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

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

CHƯƠNG 7 · PHẦN B

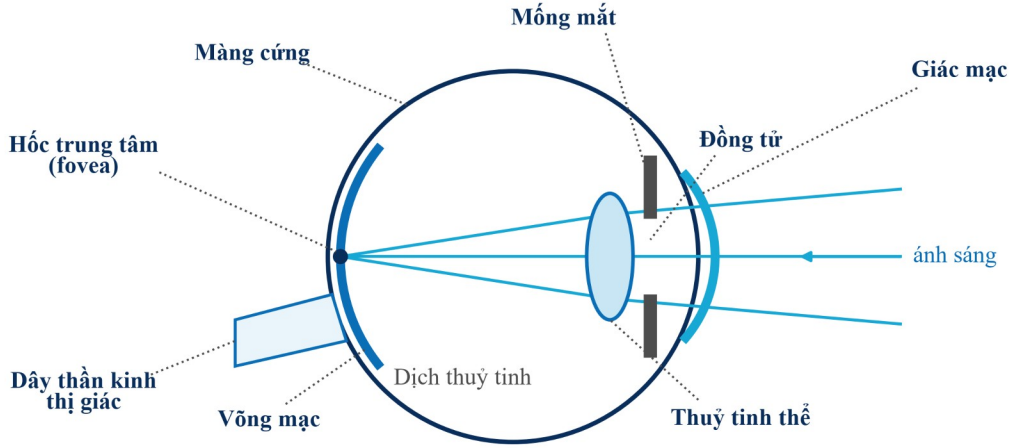
Mắt người và cơ sở của cảm nhận màu

Cấu tạo mắt và đường thị giác

- Ánh sáng đi qua bốn chặng trước khi tới võng mạc
- So sánh mắt với máy quay chỉ đúng ở lớp ngoài
- Võng mạc đã là một tầng xử lý tín hiệu
- Trường nhìn của mắt gắn với việc chọn tiêu cự

Đường đi của ánh sáng trong mắt

- **Giác mạc**: lớp trong suốt phía trước, đảm nhiệm khoảng hai phần ba công suất khúc xạ.
- **Đồng tử**: đường kính từ khoảng 2 mm (sáng) tới 8 mm (tối).
- **Thuỷ tinh thể**: thấu kính mềm, đổi độ cong nhờ cơ mi để lấy nét.
- **Dịch thuỷ tinh** rồi tới **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 và đối chiếu với máy quay

Mắt và máy quay: bốn khác biệt căn bản

Vấn đề	Mắt người	Máy quay
Lấy nét	Đổi độ cong thuỷ tinh thể; khoảng cách tới võng mạc cố định	Đổi khoảng cách giữa các nhóm thấu kính
Khẩu độ	Đồng tử 2 – 8 mm, chỉ khoảng 4 stop	Thường 8 – 10 stop, từ f/1,4 tới f/22
Phân bố điểm thu	Rất không đều; chỉ hốc trung tâm khoảng 2° là sắc nét	Mật độ điểm ảnh đều trên cảm biến
Cách tạo ảnh	Quét liên tục bằng chuyển động giật; não ghép thành ảnh liền	Chụp cả khung cùng lúc (hoặc quét từng hàng)

Hệ quả thực hành của cách mắt tạo ảnh

- Cảm giác nhìn rõ và đủ sáng toàn cảnh do **não** dựng lại từ hàng chục lần quét.
- Mỗi lần quét có một mức thích nghi khác nhau.
- Máy quay chụp một lần, với một khẩu độ, một tốc độ.
- Cảnh "bình thường" với mắt có thể vượt dải động của cảm biến: người quay phải thêm đèn, che sáng hoặc chấp nhận mất một đầu.

Từ võng mạc tới vỏ não thị giác

- **Nén dữ liệu**: khoảng 126 triệu tế bào cảm quang hội tụ về khoảng một triệu sợi thần kinh thị giác (nén hơn 100 lần, không đều).
- Ở hốc trung tâm gần như một nón một sợi; ở ngoại vi hàng trăm tế bào que gộp chung một sợi.
- **Mã đối lập**: tín hiệu S, M, L được tổ hợp thành một kênh độ sáng và hai kênh màu đỏ–lục, lam–vàng.
- Đường dẫn: thể gối ngoài của đồi thị rồi vỏ não thị giác sơ cấp, mất khoảng 100 ms.

Trường nhìn và hệ quả khi chọn tiêu cự

- Trường nhìn hai mắt khoảng **200°** ngang; vùng hai mắt cùng thấy (lập thể) khoảng **120°**.
- Chỉ khoảng **2°** ở giữa thật sắc nét; khoảng **30°** quanh đó là vùng chú ý.
- Cảm biến toàn khổ 36 × 24 mm: góc ngang 30° ứng với ống 65 – 70 mm; dải 40 – 70 mm cho phối cảnh tự nhiên.
- Góc rộng phóng đại chiều sâu; tiêu cự dài nén chiều sâu. Đây là hiệu ứng tạo hình có chủ ý.

Khoảng cách ngồi xem

GHI NHỚ

Màn hình chiếm đúng 30° trường nhìn thì khuôn hình được cảm nhận gần như qua ống tiêu chuẩn.

- Màn hình 55 inch (khoảng 1,22 m): góc 30° ứng với khoảng cách ngồi chừng **2,3 m**.
- Ngồi xa thì mất chi tiết; ngồi gần thì thấy nhiều chi tiết hơn nhưng phải đảo mắt liên tục.
- Cơ sở của khuyến nghị khoảng cách xem trong tiêu chuẩn truyền hình.

Những điều cần nhớ

- Giác mạc, đồng tử, thuỷ tinh thể, võng mạc là bốn chặng của đường quang.
- Mắt khác máy quay ở cách lấy nét, khẩu độ, phân bố điểm thu và cách tạo ảnh.
- Võng mạc nén dữ liệu và chuyển sang mã đối lập độ sáng – màu.
- Vùng chú ý khoảng 30° giải thích dải tiêu cự tự nhiên 40 – 70 mm.

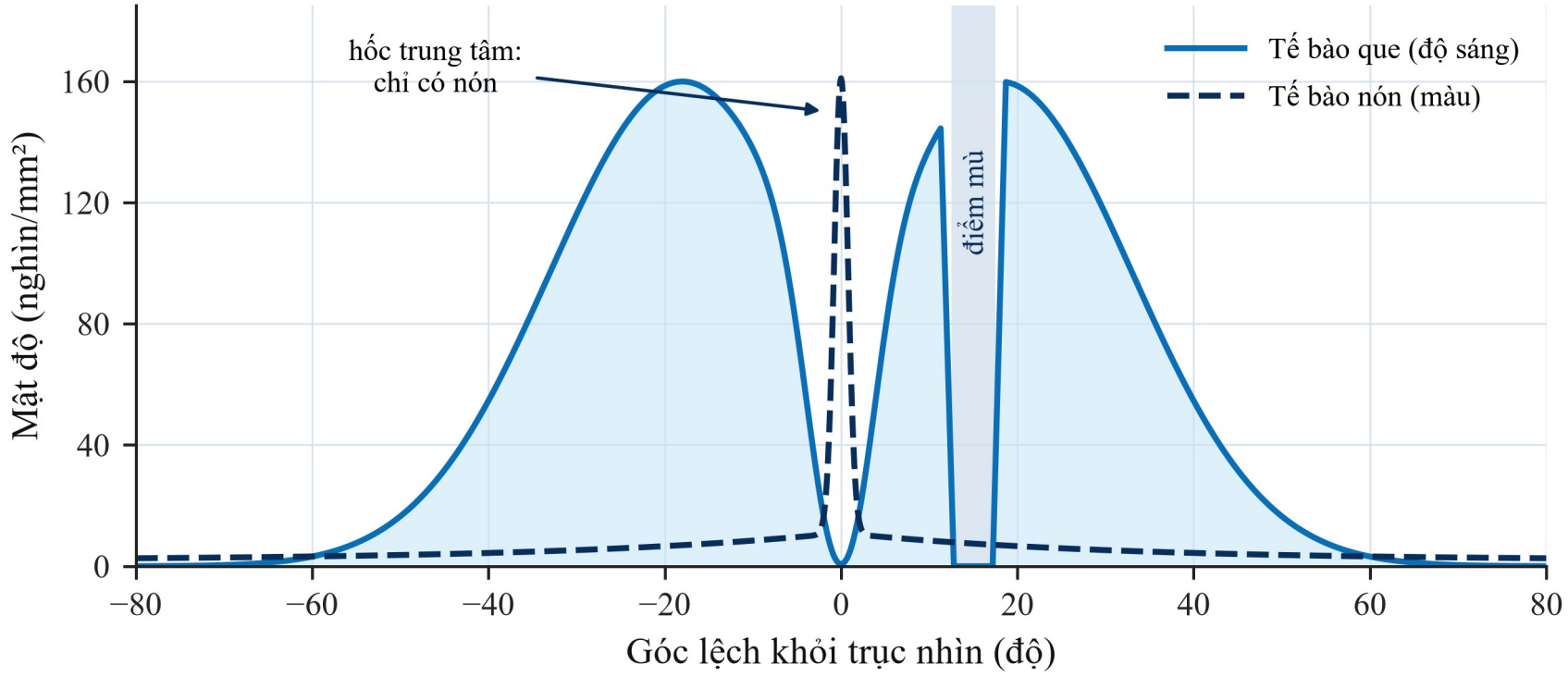
Tế bào que, tế bào nón và nguyên lý ba màu

- Hai loại tế bào cảm quang với vai trò khác nhau
- Ba loại nón S, M, L và chồng lấn phổ
- Nguyên lý ba màu, đồng phân dị phổ
- Mù màu và quy tắc thiết kế đồ hoạ truyền hình

Tế bào que và tế bào nón

Đặc điểm	Tế bào que	Tế bào nón
Số lượng	khoảng 120 triệu	khoảng 6 triệu
Độ nhạy sáng	rất cao, phát hiện vài photon	thấp hơn khoảng 100 lần
Phân biệt màu	Không (một loại sắc tố)	Có (ba loại sắc tố)
Độ phân giải	Thấp; nhiều tế bào gộp một sợi	Cao; hốc trung tâm gần một–một
Phân bố	Ngoại vi, đỉnh quanh ±18°; không có ở hốc	Dày ở hốc trung tâm, thưa dần
Mức sáng hoạt động	dưới khoảng 0,01 cd/m²	trên khoảng 3 cd/m²
Thời gian thích nghi	20 – 30 phút (tối)	vài phút

Mật độ tế bào theo góc lệch khỏi trục nhìn



1) Chỉ vùng khoảng 2° nhìn thật sắc nét; cảm giác "thấy rõ cả cảnh" do não dựng lại.

2) Ban đêm nhìn chệch vài độ thấy vật mờ rõ hơn ("nhìn lảng"), vì hốc không có que.

3) Que rất nhạy nhưng không phân biệt màu: vùng ngoại vi gần như mù màu.

Hình 7.16 — Mật độ tế bào que và nón theo góc lệch khỏi trục nhìn

Hai hệ quả của sự phân bố không đều

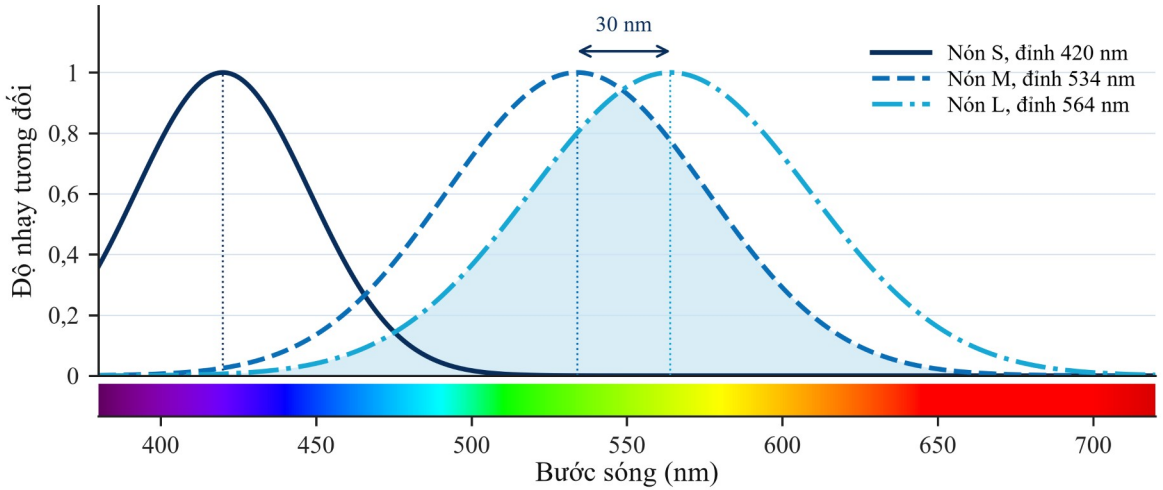
GHI NHỚ

Vùng nhìn thật sắc nét chỉ rộng khoảng 2°, cỡ móng tay cái ở tầm tay duỗi thẳng.

- Người xem phim chỉ nhìn rõ một chỗ mỗi lúc: người dựng phải dẫn ánh mắt bằng bố cục và độ sáng.
- Ban đêm muốn thấy vật rất mờ phải nhìn chệch đi vài độ, vì hốc trung tâm không có tế bào que (kỹ thuật “nhìn lảng” của thiên văn).

Ba loại tế bào nón

- **Nón S**: đỉnh nhạy khoảng 420 nm (lam tím).
- **Nón M**: đỉnh nhạy khoảng 534 nm (lục).
- **Nón L**: đỉnh nhạy khoảng 564 nm (lục vàng, không phải vùng đỏ).
- M và L cách nhau chỉ 30 nm nên chồng lấn gần hoàn toàn; phân biệt đỏ – lục dựa trên phép trừ hai tín hiệu rất gần nhau.



Hình 7.17 — Ba đường nhạy phổ của nón S, M, L

Số lượng và tỉ lệ tế bào thị giác

GHI NHỚ

Nón S chiếm khoảng 5 đến 10 phần trăm tổng số nón; võng mạc có khoảng 120 triệu que và 6 triệu nón.

- Nón S gần như vắng ở tâm hốc trung tâm.
- Mắt phân giải chi tiết ở vùng lam kém hơn vùng lục và đỏ.
- Đây là một lý do kỹ thuật cho phép lấy mẫu con thành phần màu trong video số.

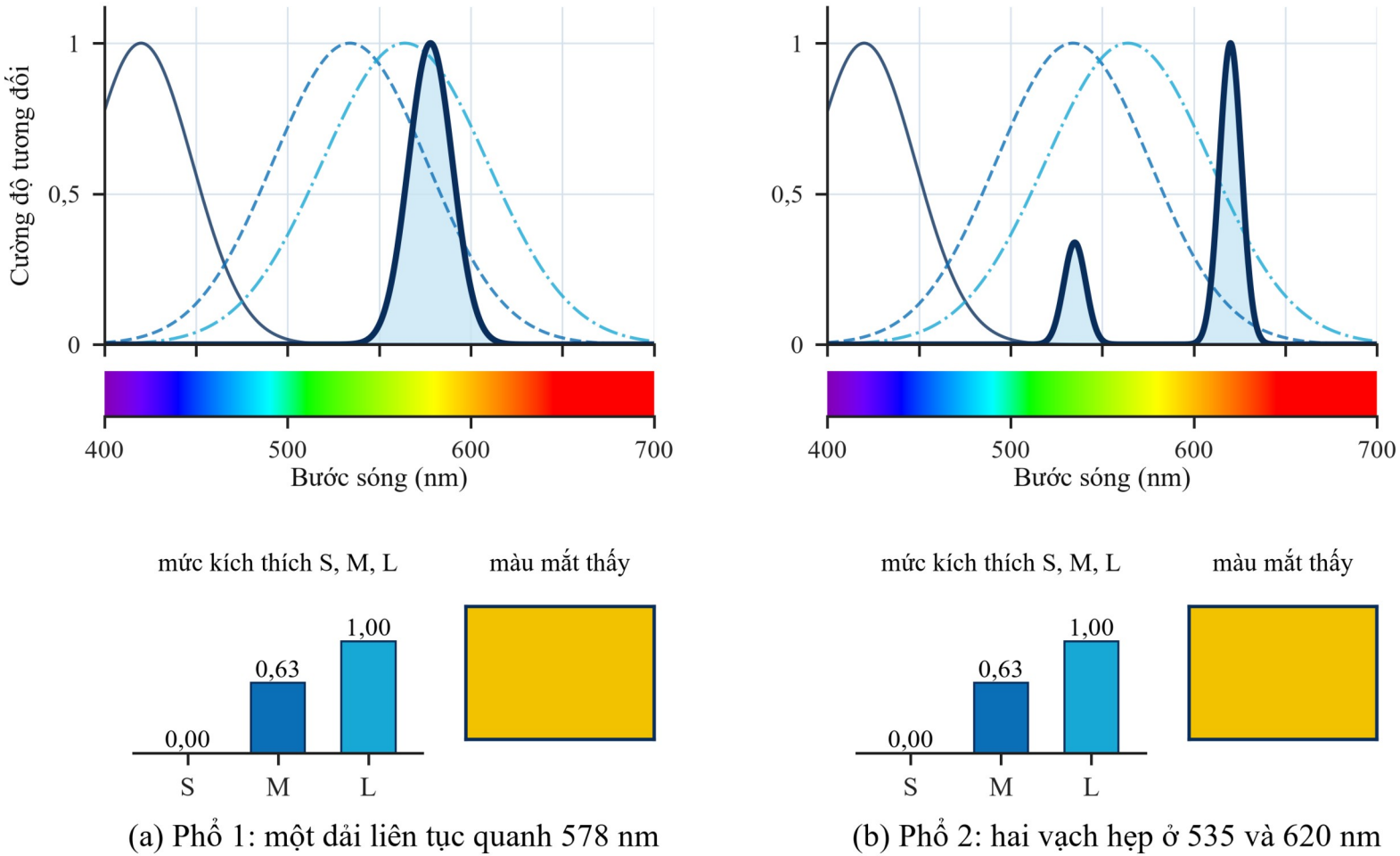
Nguyên lý ba màu: phát biểu chính xác

GHI NHỚ

Hệ tái tạo không cần tái tạo phổ của cảnh; chỉ cần tạo một phổ bất kỳ cho ba tích phân với đường nhạy S, M, L ra đúng ba giá trị ấy.

- Một màu mắt nhìn thấy được mô tả đầy đủ bằng ba số: mức kích thích của S, M, L.
- Ba đèn cơ bản đủ tái tạo phần lớn màu nhìn thấy: cơ sở của màn hình RGB, máy chiếu, máy quay ba kênh.

Đồng phân dị phổ



Hình 7.18 — Hai phổ khác nhau cho cùng bộ ba giá trị S, M, L: mắt thấy cùng một màu vàng

Ba mặt của đồng phân dị phổ

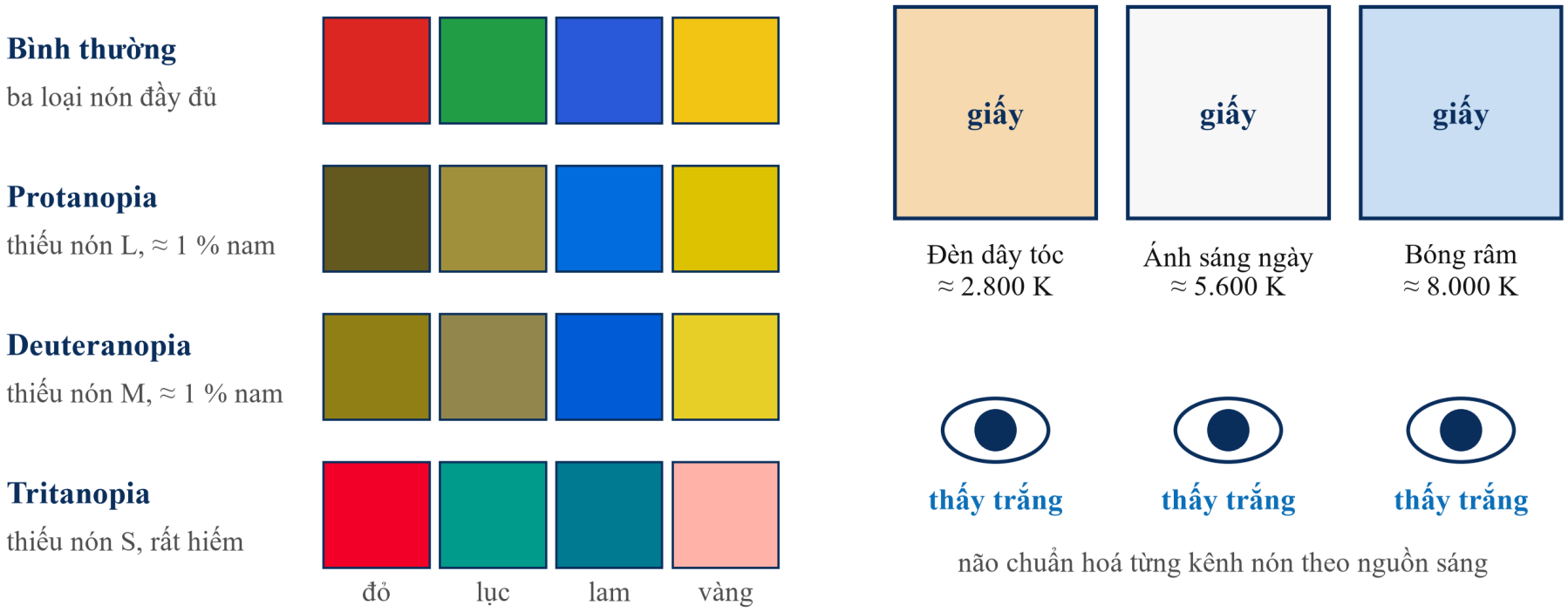
- **Tích cực**: không có đồng phân dị phổ thì không màn hình nào hoạt động, vì không tái tạo được phổ thật của cảnh.
- **Tiêu cực**: hai vật đồng phân dưới đèn này sẽ khác màu dưới đèn khác (trang phục khớp màu trong trường quay lệch khi ra ngoài trời).
- **Phiền phức nhất**: đường nhạy cảm biến khác đường nhạy của mắt nên hai vật đồng phân với mắt vẫn có thể khác màu với máy; chỉ số SSI ra đời từ đây (mục 7.27).

Ba dạng mù màu hoàn toàn

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

- Tính chung (cả dạng nhẹ): khoảng **8 %** nam giới và **0,5 %** nữ giới có rối loạn sắc giác.
- Một lớp bốn mươi người học thường có một tới hai người.

Mù màu và hằng số màu



(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

Thiết kế đồ hoạ truyền hình

QUY TẮC

Không dùng riêng màu để mang thông tin; luôn thêm ít nhất một dấu hiệu thứ hai.

- Dấu hiệu thứ hai: hình dạng, chữ, vị trí hoặc chênh lệch độ sáng rõ rệt.
- Chênh lệch độ sáng là an toàn nhất vì mọi dạng mù màu đều giữ kênh này.
- Kiểm tra nhanh: chuyển đồ hoạ sang đen trắng; vẫn phân biệt được thì đạt.

Những điều cần nhớ

- Que cho độ nhạy, không phân biệt màu; nón cho màu và chi tiết.
- Ba loại nón S, M, L (420, 534, 564 nm) chồng lấn mạnh, nhất là M và L.
- Nguyên lý ba màu: chỉ cần tái tạo đúng ba tích phân, không cần tái tạo phổ.
- Đồng phân dị phổ vừa cho phép màn hình hoạt động, vừa gây lệch màu giữa các nguồn sáng.
- Thiết kế đồ hoạ không dùng riêng màu để mang thông tin.

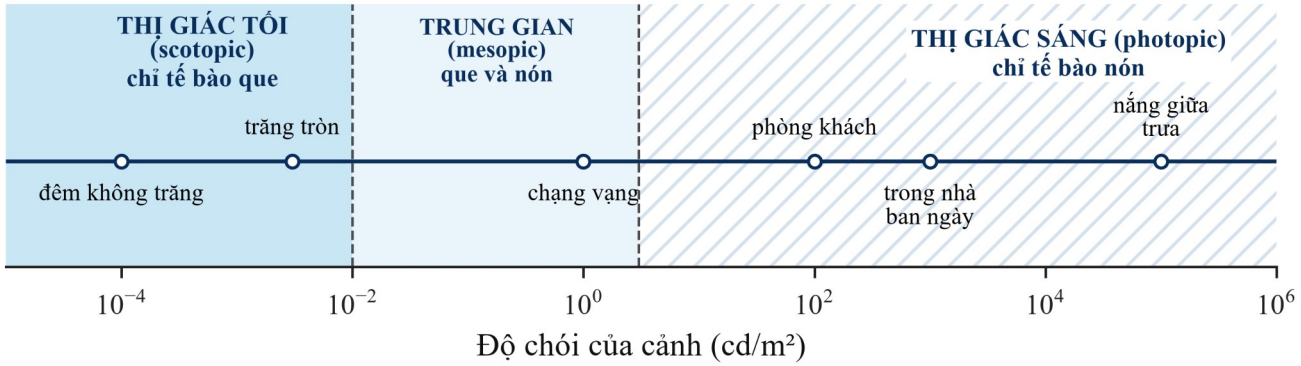
Thị giác sáng, thị giác tối và sự thích nghi

- Ba chế độ thị giác theo mức sáng
- Hiệu ứng Purkinje và quy ước cảnh đêm
- Thích nghi sáng nhanh, thích nghi tối chậm
- Hệ quả với phòng dựng và phòng chỉnh màu

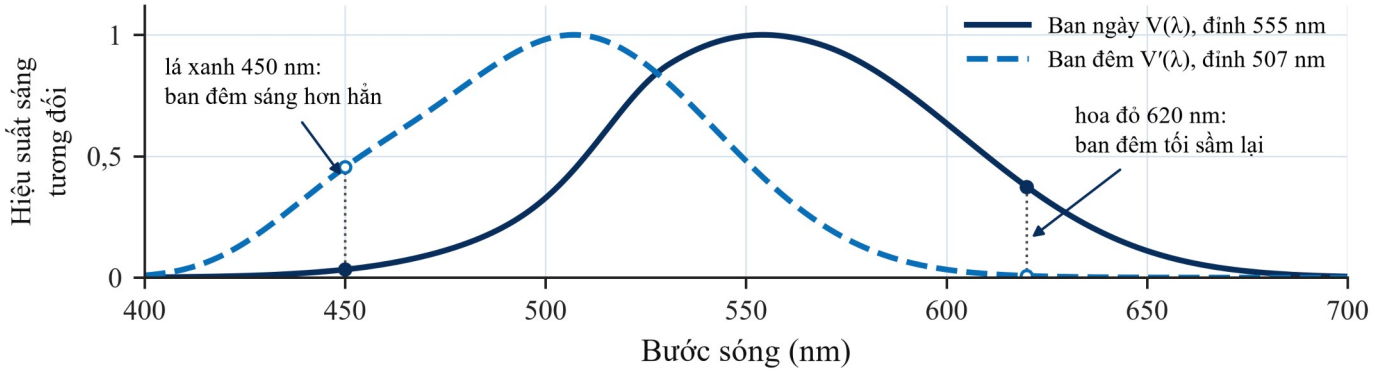
Ba chế độ thị giác

Chế độ	Mức chói	Tế bào	Đặc điểm
Sáng (photopic)	trên khoảng 3 cd/m²	chỉ nón	Đủ màu, phân giải cao nhất, đỉnh nhạy 555 nm
Trung gian (mesopic)	0,01 – 3 cd/m²	que và nón	Màu nhạt dần, đỉnh nhạy dịch về phía lam
Tối (scotopic)	dưới khoảng 0,01 cd/m²	chỉ que	Không phân biệt màu, phân giải thấp, đỉnh nhạy 507 nm

Ba chế độ thị giác và hiệu ứng Purkinje



(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; hiệu ứng Purkinje giải thích vì sao cảnh đêm ngả xanh

Thị giác sáng và thị giác tối

GHI NHỚ

Ban ngày (nón) đỉnh ở 555 nm; ban đêm (que) đỉnh ở 507 nm, dịch về phía lam.

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

Hiệu ứng Purkinje

- Khi tối, đỉnh nhạy dịch từ 555 nm xuống 507 nm nên độ sáng tương đối giữa các màu thay đổi.
- Dưới nắng, bông hoa đỏ và lá xanh có thể sáng ngang nhau; lúc chạng vạng lá sáng hơn, hoa tối sầm.
- Mô tả bởi Jan Evangelista Purkyně năm 1819.
- Cơ sở sinh lý của quy ước quay cảnh đêm ngả **lam**: tái tạo cảm giác của thị giác tối.

Ba ghi chú khi quay cảnh đêm

QUY TẮC

Không chỉ hạ sáng: chiếu sáng đủ rồi hạ xuống ở khâu chỉnh màu.

- Cách này giữ đủ tín hiệu, ít nhiễu và còn chi tiết vùng tối.
- Ngả lam nhẹ ở vùng tối, giữ vùng sáng gần trung tính; ngả lam đều cả khung trông giả.
- Nguồn sáng thực (đèn đường, cửa sổ) nên ấm hơn ánh sáng nền: chênh lệch nhiệt độ màu tạo cảm giác đêm.

Thích nghi sáng và thích nghi tối

Thích nghi sáng (tối ra sáng)

- Nhanh: khoảng 5 phút là gần xong.
- Chói loà khi bước từ rạp ra ngoài trời chỉ kéo dài vài chục giây.

Thích nghi tối (sáng vào tối)

- Rất chậm: nón khoảng 7 phút, que 20 – 30 phút.
- Điểm gãy que–nón sau khoảng 7 – 10 phút.

Hệ quả với phòng dựng và phòng chỉnh màu

GHI NHỚ

Người chỉnh màu cần môi trường có độ sáng nền ổn định.

- Tường xám trung tính, độ chói nền khoảng 10 % độ chói trắng của màn hình, không có ánh sáng lọt vào thay đổi trong ngày.
- Bật đèn trần hoặc mở rèm giữa buổi làm đổi mức thích nghi, các quyết định về vùng tối trước đó không còn tin cậy.
- Không duyệt bản chỉnh màu ngay sau khi từ ngoài nắng vào; ngồi ít nhất mười phút.

Những điều cần nhớ

- Thị giác sáng (nón, 555 nm), trung gian, tối (que, 507 nm).
- V(λ) 1924 là đường định nghĩa trắc quang; V′(λ) 1951 không dùng cho candela.
- Hiệu ứng Purkinje là cơ sở của quy ước cảnh đêm ngả lam.
- Thích nghi tối chậm hơn nhiều so với thích nghi sáng: phòng chỉnh màu phải giữ nền ổn định.

Cảm nhận phi tuyến và độ nhạy tương phản

- Mục bản lề của cả chương
- Ngưỡng Weber và luật Stevens
- Độ nhạy tương phản theo tần số không gian
- Cơ sở của gamma và của lấy mẫu con thành phần màu

Ngưỡng Weber

Công thức (7.15)

$$\frac{\Delta L}{L} = \text{const} \approx 0{,}01$$

- Mắt nhận ra thay đổi độ chói theo **tỉ lệ** cố định, không theo lượng cố định.
- Nền tối: thêm chút ánh sáng là thấy; nền sáng: phải thêm nhiều hơn hẳn.
- Ernst Weber phát biểu năm 1834; đúng khá tốt trong khoảng sáng trung bình.

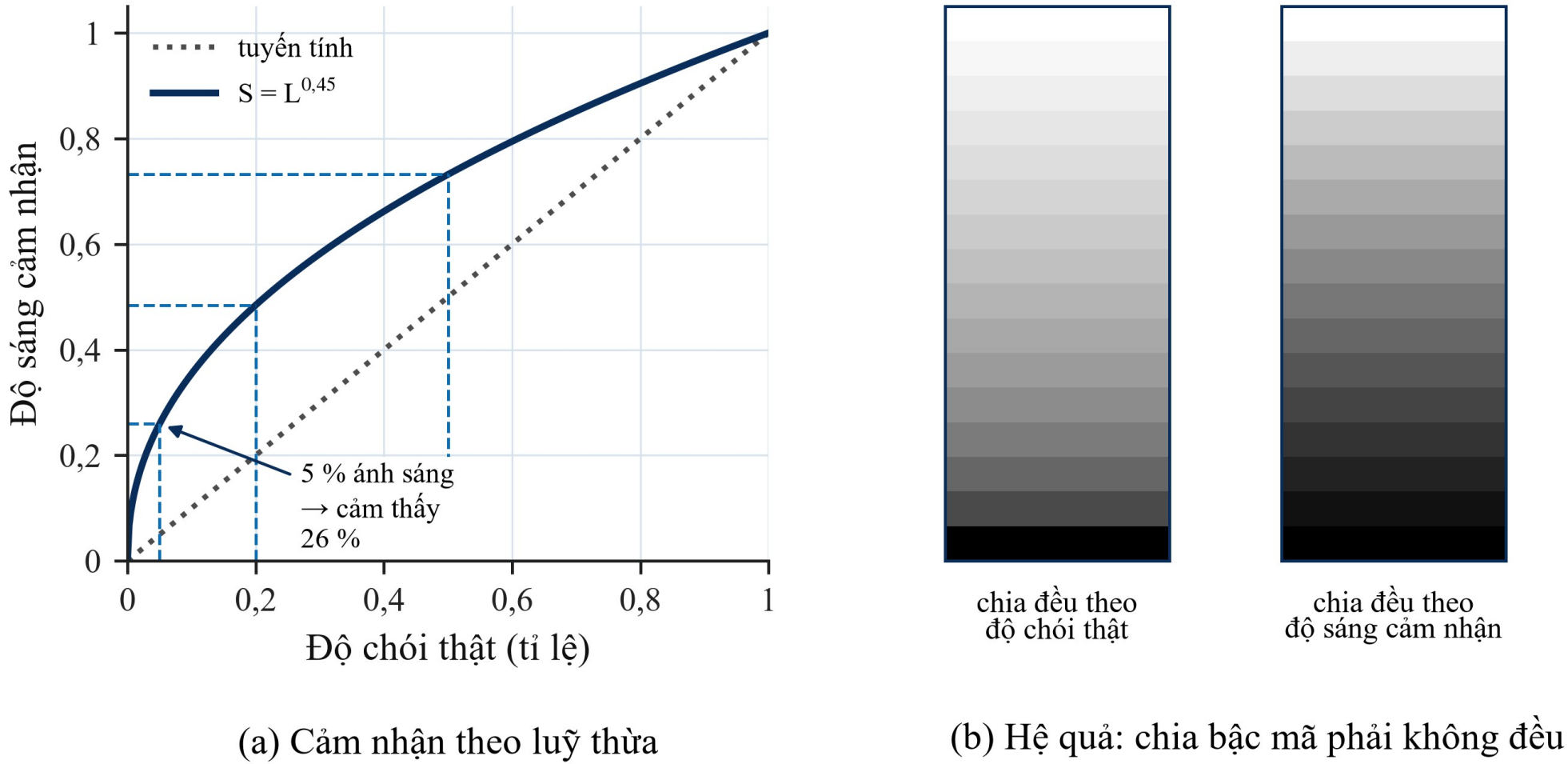
Luật Stevens

Công thức (7.16)

$$S = k I^n$$

- Tích phân ngưỡng Weber cho quan hệ kích thích – cảm giác dạng hàm luỹ thừa.
- Với độ sáng, số mũ n khoảng 0,33 đến 0,50 tuỳ điều kiện đo.
- Rất gần với 0,45, số mũ trong đường mã hoá của Rec.709.

Cảm nhận độ sáng theo hàm luỹ thừa



Hình 7.21 — Các bậc mã phải chia không đều theo độ chói thật

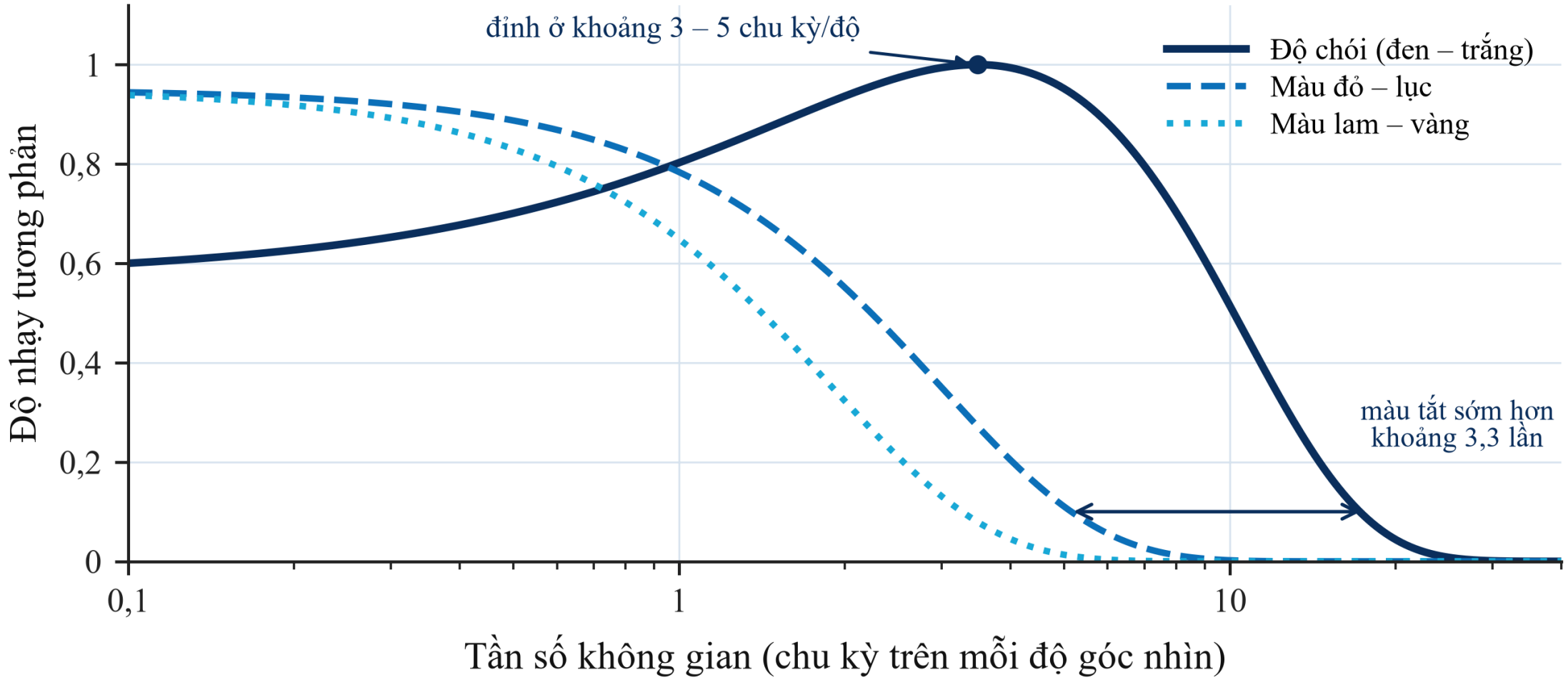
Đây là gốc của gamma

GHI NHỚ

Mã hoá theo đường gần với đường cảm nhận của mắt thì các bậc mã cách đều trong mắt người.

- Mã tuyến tính: phần lớn mã dồn vào vùng sáng, vùng tối chỉ còn vài mức và lộ vệt bậc.
- Mã phi tuyến: 8 bit đủ cho ảnh SDR, thay vì 12 – 14 bit nếu mã tuyến tính.
- Toàn bộ lý do tồn tại của gamma; xem tiếp mục 7.20.

Độ nhạy tương phản theo tần số không gian



Hình 7.22 — Hàm độ nhạy tương phản cho kênh độ chói và hai kênh màu

Ba nhận xét từ đồ thị độ nhạy tương phản

- Đỉnh nhạy ở **3 – 5 chu kỳ mỗi độ**: mắt nhạy nhất với chi tiết trung bình; độ phân giải rất cao chỉ có ý nghĩa khi ngồi đủ gần.
- Hai kênh màu tắt sớm hơn kênh độ chói khoảng **ba đến bốn lần**: cơ sở của lấy mẫu con 4:2:2 và 4:2:0.
- Thao tác về độ nét (làm sắc, khử nhiễu) nên làm trên kênh độ chói; làm trên kênh màu ít lợi ích và dễ sinh viền màu giả.

Những điều cần nhớ

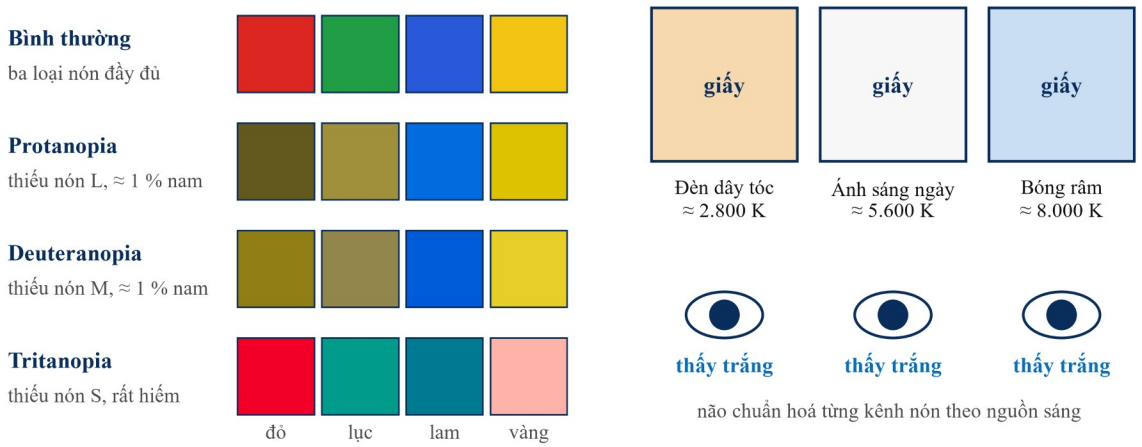
- Ngưỡng Weber: $\Delta L/L \approx 0{,}01$, nhận biết theo tỉ lệ.
- Luật Stevens: $S = k \cdot I^n$, n khoảng 0,33 – 0,50, gần 0,45 của Rec.709.
- Mã tuyến tính lãng phí mã ở vùng sáng; mã phi tuyến (gamma) chia bậc đều theo cảm nhận.
- Kênh màu kém nhạy hơn kênh độ chói ba đến bốn lần: cho phép lấy mẫu con thành phần màu.

Hằng số màu và thích nghi sắc

- Mắt vẫn thấy tờ giấy trắng dưới các nguồn sáng khác nhau
- Mô hình von Kries: nhân ba kênh với ba hệ số
- Máy quay không tự thích nghi nên cần cân bằng trắng
- Giới hạn của hằng số màu

Vì sao tờ giấy luôn nhìn thấy trắng

- Tờ giấy trắng dưới đèn dây tóc 2800 K và dưới bóng râm trời xanh 8000 K cho phổ phản xạ hoàn toàn khác nhau.
- Máy quay đặt cố định một giá trị cân bằng trắng sẽ ghi hai ảnh khác màu rõ rệt.
- Mắt vẫn thấy giấy trắng: **hằng số màu**; cơ chế phía sau là **thích nghi sắc**.



(a) Ba dạng mù màu (b) Hằng số màu

Hình 7.19 — hằng số màu ở nửa phải

Mô hình von Kries

Mỗi hệ số k thích hợp làm tỉ lệ ba tín hiệu của vật trắng không đổi khi nguồn sáng thay đổi.

$$L' = k_L L \; ; \quad M' = k_M M \; ; \quad S' = k_S S$$

- Johannes von Kries đề xuất năm 1902: ba kênh nón nhân độc lập với ba hệ số.
- Hệ thị giác hạ độ khuếch đại của kênh bị nguồn sáng kích thích nhiều nhất.
- Đèn dây tóc: hạ kênh L; trời râm: hạ kênh S; tỉ lệ ba tín hiệu từ giấy trắng gần như không đổi.

Cơ sở sinh lý của cân bằng trắng

GHI NHỚ

Máy quay không tự thích nghi; cân bằng trắng mô phỏng việc não làm tự động, về toán học là mô hình von Kries.

- Máy ghi trung thực phổ đến cảm biến, kể cả khi nguồn sáng ám màu.
- Người quay không thể tin mắt mình để đánh giá nhiệt độ màu tại hiện trường.
- Dùng thẻ trắng, máy đo màu hoặc màn hình đã hiệu chuẩn. Xem mục 7.30.

Giới hạn của hằng số màu

- Cần **thời gian**: thích nghi sắc hoàn toàn mất khoảng 1 – 2 phút, nên khi cắt cảnh người xem thấy rõ chênh lệch nhiệt độ màu.
- Cần **tham chiếu**: trường nhìn chỉ có một màu thì không có gì để chuẩn hoá; đưa vùng trung tính vào khuôn hình.
- **Không hoàn toàn**: với đèn hơi natri phổ vạch mạnh, mọi vật trông vàng cam.
- Nguồn của ảo giác màu như bức ảnh “chiếc váy” năm 2015: hai người giả định hai nguồn sáng khác nhau.

Những điều cần nhớ

- Hằng số màu: mắt giữ màu vật gần như không đổi khi nguồn sáng đổi.
- Mô hình von Kries: nhân ba kênh nón với ba hệ số; cân bằng trắng của máy quay có cùng dạng toán học.
- Hằng số màu cần thời gian, cần tham chiếu và không hoàn toàn.

Máy quay ghi đúng phổ; mắt người thích nghi và diễn giải

Phần C tiếp tục với ba thuộc tính của màu và việc đo màu bằng số.