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

KỸ THUẬT AUDIO – VIDEO

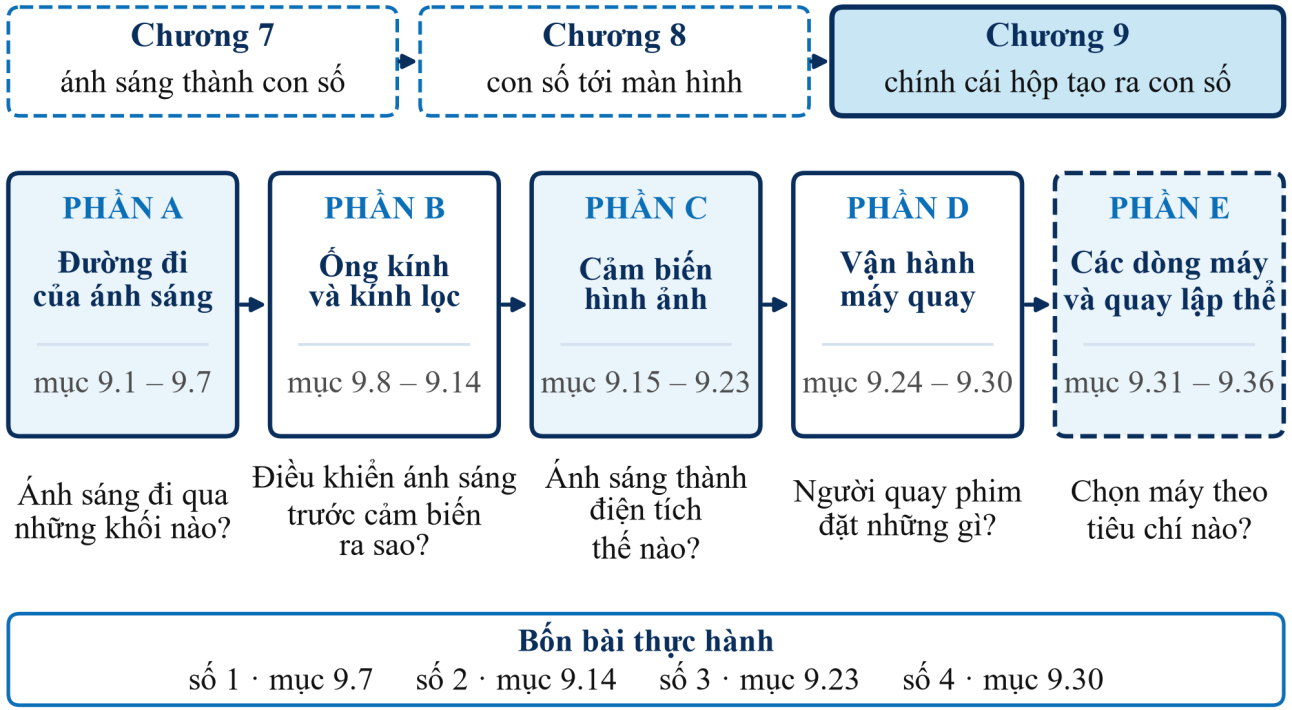
CHƯƠNG 9 · PHẦN A

Ống kính và sự tạo ảnh

Vị trí của chương

- Chương 7 đi từ ánh sáng thật đến con số; Chương 8 đi từ con số đến màn hình của khán giả
- Chương 9 quay lại thiết bị đã tạo ra con số ấy: máy quay
- Chương cuối của Phần II và gần nghề nhất: mọi nội dung dẫn tới một nút bấm, một vòng xoay hoặc một dòng menu

Ba chương video và chỗ đứng của chương này



Hình 9.1 — Bản đồ Chương 9 — năm phần và câu hỏi mỗi phần trả lời

- Phần A tới C theo đường đi của ánh sáng; Phần D về vận hành; Phần E mở rộng sang toàn cảnh thiết bị

Thứ tự học và thứ tự vật lý

- Thứ tự học của giáo trình: Chương 7, rồi 8, rồi 9
- Thứ tự vật lý: Chương 7, rồi 9, rồi 8, vì ánh sáng vào máy quay trước rồi mới thành tín hiệu
- Lý do chọn thứ tự học: cần hiểu tín hiệu video là gì trước khi tìm hiểu máy quay tạo ra nó
- Người đọc muốn theo trình tự vật lý có thể đọc Chương 9 trước Chương 8, chấp nhận một số tham chiếu về sau

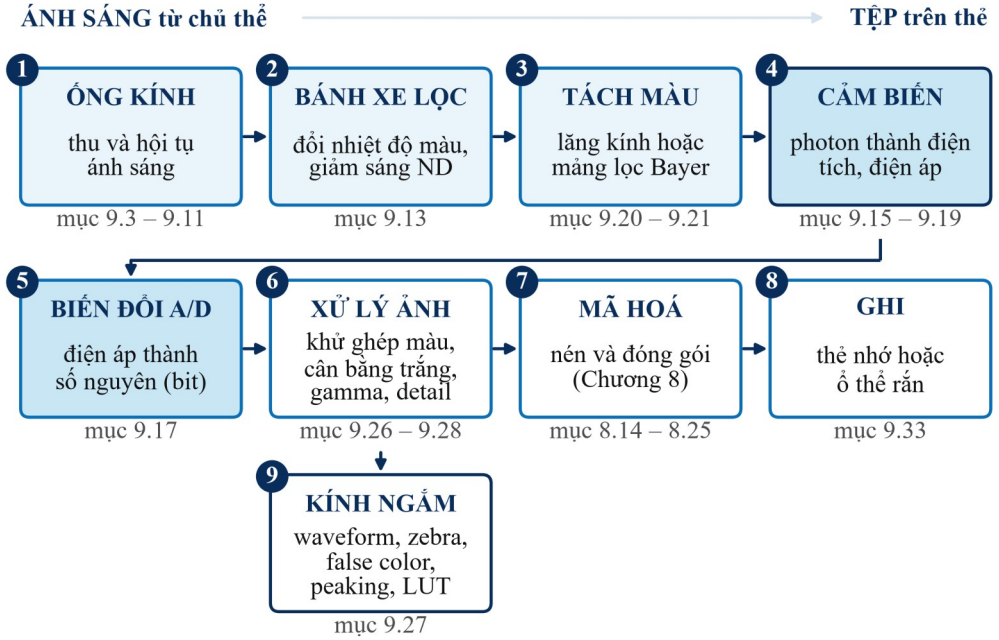
Bốn câu hỏi chương phải trả lời

- **Đường đi của ánh sáng.** Từ ống kính tới thẻ nhớ qua chín khối; mọi hỏng hóc truy được về một khối cụ thể
- **Cơ chế của cảm biến.** Sinh ra màn trập cuốn, vân moiré màu và nhiễu
- **Thông số điều khiển được.** Mỗi thông số là những con số xác định, đi kèm một sự đánh đổi
- **Tiêu chí chọn máy.** Máy ảnh không gương lật, điện thoại hay máy trường quay, tuỳ loại công việc

Những điều cần nhớ

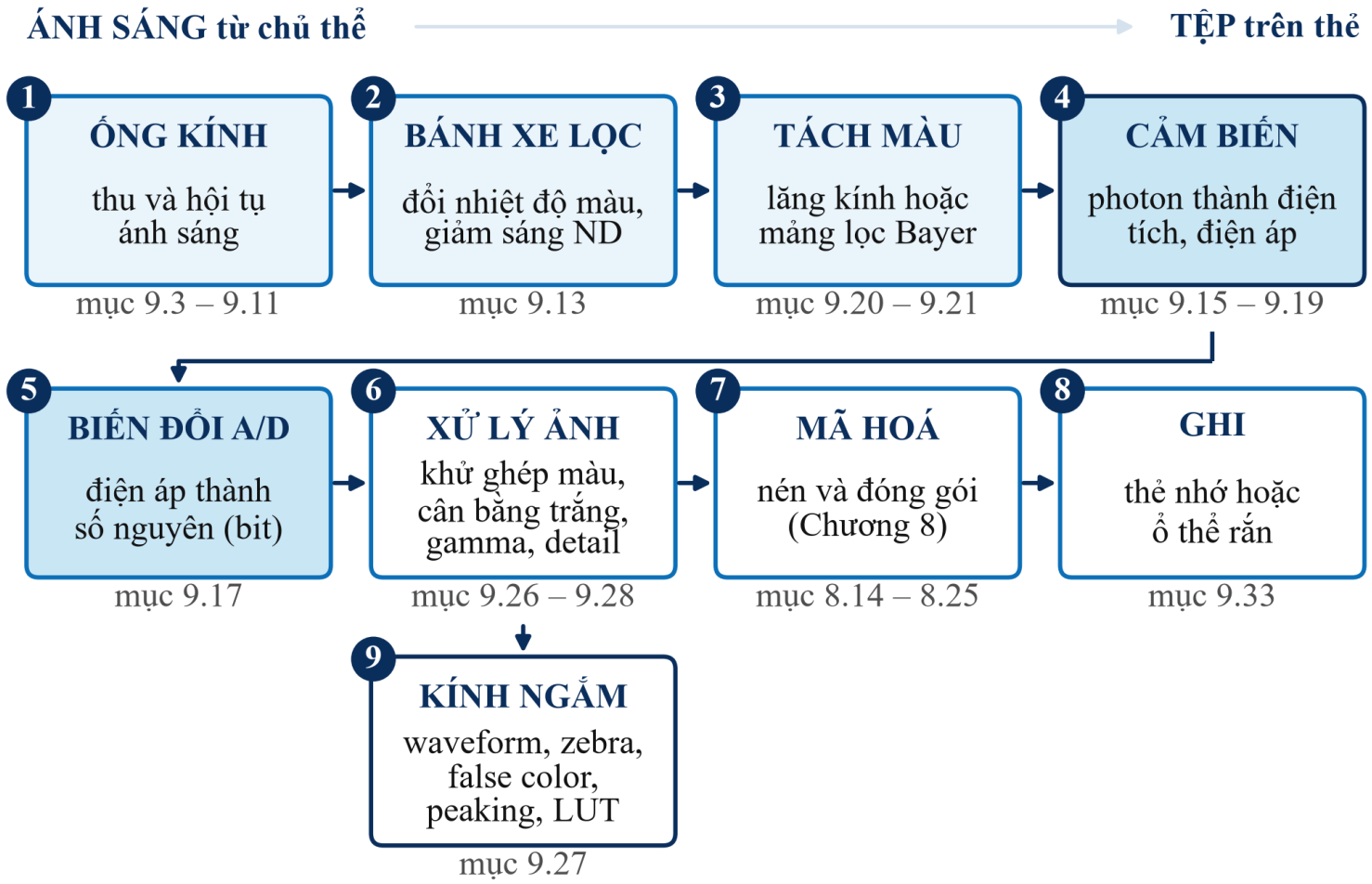
- Chương 9 là chương gần nghề nhất trong ba chương về video
- Thứ tự học 7 – 8 – 9; thứ tự vật lý 7 – 9 – 8
- Bốn câu hỏi: đường đi ánh sáng, cơ chế cảm biến, thông số điều khiển, tiêu chí chọn máy
- Phần A bắt đầu từ đầu đường đi: ống kính

Sơ đồ khối máy quay



- Chín khối theo đường đi của ánh sáng, từ ống kính đến kính ngắm và khối ghi
- Hệ số độ chói của máy quay hiện nay theo BT.709
- Bốn khối đã học ở chương khác và chỗ nối của chúng

Chín khối theo đường đi của ánh sáng



Hình 9.2 — Sơ đồ chín khối của máy quay — bản đồ dùng cho cả Phần A tới C

Đường đi của ánh sáng: ống kính tới cảm biến

- ① Ánh sáng phản xạ từ chủ thể đi vào ống kính
- ② Bánh xe lọc: hiệu chỉnh nhiệt độ màu, giảm bớt cường độ nếu cần
- ③ Tách màu: lăng kính lưỡng sắc chia ba đường đỏ, lục, lam ở máy trường quay; mảng lọc màu trên cảm biến ở phần lớn máy khác
- ④ Cảm biến: photon sinh điện tích, điện tích thành điện áp

Đường đi của tín hiệu: từ số hoá tới ghi và xem

- ⑤ Bộ biến đổi tương tự sang số: điện áp thành số nguyên
- ⑥ Khối xử lý ảnh, phần việc nặng nhất: khử ghép màu, cân bằng trắng, gamma hoặc log, ma trận màu, độ sắc nét
- Sau đó tín hiệu chia hai đường
- ⑦ → ⑧ Mã hoá rồi ghi; ⑨ Kính ngắm và màn hình cho người quay phim quan sát

Hai khối quyết định chất lượng ghi

GHI NHỚ

Máy có bộ biến đổi mười hai bit nhưng chỉ ghi ra tám bit thì phần lớn dải động đã bị loại bỏ ngay tại khối ⑥.

- **Khối ⑤** quyết định độ sâu bit của bản ghi
- **Khối ⑥** thực hiện mọi thiết lập người quay phim đặt trong menu
- Xem ⑥ là khối riêng giúp giải thích vì sao có thiết lập sửa được ở hậu kỳ và có thiết lập thì không

Hệ số độ chói trong máy quay hiện nay

Y′ là độ chói, R′ G′ B′ là ba thành phần đã qua đường truyền phi tuyến. Công thức (9.1)

$$Y' = 0{,}2126\,R' + 0{,}7152\,G' + 0{,}0722\,B'$$

- Hệ số của BT.709, dùng cho máy quay độ nét cao; máy gam màu rộng dùng hệ số BT.2020
- Phương trình Y = 0,11B + 0,30R + 0,59G (BT.601 làm tròn) chỉ áp dụng cho truyền hình độ nét tiêu chuẩn
- Đây là hằng số của hệ màu do chuẩn quy định: không đổi theo nhiệt độ màu hay cảnh quay
- Không phải đối tượng mà thao tác cân bằng trắng điều chỉnh (mục 9.26)

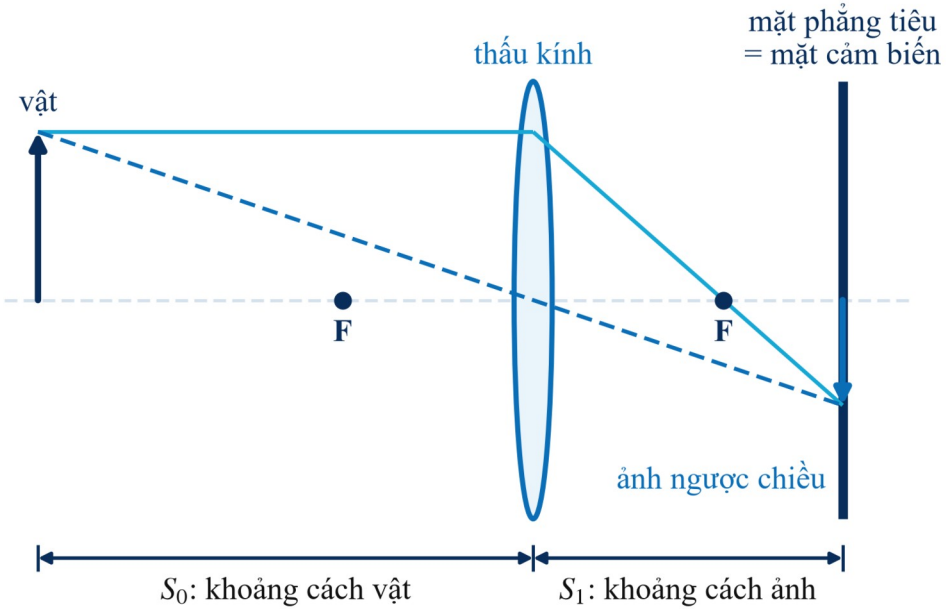
Bốn khối đã học ở chương khác

Khối	Nội dung thuộc chương nào	Chương 9 nói thêm gì
③ Tách màu	Nguyên lý ba màu và ma trận RGB sang Y'CbCr: Chương 7, mục 8.8	Tách màu bằng vật lý: lăng kính lưỡng sắc, mảng lọc màu Bayer
⑥ Xử lý ảnh: gamma, log	Đường truyền phi tuyến, HDR, LUT: mục 7.20 – 7.23	Vì sao bắt buộc có đường phi tuyến; phơi sáng cho log tại hiện trường
⑦ Mã hoá	Nén trong khung và liên khung, chuẩn nén, profile, level: mục 8.14 – 8.25	Chỉ nhắc chỗ nối; RAW của máy quay nói kỹ ở mục 9.28
⑧ Ghi	Bộ chứa, luồng truyền tải, quy trình trên tệp: mục 8.25 và 8.32	Vật liệu ghi qua các thời kỳ; cách đọc nhãn tốc độ thẻ: mục 9.33

Những điều cần nhớ

- Chín khối theo đường đi của ánh sáng: ống kính, bánh xe lọc, tách màu, cảm biến, A/D, xử lý ảnh, mã hoá, ghi, kính ngắm
- Khối A/D quyết định độ sâu bit; khối xử lý ảnh nắm mọi thiết lập trong menu
- $Y' = 0{,}2126\ R' + 0{,}7152\ G' + 0{,}0722\ B'$: công thức (9.1), hằng số của hệ màu
- Bốn khối đã học ở Chương 7 và 8; Chương 9 bổ sung phần vật lý và vận hành

Ống kính và sự tạo ảnh



$$\frac{1}{S_0} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{F}$$

$$m = \frac{S_1}{S_0}$$

Vật ra vô cực:
$S_1 = F$ (định nghĩa tiêu cự).

Vật lại gần:
S_1 tăng, ống phải dài ra khi lấy nét.

- Công thức thấu kính mỏng và độ phóng đại
- Hai hệ quả thực hành: vật ở vô cực và lấy nét gần
- Ba nhóm ống kính theo tiêu cự: góc rộng, thường, tele

Công thức thấu kính mỏng

Ống kính tập trung ánh sáng lên một bề mặt gọi là mặt phẳng tiêu. Công thức (9.2)

$$\frac{1}{S_0} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{F}$$

- S_0: khoảng cách từ vật tới ống kính
- S_1: khoảng cách từ ống kính tới ảnh
- F: tiêu cự
- Ống kính gồm nhiều thấu kính hội tụ và phân kỳ trong một vỏ; thấu kính ở đầu vào và đầu ra luôn là hội tụ

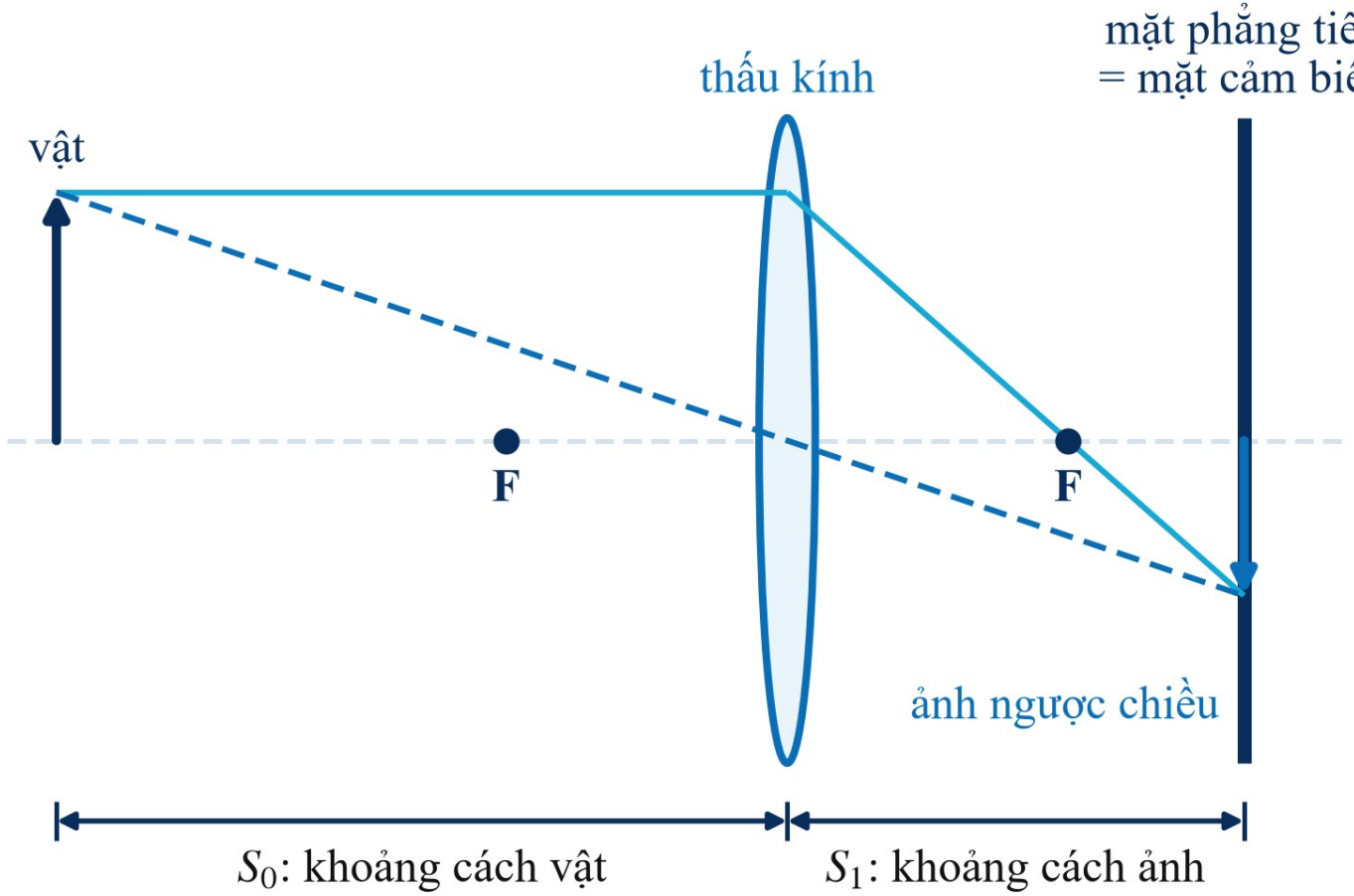
Độ phóng đại của ảnh

m là tỉ số khoảng cách ảnh trên khoảng cách vật, bằng tỉ số chiều cao ảnh trên chiều cao vật. Công thức (9.3)

$$m = \frac{S_1}{S_0} = \frac{h_1}{h_0}$$

- h_0: chiều cao của vật; h_1: chiều cao của ảnh
- Độ phóng đại suy ra trực tiếp từ công thức thấu kính
- Vật càng gần thì S_1 càng lớn, ảnh càng lớn

Thấu kính hội tụ tạo ảnh



$$\frac{1}{S_0} + \frac{1}{S_1} = \frac{1}{F}$$

$$m = \frac{S_1}{S_0}$$

Vật ra vô cực:
$S_1 = F$ (định nghĩa tiêu cự).

Vật lại gần:
S_1 tăng, ống phải dài ra khi lấy nét.

Hình 9.3 — Thấu kính hội tụ tạo ảnh và công thức thấu kính

Hai hệ quả thực hành của một công thức

GHI NHỚ

Vật ở vô cực thì S_1 đúng bằng F: đó là định nghĩa của tiêu cự.

- Vật càng xa, ảnh càng lùi sát về tiêu điểm
- Vật càng gần, ảnh càng lùi ra xa phía sau tiêu điểm
- Vì vậy ống kính phải dài ra khi lấy nét gần; ống macro có hành trình lấy nét rất dài

Ba nhóm ống kính theo tiêu cự

- **Ống thường:** khoảng 35 tới 50 mm
- **Ống góc rộng:** dưới 35 mm
- **Ống tele:** trên 50 mm
- Các mốc milimét chỉ có nghĩa khi gắn với một cỡ cảm biến; ở đây là khổ phim 35 mm, tức toàn khung 36 × 24 mm

Ba nhóm ống kính và tính chất

Nhóm	Tiêu cự (toàn khung)	Đặc điểm hình ảnh	Hay dùng cho
Góc rộng	Dưới 35 mm	Ôm không gian rộng; nhấn mạnh chiều sâu; vật xa trông nhỏ; dễ méo hình thùng ở mép	Không gian chật, cảnh toàn, chuyển động vào ra khung
Thường	Khoảng 35 – 50 mm	Tỉ lệ và chiều sâu gần mắt người nhất; ít méo	Phóng sự, đối thoại, cảnh cần tự nhiên
Tele	Trên 50 mm	Kéo vật xa lại gần; nén chiều sâu; hậu cảnh sát chủ thể; nền dễ mờ; dễ méo hình gối	Chân dung, thể thao, quay từ xa, tách chủ thể khỏi nền

Ngôn ngữ hình ảnh của ống góc rộng

GHI NHỚ

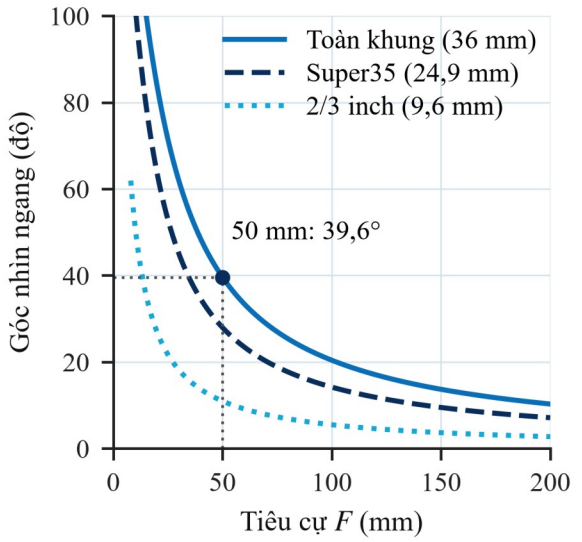
Ống góc rộng lấy nét được chủ thể rất gần mà vẫn thu được bối cảnh xung quanh khung hình.

- Không chỉ là "thấy rộng hơn"
- Đặt được chủ thể sát máy trong khi vẫn giữ nguyên bối cảnh

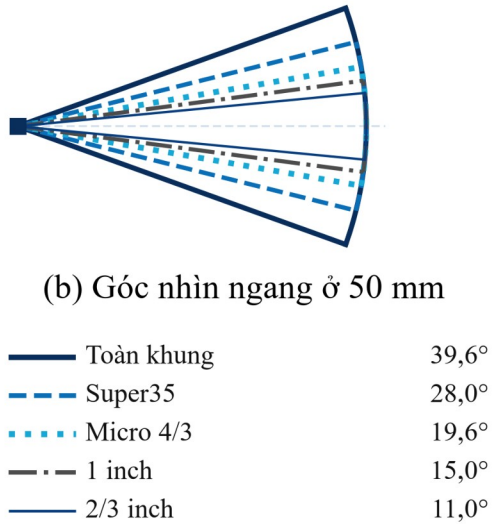
Những điều cần nhớ

- Công thức thấu kính mỏng $1/S_o + 1/S_1 = 1/F$: công thức (9.2)
- Độ phóng đại $m = S_1/S_o = h_1/h_o$: công thức (9.3)
- Vật ở vô cực: $S_1 = F$; lấy nét gần: ống kính dài ra
- Góc rộng dưới 35 mm, thường 35 – 50 mm, tele trên 50 mm, tính trên toàn khung 36 × 24 mm

Cỡ cảm biến, góc nhìn và hệ số cắt



(a) Góc nhìn theo tiêu cự



(b) Góc nhìn ngang ở 50 mm

- Điều người xem cảm nhận là góc nhìn, không phải tiêu cự
- Hệ số cắt và tiêu cự tương đương quy mọi cảm biến về toàn khung
- Con số inch của cảm biến là di sản của ống vidicon

Góc nhìn tính từ tiêu cự và cỡ cảm biến

Góc nhìn phụ thuộc đồng thời vào tiêu cự và kích thước vùng ảnh. Công thức (9.4)

$$\alpha = 2\arctan\left(\frac{d}{2F}\right)$$

- d: kích thước cảm biến theo chiều đang xét; chiều ngang cho góc nhìn ngang, đường chéo cho góc nhìn chéo
- F: tiêu cự của ống kính
- Cùng một ống 50 mm cho những góc nhìn rất khác nhau tuỳ cảm biến gắn sau nó

Hai cảm biến CMOS cỡ rất khác nhau

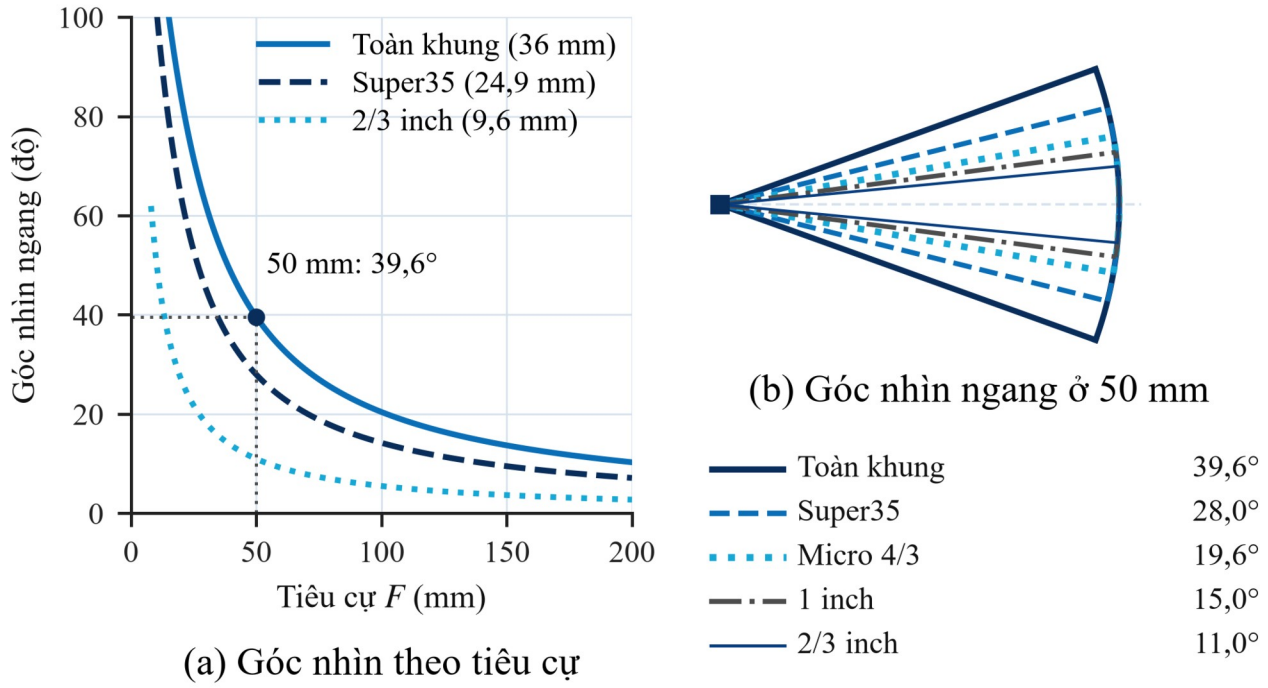


Hình 9.4 — Cảm biến CMOS khổ 35 mm trong thân máy ảnh (trái) và cảm biến nhỏ của camera công nghiệp (phải)

Nguồn: 根川孝太郎 , CC BY-SA 4.0, Wikimedia Commons (truy cập 05/11/2026).

- Cảm biến lớn hứng nhiều ánh sáng hơn và cần vòng ảnh lớn hơn
- Cùng một tiêu cự cho hai góc nhìn khác nhau trên hai cảm biến này

Cùng một tiêu cự, nhiều góc nhìn



Hình 9.5 — Cùng một tiêu cự cho những góc nhìn khác nhau tuỳ cỡ cảm biến

- Ở 50 mm, góc nhìn ngang: toàn khung 39,6°, Super35 28,0°, Micro 4/3 19,6°, 1 inch 15,0°, 2/3 inch 11,0°

Hệ số cắt

k là tỉ số đường chéo toàn khung trên đường chéo cảm biến. Công thức (9.5)

$$k = \frac{d_{FF}}{d}, \quad d_{FF} = \sqrt{36^2 + 24^2} = 43{,}27 \text{ mm}$$

- Lấy khổ toàn khung 36 × 24 mm làm mốc để so sánh nhanh
- d là đường chéo của cảm biến đang xét
- Cảm biến càng nhỏ, hệ số cắt càng lớn

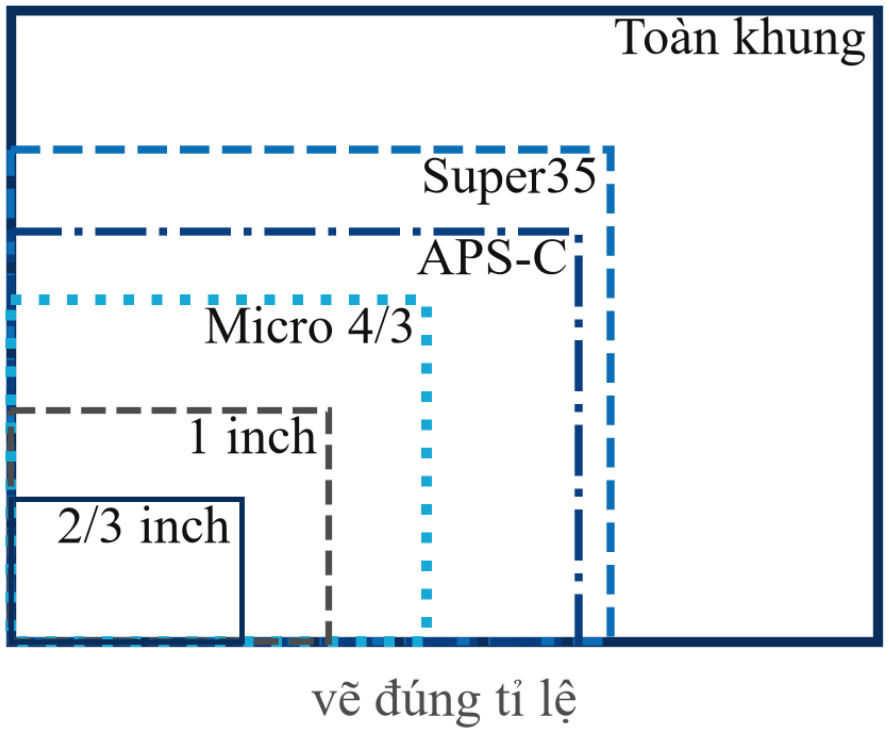
Tiêu cự tương đương

F là tiêu cự thật của ống; F_eq là tiêu cự quy đổi về toàn khung. Công thức (9.6)

$$F_{\text{eq}} = k \cdot F$$

- Tiêu cự cần có trên khổ toàn khung để cho cùng góc nhìn
- Ví dụ: cảm biến 2/3 inch có k = 3,93; ống 8 mm cho góc nhìn tương đương ống 31 mm toàn khung
- Đó là lý do ống kính máy trường quay có những con số tiêu cự khác thường

Các khổ cảm biến vẽ đúng tỉ lệ



Khổ	Rộng × cao (mm)	Chéo (mm)	Hệ số cắt	8 mm ↔ (mm)
Toàn khung	36,0 × 24,0	43,3	× 1,00	8
Super35	24,9 × 18,7	31,1	× 1,39	11
APS-C	23,6 × 15,6	28,3	× 1,53	12
Micro 4/3	17,3 × 13,0	21,6	× 2,00	16
1 inch	13,2 × 8,8	15,9	× 2,73	22
2/3 inch	9,6 × 5,4	11,0	× 3,93	31

Số inch là di sản của ống thu hình vidicon, không phải kích thước thật: so đường chéo (mm).

Hình 9.6 — Các khổ cảm biến vẽ đúng tỉ lệ, kèm hệ số cắt và tiêu cự tương đương

Hệ số cắt của các khổ cảm biến

Khổ	Rộng × cao (mm)	Chéo (mm)	Hệ số cắt	8 mm tương đương (mm)
Toàn khung	36,0 × 24,0	43,3	× 1,00	8
Super35	24,9 × 18,7	31,1	× 1,39	11
APS-C	23,6 × 15,6	28,3	× 1,53	12
Micro 4/3	17,3 × 13,0	21,6	× 2,00	16
1 inch	13,2 × 8,8	15,9	× 2,73	22
2/3 inch	9,6 × 5,4	11,0	× 3,93	31

Vì sao "1 inch" không phải một inch

GHI NHỚ

Cảm biến gọi là "1 inch" có đường chéo khoảng 15,9 mm, không phải 25,4 mm; cảm biến 2/3 inch có đường chéo 11 mm.

- Di sản của ống thu hình vidicon: tên gọi dựa trên đường kính ngoài của ống thuỷ tinh
- Vùng ảnh dùng được chỉ khoảng hai phần ba đường kính ấy
- Cách gọi được giữ lại để tương thích với ống kính sẵn có
- Kết luận thực hành: so đường chéo cảm biến bằng milimét, không so con số inch

Full HD, 2K và kích thước cảm biến

- **Điểm thứ nhất.** 1920 × 1080 là số điểm ảnh, không liên quan tới kích thước vật lý của cảm biến
- Cảm biến 1/2,3 inch của camera hành động vẫn cho 1920 × 1080 đúng chuẩn; cảm biến khổ lớn vẫn có thể quay ở độ phân giải thấp hơn
- **Điểm thứ hai.** 2K theo quy ước điện ảnh số DCI là 2048 × 1080, khác Full HD 1920 × 1080
- Hai con số hay bị dùng lẫn, gây khó khăn khi giao nộp bản hoàn chỉnh

Bốn hệ quả thật sự của cỡ cảm biến

Ảnh hưởng tới	Cơ chế	Hệ quả thực hành
Góc nhìn của một ống kính	Cảm biến nhỏ cắt bớt vòng ảnh của ống	Quy đổi tiêu cự qua hệ số cắt khi đổi thân máy
Độ sâu trường ảnh ở cùng góc nhìn	Cảm biến nhỏ phải dùng tiêu cự ngắn hơn, cho vùng nét dày hơn	Cảm biến lớn dễ tách chủ thể khỏi nền; cảm biến nhỏ tiện cho truyền hình trực tiếp
Nhiễu và dải động	Cùng số điểm ảnh, cảm biến lớn có ô lớn hơn, hứng nhiều photon hơn	Sạch hơn khi thiếu sáng (mục 9.22)
Kích thước và giá ống kính	Ống phải phủ hết vòng ảnh của cảm biến	Ống cho cảm biến lớn to, nặng, đắt hơn nhiều

Một nhầm lẫn rất phổ biến

CẢNH BÁO

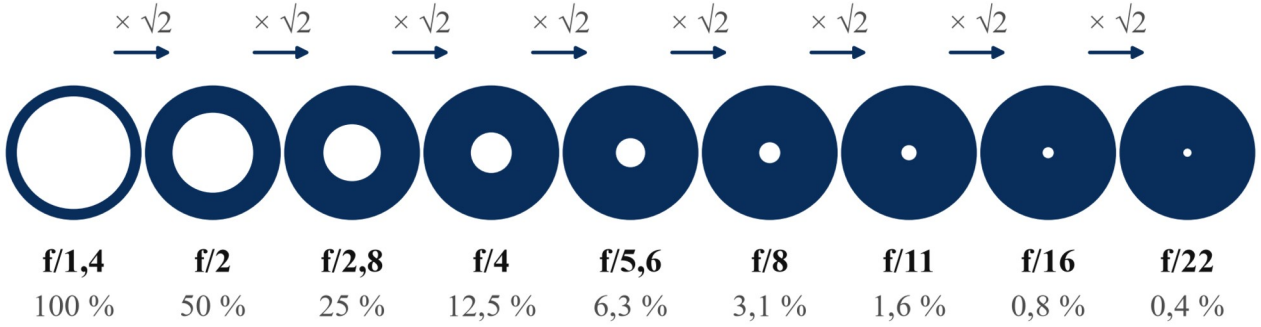
"Cảm biến lớn thì nét hơn" là nhận định sai: độ phân giải thực tế do số điểm ảnh và chất lượng ống kính quyết định.

- Điều cảm biến lớn thực sự mang lại: vùng nét mỏng hơn ở cùng góc nhìn
- Và ảnh sạch hơn ở cùng số điểm ảnh
- Hai đặc tính này khác hẳn với việc "nét hơn"

Những điều cần nhớ

- Góc nhìn α = 2·arctan(d/2F): công thức (9.4); toàn khung 50 mm cho 39,6°
- Hệ số cắt k = 43,27/d: công thức (9.5); F_eq = k·F: công thức (9.6)
- Cảm biến 2/3 inch: k = 3,93; ống 8 mm tương đương 31 mm
- So đường chéo bằng milimét, không so con số inch
- Cảm biến lớn cho vùng nét mỏng và ảnh sạch hơn, không phải "nét hơn"

Khẩu độ, f-stop và T-stop



$f = F/D$: số f càng lớn thì lỗ mở càng nhỏ.
Mỗi nấc: số f nhân √2, đường kính chia √2, diện tích chia 2,
nên lượng sáng giảm một nửa (một stop).

Phần trăm: lượng sáng qua ống kính, lấy f/1,4 làm 100 %.

- Khẩu độ là tỉ số tiêu cự trên đường kính hiệu dụng
- Thang khẩu độ chạy theo căn hai; một nấc là một stop
- T-stop là con số đo được, đã trừ hao ánh sáng trong ống kính

Khẩu độ

f là số f (f-number) của ống kính, F là tiêu cự, D là đường kính hiệu dụng. Công thức (9.7)

$$f = \frac{F}{D}$$

- D: đường kính hiệu dụng, tức đường kính lỗ tròn ở giữa màng ngăn sáng, điều chỉnh được
- Khả năng tập hợp ánh sáng thay đổi theo tỉ lệ nghịch với bình phương của tỉ số tiêu cự trên đường kính
- Quan hệ này được biểu diễn bằng một thang số chuẩn

Chỗ ngược đời khiến người mới học hay nhầm

CẢNH BÁO

Số f càng lớn thì lỗ mở càng nhỏ và ánh sáng vào càng ít.

- Nguyên nhân nằm trong định nghĩa: đường kính ở mẫu số
- Ống "nhanh" có số f nhỏ nhất ở mức thấp: mở được to nhất, nhiều ánh sáng nhất
- Nên chụp được ở tốc độ màn trập nhanh hơn; đó là nguồn gốc của chữ "nhanh"

Thang khẩu độ chạy theo căn hai

f_0 là khẩu độ xuất phát, n là số nấc. Công thức (9.8)

$$f_n = f_0 \cdot (\sqrt{2})^n$$

- Dãy khẩu độ: 1,4 – 2 – 2,8 – 4 – 5,6 – 8 – 11 – 16 – 22
- Mỗi nấc bằng nấc trước nhân với căn bậc hai của hai (√2 ≈ 1,414)
- Các số trên ống kính là giá trị làm tròn của dãy này

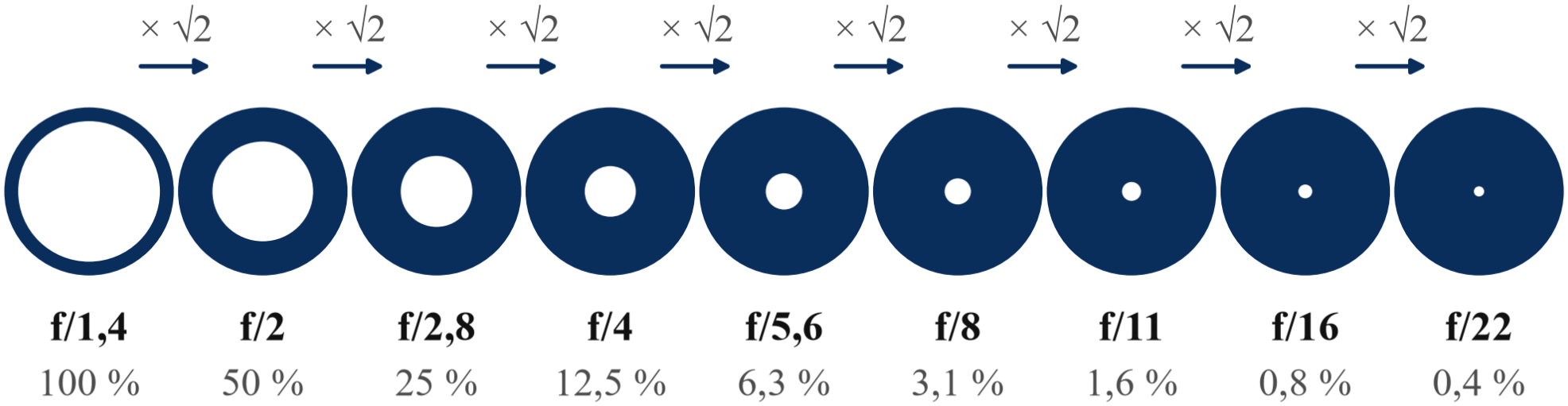
Lượng sáng tỉ lệ nghịch với bình phương số f

E là lượng sáng tới cảm biến, f là số f. Công thức (9.9)

$$E \propto \frac{1}{f^2} \; ; \quad \frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$$

- Lượng sáng tỉ lệ với diện tích lỗ mở, tức bình phương đường kính
- Diện tích giảm một nửa thì đường kính chia √2, số f nhân √2
- Ví dụ: f/2 sang f/4 là hai nấc, lượng sáng giảm $(4/2)^2 = 4$ lần

Thang khẩu độ



$f = F/D$: số f càng lớn thì lỗ mở càng nhỏ.
Mỗi nấc: số f nhân √2, đường kính chia √2, diện tích chia 2,
nên lượng sáng giảm một nửa (một stop).

Phần trăm: lượng sáng qua ống kính, lấy f/1,4 làm 100 %.

Hình 9.7 — Thang khẩu độ: mỗi nấc nhân căn hai, lượng sáng giảm một nửa

Stop: đơn vị đo cơ bản của nghề quay phim

GHI NHỚ

Một stop luôn có nghĩa là gấp đôi hoặc một nửa lượng sáng.

- Áp dụng cho khẩu độ, thời gian phơi sáng, ISO và kính ND
- Một nấc trên thang khẩu độ là một stop
- Toàn bộ mục 9.24 về phơi sáng dựa trên khái niệm này

Vì sao cần T-stop

- Số f tính từ hình học: tiêu cự chia đường kính
- Ánh sáng đi qua ống kính còn mất một phần do phản xạ và hấp thụ ở mỗi mặt kính
- Một ống có bảy nhóm thấu kính có mười bốn mặt kính; tổng lượng mất có thể tới hai chục phần trăm
- Ống kính điện ảnh vì vậy ghi T-stop, con số đo thực sau khi đã trừ hao

T-stop

T là T-stop, f là số f tính được. Công thức (9.10)

$$T = \frac{f}{\sqrt{\tau}}$$

- τ: độ truyền qua của ống kính, tức tỉ lệ ánh sáng đi qua được
- τ = 1 thì T = f; ống thực tế có τ < 1 nên T luôn lớn hơn f
- Ví dụ: τ = 0,8 cho T ≈ 1,12 f, tương đương chậm hơn khoảng 0,3 stop

Ống kính điện ảnh ghi T-stop



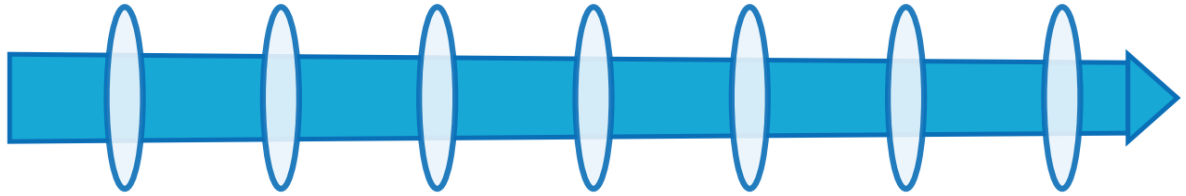
Hình 9.8 — Ống kính điện ảnh 12 mm T2.2: thang T-stop (T2.2 đến T22), thang khoảng cách và các vòng răng cưa

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

- Thang T-stop khắc trên vòng khẩu độ
- Vòng răng cưa để gắn bộ điều khiển nét
- Thang khoảng cách khắc trên vòng nét

f-stop và T-stop

bảy nhóm thấu kính, mười bốn mặt kính: mỗi mặt phản xạ và hấp thụ một phần



100 % ánh sáng đi qua **≈ 80 %**

$$T = \frac{f}{\sqrt{\tau}}$$

τ: hệ số truyền qua đo được của ống kính

Ống kính	f ghi trên vỏ (tính được)	τ đo được	T thật (đo được)	Mất sáng (nấc)
Ống ảnh giá phổ thông	f/2,0	0,72	T/2,36	0,47
Ống ảnh chất lượng cao	f/2,0	0,88	T/2,13	0,18
Ống điện ảnh	f/1,8	0,90	T/1,90	0,15

Hai ống cùng ghi f/2,0 vẫn có thể chênh nhau gần một phần ba nấc; ống điện ảnh ghi T.

Hình 9.9 — f-stop là số tính được, T-stop là số đo được

Vì sao điều này quan trọng khi đi quay

GHI NHỚ

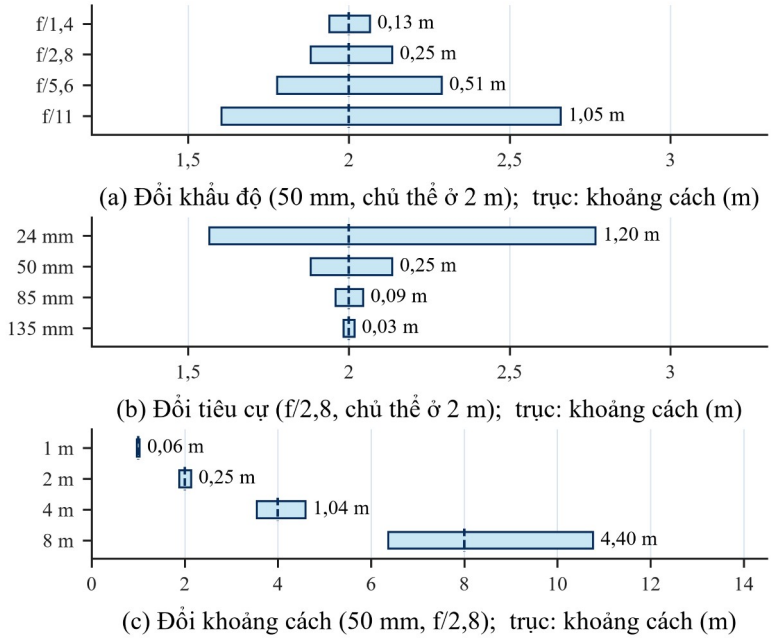
Hai ống cùng ghi f/2,0 nhưng độ trong suốt khác nhau có thể chênh nhau gần một phần ba nấc sáng.

- Không đáng kể khi cả cảnh quay chỉ dùng một ống
- Khi đổi ống giữa các cảnh cùng trường đoạn, hoặc quay nhiều máy với ống nhiều hãng: nhảy sáng tại điểm cắt
- Người chỉnh màu phải hiệu chỉnh từng cảnh một
- Vì vậy bộ ống điện ảnh ghi theo T-stop và cung cấp theo bộ đã hiệu chuẩn đồng bộ

Những điều cần nhớ

- f = F/D: công thức (9.7); số f càng lớn, ánh sáng vào càng ít
- Thang khẩu độ nhân √2 mỗi nấc; E tỉ lệ $1/f^2$: công thức (9.8), (9.9)
- Một stop là gấp đôi hoặc một nửa lượng sáng, áp dụng cho khẩu độ, màn trập, ISO, ND
- T = f/√τ: công thức (9.10); ống điện ảnh ghi T-stop để đồng bộ giữa các ống

Độ sâu trường ảnh



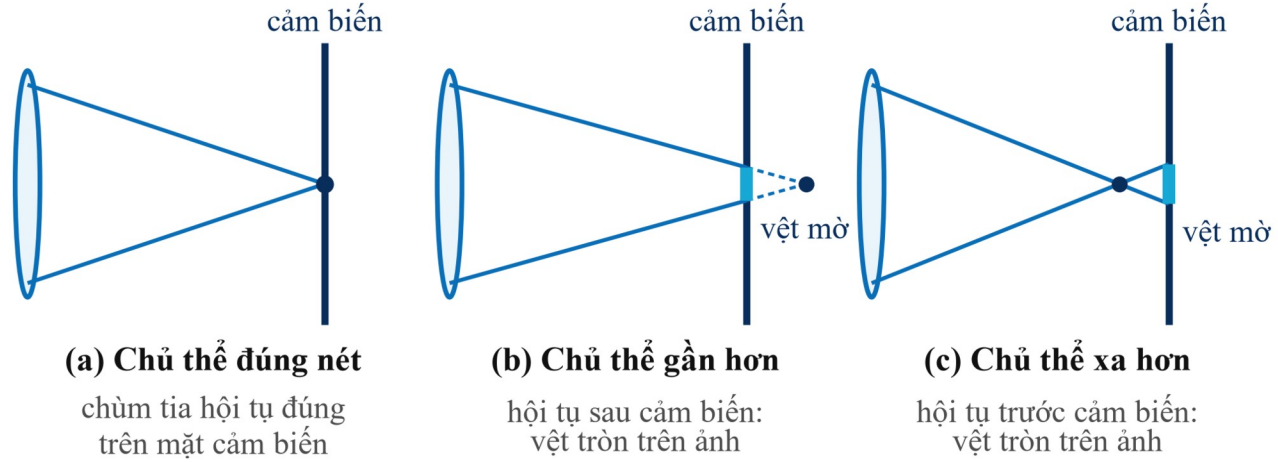
(a) Đổi khẩu độ (50 mm, chủ thể ở 2 m); trục: khoảng cách (m)

(b) Đổi tiêu cự (f/2,8, chủ thể ở 2 m); trục: khoảng cách (m)

(c) Đổi khoảng cách (50 mm, f/2,8); trục: khoảng cách (m)

- Vòng tròn mờ: vì sao "nét" là một khoảng chứ không phải một điểm
- Khoảng siêu tiêu cự, giới hạn gần và giới hạn xa của vùng nét
- Ba biến tác động lên vùng nét, và biến nào mạnh nhất

Vòng tròn mờ



Vòng tròn mờ cho phép c = đường chéo cảm biến ÷ 1.500

Toàn khung	Super35	Micro 4/3	2/3 inch
c = 0,0288 mm	c = 0,0207 mm	c = 0,0144 mm	c = 0,0073 mm

Hình 9.10 — Vòng tròn mờ — vì sao "nét" là một khoảng chứ không phải một điểm

- Chỉ một mặt phẳng cho ảnh hội tụ thành điểm; vật gần hơn hay xa hơn cho ảnh là vệt tròn nhỏ
- Mắt không phân biệt được vệt nhỏ hơn một ngưỡng nhất định nên ảnh vẫn được coi là nét

Vòng tròn mờ cho phép

d là đường chéo cảm biến, c là đường kính vòng tròn mờ cho phép. Công thức (9.11)

$$c = \frac{d}{1500}$$

- Ngưỡng ấy gọi là vòng tròn mờ cho phép
- Quy ước thông dụng nhất: đường chéo cảm biến chia cho 1500
- Toàn khung: c = 43,27/1500 ≈ 0,029 mm

Con số 1500 không phải hằng số vật lý

CẢNH BÁO

1500 là một quy ước, dựa trên giả định người xem đứng ở khoảng cách thông thường trước bản in hoặc màn hình cỡ vừa.

- Chiếu lên màn rạp hoặc màn hình rất lớn: dùng ước số lớn hơn (2000 hoặc hơn), khắt khe hơn, vùng nét mỏng hơn
- Hai bảng tra độ sâu trường ảnh của hai hãng có thể cho hai con số khác nhau mà đều đúng
- Miễn là ghi rõ quy ước mà mỗi bảng sử dụng

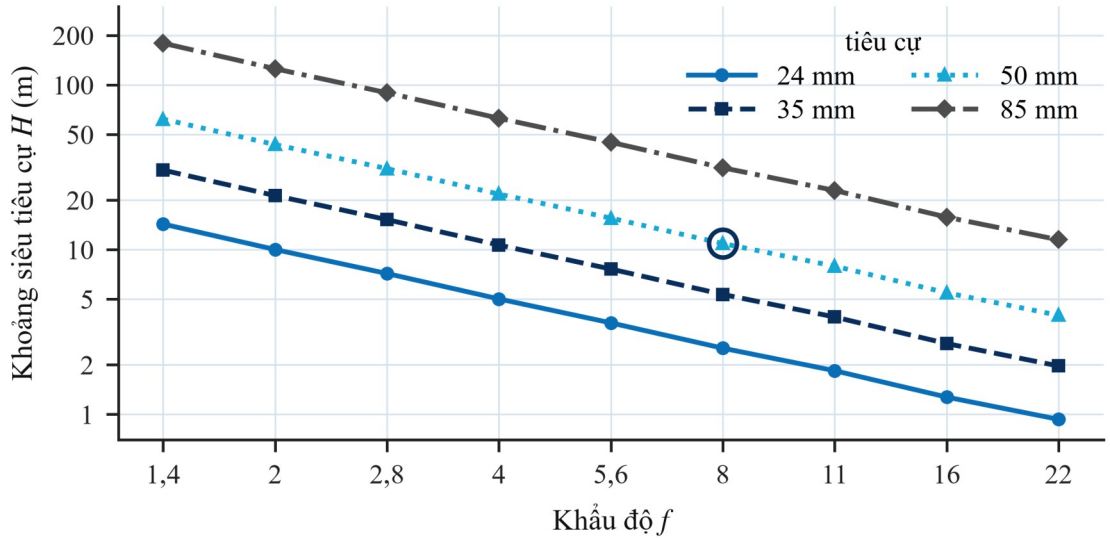
Khoảng siêu tiêu cự

F là tiêu cự, f là số f, c là vòng tròn mờ cho phép. Công thức (9.12)

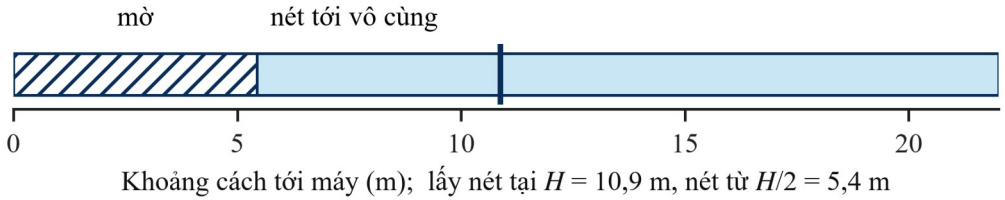
$$H = \frac{F^2}{f \cdot c} + F$$

- Lấy nét càng xa, vùng nét càng kéo dài về phía sau
- Tới khoảng cách H, giới hạn xa chạm tới vô cực
- Lấy nét đúng ở H thì mọi vật từ H/2 tới vô cực đều nét

Khoảng siêu tiêu cự



(a) Khoảng siêu tiêu cự theo khẩu độ và tiêu cự



(b) Ống 50 mm, f/8

Hình 9.11 — Khoảng siêu tiêu cự — lấy nét ở đó thì nét từ H/2 tới vô cùng

Vì sao camera hành động gần như luôn nét

- Cảm biến rất nhỏ nên vòng tròn mờ rất nhỏ
- Tiêu cự rất ngắn; H tỉ lệ với bình phương tiêu cự nên H rút xuống chỉ còn vài chục xăng-ti-mét
- Kết quả: gần như mọi vật đều nét mà không cần lấy nét
- Cũng là điều camera điện thoại đời cũ khai thác

Giới hạn gần và giới hạn xa của vùng nét

H là khoảng siêu tiêu cự theo công thức (9.12). Công thức (9.13)

$$D_n = \frac{s\,(H - F)}{H + s - 2F} \;;\quad D_f = \frac{s\,(H - F)}{H - s}$$

- s: khoảng cách từ máy tới chủ thể đã lấy nét
- D_n: giới hạn gần; D_f: giới hạn xa
- Khi s bằng hoặc vượt H, mẫu số của D_f triệt tiêu hoặc đổi dấu: vùng nét kéo dài tới vô cực

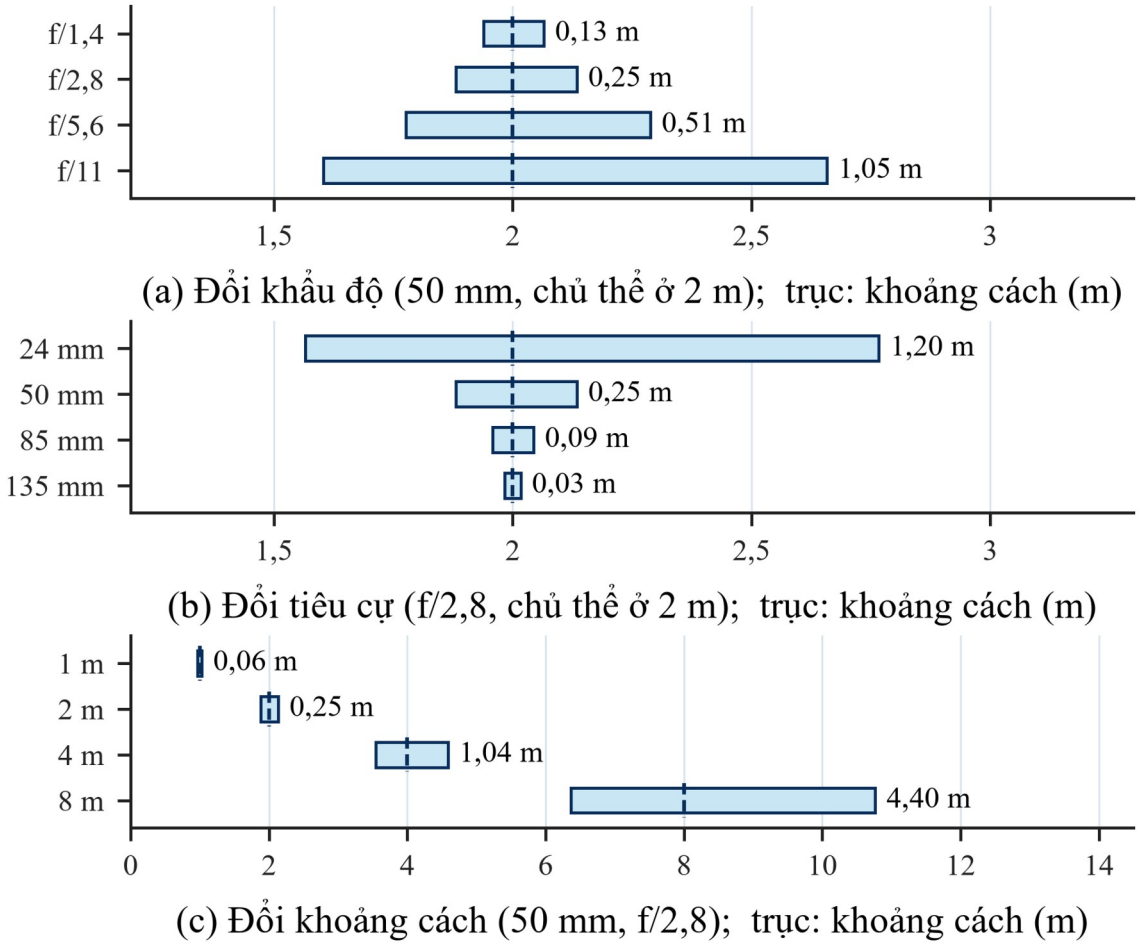
Độ sâu trường ảnh

DOF (depth of field) là chiều dài vùng nét dọc trục quang học. Công thức (9.14)

$$\mathrm{DOF} = D_f - D_n \quad (s \geq H \Rightarrow D_f \to \infty)$$

- Độ sâu trường ảnh là hiệu của giới hạn xa và giới hạn gần
- Khi s ≥ H, vùng nét kéo dài tới vô cực
- Ngoài hiện trường thường tra bảng hoặc ứng dụng thay vì tính tay

Độ sâu trường ảnh theo ba biến



Hình 9.12 — Độ sâu trường ảnh theo ba biến: khẩu độ, tiêu cự và khoảng cách

Số liệu của Hình 9.12 (toàn khung, c = d/1500)

Biến đổi	Giá trị	Vùng nét
(a) Khẩu độ, 50 mm, chủ thể ở 2 m	f/1,4 · f/2,8 · f/5,6 · f/11	0,13 · 0,25 · 0,51 · 1,05 m
(b) Tiêu cự, f/2,8, chủ thể ở 2 m	24 · 50 · 85 · 135 mm	1,20 · 0,25 · 0,09 · 0,03 m
(c) Khoảng cách, 50 mm, f/2,8	1 · 2 · 4 · 8 m	0,06 · 0,25 · 1,04 · 4,40 m

- Mỗi nấc khép khẩu: vùng nét dày lên khoảng √2 lần; khoảng cách gấp đôi: khoảng bốn lần

Ba cách làm mỏng hoặc dày vùng nét

Biến	Làm vùng nét MỎNG đi	Cái giá phải trả
Khẩu độ	Mở khẩu to hơn, giảm số f	Ánh sáng vào nhiều hơn nên phải bù bằng ND; ống mở hết cỡ thường kém nét và tối góc hơn
Tiêu cự	Dùng ống dài hơn	Góc nhìn hẹp lại nên phải lùi máy; hậu cảnh bị nén, cảm giác không gian đổi hẳn
Khoảng cách tới chủ thể	Lại gần chủ thể hơn	Cỡ cảnh đổi; muốn giữ cỡ cảnh phải đổi tiêu cự, khi ấy hai biến cùng đổi

Biến mạnh nhất là khoảng cách

GHI NHỚ

Đổi khẩu từ f/1,4 lên f/11 làm vùng nét dày lên khoảng tám lần; đổi khoảng cách từ 1 m lên 8 m làm vùng nét dày lên hơn bảy chục lần.

- Độ sâu trường ảnh gần như tỉ lệ với bình phương khoảng cách, chỉ tỉ lệ bậc nhất với số f
- Vùng nét quá mỏng, khó giữ nét: lùi máy ra xa và đổi sang ống dài hơn để giữ cỡ cảnh, thay vì khép khẩu

Vì sao cảm biến lớn cho nền mờ hơn

- Kích thước cảm biến không xuất hiện trong công thức độ sâu trường ảnh, ngoại trừ qua vòng tròn mờ
- Cùng góc nhìn trên cảm biến nhỏ hơn: phải dùng tiêu cự ngắn hơn theo đúng hệ số cắt
- Tiêu cự ngắn cho H ngắn hơn nhiều (H tỉ lệ với F^2), nên vùng nét dày lên
- Cảm biến lớn cho phép dùng tiêu cự dài hơn ở cùng góc nhìn, và chính tiêu cự dài làm mờ nền

Hệ quả cho máy trường quay

GHI NHỚ

Máy quay trường quay 2/3 inch cho vùng nét rất dày, điều truyền hình trực tiếp cần vì người quay không có thời gian chỉnh nét liên tục.

- Cảm biến lớn không tự làm mờ nền
- Nền mờ là hệ quả của tiêu cự dài ở cùng một góc nhìn

Những điều cần nhớ

- Vòng tròn mờ cho phép c = d/1500: công thức (9.11); 1500 là quy ước, không phải hằng số vật lý
- $H = F^2/(f \cdot c) + F$: công thức (9.12); lấy nét ở H thì nét từ H/2 tới vô cực
- D_n, D_f, DOF: công thức (9.13) và (9.14)
- Khoảng cách là biến mạnh nhất (gần với bình phương), rồi tiêu cự, rồi khẩu độ
- Cảm biến lớn cho nền mờ vì cho phép dùng tiêu cự dài hơn ở cùng góc nhìn

Bài thực hành số 1: tiêu cự, khẩu độ và độ sâu trường ảnh

- Mục tiêu: đo bằng thực nghiệm những con số đã tính bằng công thức
- Quan sát trực tiếp tác động của ba biến số lên độ sâu trường ảnh
- Bốn phần việc; nhóm ba tới bốn người

Chuẩn bị

- Lớp chia thành các nhóm ba tới bốn người
- Mỗi nhóm: một máy quay có ống zoom và đặt được khẩu thủ công
- Một thước dây; một thước đo góc hoặc ứng dụng đo góc trên điện thoại; một bảng thử nét
- Nếu có thêm thân máy khác cỡ cảm biến thì thực hiện trọn vẹn phần bốn

Phần 1 — Đo góc nhìn thật

- Đặt máy trên chân, đo khoảng cách tới một bức tường
- Đánh dấu hai mép khung hình lên tường ở ba tiêu cự khác nhau
- Đo bề rộng phần tường lọt khung, rồi tính góc nhìn; so với góc tính từ công thức (9.4) với cỡ cảm biến của máy
- Kết quả cần rút ra: sai lệch thường dưới vài độ; số ghi trên vòng zoom là tiêu cự danh nghĩa, không phải lúc nào cũng đúng tuyệt đối

Phần 2 — Đo vùng nét theo khẩu độ

- Đặt một dãy vật nhỏ có chữ, cách nhau 10 cm, trải dài 2 mét; lấy nét vào vật ở giữa
- Quay dãy ấy ở f/2, f/4, f/8 và f/16, giữ nguyên mọi thứ khác
- Đếm mỗi lần có bao nhiêu vật còn đọc được chữ
- Kết quả cần rút ra: vùng nét dày lên rõ rệt theo từng nấc khép khẩu; so với kết quả từ công thức (9.13) bằng vòng tròn mờ của đúng cỡ cảm biến máy mình

Phần 3 — Giữ cỡ cảnh, đổi tiêu cự

- Quay một người ở cỡ trung
- Lần một: ống rộng, đứng gần. Lần hai: ống dài, lùi ra sao cho người chiếm đúng chừng ấy khung hình; giữ nguyên khẩu độ
- Kết quả cần rút ra: chủ thể trông như nhau nhưng hậu cảnh đổi hẳn
- Ống dài nén không gian và làm nền mờ hơn; bài học về ngôn ngữ hình ảnh, không chỉ về kỹ thuật

Phần 4 — Hai cỡ cảm biến

- Quay cùng một cảnh, cùng góc nhìn, cùng khẩu độ, bằng hai thân máy có cỡ cảm biến khác nhau
- Tính trước tiêu cự cần dùng trên mỗi máy bằng hệ số cắt
- Kết quả cần rút ra: góc nhìn khớp nếu tính đúng, nhưng vùng nét khác nhau rõ
- Giải thích bằng cơ chế ở mục 9.6.5, không bằng câu "cảm biến to thì nền mờ"

Sản phẩm nộp

- Bảng đối chiếu góc nhìn đo được và tính được ở ba tiêu cự
- Bảng vùng nét đo được và tính được ở bốn khẩu độ
- Hai ảnh của phần ba đặt cạnh nhau, kèm nhận xét về hậu cảnh
- Nếu thực hiện phần bốn: thêm hai ảnh cùng góc nhìn kèm giải thích chênh lệch vùng nét

Những điều cần nhớ

- Góc nhìn đo được khớp công thức (9.4), sai lệch thường dưới vài độ
- Vùng nét dày lên theo từng nấc khép khẩu; so với công thức (9.13)
- Giữ cỡ cảnh đổi tiêu cự: chủ thể như nhau, hậu cảnh đổi hẳn
- Hai cỡ cảm biến cùng góc nhìn: vùng nét khác nhau, giải thích bằng mục 9.6.5

Kết thúc Phần A

- Sơ đồ chín khối theo đường đi của ánh sáng; $Y' = 0{,}2126\,R' + 0{,}7152\,G' + 0{,}0722\,B'$
- Thấu kính mỏng: $1/S_0 + 1/S_1 = 1/F$; góc nhìn $\alpha = 2\cdot\arctan(d/2F)$; hệ số cắt $k = 43{,}27/d$; $F_{eq} = k\cdot F$
- Khẩu độ $f = F/D$; thang nhân $\sqrt{2}$; E tỉ lệ $1/f^2$; $T = f/\sqrt{\tau}$; một stop là gấp đôi hoặc một nửa lượng sáng
- Vòng tròn mờ $c = d/1500$; $H = F^2/(f\cdot c) + F$; D_n, D_f; khoảng cách là biến mạnh nhất
- Phần B: tiếp theo đường đi của ánh sáng, qua ống zoom, quang sai, ngàm, lấy nét, chống rung và kính lọc