai chuẩn HDR

7.22.4 Siêu dữ liệu và các định dạng HDR

Vì PQ là thang tuyệt đối, màn hình cần biết nội dung được làm cho trần bao nhiêu để ánh xạ đúng, và thông tin đó nằm trong siêu dữ liệu.

Bảng 7.26 Các định dạng HDR thông dụng

Định dạng	Đường mã hoá	Siêu dữ liệu	Đặc điểm
HDR10	PQ	TĨNH — một bộ cho cả tác phẩm	định dạng mở, không mất phí; phổ biến nhất trên đĩa và trên máy chơi game
HDR10+	PQ	ĐỘNG — theo từng cảnh hoặc từng khung	do Samsung dẫn đầu, không mất phí bản quyền
Dolby Vision	PQ	ĐỘNG, tối đa 12 bit	có phí bản quyền; chất lượng ánh xạ tốt nhất hiện nay
HLG	HLG	KHÔNG CẦN	được chọn cho PHÁT SÓNG vì tương thích ngược với máy thu SDR

GHI NHỚ 7.23 — VÌ SAO HLG ĐƯỢC CHỌN CHO PHÁT SÓNG

Một đài truyền hình phát một luồng tín hiệu duy nhất tới hàng triệu máy thu, trong đó phần lớn vẫn là máy SDR. HLG cho phép máy SDR nhận cùng luồng ấy và hiển thị ra một ảnh chấp nhận được, vì nửa dưới của đường HLG rất gần với đường gamma quen thuộc.

PQ không có tính chất đó: một tín hiệu PQ hiển thị trên máy SDR sẽ cho ảnh tối sập và sai màu hoàn toàn.

Ngoài ra, HLG không cần siêu dữ liệu nên chịu được việc cắt ghép, chèn logo và phát trực tiếp, là những thao tác làm mất siêu dữ liệu.

7.23 Quản lý màu trong dây chuyền

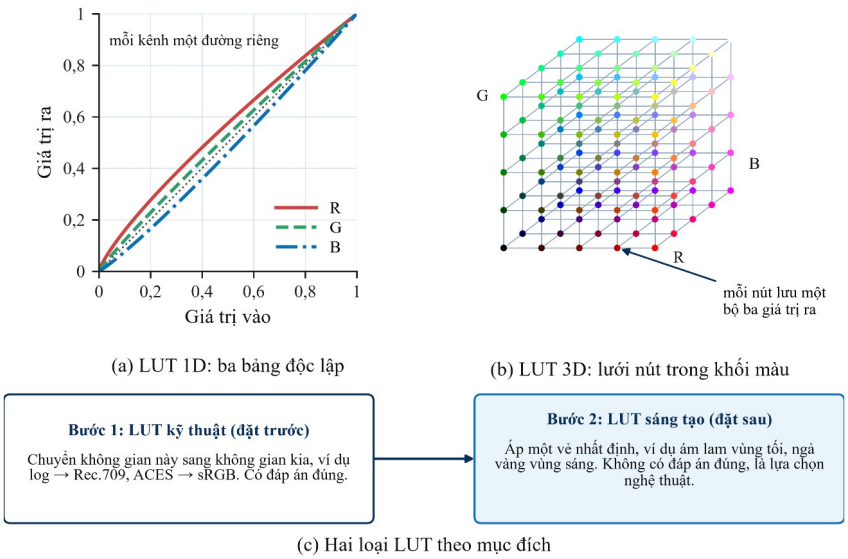
7.23.1 Vì sao cần quản lý màu

Một dự án phim thông thường đi qua ít nhất năm khâu: quay bằng hai ba loại máy khác nhau, dựng thô trên một phần mềm, làm kỹ xảo trên phần mềm khác, chỉnh màu trên phần mềm thứ ba, rồi giao nộp thành nhiều phiên bản cho rạp, truyền hình và mạng. Mỗi khâu đều hiểu con số theo cách của mình, nên nếu không có một quy ước chung, màu sẽ trôi dần qua từng khâu và không thể xác định chỗ sai bắt đầu từ đâu.

Quản lý màu là tập hợp những quy ước và công cụ bảo đảm rằng một màu giữ nguyên ý nghĩa qua toàn bộ dây chuyền; hai công cụ chính là LUT và ma trận chuyển đổi.

7.23.2 LUT 1D và LUT 3D

LUT (Look-Up Table) là một bảng tra cứu: cho giá trị vào thì tra ra giá trị ra. Có hai loại LUT với khả năng khác hẳn nhau.



(a) LUT 1D: ba bảng độc lập

(b) LUT 3D: lưới nút trong khối màu

(c) Hai loại LUT theo mục đích

Hình 7.44 LUT 1D và LUT 3D — khác nhau ở khả năng đổi sắc; và hai loại LUT theo mục đích

Bảng 7.27 LUT 1D và LUT 3D

	LUT 1D	LUT 3D
Cấu tạo	Ba bảng độc lập, mỗi bảng cho một kênh	Một lưới ba chiều trong khối màu; mỗi nút lưu một bộ ba giá trị ra
Kích thước điển hình	1024 hoặc 4096 mục cho mỗi kênh	lưới 17×17×17, 33×33×33 hoặc 65×65×65 nút
Đổi được gì	Độ tương phản, cân bằng xám, đường cong từng kênh	Mọi thứ, KỂ CẢ sắc và độ bão hoà
KHÔNG đổi được gì	Sắc — vì giá trị ra của một kênh chỉ phụ thuộc giá trị vào của chính kênh đó	—
Cách tính giá trị giữa các mục	nội suy tuyến tính một chiều	nội suy ba chiều (tetrahedral hoặc trilinear)
Định dạng tệp thường gặp	.cube (1D), .lut	.cube (3D), .3dl, .dat

7.23.3 LUT kỹ thuật và LUT sáng tạo

Sự phân biệt này quan trọng hơn việc phân biệt 1D với 3D, vì nó quyết định *thứ tự* đặt LUT trong dây chuyền.

– **LUT kỹ thuật (technical):** chuyển từ không gian màu này sang không gian màu kia, chẳng hạn từ S-Log3/S-Gamut3 sang Rec.709 hoặc từ ACES sang sRGB. Loại này có một đáp án đúng, do nhà sản xuất máy quay hoặc tổ chức chuẩn hoá cung cấp, và không được sửa.

– **LUT sáng tạo (creative, hoặc look):** áp một "vẻ" nhất định như ám lam ở vùng tối, ngả vàng ở vùng sáng, giảm bão hoà hoặc mô phỏng phim nhựa. Loại này không có đáp án đúng vì đó là lựa chọn nghệ thuật.

QUY TẮC 7.5 — THỨ TỰ ĐẶT LUT

LUT kỹ thuật được đặt trước, LUT sáng tạo được đặt sau, vì LUT sáng tạo được thiết kế để hoạt động trên dữ liệu đã ở không gian hiển thị chứ không phải trên dữ liệu log.

Đảo thứ tự sẽ cho kết quả khác hẳn và hầu như luôn sai. Đây là lỗi rất phổ biến của người mới, và khó phát hiện vì kết quả vẫn "có màu", chỉ là sai màu.

Cũng vì lý do đó, một LUT sáng tạo tải về từ mạng chỉ dùng được nếu biết nó được làm cho không gian màu nào; áp một LUT làm cho Log C lên ảnh S-Log3 sẽ cho kết quả vô nghĩa.

7.23.4 Chuyển đổi bằng ma trận

Khi hai không gian màu chỉ khác nhau ở ba màu cơ bản mà không khác ở đường mã hoá, phép chuyển đổi là một phép nhân ma trận 3×3 trên dữ liệu tuyến tính:

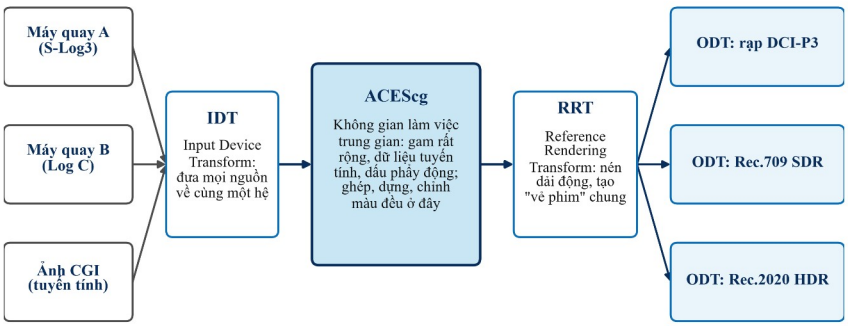
$$[R \quad G \quad B]^T = \mathbf{M}^{-1}\,[X \quad Y \quad Z]^T \tag{7.32}$$

Quy trình đầy đủ gồm ba bước: gỡ gamma của không gian nguồn để về tuyến tính, nhân ma trận, rồi áp gamma của không gian đích. Bỏ qua bước gỡ gamma, tức nhân ma trận thẳng trên dữ liệu đã mã hoá, là một lỗi phổ biến và cho kết quả sai rõ rệt ở vùng bão hoà.

Nếu hai không gian còn khác nhau ở điểm trắng, cần chèn thêm một phép thích nghi sắc, thường là ma trận Bradford, giữa hai bước. Đây chính là mô hình von Kries của mục 7.11 áp dụng vào toán học màu.

7.23.5 Giới thiệu ACES

ACES (Academy Color Encoding System) là hệ quản lý màu do Viện Hàn lâm Khoa học và Nghệ thuật Điện ảnh Hoa Kỳ xây dựng, nhằm giải quyết bài toán "nhiều nguồn vào, nhiều đích ra" một cách có hệ thống [12].



Hình 7.45 Dây chuyền ACES: IDT đưa mọi nguồn về một không gian trung gian, RRT nén dải động, ODT cho ra từng đích giao nộp

Bảng 7.28 Bốn thành phần của ACES

Thành phần	Tên đầy đủ	Nhiệm vụ
IDT	Input Device Transform	Chuyển dữ liệu của MỘT loại máy quay cụ thể về không gian ACES; do nhà sản xuất máy cung cấp
ACEScg / ACES2065-1	không gian làm việc	Gam màu rất rộng, dữ liệu TUYẾN TÍNH, dấu phẩy động 16 bit; mọi khâu ghép, kỹ xảo và chỉnh màu diễn ra ở đây
RRT	Reference Rendering Transform	Nén dải động rộng của cảnh thành một "vẻ phim" chung, giống vai trò của quá trình in tráng phim nhựa
ODT	Output Device Transform	Chuyển từ kết quả của RRT sang một đích cụ thể: Rec.709 SDR, DCI-P3 rạp, Rec.2020 HDR

GHI NHỚ 7.24 — Ý NGHĨA THỰC TẾ CỦA ACES

Thay vì phải thực hiện N × M phép chuyển đổi cho N loại máy quay và M loại màn hình, chỉ cần N bộ IDT và M bộ ODT. Với năm loại máy và bốn đích giao nộp, con số giảm từ hai mươi xuống chín.

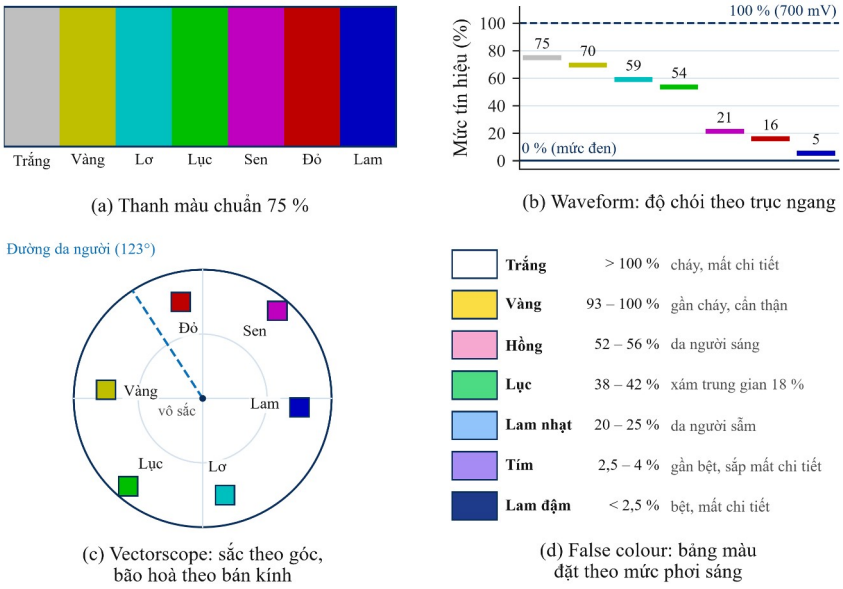
Toàn bộ công việc sáng tạo diễn ra ở một không gian duy nhất, nên cảnh quay bằng nhiều máy khác nhau được ghép liền mạch mà không phải "chỉnh cho giống nhau" bằng tay.

Vì dữ liệu ở ACEScg là tuyến tính, mọi phép toán ánh sáng như ghép kỹ xảo, đổ bóng và hoà trộn lớp đều cho kết quả đúng về mặt vật lý; đây là lý do ngành kỹ xảo áp dụng ACES sớm nhất.

Một bản dựng cho ra được nhiều phiên bản giao nộp mà không phải làm lại từ đầu, chỉ cần đổi ODT.

7.24 Công cụ đo trên hiện trường

Mắt người thích nghi, màn hình hiện trường nhỏ và thường không được hiệu chuẩn, ánh sáng xung quanh thay đổi liên tục, nên không thể đánh giá phơi sáng và màu bằng mắt. Bốn công cụ dưới đây là những thiết bị đo mà người quay phim chuyên nghiệp dùng thay cho mắt, tương tự cách người kỹ sư âm thanh dùng đồng hồ đo mức thay cho tai.



(a) Thanh màu chuẩn 75 %

(b) Waveform: độ chói theo trục ngang

(c) Vectorscope: sắc theo góc, bão hoà theo bán kính

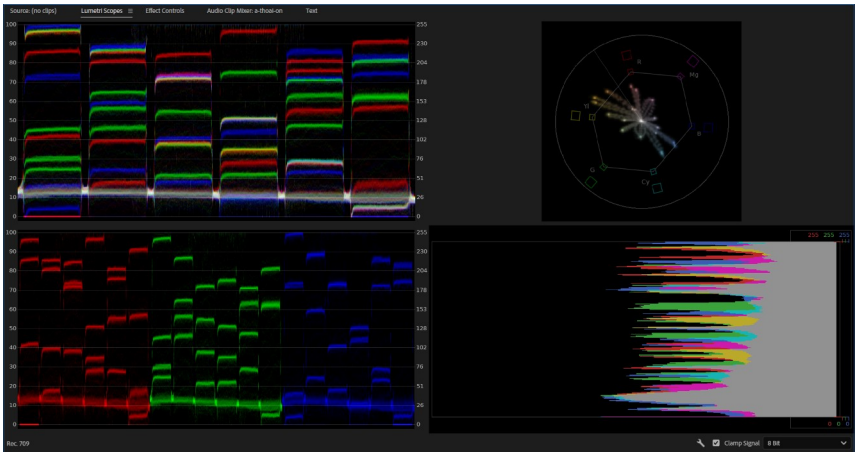
(d) False colour: bảng màu đặt theo mức phơi sáng

Hình 7.46 Bốn công cụ đo trên hiện trường: thanh màu chuẩn, waveform, vectorscope và false colour

7.24.1 Waveform

Waveform vẽ *độ chói* của khung hình: trục ngang là vị trí ngang trong khung, trục dọc là mức tín hiệu. Mỗi điểm ảnh của một cột trong khung hình cho một chấm sáng ở cột tương ứng của waveform [21].

Hình 7.47 gộp bốn công cụ đo của bảng Lumetri Scopes cho cùng một khung hình chứa bảng màu ColorChecker: dạng sóng, vectorscope YUV, RGB Parade và histogram.



Hình 7.47 Bốn công cụ đo của Lumetri Scopes trong Adobe Premiere Pro (Waveform, Vectorscope YUV, RGB Parade, Histogram) trên clip ColorChecker mẫu tổng hợp

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Premiere Pro 2026), 07/11/2026.

Thang đo dùng đơn vị IRE hoặc phần trăm, trong đó 0 là mức đen và 100 là mức trắng. Với tín hiệu số theo dải hẹp (legal range), mức đen ứng với mã 64 và mức trắng ứng với mã 940 trong hệ 10 bit.

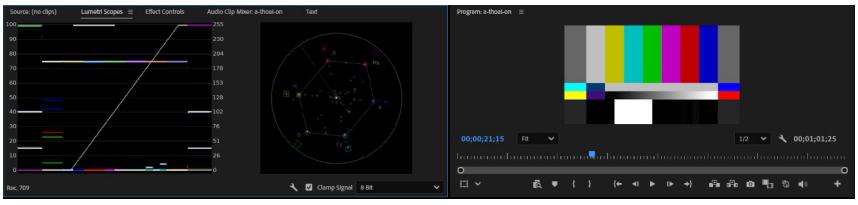
Bảng 7.29 Các mức tham chiếu thường dùng trên waveform (ảnh Rec.709)

Đối tượng	Mức trên waveform	Ghi chú
Mức đen	0 %	dưới mức này là mất chi tiết vĩnh viễn
Vùng tối còn chi tiết	3 – 10 %	
Thẻ xám 18 %	40 – 45 %	mốc chuẩn để đặt phơi sáng
Da người sẫm màu	35 – 50 %	
Da người trung bình	50 – 60 %	
Da người rất sáng	60 – 70 %	
Trắng tham chiếu	90 %	áo trắng, tường trắng có chi tiết
Mức trắng	100 %	trên mức này là cháy sáng
Vùng dự phòng	100 – 109 %	chỉ tồn tại trong tín hiệu dải hẹp; bị cắt khi phát sóng

7.24.2 Vectorscope

Vectorscope vẽ *màu* chứ không vẽ độ chói: đó là mặt phẳng Cb–Cr với gốc toạ độ ở tâm. Góc quanh tâm cho biết sắc, khoảng cách tới tâm cho biết độ bão hoà, và một khung hình hoàn toàn vô sắc cho một chấm duy nhất ở tâm.

Hình 7.48 đặt thanh màu chuẩn cạnh dạng sóng và vectorscope: các vạch màu tạo thành những vạch ngang ở mức quy định, còn sáu điểm sắc nằm trong các ô định vị.



Hình 7.48 Thanh màu chuẩn trên Waveform và Vectorscope trong Adobe Premiere Pro (tệp thanh màu mẫu tổng hợp)

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Premiere Pro 2026), 07/11/2026.

Hai chi tiết mà người quay phim dùng hằng ngày:

- **Sáu ô đích của thanh màu chuẩn.** Vectorscope chuyên nghiệp có sẵn sáu ô nhỏ đánh dấu vị trí đúng của sáu màu trong thanh màu 75 phần trăm. Quay thanh màu chuẩn và kiểm tra xem sáu chùm điểm có rơi đúng vào sáu ô hay không là cách nhanh nhất để biết cả dây chuyền có sai màu ở đâu không.
- **Đường da người ở 123°.** Mọi màu da người, bất kể sắc tộc, đều rơi rất gần một đường thẳng đi qua tâm ở góc khoảng 123°; khác biệt giữa các màu da nằm ở khoảng cách tới tâm và ở độ chói chứ không ở góc. Đây là công cụ

mạnh nhất để kiểm tra cân bằng trắng: nếu chùm điểm của khuôn mặt lệch khỏi đường này, cân bằng trắng đang sai.

7.24.3 Histogram và giới hạn của nó

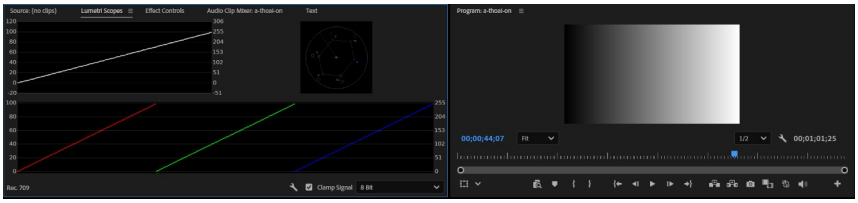
Histogram đếm số điểm ảnh theo từng mức sáng. Nó cho biết phân bố tổng thể nhưng không cho biết những điểm ảnh ấy nằm ở đâu trong khung hình, nên hai khung hình hoàn toàn khác nhau có thể có histogram giống hệt nhau.

Vì vậy histogram hữu ích để phát hiện nhanh việc chạm trần hoặc chạm đáy, nhưng không thay thế được waveform khi cần biết vùng nào của khuôn hình đang bị cháy; với người quay phim, waveform luôn là công cụ chính.

7.24.4 False colour

False colour thay mỗi mức sáng bằng một màu quy ước, biến khuôn hình thành một bản đồ phơi sáng. Đây là công cụ nhanh nhất để đặt phơi sáng cho da người ở hiện trường. Mức tín hiệu trong bảng dưới đây tính theo thang của chính bộ chuyển đổi false colour (với quy ước của ARRI là thang Log C), không phải thang của ảnh Rec.709 trong Bảng 7.29; vì vậy cùng một thẻ xám 18 % nằm ở 38 – 42 % trên thang false colour nhưng ở 40 – 45 % trên waveform Rec.709, và hai bảng không được đặt cạnh nhau như cùng một thước đo.

Hình 7.49 dùng dạng sóng độ chói với thang IRE để đọc dải xám tuyến tính: đường chéo thẳng từ đen đến trắng cho thấy mọi mức xám được tái tạo liên tục.



Hình 7.49 Waveform (Luma) với thang IRE trên dải xám trong Adobe Premiere Pro (tệp dải xám mẫu tổng hợp)

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Premiere Pro 2026), 07/11/2026.

Bảng 7.30 Bảng false colour thường gặp (theo quy ước ARRI)

Màu hiển thị	Mức tín hiệu	Ý nghĩa
Trắng	trên 100 %	CHÁY — mất hẳn chi tiết
Vàng	93 – 100 %	gần cháy, cần cẩn thận
Hồng	52 – 56 %	DA NGƯỜI da sáng
Lục	38 – 42 %	xám giữa 18 %
Lam nhạt	20 – 25 %	DA NGƯỜI da sẫm
Tím	2,5 – 4 %	gần bệt, sắp mất chi tiết
Lam đậm	dưới 2,5 %	BỆT — mất hẳn chi tiết

Cách dùng nhanh nhất là bật false colour rồi chỉnh khẩu độ cho tới khi khuôn mặt diễn viên rơi vào vùng hồng (với da sáng) hoặc vùng lam nhạt (với da

sẫm); thao tác này chỉ mất vài giây và chính xác hơn nhiều so với đánh giá bằng mắt trên màn hình.

7.24.5 Zebra và thanh màu chuẩn

Zebra là một dạng đơn giản hoá của false colour: công cụ vẽ những vạch chéo lên các vùng vượt quá một ngưỡng do người dùng đặt. Hai cách đặt phổ biến là ngưỡng 100 phần trăm để cảnh báo cháy sáng và ngưỡng 70 phần trăm để canh phơi sáng cho da người sáng màu.

Hình 7.50 minh hoạ mẫu thanh màu độ phân giải cao theo khuyến nghị SMPTE RP 219, gồm dải thanh màu, thang xám và khối mức đen dùng để hiệu chỉnh màn hình.



Hình 7.50 Mẫu thanh màu SMPTE RP 219 dùng làm tín hiệu tham chiếu

Nguồn: Chris319, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

Thanh màu chuẩn là tín hiệu tham chiếu ghi ở đầu mỗi băng hoặc mỗi tệp giao nộp, cho phép mọi khâu sau đó kiểm tra và hiệu chỉnh lại mức. Với truyền hình Việt Nam, thanh màu thường dùng là bản 75 phần trăm theo Rec.709, kèm tín hiệu âm thanh chuẩn 1 kHz ở mức −18 dBFS hoặc −20 dBFS tuỳ quy định của đài.

7.25 Bài thực hành số 3 — log, LUT và đọc scope

Mục tiêu

- Đọc thành thạo waveform và vectorscope, đặt được phơi sáng cho da người bằng false colour.
- So sánh được dải động thực tế giữa chế độ Rec.709 và chế độ log của cùng một máy.
- Áp dụng đúng thứ tự LUT kỹ thuật và LUT sáng tạo, và chỉ ra được hậu quả khi đảo thứ tự.
- Nhận biết được hậu quả của việc gán sai không gian màu.

Thiết bị

- Một máy quay có cả chế độ Rec.709 lẫn chế độ log, có waveform và false colour.
- Thanh màu chuẩn 75 phần trăm (phát từ máy hoặc từ phần mềm).
- Thẻ xám 18 phần trăm và một bảng màu chuẩn nếu có.
- Một bối cảnh có dải động rộng, lý tưởng là phòng có cửa sổ nhìn ra ngoài trời nắng.
- Phần mềm chỉnh màu có scope đầy đủ và hỗ trợ LUT.
- Bộ LUT kỹ thuật đúng cho máy quay đang dùng, tải từ trang của nhà sản xuất.

Phần 1 — Làm quen với scope (25 phút)

- Phát thanh màu chuẩn vào máy quay hoặc mở tệp thanh màu trong phần mềm, đồng thời mở waveform và vectorscope.
- Trên waveform, đọc mức của bảy thanh và ghi lại, rồi so sánh với giá trị lý thuyết tính từ hệ số Rec.709 (thanh trắng 75 %, vàng 70 %, lơ 59 %, lục 54 %, sen 21 %, đỏ 16 %, lam 5 %).
- Trên vectorscope, kiểm tra sáu chùm điểm có rơi đúng sáu ô đích không.
- Quay một khuôn mặt và quan sát vị trí chùm điểm da trên vectorscope so với đường 123°; sau đó cố ý đặt sai cân bằng trắng và quan sát chùm điểm dịch đi.

Phần 2 — So sánh dải động Rec.709 và log (30 phút)

Đặt máy trong phòng có cửa sổ, sao cho khung hình có cả một người ở trong bóng lẫn cảnh ngoài trời nắng.

- Quay ở chế độ Rec.709: đặt phơi sáng cho khuôn mặt đúng, ghi lại trạng thái của cửa sổ trên waveform.
- Giữ nguyên khẩu độ, chuyển sang chế độ log và quay lại cùng cảnh.
- Đưa cả hai đoạn vào phần mềm. Với đoạn log, kéo vùng sáng xuống và quan sát xem có phục hồi được chi tiết ngoài cửa sổ không; thực hiện cùng thao tác với đoạn Rec.709 và so sánh.

Kết quả cần rút ra: chi tiết đã cháy ở Rec.709 không phục hồi được, còn ở log thì phục hồi được; đo và ghi lại số stop chênh lệch.

Phần 3 — Thứ tự LUT (25 phút)

- Lấy đoạn log của Phần 2, áp LUT kỹ thuật đúng của máy để đưa về Rec.709, rồi chụp màn hình cả ảnh lẫn waveform.
- Thêm một LUT sáng tạo bất kỳ *sau* LUT kỹ thuật, rồi chụp màn hình.
- Đảo thứ tự: đặt LUT sáng tạo *trước* LUT kỹ thuật, rồi chụp màn hình.
- So sánh ba ảnh và mô tả bằng lời sự khác biệt, đặc biệt ở vùng tối và ở màu da.

Phần 4 — Gán sai không gian màu (20 phút)

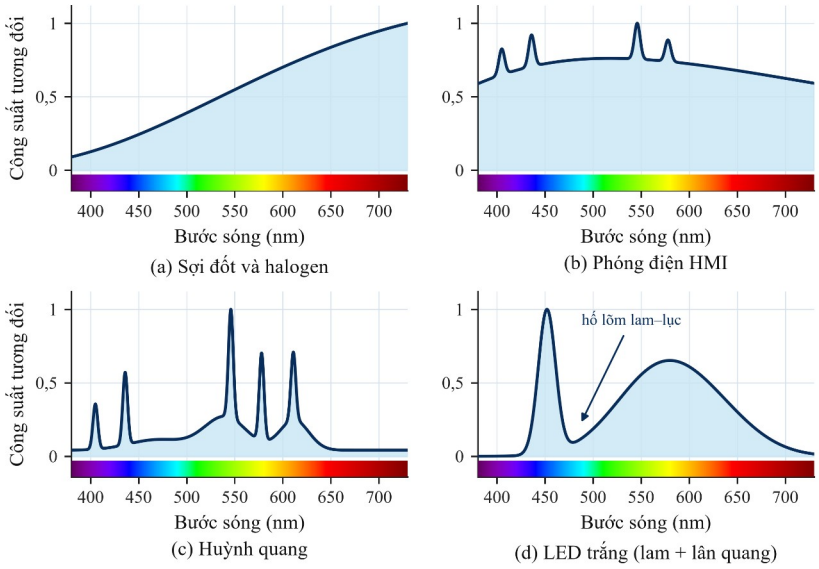
- Lấy đoạn Rec.709 của Phần 2 và cố ý khai báo trong phần mềm rằng nó là dữ liệu tuyến tính, rồi chụp màn hình ảnh và waveform.
- Cố ý khai báo đoạn log là Rec.709. Chụp màn hình.
- Đối chiếu hai trường hợp sai với bản đúng, mô tả dấu hiệu nhận biết của từng kiểu sai.

Kết quả cần có

Sau bài thực hành, người đọc nên có: bảng số liệu waveform của thanh màu ở Phần 1 kèm sai lệch so với lý thuyết; ảnh chụp waveform của Phần 2 cho cả hai chế độ kèm kết luận về số stop chênh lệch; ba ảnh của Phần 3 xếp cạnh nhau kèm phân tích; và một bảng hai dòng ở Phần 4 ghi dấu hiệu nhận biết của hai kiểu gán sai.

7.26 Các họ nguồn sáng và phổ của chúng

Mục 7.3.5 đã chứng minh rằng vật thể không thể phản xạ bước sóng mà nguồn sáng không có; từ đó suy ra chọn đèn là chọn *phổ*, không chỉ chọn công suất và nhiệt độ màu. Mục này giới thiệu bốn họ nguồn sáng qua chính hình dạng phổ của chúng.



Hình 7.51 Phổ đặc trưng của bốn họ nguồn sáng: sợi đốt và halogen, phóng điện HMI, huỳnh quang, và LED trắng

7.26.1 Sợi đốt và halogen

Cơ chế: nung một sợi vonfram lên khoảng 2800 – 3400 K bằng dòng điện. Vì đây là bức xạ nhiệt thật, phổ của nó gần trùng với phổ vật đen, liên tục và không khuyết đoạn nào.

- **Ưu điểm:** hoàn màu gần như hoàn hảo, CRI trên 99; giảm sáng bằng cách hạ điện áp rất êm; giá thấp; không nhấp nháy đáng kể vì sợi đốt có quán tính nhiệt.

– **Nhược điểm:** hiệu suất rất thấp, chỉ 15 – 25 lm/W; sinh nhiệt lớn, gây khó chịu cho diễn viên và nguy hiểm cho bối cảnh; nhiệt độ màu giảm khi giảm sáng nên không thể giảm sáng mà giữ nguyên màu; tuổi thọ ngắn.

Bóng halogen là biến thể có thêm khí halogen trong bóng, giúp tái tạo lớp vonfram bay hơi và cho phép nung sợi lên nhiệt độ cao hơn, do đó hiệu suất và nhiệt độ màu đều cao hơn (thường 3200 K); đây là chuẩn "tungsten" của phim trường trong nhiều thập kỷ.

7.26.2 Phóng điện HMI

Cơ chế: phóng hồ quang trong hỗn hợp hơi thuỷ ngân và muối halogen kim loại, dưới áp suất cao. Phổ gần liên tục ở khoảng 5600 K, có thêm vài vạch thuỷ ngân nổi trên nền liên tục.

Hình 7.52 cho thấy một bóng phóng điện hồ quang kim loại halogen (HMI) công suất lớn, với hai điện cực đặt trong bầu thuỷ tinh nhỏ ở giữa ống.



Hình 7.52 Bóng HMI công suất lớn, nguồn sáng ban ngày 5600 K cho trường quay và ngoại cảnh

*Nguồn: Daniel*D, CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).*

– **Ưu điểm:** hiệu suất cao gấp bốn năm lần đèn dây tóc, 80 – 105 lm/W; công suất rất lớn nên dùng được để "thay nắng" hoặc để bù sáng ngoài trời; nhiệt độ màu gần ánh sáng ban ngày nên hoà trộn tự nhiên với ánh sáng cửa sổ.
– **Nhược điểm:** cần chấn lưu nặng và đắt; phải chờ vài phút mới ổn định màu; nhiệt độ màu tăng dần theo tuổi bóng; và nếu dùng chấn lưu từ kiểu cũ thì nhấp nháy mạnh ở hai lần tần số lưới , xem mục 7.28. Chấn lưu điện tử có chế độ "flicker-free" khắc phục được điều này.

7.26.3 Huỳnh quang

Cơ chế: phóng điện trong hơi thuỷ ngân áp suất thấp tạo ra tia tử ngoại, tia này kích thích lớp bột lân quang phủ mặt trong ống, và lớp lân quang phát ra ánh sáng nhìn thấy. Phổ vì vậy là *phổ vạch*: các vạch thuỷ ngân sắc nét ở 405, 436, 546 và 578 nm, nổi trên một nền lân quang rộng nhưng mờ.

- **Ưu điểm:** hiệu suất 55 – 95 lm/W; nguồn sáng mềm tự nhiên vì diện tích phát rộng; toả nhiệt ít; đèn chuyên dụng cho phim trường (loại ống có bột lân quang chọn lọc) đạt CRI trên 95.
- **Nhược điểm:** phổ khuyết nhiều đoạn nên hoàn màu kém với đèn dân dụng; hầu như luôn ám lục, tức Duv dương, phải sửa bằng gel minus green hoặc bằng trục tint; nhấp nháy mạnh nếu dùng chấn lưu từ; khó giảm sáng.

7.26.4 LED

Cơ chế phổ biến nhất: một chip phát ánh sáng lam ở khoảng 450 nm, phủ một lớp lân quang biến một phần ánh sáng lam đó thành một gò rộng ở vùng vàng. Phần lam còn lại trộn với gò vàng cho ra cảm giác trắng.

Chính cơ chế này tạo ra đặc điểm nhận dạng của phổ LED: một đỉnh lam hẹp và nhọn, một gò lân quang rộng, và một *hố lõm* ở khoảng 480 – 500 nm giữa hai phần. Hố lõm ấy nằm đúng vùng lam lục, nên những vật màu lơ và ngọc lam lên hình bị xỉn.

- **Ưu điểm:** hiệu suất cao nhất, 90 – 160 lm/W và vẫn đang tăng; toả nhiệt thấp; chạy được bằng ắc quy; giảm sáng từ 0 tới 100 phần trăm mà không đổi màu; đèn hai kênh hoặc đèn RGBW chỉnh được cả nhiệt độ màu lẫn tint từ bàn điều khiển.
- **Nhược điểm:** phổ kém đều nhất trong bốn họ; chất lượng chênh lệch rất lớn giữa các mức giá; nhiều đèn giảm sáng bằng cách băm xung, sinh nhấp nháy tần số cao gây vằn khi quay chậm.

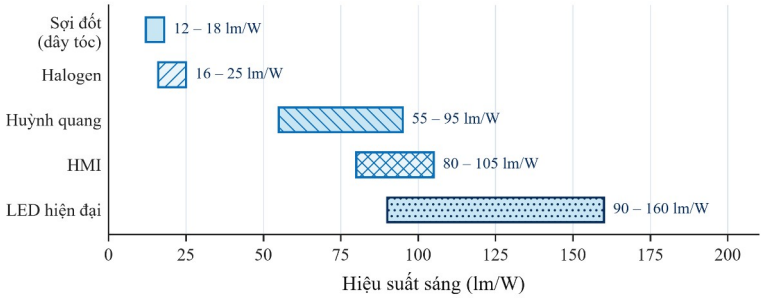
CẢNH BÁO 7.6 — VÌ SAO PHỔ VẠCH VÀ PHỔ KHUYẾT GÂY KHÓ CHO CÂN BẰNG TRẮNG

Cân bằng trắng chỉ là phép nhân ba kênh với ba hệ số (mục 7.30). Phép nhân ấy sửa được sai lệch đều trên cả ba kênh, nhưng không sửa được trường hợp phổ khuyết một đoạn.

Ví dụ: dưới đèn LED có hố lõm ở 490 nm, một chiếc áo màu lơ không có gì để phản xạ ở đoạn đó. Dù nhân kênh lam lên bao nhiêu, thông tin đã mất từ đầu và không lấy lại được.

Đó là lý do "cân bằng trắng đúng" và "màu đúng" là hai khái niệm khác nhau, và cũng là lý do phải có các chỉ số hoàn màu ở mục sau.

7.26.5 Chọn đèn: đọc thông số nào



(a) Hiệu suất sáng của các họ đèn

Thông số ghi trên đèn	Ý nghĩa	Ngưỡng nên đòi hỏi
Quang thông (lm)	tổng lượng ánh sáng phát ra	so sánh giữa các đèn cùng loại
Độ rọi ở khoảng cách d (lx)	thực dụng hơn khi đặt đèn	nhà sản xuất phải ghi kèm d
CCT và khả năng chỉnh	nhiệt độ màu tương quan	chỉnh được 2.700 – 6.500 K thì tốt
Duv hoặc tint	độ lệch khỏi quỹ tích Planck	$\|Duv\| \le 0{,}006$
CRI Ra	trung bình tám mẫu màu nhạt	≥ 95 cho công việc màu
R9 (đỏ bão hoà)	quyết định sắc da và môi	≥ 90
TM-30 Rf / Rg	độ trung thực / độ bão hoà	Rf ≥ 90 và Rg trong 95 – 105
Tần số điều chế / flicker	tần số băm xung khi giảm sáng	≥ 20 kHz hoặc có chế độ chống nhấp nháy

(b) Đọc thông số đèn khi mua hoặc thuê

Hình 7.53 Hiệu suất sáng của các họ đèn và bảng thông số cần đòi hỏi khi mua hoặc thuê đèn

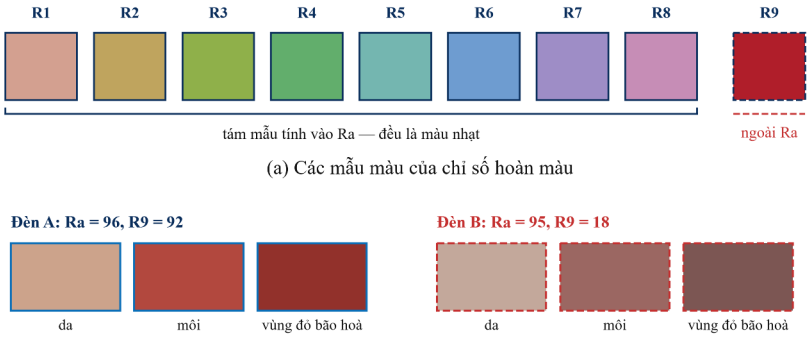
7.27 Chỉ số hoàn màu

7.27.1 CRI và chỉ số Ra

Chỉ số hoàn màu CRI, do CIE đưa ra năm 1965 và sửa đổi năm 1974, đo mức độ trung thực của màu dưới một nguồn sáng so với dưới một nguồn tham chiếu cùng nhiệt độ màu. Cách tính [19] [9]:

- Chọn nguồn tham chiếu: vật đen nếu CCT dưới 5000 K, phổ ban ngày chuẩn nếu CCT từ 5000 K trở lên.
- Tính màu của tám mẫu màu chuẩn dưới nguồn thử và dưới nguồn tham chiếu.
- Đo sai lệch ΔE của từng mẫu, quy thành điểm số theo công thức, rồi lấy trung bình:

$$R_i = 100 - 4{,}6\,\Delta E_i \quad ; \quad R_a = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} R_i \tag{7.33}$$



Hình 7.54 Tám mẫu màu của chỉ số Ra, và vì sao hai đèn cùng Ra vẫn có thể cho màu da hoàn toàn khác nhau

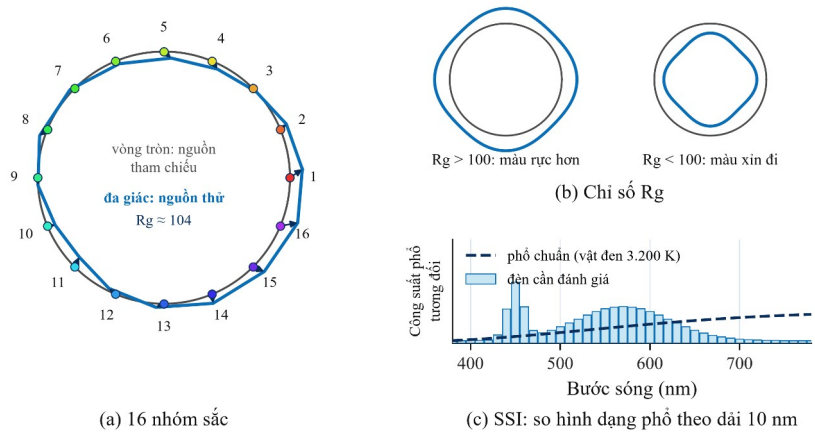
7.27.2 Vì sao Ra không đủ với đèn LED

Tám mẫu dùng để tính Ra đều là màu nhạt, độ bão hoà thấp, và phần lớn nằm ở vùng lục lam. Bộ mẫu ấy hợp lý vào năm 1965, khi mọi nguồn sáng nhân tạo đều có phổ liên tục hoặc gần liên tục, nhưng không còn phù hợp với đèn LED.

> **CẢNH BÁO 7.7 — MỘT ĐÈN CÓ THỂ ĐẠT Ra 95 MÀ TÁI TẠO MÀU ĐỎ RẤT TỆ**
>
> Vì tám mẫu đều nhạt, một đèn LED thiếu hẳn phần đỏ sâu vẫn có thể cho ΔE nhỏ trên cả tám mẫu và đạt Ra rất cao.
>
> Chỉ số R9 (mẫu đỏ bão hoà) nằm trong nhóm mẫu mở rộng và không được tính vào Ra, nhưng chính R9 quyết định sắc da người, sắc môi và màu máu trên hình.
>
> Vì vậy khi chọn đèn, cần xét cả hai con số. Với công việc màu nghiêm túc, Ra không dưới 95 và R9 không dưới 90; đèn chỉ quảng cáo "CRI 95+" mà không công bố R9 là đèn bỏ ngỏ chỉ số R9.

7.27.3 Hệ TM-30

Hệ IES TM-30, công bố năm 2015 và sửa đổi năm 2020, được xây dựng để thay thế CRI. Hệ này khác ở ba điểm căn bản: dùng 99 mẫu màu thay vì tám, trong đó có nhiều màu bão hoà; các mẫu được chọn để phủ đều không gian màu và đều dải bước sóng; và cho ra hai con số cùng một biểu đồ thay vì một con số [10].



(a) 16 nhóm sắc

(b) Chỉ số Rg

(c) SSI: so hình dạng phổ theo dải 10 nm

Hình 7.55 Biểu đồ vector TM-30 với 16 nhóm sắc, và ý nghĩa của hai chỉ số Rf, Rg cùng chỉ số SSI

Bảng 7.31 Hai chỉ số của TM-30

Chỉ số	Tên đầy đủ	Ý nghĩa	Ngưỡng nên đòi hỏi
Rf	Fidelity index — độ trung thực	Trung bình sai lệch màu trên 99 mẫu. Rf = 100 nghĩa là giống hệt nguồn tham chiếu. Vai trò tương tự Ra nhưng chặt chẽ hơn nhiều	Rf ≥ 90
Rg	Gamut index — độ bão hoà	Tỉ số diện tích của đa giác màu dưới nguồn thử so với dưới nguồn tham chiếu, tính theo phần trăm. Rg > 100 nghĩa là đèn làm màu RỰC hơn thực tế; Rg < 100 nghĩa là màu XỈN đi	Rg trong khoảng 95 – 105

Điểm mạnh nhất của TM-30 không nằm ở hai con số mà ở *biểu đồ vector*: biểu đồ chia vòng màu thành 16 nhóm sắc và vẽ một mũi tên cho mỗi nhóm, chỉ rõ màu của nhóm đó bị kéo đi đâu. Nhờ vậy người dùng thấy ngay đèn làm rực màu nào và làm xỉn màu nào.

Cần lưu ý rằng Rg = 100 chưa chắc là tốt nếu chỗ nở chỗ co bù trừ nhau. Đó là lý do phải xem cả biểu đồ chứ không chỉ hai con số, cũng giống như trong âm thanh, một đáp tuyến phẳng "trung bình" chưa chắc là đáp tuyến phẳng.

7.27.4 Chỉ số SSI

SSI (Spectral Similarity Index) do Viện Hàn lâm Khoa học và Nghệ thuật Điện ảnh Hoa Kỳ công bố năm 2016 và tiếp cận vấn đề theo một hướng hoàn toàn khác [11].

CRI và TM-30 đều đo màu như mắt người nhìn thấy, trong khi cảm biến máy quay có ba đường nhạy khác với ba đường nhạy của mắt. Vì vậy hai đèn cùng CRI, cùng TM-30 vẫn có thể lên hình khác hẳn nhau, đó là hiện tượng lỗi đồng phân của máy quay đã nhắc ở mục 7.8.4.

SSI không đo màu mà so trực tiếp hình dạng phổ của đèn với một phổ chuẩn đã chọn (chẳng hạn vật đen 3200 K hoặc phổ ban ngày 5600 K), bằng cách chia

phổ thành các dải 10 nm rồi tính sai lệch có trọng số. Thang điểm chạy từ 0 tới 100.

> **GHI NHỚ 7.25 — BA CHỈ SỐ, BA CÂU HỎI KHÁC NHAU**
>
> **CRI Ra trả lời câu hỏi:** màu nhạt dưới đèn này có giống dưới nguồn tham chiếu không, đối với mắt người?
>
> **TM-30 Rf và Rg trả lời câu hỏi:** màu ở mọi độ bão hoà có giống không và bị kéo đi đâu, đối với mắt người?
>
> **SSI trả lời câu hỏi:** phổ của đèn này có giống phổ chuẩn không; câu hỏi này liên quan trực tiếp tới việc máy quay sẽ ghi được gì, và tới việc hai đèn khác nhau trong cùng một cảnh có ghép được với nhau không.
>
> Khi mua đèn cho quay phim, thứ tự ưu tiên hợp lý là xem SSI nếu nhà sản xuất công bố, rồi TM-30, rồi mới tới CRI và R9.

7.27.5 Đọc thông số hoàn màu khi mua đèn

Thị trường đèn LED cho quay phim ở Việt Nam rất rộng, giá chênh nhau tới hàng chục lần cho cùng một công suất danh định. Phần lớn chênh lệch ấy nằm ở chất lượng phổ, và bảng dưới đây là danh sách kiểm tra ngắn gọn khi đọc thông số hoặc khi hỏi người bán.

Bảng 7.32 Danh sách kiểm tra khi chọn đèn theo chất lượng phổ

Câu hỏi	Trả lời tốt	Dấu hiệu đáng ngờ
CRI Ra là bao nhiêu?	≥ 95	chỉ ghi "CRI cao" mà không có số; hoặc ghi "CRI 98" cho một đèn giá rất rẻ
R9 là bao nhiêu?	≥ 90	không công bố; hoặc trả lời "R9 nằm trong CRI rồi" — câu trả lời sai về mặt kỹ thuật
Có số liệu TM-30 không?	có Rf và Rg, kèm biểu đồ vector	không có; hoặc chỉ có Rf mà không có Rg
Có số liệu SSI không?	có, kèm phổ chuẩn được so sánh	không có — chấp nhận được với đèn phổ thông, nhưng không chấp nhận được với đèn hạng chuyên nghiệp
Duv là bao nhiêu?		Duv
Có biểu đồ phổ không?	có, vẽ từ 380 tới 780 nm	chỉ có hình minh hoạ chung chung, không phải phổ đo thật của model đó

Khi không có máy đo, có thể kiểm tra nhanh tại chỗ bằng cách chiếu đèn vào một vật màu đỏ bão hoà (quả cà chua, chiếc áo đỏ tươi, hộp mực đỏ) rồi so với cùng vật ấy dưới ánh sáng cửa sổ ban ngày. Nếu màu đỏ dưới đèn trông xỉn, nâu hoặc cam hơn hẳn thì đèn có R9 thấp, bất kể con số CRI ghi trên hộp là bao nhiêu.

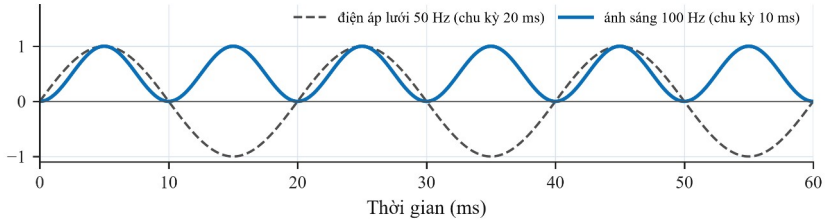
7.28 Nhấp nháy và tần số lưới điện

7.28.1 Cơ chế nhấp nháy

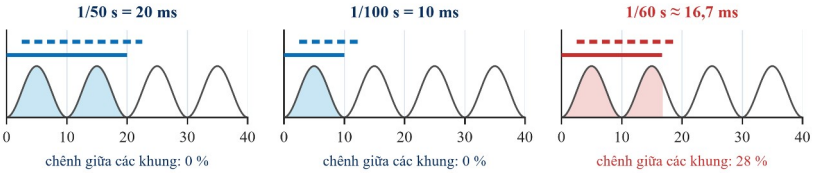
Đèn phóng điện và đèn huỳnh quang chạy trực tiếp từ lưới xoay chiều sẽ tắt và sáng lại mỗi lần dòng điện đi qua không. Vì một chu kỳ xoay chiều có *hai* lần dòng qua không, tần số nhấp nháy của ánh sáng bằng hai lần tần số lưới [20]:

$$f_{\text{nn}} = 2f_{\text{AC}} = 100\ \text{Hz} \quad ; \quad t_{\text{shutter}} = \frac{k}{f_{\text{nn}}} \quad , \quad k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots \tag{7.34}$$

Lưới điện Việt Nam có tần số 50 Hz nên đèn nhấp nháy ở 100 Hz, tức chu kỳ sáng 10 mili giây; đây là giá trị người làm hình cần ghi nhớ.



(a) Lưới 50 Hz cho ánh sáng nhấp nháy 100 Hz



(b) Cửa sổ phơi sáng: hai khung bắt đầu lệch pha 2,5 ms

Hình 7.56 Lưới 50 Hz cho ánh sáng nhấp nháy ở 100 Hz, và cửa sổ phơi sáng của ba tốc độ màn trập thường dùng

7.28.2 Điều kiện để không bị vằn sáng

Mỗi khung hình tích luỹ ánh sáng trong suốt thời gian màn trập mở. Nếu thời gian đó là một bội số nguyên của chu kỳ nhấp nháy, mọi khung đều tích được đúng cùng một lượng ánh sáng, bất kể khung bắt đầu ở pha nào; nếu không, lượng ánh sáng mỗi khung sẽ khác nhau và trên màn hình xuất hiện vằn sáng trôi.

Bảng 7.33 Tốc độ màn trập theo hệ lưới điện

Hệ lưới điện	Tần số nhấp nháy	Chu kỳ sáng	Tốc độ AN TOÀN	Tốc độ gây VẰN SÁNG
50 Hz — Việt Nam, châu Âu, phần lớn châu Á	100 Hz	10 ms	1/25 s, 1/50 s, 1/100 s	1/60 s, 1/120 s, 1/200 s và mọi tốc độ nhanh hơn
60 Hz — Bắc Mỹ, Nhật miền đông	120 Hz	8,33 ms	1/30 s, 1/60 s, 1/120 s	1/50 s, 1/100 s, 1/240 s

CẢNH BÁO 7.8 — THÓI QUEN 1/60 GIÂY LÀ NGUYÊN NHÂN PHỔ BIẾN NHẤT

Nhiều tài liệu hướng dẫn quay phim trên mạng xuất phát từ Bắc Mỹ, nơi lưới điện là 60 Hz và tốc độ 1/60 giây là an toàn.

Ở Việt Nam, 1/60 giây bằng 16,7 mili giây, tức 1,67 chu kỳ sáng. Giá trị này không phải bội số nguyên nên lượng ánh sáng mỗi khung chênh nhau tới hơn hai mươi phần trăm, và hình có vằn sáng trôi rất rõ khi quay dưới đèn huỳnh quang hoặc đèn LED giá thấp.

Với truyền hình Việt Nam quay ở 25 hình mỗi giây, tốc độ màn trập chuẩn theo góc 180° là 1/50 giây, vừa đúng quy ước điện ảnh, vừa là bội số của chu kỳ nhấp nháy. Đây là thuận lợi của hệ 50 Hz mà người quay nên tận dụng.

7.28.3 Nhấp nháy của đèn LED và điều chế độ rộng xung

Đèn LED chạy bằng nguồn một chiều thì không nhấp nháy theo lưới. Tuy nhiên, phần lớn đèn LED giảm sáng bằng cách băm xung (điều chế độ rộng xung, PWM), tức bật tắt rất nhanh với tỉ lệ thời gian bật thay đổi; mắt người không thấy được hiện tượng này nhưng máy quay thì ghi nhận được.

Tần số băm xung quyết định mức độ nguy hại. Đèn giá thấp băm ở vài trăm hertz tới vài kilohertz nên rất dễ gây vằn, còn đèn chuyên nghiệp băm ở trên 20 kHz hoặc giảm sáng bằng dòng điện nên gần như không gây vằn ở mọi tốc độ màn trập.

QUY TẮC 7.6 — BA THÔNG SỐ CẦN HỎI KHI MUA ĐÈN LED

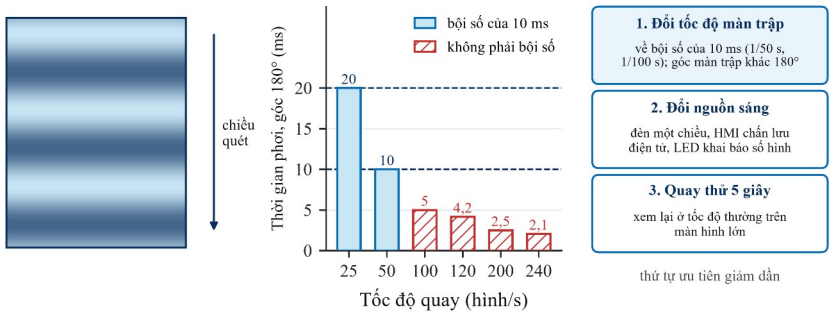
Tần số điều chế khi giảm sáng tối thiểu là 20 kHz.

Đèn có chế độ "flicker-free" cho phép khai báo số hình mỗi giây hay không. Đèn tốt cho phép nhập 25, 50, 100 hoặc 24, 48 và tự đồng bộ.

Đèn có công bố chỉ số nhấp nháy (flicker percent hoặc flicker index) hay không. Chỉ số nhấp nháy dưới 5 phần trăm là an toàn cho mọi tốc độ màn trập thông dụng.

7.28.4 Quay chậm và màn trập cuốn

Quay chậm làm vấn đề nghiêm trọng hơn nhiều. Ở 25 hình mỗi giây với góc màn trập 180°, thời gian phơi là 20 mili giây, đúng hai chu kỳ sáng; nhưng ở 100 hình mỗi giây, thời gian phơi chỉ còn 5 mili giây, tức nửa chu kỳ, và vằn sáng xuất hiện ngay.



(a) Màn trập cuốn (b) Quay chậm (c) Cách xử lý

Hình 7.57 Màn trập cuốn sinh vằn ngang; quay chậm hiếm khi rơi đúng bội số của chu kỳ nhấp nháy; và ba cách xử lý trên hiện trường

Cảm biến CMOS đọc dữ liệu theo từng hàng thay vì đọc cả khung cùng lúc, cơ chế này gọi là *màn trập cuốn*. Trong một khung hình, các hàng nằm ở những thời điểm khác nhau nên rơi vào các pha khác nhau của chu kỳ nhấp nháy; kết quả là những vằn ngang chạy dọc khung hình, cố định hoặc trôi chậm, thay vì cả khung sáng tối luân phiên.

Cách xử lý theo thứ tự ưu tiên:

– Đổi tốc độ màn trập về bội số của 10 mili giây, chấp nhận góc màn trập khác 180 độ và độ nhoè chuyển động thay đổi đôi chút.
– Đổi nguồn sáng: dùng đèn một chiều, đèn HMI có chấn lưu điện tử flicker-free, hoặc đèn LED chuyên nghiệp có khai báo số hình.
– Nếu buộc phải giữ cả tốc độ lẫn nguồn sáng, cần quay thử năm giây và xem lại trên màn hình lớn ở tốc độ thường, vì vằn sáng rất khó nhận thấy trên màn hình nhỏ của máy quay.

7.29 Kính lọc và gel

Có hai vị trí để can thiệp vào ánh sáng: trước nguồn (gel dán lên đèn) và trước ống kính (kính lọc). Hai vị trí này không thay thế được cho nhau.



CTB toàn phần	CTB 1/2	CTO toàn phần	CTO 1/2	Minus green	Khuếch tán 216
3.200 K → 5.500 K	3.200 K → 4.100 K	5.500 K → 2.900 K	5.500 K → 3.800 K	khử ám lục	làm mềm bóng đổ
−131 mired	−68 mired	+159 mired	+81 mired	không đổi kelvin	không đổi màu
mất ≈ 1,5 stop	mất ≈ 1 stop	mất ≈ 1 stop	mất ≈ 2/3 stop	mất ≈ 1/3 stop	mất ≈ 1 1/3 stop

(a) Gel chuyển nhiệt độ màu và gel sửa ám lục

Kính lọc	Làm gì	Khi nào dùng	Mất sáng
ND 0,3 / 0,6 / 0,9 / 1,2	giảm đều mọi bước sóng	giữ khẩu độ mở khi trời nắng, giữ góc màn trập 180°	1 / 2 / 3 / 4 stop
ND biến thiên	hai kính phân cực xoay ngược nhau	đổi nhanh khi ánh sáng thay đổi; vặn quá tay sinh vệt chữ X	1 – 8 stop
Phân cực CPL	chặn ánh sáng đã phân cực	khử phản xạ trên kính, nước, lá; làm sẫm trời xanh	1 – 2 stop
IR cut	chặn hồng ngoại lọt qua ND dày	khi chồng nhiều ND, vải đen ngả nâu đỏ	không đáng kể
Khuếch tán / Black Pro-Mist	làm mềm vùng sáng, giảm tương phản	làm dịu da, tạo quầng quanh đèn	0 – 1/3 stop

(b) Kính lọc lắp trước ống kính

Hình 7.58 Gel chuyển nhiệt độ màu, gel sửa ám lục, và các loại kính lọc lắp trước ống kính kèm lượng ánh sáng mất đi

7.29.1 Gel dán trên đèn

Gel là những tấm nhựa màu chịu nhiệt, dán trước đèn để đổi phổ của nguồn trước khi ánh sáng chiếu vào cảnh. Có bốn nhóm chính:

- **CTB (Colour Temperature Blue):** nâng nhiệt độ màu, biến đèn dây tóc 3200 K thành ánh sáng gần với ban ngày. Gel có các mức toàn phần, 1/2, 1/4, 1/8; mức toàn phần đưa 3200 K lên khoảng 5500 K và làm mất khoảng một stop rưỡi ánh sáng.
- **CTO (Colour Temperature Orange):** hạ nhiệt độ màu, biến đèn HMI hoặc ánh sáng cửa sổ thành tông tungsten; gel cũng có các mức phân số tương tự.
- **Minus green:** gel màu sen nhạt, dùng để khử ám lục của đèn huỳnh quang và đèn LED có Duv dương, với các mức 1/8, 1/4, 1/2 và toàn phần. Gel ngược lại là plus green, dùng khi cần cho đèn của đoàn làm phim khớp với đèn huỳnh quang có sẵn của bối cảnh.
- **Khuếch tán:** không đổi màu mà đổi độ mềm của ánh sáng, biến một đèn nhỏ thành một mặt phát rộng và làm bóng đổ mềm đi. Các ký hiệu quen thuộc là 216 (khuếch tán mạnh), 250, 251 và các loại lụa.

GHI NHỚ 7.26 — CÔNG THỨC MIRED — CÁCH TÍNH GEL CHÍNH XÁC

Nhiệt độ màu không cộng trừ tuyến tính được: mức đổi từ 3200 K lên 4000 K không tương đương mức đổi từ 8000 K lên 8800 K.

Đơn vị MIRED (micro reciprocal degree) giải quyết vấn đề này: một gel được đặc tả bằng độ dịch MIRED của nó, và độ dịch ấy là hằng số bất kể gel áp lên nguồn nào.

$$\frac{10^6}{T_2} - \frac{10^6}{T_1} = \Delta\text{MK} \quad \text{(mired)} \tag{7.35}$$

Ví dụ, gel CTB toàn phần có độ dịch khoảng −131 mired. Áp lên đèn 3200 K (312 mired) cho 312 − 131 = 181 mired, tức khoảng 5500 K; áp cùng gel ấy lên đèn 5600 K (179 mired) cho 179 − 131 = 48 mired, tức hơn 20 000 K, một giá trị vô nghĩa trong thực tế và là lý do không dùng CTB trên nguồn vốn đã lạnh.

7.29.2 Kính lọc trước ống kính

Kính lọc tác động lên toàn bộ ánh sáng vào ống kính, kể cả ánh sáng từ những nguồn không kiểm soát được, nên đặc điểm này vừa là ưu điểm vừa là nhược điểm của nó.

Kính lọc ND (Neutral Density) giảm đều mọi bước sóng, và lượng ánh sáng mất đi được tính theo mật độ quang:

$$\Delta\text{EV} = -\log_2 \tau \quad ; \quad \text{ND}\, D = -\log_{10} \tau \tag{7.36}$$

Bảng 7.34 Bảng quy đổi kính lọc ND

Ký hiệu mật độ	Ký hiệu số lần	Hệ số truyền qua τ	Mất bao nhiêu stop
ND 0.3	ND2	50 %	1
ND 0.6	ND4	25 %	2
ND 0.9	ND8	12,5 %	3
ND 1.2	ND16	6,25 %	4
ND 1.8	ND64	1,56 %	6
ND 3.0	ND1000	0,1 %	10

Hai lưu ý khi dùng ND:

– ND "trung tính" thực ra không hoàn toàn trung tính: kính giá thấp thường ám lục hoặc ám sen, và độ ám càng rõ khi mật độ càng cao. Vì vậy cần thử trước và ghi lại độ lệch để bù ở khâu chỉnh màu.
– Với ND dày, phần hồng ngoại lọt qua nhiều hơn phần nhìn thấy vì lớp phủ chỉ được thiết kế cho dải nhìn thấy, và hậu quả là vải đen ngả nâu đỏ. Do đó cần dùng thêm kính lọc IR cut hoặc chọn loại ND có tích hợp sẵn IR cut.

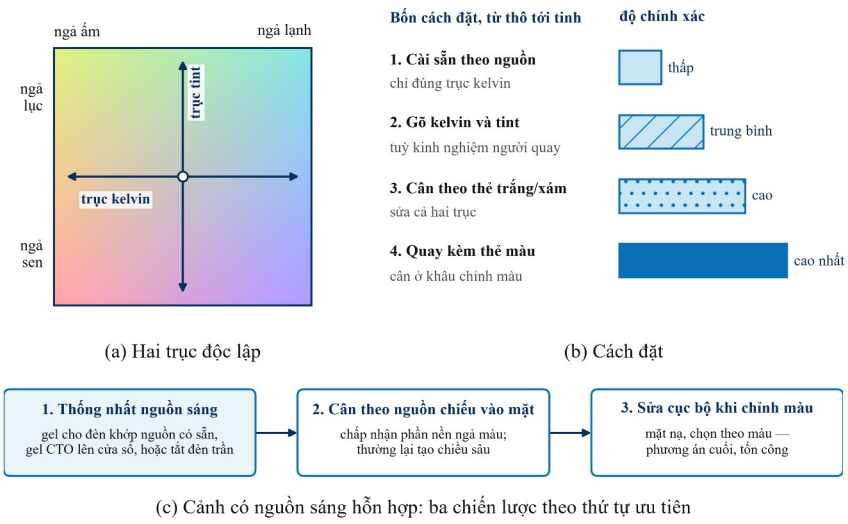
7.30 Cân bằng trắng trong thực tế

7.30.1 Cân bằng trắng làm gì về mặt toán học

Toàn bộ thao tác cân bằng trắng quy về một phép nhân ba hệ số:

$$R' = k_R R \quad , \quad G' = k_G G \quad , \quad B' = k_B B \quad ; \quad k_i = \frac{W_i^{đ}}{W_i^{n}} \qquad (7.37)$$

Ở đây tử số là giá trị mong muốn (đích) của kênh i đối với vật trung tính, còn mẫu số là giá trị đo được trong cảnh (nguồn). Ba hệ số được chọn sao cho một vật trung tính trong cảnh cho ra ba giá trị bằng nhau sau khi nhân. Đây chính là mô hình von Kries của mục 7.11, tức máy quay mô phỏng lại điều mà não người thực hiện một cách tự động.

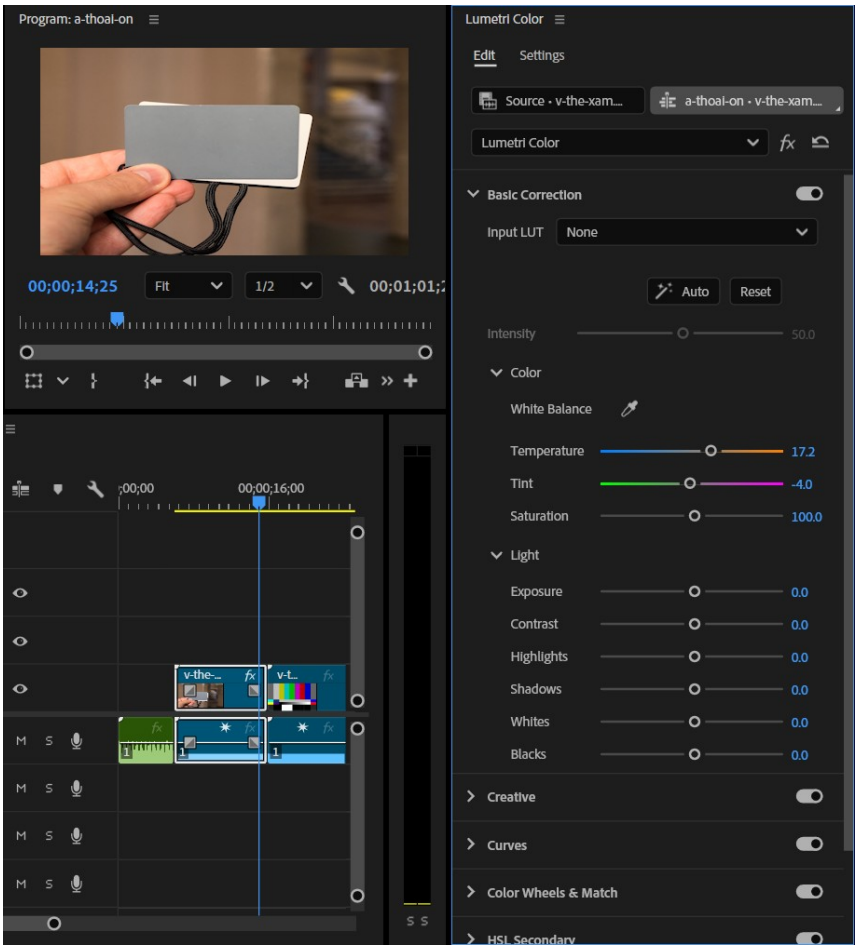


Hình 7.59 Cân bằng trắng có hai trục độc lập, bốn cách đặt, và cách xử lý cảnh có nguồn sáng hỗn hợp

7.30.2 Hai trục độc lập

Như đã nêu ở mục 7.15.4, cân bằng trắng có hai trục:

Hình 7.60 cho thấy mục Basic Correction của bảng Lumetri Color: bút White Balance Selector lấy mẫu thẻ xám, hai thanh Temperature và Tint chuyển đúng theo hai trục độc lập của cân bằng trắng.



Hình 7.60 Lumetri Color trong Adobe Premiere Pro: lấy mẫu thẻ xám bằng White Balance Selector, Temperature và Tint tự điều chỉnh (tệp mẫu tổng hợp)

Nguồn: ảnh chụp màn hình do người soạn thực hiện (Adobe Premiere Pro 2026), 07/11/2026.

- **Trục Kelvin:** chạy dọc quỹ tích Planck, dùng để sửa ám ấm và ám lạnh.
- **Trục Tint:** chạy vuông góc với quỹ tích, dùng để sửa ám lục và ám sen; trục này chính là Duv đổi dấu.

CẢNH BÁO 7.9 — LƯU Ý VỀ CHIỀU CỦA TRỤC KELVIN

Nếu đặt số kelvin thấp hơn nhiệt độ màu thật của nguồn thì ảnh ngả lạnh; nếu đặt cao hơn thì ảnh ngả ấm.

Kết quả này ngược với trực giác và là nhầm lẫn phổ biến nhất của người mới. Nguyên nhân là con số nhập vào chỉ là lời khai báo về nguồn sáng, và máy bù ngược lại lời khai báo đó: khai báo "nguồn rất ấm" thì máy thêm lam để bù.

Cách ghi nhớ: kelvin trong menu là số liệu người quay khai báo với máy về đèn, không phải màu mà người quay muốn có.

7.30.3 Bốn cách đặt, từ thô tới tinh

Bảng 7.35 Bốn cách đặt cân bằng trắng

Cách	Thao tác	Độ chính xác	Dùng khi nào
① Cài sẵn theo nguồn	Chọn biểu tượng nắng, mây, dây tóc, huỳnh quang	thấp — chỉ đúng trục kelvin, không sửa được tint	quay tin nhanh, tình huống gấp
② Gõ số kelvin và tint bằng tay	Nhập trực tiếp giá trị hai trục	trung bình — phụ thuộc kinh nghiệm ước lượng của người quay	khi đã biết rõ nguồn sáng, hoặc khi cố ý muốn một tông màu
③ Cân theo thẻ trắng hoặc thẻ xám	Đặt thẻ tại vị trí diễn viên, chiếu đúng ánh sáng chính, bấm nút cân bằng	cao — sửa được cả hai trục cùng lúc	cách chuẩn cho phần lớn công việc
④ Quay kèm thẻ màu, cân ở khâu chỉnh màu	Quay ba giây có thẻ màu chuẩn ở đầu mỗi cảnh, rồi cân bằng phần mềm	cao nhất — sửa được cả sai lệch phổ của nguồn	phim truyện, quảng cáo, mọi việc quay ở định dạng log hoặc raw

Một chi tiết dễ bỏ qua ở cách thứ ba là thẻ phải được chiếu bằng ánh sáng chính của cảnh, cùng góc với khuôn mặt diễn viên; cầm thẻ đứng ở chỗ khác, hoặc hướng thẻ về phía đèn thay vì về phía máy quay, sẽ cho kết quả sai.

Hình 7.61 là bảng thử màu 24 ô, gồm các ô màu tự nhiên, màu cơ bản và sáu bậc xám, thường được quay ở đầu cảnh để cân bằng trắng và chỉnh màu ở khâu hậu kỳ.



Hình 7.61 Bảng thử màu 24 ô (ColorChecker) với hàng xám dưới cùng

Nguồn: ColorScientist, Public domain, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

7.30.4 Cảnh có nguồn sáng hỗn hợp

Đây là tình huống khó nhất và cũng thường gặp nhất: một căn phòng có cửa sổ ban ngày 6000 K, đèn trần huỳnh quang 4200 K ám lục và một đèn bàn dây tóc 2700 K, trong đó không có giá trị cân bằng trắng nào đúng cho cả khung hình.

Ba chiến lược, theo thứ tự ưu tiên:

- **Thống nhất nguồn sáng.** Dán gel cho đèn của đoàn làm phim khớp với nguồn có sẵn, hoặc dán gel lên cửa sổ (tấm CTO khổ lớn), hoặc tắt hẳn đèn trần và thay bằng đèn của đoàn. Đây là cách chuyên nghiệp và cho kết quả sạch nhất.
- **Cân theo nguồn chiếu vào mặt người.** Chấp nhận phần nền ngả màu. Trong nhiều trường hợp, chênh lệch màu giữa mặt người trung tính và nền ngả ấm hoặc ngả lạnh lại đẹp và tạo chiều sâu; đây là cơ sở của rất nhiều cảnh nội thất trong phim.
- **Sửa cục bộ ở khâu chỉnh màu.** Dùng mặt nạ hoặc công cụ chọn theo màu để chỉnh riêng từng vùng; cách này tốn nhiều công và chỉ nên coi là phương án cuối.

7.30.5 Cân bằng trắng khi quay log và raw

Với định dạng RAW, cân bằng trắng chỉ là một mục siêu dữ liệu: dữ liệu cảm biến được ghi nguyên vẹn và ba hệ số chỉ được áp khi giải mã. Vì vậy, việc sửa lại cân bằng trắng ở khâu hậu kỳ không làm mất thông tin nào.

Với định dạng log ghi thẳng, ba hệ số đã được nhân vào tín hiệu trước khi ghi. Có thể sửa lại sau, nhưng nếu sai lệch lớn thì kênh bị nhân lên nhiều sẽ lộ nhiễu; vì vậy vẫn nên cân bằng trắng đúng ngay tại hiện trường, kể cả khi quay log.

Trong cả hai trường hợp, việc quay ba giây có thẻ màu chuẩn ở đầu mỗi cảnh là thói quen tốn ít công nhất và tiết kiệm nhiều thời gian nhất ở hậu kỳ.

7.31 Bài thực hành số 4 — đo nguồn sáng và cân bằng trắng

Mục tiêu

- Nhận dạng được bốn họ nguồn sáng qua phổ và qua biểu hiện trên hình.
- Kiểm chứng được ảnh hưởng của chỉ số hoàn màu lên màu da người.
- Xác định được bằng thực nghiệm các tốc độ màn trập an toàn dưới lưới 50 Hz.
- Thực hiện được cân bằng trắng bằng cả bốn cách và so sánh kết quả.

Thiết bị

- Ít nhất bốn nguồn sáng: một đèn dây tóc hoặc halogen, một đèn huỳnh quang dân dụng, một đèn LED giá thấp, một đèn LED chuyên dụng có công bố CRI và R9.
- Máy quay có chỉnh tay hoàn toàn, có waveform và vectorscope.
- Thẻ xám 18 phần trăm và bảng màu chuẩn.
- Máy đo màu cầm tay nếu có; nếu không, dùng ứng dụng điện thoại.
- Bộ gel CTB, CTO và minus green.
- Một người mẫu; tốt nhất là hai người có màu da khác nhau rõ rệt.

Phần 1 — Nhận dạng nguồn sáng (30 phút)

Chiếu lần lượt bốn nguồn sáng vào cùng một bố cục gồm người mẫu, bảng màu chuẩn, một vật màu đỏ bão hoà (quả cà chua, chiếc áo đỏ) và một vật màu lơ, rồi cân bằng trắng đúng cho từng nguồn bằng thẻ xám.

Bảng 7.36 Phiếu ghi kết quả Phần 1

Nguồn sáng	CCT đo được	Duv	Nhận xét về màu ĐỎ	Nhận xét về màu LƠ	Nhận xét về DA
Dây tóc / halogen					
Huỳnh quang dân dụng					
LED rẻ tiền					
LED chuyên dụng					

Kết quả cần rút ra là dù cân bằng trắng đúng cho cả bốn nguồn, màu đỏ bão hoà và màu lơ vẫn khác nhau rõ rệt giữa các nguồn. Đây là bằng chứng trực tiếp cho luận điểm ở mục 7.26.4: cân bằng trắng không sửa được phổ khuyết.

Phần 2 — Vằn sáng và tốc độ màn trập (25 phút)

Dùng đèn huỳnh quang hoặc đèn LED giá thấp chạy trực tiếp từ lưới, quay một bức tường phẳng sáng đều lần lượt ở các tốc độ màn trập sau, mỗi tốc độ năm giây.

Bảng 7.37 Phiếu ghi kết quả Phần 2

Tốc độ màn trập	Thời gian phơi (ms)	Số chu kỳ 10 ms	Dự đoán	Kết quả quan sát
1/50 s	20,0	2,00	an toàn	
1/60 s	16,7	1,67	có vằn	
1/100 s	10,0	1,00	an toàn	
1/120 s	8,3	0,83	có vằn	
1/200 s	5,0	0,50	có vằn	
1/250 s	4,0	0,40	có vằn	

Xem lại trên màn hình lớn ở tốc độ thường, không xem trên màn hình của máy, và ghi lại mức độ vằn theo thang ba mức: không thấy, thấy nhẹ, thấy rõ.

Phần mở rộng nếu có thời gian: đổi sang chế độ quay chậm 100 hoặc 120 hình mỗi giây và lặp lại, đồng thời ghi nhận các vằn ngang do màn trập cuốn.

Phần 3 — Bốn cách cân bằng trắng (30 phút)

Đặt người mẫu dưới ánh sáng đèn huỳnh quang và quay cùng một khuôn hình bốn lần, mỗi lần dùng một cách đặt cân bằng trắng khác nhau:

- Dùng cài sẵn "huỳnh quang" của máy.
- Gõ tay 4200 K, tint 0.
- Cân theo thẻ xám đặt tại vị trí mặt người.
- Quay ở chế độ log kèm ba giây thẻ màu chuẩn, rồi cân bằng trắng ở phần mềm.

So sánh bốn kết quả trên vectorscope: đo khoảng cách từ chùm điểm da tới đường 123°, đo độ lệch của chùm điểm thẻ xám khỏi tâm và ghi thành bảng.

Phần 4 — Dùng gel để thống nhất nguồn sáng (25 phút)

Dựng một cảnh có hai nguồn: ánh sáng cửa sổ ban ngày và một đèn dây tóc hoặc halogen.

- Quay không dùng gel, cân bằng theo cửa sổ và quan sát vùng được đèn dây tóc chiếu.
- Dán CTB toàn phần lên đèn dây tóc, cân bằng lại theo cửa sổ, quay lại và so sánh.
- Bỏ CTB, thay bằng cách dán CTO lên cửa sổ (hoặc mô phỏng bằng cách cân bằng theo đèn dây tóc), quay lại và so sánh cả ba phương án.

Thảo luận: trong ba phương án, phương án nào cho kết quả sạch nhất về màu, phương án nào tốn ít ánh sáng nhất và phương án nào khả thi nhất khi cửa sổ rộng bốn mét.

Kết quả cần có

Sau bài thực hành, người đọc nên có: bảng số liệu Phần 1 kèm bốn ảnh trích khung; bảng Phần 2 kèm ảnh trích khung của hai trường hợp có vằn rõ nhất; bốn ảnh chụp vectorscope của Phần 3 kèm bảng đo; ba ảnh của Phần 4 kèm kết luận. Cuối cùng, người đọc tự trả lời ngắn gọn câu hỏi: nếu chỉ được chọn một chỉ số để quyết định mua đèn thì chọn chỉ số nào và vì sao.

TÓM TẮT CHƯƠNG 7

Những điều cần nhớ của Chương 7:

1. Ánh sáng trắng là một phổ liên tục. Đỏ – lục – lam là ba màu cơ bản của hệ tái tạo, được chọn theo ba loại tế bào nón của mắt người, nên chúng là đặc điểm của người xem chứ không phải của ánh sáng.
2. Bốn đại lượng trắc quang trả lời bốn câu hỏi khác nhau: độ rọi (lux) là ánh sáng đến bề mặt, còn độ chói (cd/m²) là ánh sáng rời bề mặt về phía máy quay. Đo sáng tới cho khẩu độ đúng, trong khi đo sáng phản xạ bị đánh lừa bởi nền.
3. Mắt lấy ba mẫu của phổ, nên hai phổ khác hẳn nhau vẫn có thể cho cùng một màu. Hiện tượng này gọi là *đồng phân dị phổ*, là điều kiện tồn tại của mọi màn hình và cũng là nguồn gốc của những sai lệch màu khi đổi nguồn sáng.
4. Thị giác sáng có đỉnh nhạy 555 nm, còn thị giác tối có đỉnh 507 nm. Sự dịch chuyển này là hiệu ứng Purkinje và là cơ sở sinh lý của quy ước quay cảnh đêm ngả lam.
5. Mắt cảm nhận độ sáng theo hàm luỹ thừa, đó là gốc của gamma và là lý do 8 bit đủ cho ảnh SDR, trong khi mã tuyến tính sẽ cần tới 12 – 14 bit.
6. Hệ CIE 1931 gán cho mỗi màu một cặp toạ độ x, y. Giản đồ sắc chỉ mô tả sắc độ mà không mô tả độ chói, đồng thời không đồng đều theo cảm nhận, nên mọi phép đo khoảng cách màu phải thực hiện trên hệ 1976 u′v′.
7. Nhiệt độ màu tương quan (CCT) và độ lệch Duv là hai trục độc lập. Trục Duv tương ứng với trục tint lục – sen của cân bằng trắng, và là thông số người mới học thường bỏ qua.
8. Ba hàm OETF, EOTF và OOTF mô tả ba chặng của dây chuyền. Gamma hệ thống được đặt ở 1,1 – 1,2 thay vì bằng 1 để bù cho môi trường xem tối.
9. Điểm nghẽn của dây chuyền nằm ở màn hình, không phải ở cảm biến: cảm biến ghi 14 stop trong khi màn hình SDR chỉ hiển thị 6 stop. Vì vậy chỉnh màu về bản chất là công việc nén dải động.
10. Lưới điện Việt Nam 50 Hz nên đèn nhấp nháy ở 100 Hz, và tốc độ màn trập an toàn là bội số nguyên của 10 mili giây: 1/25, 1/50, 1/100 giây. Thói quen dùng 1/60 giây lấy từ tài liệu Bắc Mỹ là nguyên nhân phổ biến nhất của vằn sáng trôi.

Nối sang các chương sau

Chương này dừng lại đúng ở chỗ ánh sáng đã trở thành con số; ba chương video tiếp theo nhận tiếp từ đó:

Bảng 7.38 Chương 7 nối sang những chương nào

Khái niệm của Chương 7	Được dùng tiếp ở đâu
Độ nhạy tương phản của kênh màu (mục 7.10)	Lấy mẫu con thành phần màu 4:2:2 và 4:2:0 — chương Video số
Y′CbCr và ba hệ số Rec.709 (mục 7.17)	Cấu trúc tín hiệu và nén video — chương Video số
Gamma, OETF và EOTF (mục 7.20)	Lượng tử hoá, dải hẹp và dải rộng, độ sâu bit — chương Video số
Gam màu Rec.709 và Rec.2020 (mục 7.16)	Chuẩn giao nộp và QCVN 63:2020/BTTTT — chương Video số
Dải động và stop (mục 7.21)	Cảm biến, kích thước điểm ảnh, nhiễu — chương Camera
Luật nghịch đảo bình phương và bốn đại lượng (mục 7.4)	Bố trí ánh sáng ba điểm, tỉ số tương phản — chương Camera
Waveform, vectorscope, false colour (mục 7.24)	Quy trình kiểm tra kỹ thuật trước khi giao nộp — chương Camera
Nhấp nháy và tốc độ màn trập (mục 7.28)	Tần số hình, quét xen kẽ và quét liên tục — chương Video số

7.32 Câu hỏi và bài tập ôn tập

A. Câu hỏi lý thuyết

1. Nêu ba điểm giống nhau và một điểm khác nhau quyết định giữa miền âm thanh và miền ánh sáng, đồng thời giải thích vì sao điểm khác nhau ấy là nền móng của toàn bộ kỹ thuật màu.
2. Giải thích vì sao câu "ánh sáng trắng gồm ba màu đỏ, lục, lam" là sai, và phát biểu lại cho đúng bằng ba bước lập luận.
3. Phân biệt đại lượng bức xạ với đại lượng trắc quang, và nêu vai trò của hàm V(λ) trong việc nối hai hệ đại lượng đó.
4. Nêu định nghĩa và đơn vị của bốn đại lượng trắc quang, đồng thời xác định đại lượng mà máy quay thực sự ghi lại và giải thích lý do.
5. Phát biểu luật nghịch đảo bình phương và luật cosin Lambert, rồi giải thích vì sao dịch chuyển đèn là cách chỉnh độ sáng tốt hơn việc vặn công suất.
6. Giải thích vì sao đo sáng phản xạ bị đánh lừa bởi nền trắng hoặc nền đen, và nêu ba cách khắc phục.
7. So sánh tế bào que và tế bào nón theo sáu tiêu chí, đồng thời giải thích vì sao ban đêm phải nhìn chệch hướng mới thấy được ngôi sao mờ.
8. Nêu đỉnh nhạy, tính bằng nanomét, của ba loại tế bào nón, và giải thích vì sao mù màu đỏ – lục phổ biến hơn mù màu lam – vàng rất nhiều.

9. Định nghĩa đồng phân dị phổ, và nêu một mặt tích cực cùng hai mặt tiêu cực của hiện tượng này trong sản xuất hình ảnh.
10. Trình bày hiệu ứng Purkinje và giải thích cơ sở sinh lý của quy ước quay cảnh đêm ngả lam.
11. Giải thích vì sao mã hoá tuyến tính lãng phí bit, dựa trên ngưỡng Weber và luật Stevens.
12. Nêu điều mà hàm độ nhạy tương phản cho thấy về kênh màu so với kênh độ chói, cùng hai hệ quả kỹ thuật trực tiếp.
13. Trình bày mô hình von Kries và giải thích vì sao đây là cơ sở sinh lý của cân bằng trắng.
14. Phân biệt ba từ luminance, lightness và brightness.
15. Giải thích bằng cơ chế hấp thụ vì sao ba màu cơ bản trừ là lơ, sen và vàng mà không phải lục, sen và vàng.
16. Mô tả thí nghiệm phối màu của CIE, giải thích vì sao hệ RGB gốc có giá trị âm và hệ XYZ khắc phục điều đó bằng cách nào.
17. Nêu bốn thành phần của giản đồ sắc CIE 1931 và ba giới hạn của giản đồ này.
18. Phân biệt nhiệt độ màu thật với nhiệt độ màu tương quan, đồng thời nêu định nghĩa của Duv và trục tương ứng của nó trong menu cân bằng trắng.
19. So sánh bốn gam màu chuẩn Rec.709, Adobe RGB, DCI-P3 và Rec.2020 về ba màu cơ bản, điểm trắng và phạm vi sử dụng.
20. So sánh hai chiến lược ánh xạ gam màu, rồi cho biết chiến lược nên chọn đối với một cảnh quay phong cảnh và lý do.
21. Giải thích vì sao Y′CbCr khác với YUV, và nêu hai lợi ích của việc tách kênh độ chói khỏi kênh màu.
22. Nêu định nghĩa của ΔE và ý nghĩa thực tế của các mức ΔE 1, 2 và 5.
23. Trình bày ba lý do dẫn tới việc mã hoá gamma, và giải thích vì sao gamma vẫn tồn tại khi đèn hình CRT đã biến mất.
24. Phân biệt OETF, EOTF và OOTF, và giải thích vì sao gamma hệ thống không bằng 1.
25. Giải thích vì sao đường Rec.709 và sRGB đều có một đoạn thẳng ở gốc toạ độ.
26. Nêu hai kiểu gán sai không gian màu và dấu hiệu nhận biết của từng kiểu.
27. Giải thích vì sao ảnh log trông nhạt, và nêu ba điều bắt buộc cần ghi nhớ khi quay log.
28. So sánh PQ và HLG theo năm tiêu chí, và giải thích vì sao HLG được chọn cho phát sóng.
29. Phân biệt LUT 1D với LUT 3D, và giải thích vì sao LUT kỹ thuật phải đặt trước LUT sáng tạo.
30. Trình bày bốn thành phần của ACES và nêu ba ý nghĩa thực tế của hệ này.

31. Cho biết waveform, vectorscope, histogram và false colour mỗi công cụ trả lời câu hỏi nào, và công cụ nào không thể thay thế cho công cụ nào.
32. Nêu công dụng của đường da người ở 123° trên vectorscope, và giải thích vì sao mọi màu da đều rơi gần đường đó.
33. Mô tả cơ chế phát sáng và hình dạng phổ của bốn họ nguồn sáng.
34. Giải thích vì sao cân bằng trắng không sửa được phổ khuyết, lấy ví dụ chiếc áo màu lơ dưới đèn LED.
35. Giải thích vì sao chỉ số Ra không đủ để đánh giá đèn LED, và nêu tầm quan trọng của R9.
36. So sánh CRI, TM-30 và SSI, chỉ rõ câu hỏi riêng mà mỗi hệ trả lời.
37. Giải thích vì sao lưới điện 50 Hz cho ánh sáng nhấp nháy ở 100 Hz, và nêu điều kiện để tốc độ màn trập không gây vằn sáng.
38. Giải thích vì sao thói quen đặt 1/60 giây gây vằn ở Việt Nam nhưng không gây vằn ở Bắc Mỹ.
39. Nêu khái niệm màn trập cuốn, và giải thích vì sao nó sinh vằn ngang mà không gây nhấp nháy cả khung.
40. Nêu công dụng của đơn vị mired, và giải thích vì sao không thể cộng trừ trực tiếp trên thang kelvin.
41. Giải thích vì sao đặt số kelvin thấp hơn nguồn thật làm ảnh ngả lạnh.
42. Nêu bốn cách đặt cân bằng trắng cùng độ chính xác của từng cách; với cảnh có nguồn sáng hỗn hợp, nêu ba chiến lược xử lý theo thứ tự ưu tiên.

B. Bài tập tính toán

Bài 1. Một đèn có cường độ sáng 2000 cd chiếu vuông góc xuống một mặt bàn cách đèn 2,5 m.

- a) Tính độ rọi trên mặt bàn.
- b) Nếu nâng đèn lên cách bàn 5 m, tính độ rọi còn lại và độ thay đổi theo stop.
- c) Nếu bàn nghiêng 30° so với phương vuông góc với tia sáng, tính độ rọi còn lại.

Bài 2. Mặt bàn ở Bài 1a phủ một tấm giấy có hệ số phản xạ 60 phần trăm. Tính độ chói mà máy quay nhìn thấy và so sánh với độ chói của một thẻ xám 18 phần trăm đặt cạnh đó, rồi cho biết chênh lệch bao nhiêu stop.

Bài 3. Một cảnh ngoài trời nắng có EV_{100} bằng 15. Máy quay đặt ISO 800, quay ở 25 hình mỗi giây với góc màn trập 180°.

- a) Tính tốc độ màn trập theo giây.
- b) Tính khẩu độ cần dùng.
- c) Nếu người quay muốn dùng khẩu độ f/2,8 để có độ sâu trường ảnh nông, xác định mật độ kính lọc ND cần thêm.

Bài 4. Một đèn dây tóc 3200 K được dán gel CTB toàn phần có độ dịch −131 mired.

- a) Tính nhiệt độ màu sau khi dán gel.

- b) Nếu dán gel ấy lên một đèn 5600 K thì nhiệt độ màu thu được là bao nhiêu, và kết quả đó có tính thực dụng như thế nào.
- c) Để đưa đèn 3200 K lên đúng 5600 K, xác định độ dịch mired của gel cần dùng.

Bài 5. Một cảm biến có mức bão hoà ứng với độ chói 4096 đơn vị và mức nhiễu nền ứng với 0,25 đơn vị. Tính dải động của cảm biến theo stop; nếu màn hình SDR chỉ hiển thị được 6 stop, xác định số stop phải nén ở khâu chỉnh màu.

Bài 6. Một khung hình có ba vùng với giá trị R′G′B′ (chuẩn hoá 0 – 1) như sau: vùng A (0,80 ; 0,80 ; 0,80); vùng B (0,90 ; 0,20 ; 0,20); vùng C (0,20 ; 0,70 ; 0,30). Dùng hệ số Rec.709, tính giá trị Y′ của ba vùng và sắp xếp chúng theo thứ tự độ chói trên waveform.

Bài 7. Quay dưới đèn LED chạy trực tiếp từ lưới điện Việt Nam.

- a) Tính chu kỳ nhấp nháy của ánh sáng.
- b) Trong các tốc độ 1/40, 1/50, 1/80, 1/100 và 1/125 giây, xác định tốc độ an toàn.
- c) Nếu quay chậm ở 150 hình mỗi giây với góc màn trập 180°, tính thời gian phơi, cho biết thời gian đó có an toàn hay không và, nếu không, đề xuất một cách xử lý.

Bài 8. Một màn hình được đo có ΔE trung bình bằng 3,2 theo công thức CIE 1976 trên bộ mẫu kiểm tra. Hãy cho biết màn hình này có đạt yêu cầu để dùng trong phòng chỉnh màu hay không, giải thích, và nêu ngưỡng cần yêu cầu.

C. Bài tập thảo luận

Bài 9. Một đoàn phim quay nội cảnh một quán cà phê ở Hà Nội. Bối cảnh có cửa sổ lớn nhìn ra phố lúc 3 giờ chiều, sáu bóng đèn LED âm trần 4000 K không rõ thông số và ba đèn dây tóc trang trí treo thấp trên bàn. Đoàn có hai đèn LED chuyên dụng chỉnh được nhiệt độ màu, một bộ gel đầy đủ và một tấm phản quang. Hãy đề xuất phương án ánh sáng và cân bằng trắng, giải thích từng lựa chọn dựa trên nội dung của chương.

Bài 10. Một sản phẩm được quay bằng hai máy khác hãng: một máy ghi S-Log3, một máy ghi Log C. Sau khi dựng, người chỉnh màu nhận thấy hai máy không khớp màu được. Hãy chỉ ra ít nhất bốn nguyên nhân có thể và đề xuất một quy trình xử lý dựa trên ACES.

Bài 11. Một chương trình truyền hình trực tiếp cần giao nộp đồng thời bản SDR Rec.709 và bản HDR. Hãy lập luận để chọn giữa PQ và HLG, dựa trên năm tiêu chí đã học ở mục 7.22.

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 7

[1] Bộ Thông tin và Truyền thông (2020). QCVN 63:2020/BTTTT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về thiết bị thu truyền hình số mặt đất DVB-T2, ban hành kèm Thông tư số 17/2020/TT-BTTTT, Hà Nội.

[2] ITU-R. Recommendation ITU-R BT.709-6: Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. Geneva: International Telecommunication Union.

[3] ITU-R. Recommendation ITU-R BT.2020-2: Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange. Geneva: International Telecommunication Union.

[4] ITU-R. Recommendation ITU-R BT.2100-2: Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange. Geneva: International Telecommunication Union.

[5] ITU-R. Recommendation ITU-R BT.1886-0: Reference electro-optical transfer function for flat panel displays used in HDTV studio production. Geneva: International Telecommunication Union.

[6] SMPTE (2014). SMPTE ST 2084:2014: High Dynamic Range Electro-Optical Transfer Function of Mastering Reference Displays. White Plains, NY: Society of Motion Picture and Television Engineers.

[7] ARIB. ARIB STD-B67: Essential parameter values for the extended image dynamic range television (EIDRTV) system for programme production. Tokyo: Association of Radio Industries and Businesses.

[8] CIE (2018). CIE 015:2018: Colorimetry (4th ed.). Vienna: International Commission on Illumination.

[9] CIE (1995). CIE 13.3-1995: Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources. Vienna: International Commission on Illumination.

[10] IES (2020). IES TM-30-20: Method for Evaluating Light Source Colour Rendition. New York: Illuminating Engineering Society.

[11] AMPAS. Spectral Similarity Index (SSI). Los Angeles: Academy of Motion Picture Arts and Sciences.

[12] AMPAS. Academy Color Encoding System (ACES). Los Angeles: Academy of Motion Picture Arts and Sciences.

[13] IEC. IEC 61966-2-1: Multimedia systems and equipment — Colour measurement and management — Part 2-1: Colour management — Default RGB colour space — sRGB. Geneva: International Electrotechnical Commission.

[14] DCI. Digital Cinema System Specification. Digital Cinema Initiatives, LLC.

[15] Hunt, R. W. G., & Pointer, M. R. (2011). *Measuring Colour* (4th ed.). Chichester: Wiley.

[16] Fairchild, M. D. (2013). *Color Appearance Models* (3rd ed.). Chichester: Wiley.

[17] Poynton, C. (2012). *Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces* (2nd ed.). Waltham, MA: Morgan Kaufmann.

[18] Wyszecki, G., & Stiles, W. S. (2000). *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae* (2nd ed.). New York: Wiley.

[19] Brown, B. (2018). *Motion Picture and Video Lighting* (3rd ed.). New York: Focal Press.

[20] Brown, B. (2021). *Cinematography: Theory and Practice* (4th ed.). New York: Focal Press.

[21] Hullfish, S. (2012). *The Art and Technique of Digital Color Correction* (2nd ed.). Burlington, MA: Focal Press.

[22] Wyman, C., Sloan, P.-P., & Shirley, P. (2013). Simple analytic approximations to the CIE XYZ color matching functions. *Journal of Computer Graphics Techniques*, 2(2).