



## CHƯƠNG II: GIAO THOA ÁNH SÁNG

Bài giảng môn Vật lý 3 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 18 tháng 8 năm 2023

# Nội dung

## 1 Cơ sở của quang học sóng

- 1.1. Thuyết điện từ về ánh sáng của Maxwell
- 1.2 Quang lộ
  - Định lí Malus về quang lộ
  - Hàm sóng ánh sáng

## 2 Hiện tượng giao thoa ánh sáng

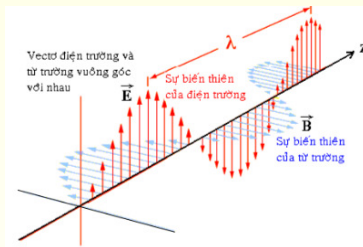
- Cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp
- Khảo sát hiện tượng giao thoa
  - Thí nghiệm Young
  - Điều kiện cực đại, cực tiểu giao thoa
  - Vị trí vân sáng và khoảng vân

## 3 Giao thoa gây bởi bản mỏng

- Giao thoa do phản xạ (Thí nghiệm Lloyd)
- Giao thoa gây bởi bản mỏng
  - Bản mỏng song song (có bề dày không đổi) - vân cùng độ nghiêng
  - Bản mỏng có bề dày thay đổi - vân cùng độ dày

## 4 Các ứng dụng của hiện tượng giao thoa

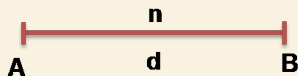
# Sóng điện từ



- Ánh sáng là sóng điện từ: trường điện từ biến thiên theo thời gian truyền đi trong không gian.
- Sóng ngang: vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  và vectơ cảm ứng từ  $\vec{B}$  luôn dao động vuông góc với phương truyền sóng.
- Vectơ cường độ điện trường  $\vec{E}$  tác dụng lên võng mạc gây nên cảm giác sáng.
- Vectơ cường độ điện trường trong sóng ánh sáng  $\Rightarrow$  vectơ sáng.

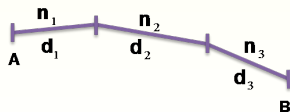
# Quang lộ

## Định nghĩa



Quang lộ giữa hai điểm A, B là đoạn đường ánh sáng truyền được trong chân không với cùng khoảng thời gian  $t$  cần thiết để sóng ánh sáng đi được đoạn đường  $d$  trong môi trường chiết suất  $n$ .

$$L = ct = c \frac{d}{v} = nd \quad (1)$$



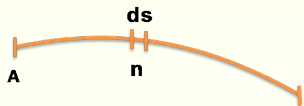
Quang lộ của ánh sáng truyền qua  $n$  môi trường có chiết suất khác nhau được xác định

$$L = \sum_{i=1}^n n_i d_i \quad (2)$$

# Quang lộ

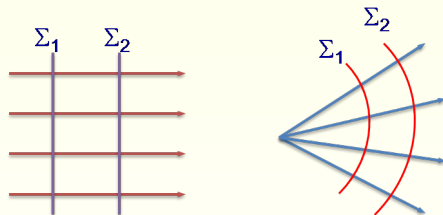
Nếu ánh sáng truyền qua môi trường không đồng nhất có chiết suất thay đổi liên tục.

$$L = \int_A^B n ds \quad (3)$$



# Định lý Malus về quang lộ

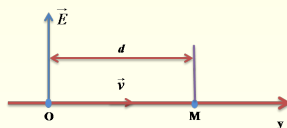
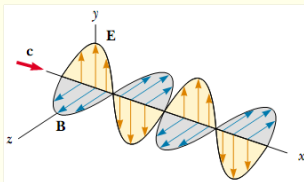
Mặt trực giao: Mặt vuông góc với các tia sáng của một chùm sáng.



## Định lý Malus:

Quang lộ của các tia sáng giữa hai mặt trực giao của một chùm sáng thì bằng nhau.

# Hàm sóng ánh sáng



Phương trình dao động sóng sáng tại O:  $x_0 = A \cos(\omega t)$  Dao động sáng tại M có dạng:

$$x = A \cos \omega \left( t - \frac{d}{v} \right) = A \cos \omega \left( t - \frac{nd}{c} \right) = A \cos \left( \omega t - \frac{2\pi L}{cT} \right) \quad (4)$$

với  $L = nd$ : quang lộ của tia sáng trên đoạn OM,  $\lambda = c.T$ : bước sóng ánh sáng trong chân không.

$$x = A \cos \left( \omega t - \frac{2\pi L}{\lambda} \right) \quad (5)$$

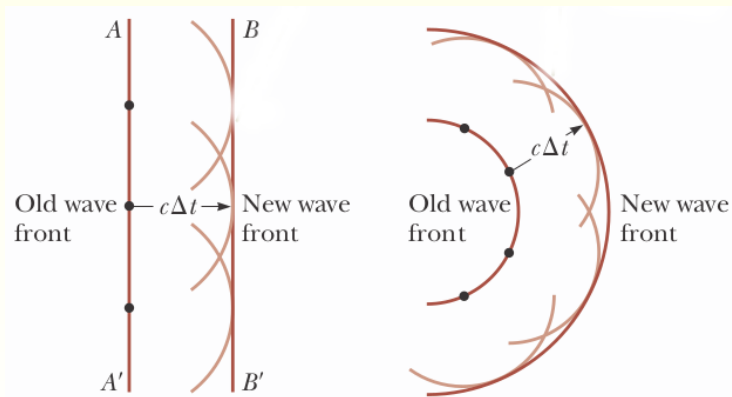
$\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda}$ : pha ban đầu.



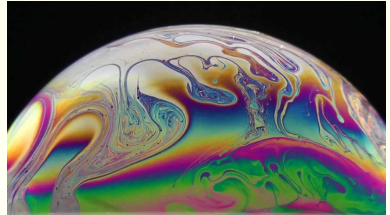


## Nguyên lý Huyghen

Bất kỳ một điểm nào nhận được sóng ánh sáng truyền đến đều trở thành nguồn sáng thứ cấp phát ánh sáng về phía trước đó.



# Hiện tượng giao thoa ánh sáng trong tự nhiên và trong đời sống



# Hiện tượng giao thoa ánh sáng trong tự nhiên và trong đời sống



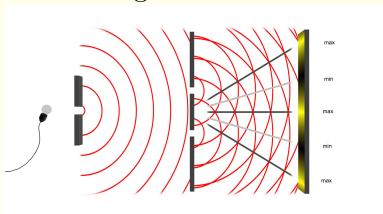
## Định nghĩa:

Hiện tượng giao thoa ánh sáng là hiện tượng gặp nhau của hai hay nhiều sóng ánh sáng, kết quả là trong trường giao thoa sẽ xuất hiện những vân sáng và những vân tối xen kẽ nhau.

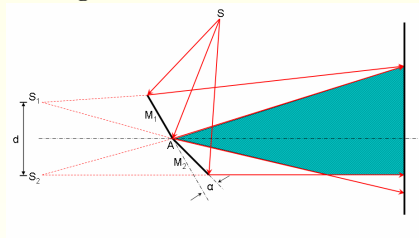
**Điều kiện:** Hai sóng phải là hai sóng kết hợp (sóng có cùng tần số và hiệu pha không thay đổi theo thời gian)

# Cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp

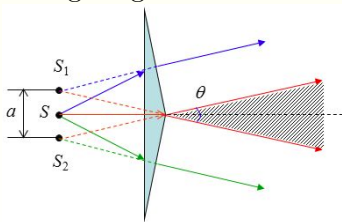
## Khe Young



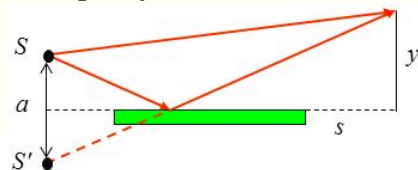
## Gương Fresnel



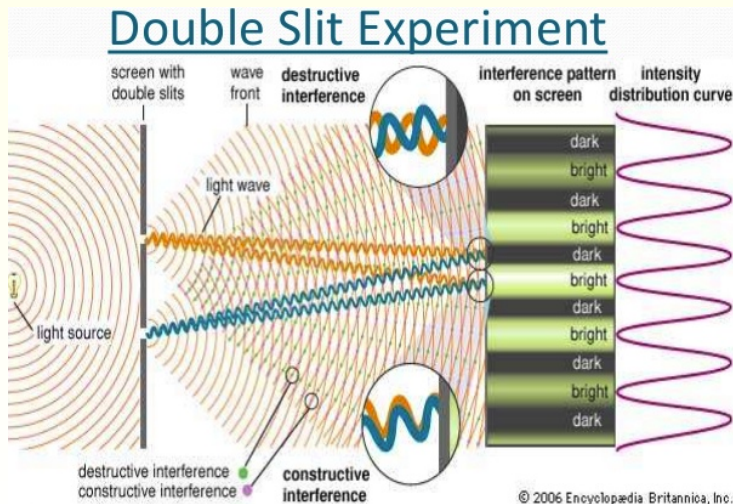
## Lưỡng lăng kính Fresnel



## Gương Lloyd



# Giao thoa ánh sáng cho bởi 2 nguồn kết hợp (khe Young)



# Giao thoa ánh sáng cho bởi 2 nguồn kết hợp (khe Young)

Giả sử dao động sáng tại  $S_1$  và  $S_2$  do nguồn S gửi tới có dạng:

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t) \text{ và } x_2 = A_2 \cos(\omega t)$$

Tại P ta nhận được hai dao động

$$\text{sáng: } x_{1P} = A_1 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_1}{\lambda}\right)$$

$$x_{2P} = A_2 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_2}{\lambda}\right)$$

$L_1$  và  $L_2$ : quang lộ  $\in r_1$  và  $r_2$ .

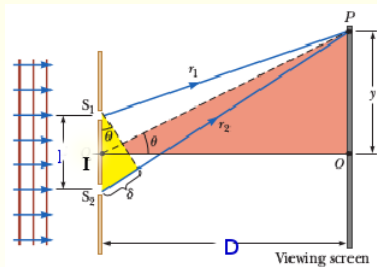
Dao động sáng tổng hợp tại P:

$$x = x_{1P} + x_{2P} = A \cos(\omega t + \varphi)$$

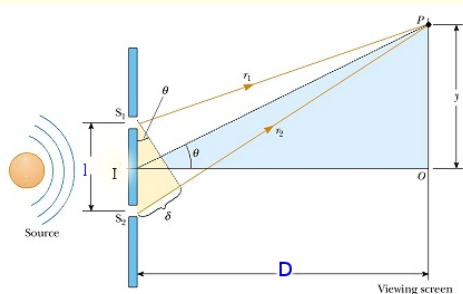
Trong đó:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

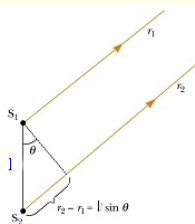
$$\tan \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$



# Điều kiện cực đại, cực tiểu giao thoa



(a)



(b)

$$\ell \ll D$$

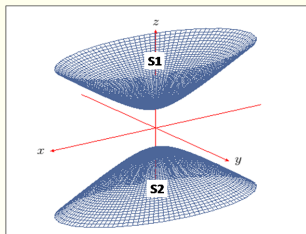
Cường độ sáng tại P:  $I = A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$

$I \in$  vào hiệu số pha ban đầu:  $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2)$

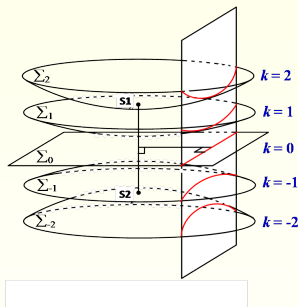
- $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) = 2k\pi \Rightarrow L_1 - L_2 = k\lambda \Rightarrow$  P sáng
- $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(L_1 - L_2) = (2k + 1)\pi \Rightarrow L_1 - L_2 = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow$  P tối.

# Hình dạng và vị trí vân giao thoa

Điều kiện vân sáng:  $L_1 - L_2 = k\lambda$



Quỹ tích tất cả các điểm trong không gian có hiệu khoảng cách tới hai điểm cố định không đổi là mặt hypecboloit tròn xoay.



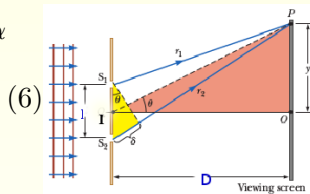
Quỹ tích các điểm sáng nhất và tối nhất là mặt hypecboloit tròn xoay xen kẽ trong không gian, riêng mặt  $k = 0$  là mặt phẳng trung trực của  $S_1S_2$ .



# Vị trí vân sáng và khoảng vân

Vì  $S_1S_2 = \ell \ll D \Rightarrow \delta \approx r_1 - r_2 = \ell \sin \alpha \approx \ell \tan \alpha$

$$r_1 - r_2 = \ell \frac{y}{D}$$



Trong không khí nên:  $L_1 - L_2 = r_1 - r_2$

- Vị trí các vân sáng (cực đại giao thoa):  $r_1 - r_2 = \ell \frac{y_s}{D} = k\lambda$

$$y_s = k \frac{\lambda D}{\ell}; k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (7)$$

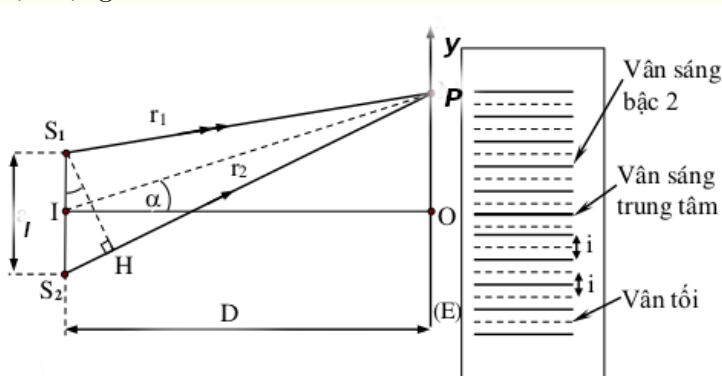
- Vị trí các vân vân tối (cực tiểu giao thoa):

$$r_1 - r_2 = \ell \frac{y_t}{D} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$y_t = (2k + 1) \frac{\lambda D}{2\ell}; k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (8)$$

## Đặc điểm:

- $k = 0 \Leftrightarrow y_s = 0$ , tức là gốc O trùng với vân cực đại giao thoa.  $\Rightarrow$  vân cực đại giữa.
- Các vân cực đại giao thoa ứng với  $k = \pm 1, \pm 2, \dots$  và các vân cực tiểu giao thoa nằm xen kẽ cách đều nhau cả hai phía đối với vân cực đại giữa.

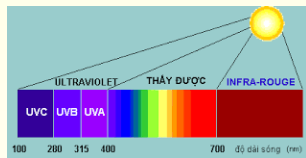


- Đối với vân sáng, bậc giao thoa trùng với  $|k|$
- Đối với vân tối, khi  $k > 0$  bậc giao thoa trùng với  $k + 1$ , khi  $k < 0$  bậc giao thoa trùng với  $|k|$ .
- Khoảng cách giữa hai vân sáng kế tiếp:

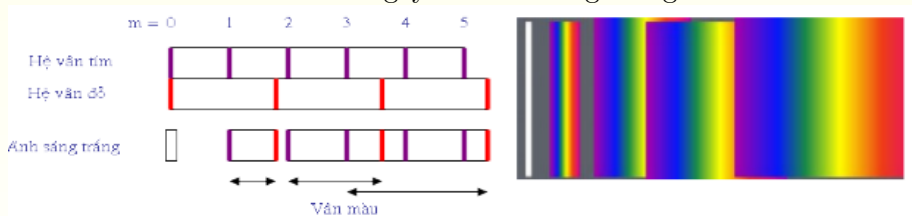
$$i = y_{k+1} - y_k = \frac{\lambda D}{\ell} \quad (9)$$

# Hệ vân giao thoa khi dùng ánh sáng trắng

Nguồn sáng  $S_1, S_2$  phát ánh sáng trắng gồm mọi ánh sáng đơn sắc có bước sóng  $\lambda = 0.4 \div 0.7 \mu m$



## Giao thoa gây bởi ánh sáng trắng



Độ rộng của dải quang phổ bậc k:

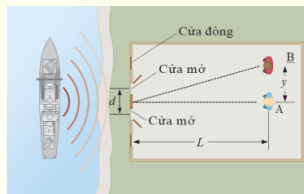
$$\Delta y = y_d - y_t = k \frac{(\lambda_d - \lambda_t) \cdot D}{\ell} = k \frac{\Delta \lambda \cdot D}{\ell}$$

# Giao thoa khe Young

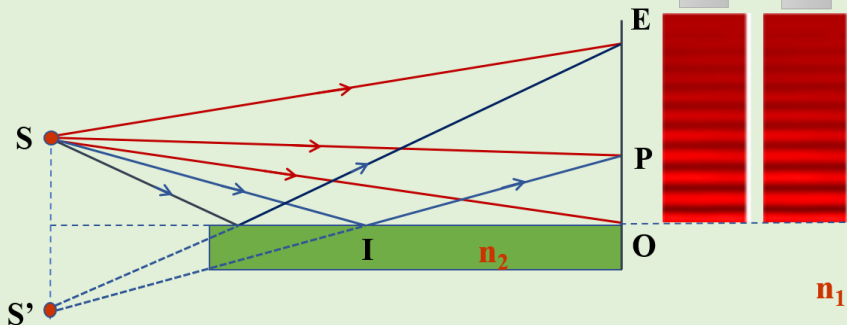
## Thí dụ 1:

Một nhà kho ven sông có một sổ cánh cửa nhỏ hướng ra bờ sông. Hai trong số các cửa này được mở (hình bên). Các bức tường của nhà kho được lót bằng vật liệu hấp thụ âm. Hai người đứng cách hai cánh cửa tại khoảng cách  $L = 150$  m.

Người A đứng dọc theo một đường thẳng đi qua điểm giữa hai cánh cửa, người B đứng cách người A một khoảng  $y = 20$  m. Một chiếc tàu ven sông phát ra tiếng còi. Để người A nghe được âm thanh to và rõ, còn người B thì không nghe được âm thì khoảng cách giữa hai cánh cửa mở phải bằng bao nhiêu? Biết bước sóng của nguồn âm là 3 m và giả sử người B đang đứng ở vị trí cực tiểu đầu tiên.

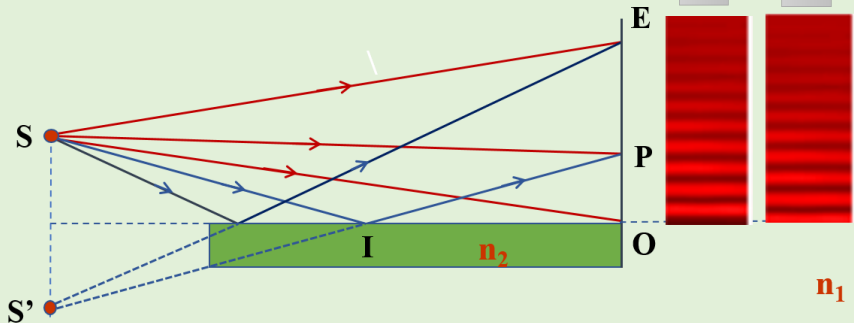


## 1. Chiết suất môi trường: $n_1 > n_2$



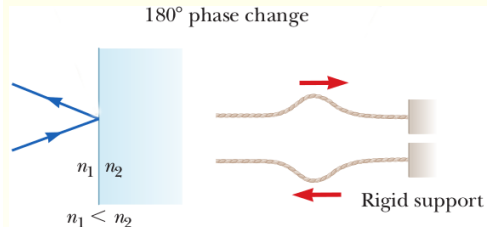
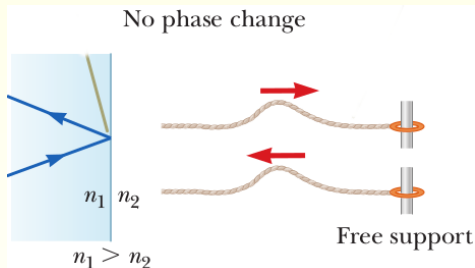
$n_1 > n_2$  thì kết quả thực nghiệm và lý thuyết thu được hoàn toàn phù hợp

## 2. Chiết suất môi trường: $n_1 < n_2$



$n_1 < n_2$  thì các vị trí lý thuyết tính là tối, thực nghiệm thu được là sáng và ngược lại.

# Thí nghiệm Lloyd



- Khi phản xạ trên môi trường **kém chiết quang** hơn môi trường ánh sáng tới, **pha dao động của ánh sáng được giữ nguyên**,  $\Leftrightarrow$  **quang lộ của tia phản xạ không thay đổi**.
- Khi phản xạ trên môi trường **chiết quang** hơn môi trường ánh sáng tới, **pha dao động của ánh sáng thay đổi một lượng  $\pi$** ,  $\Leftrightarrow$  **quang lộ của tia phản xạ dài thêm một đoạn  $\lambda/2$** .

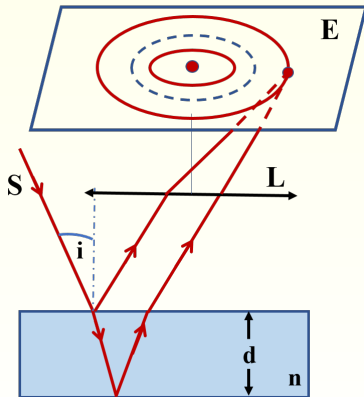


# Bản mỏng song song (có bề dày không đổi) - vân cùng độ nghiêng

Hiệu quang lộ của hai tia:

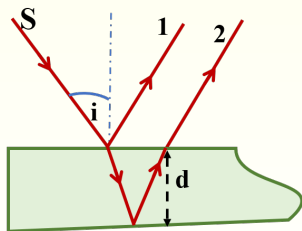
$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 - L_2 \\ &= 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2}\end{aligned}\quad (10)$$

Vì  $d$  không đổi do đó hiệu quang lộ chỉ phụ thuộc góc nghiêng  $i$



# Bản mỏng có bề dày thay đổi - vân cùng độ dày

- Bản mỏng chiết suất  $n$  được chiếu sáng bởi nguồn sáng rộng.
- Hai tia sáng SABM, SM cùng xuất phát từ điểm S của nguồn  $\rightarrow$  sóng kết hợp.

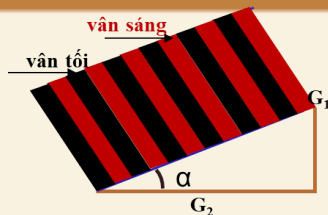
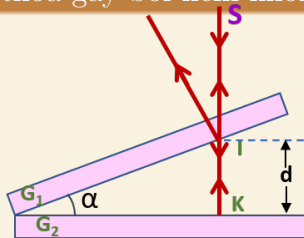


Tương tự bản song song, sau một vài biến đổi lượng giác ta rút ra:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 - L_2 \\ &= 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} \quad (11)\end{aligned}$$

# Bản mỏng có bề dày thay đổi - vân cùng độ dày

## Giao thoa gây bởi nêm không khí



- Hiệu quang lộ của hai tia:

$$L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2}, \quad (12)$$

$d$  là bề dày của lớp không khí tại M

## Giao thoa gây bởi nêm không khí

- Các điểm tối thỏa mãn điều kiện:

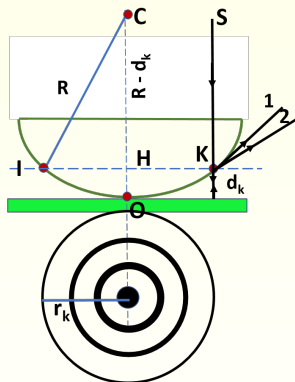
$$L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow d_t = k\frac{\lambda}{2}. \quad (13)$$

- Tập hợp các điểm có cùng bề dày  $d$  của lớp không khí là một đoạn thẳng song song với cạnh nêm, tại cạnh nêm  $d = 0$ , ta có một vân tối.
- Các điểm sáng thỏa mãn điều kiện:

$$L_2 - L_1 = 2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda \Rightarrow d_s = (2k - 1)\frac{\lambda}{4}. \quad (14)$$

- Vân sáng cũng là những đoạn thẳng song song với cạnh nêm và nằm xen kẽ với vân tối.

# Vân tròn Newton



- Giống như nêm không khí, cực tiểu vân giao thoa (vân tối) nằm tại vị trí ứng với bề dày của lớp không khí:

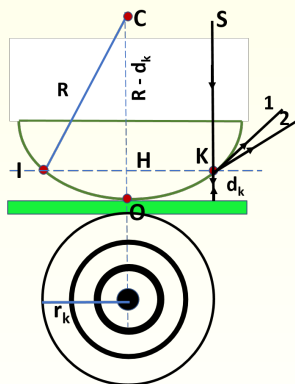
$$\Rightarrow d_t = k \frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots$$

- Cực đại vân giao thoa (vân sáng) nằm tại vị trí ứng với bề dày lớp không khí:

$$d_s = (2k - 1) \frac{\lambda}{4}$$

Do tính chất đối xứng của bản mỏng  $\Rightarrow$  các vân giao thoa là những vòng tròn đồng tâm gọi là vân tròn Newton.

# Vân tròn Newton

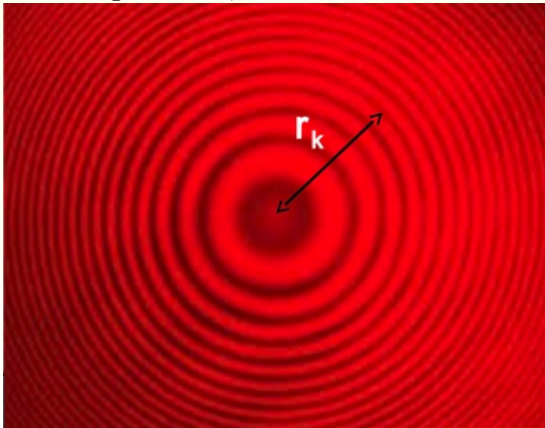


- Bán kính của vân thứ  $k$ :  
$$r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2$$
 $d_k$ : bề dày của lớp không khí tại vân thứ  $k$ .  $R$ : bán kính cong của thấu kính.
- Do:  $d_k \ll R \Rightarrow r_k^2 \approx 2Rd_k$ .
- Nếu vân thứ  $k$  đó là vân tối, ta có  $d_k = k\frac{\lambda}{2}$
- Do đó:

$$r_k = \sqrt{R\lambda}\sqrt{k}. \quad (15)$$

- Bán kính của các vân tối tỉ lệ với căn bậc hai của các số nguyên liên tiếp.

Ánh sáng màu đỏ, vân tròn Newton:



## ♣ Khử tia phản xạ trên các mặt kính.

- Ánh sáng phản xạ làm mờ các thiết bị quang học.
- Làm lộ các mục tiêu trong quân sự.

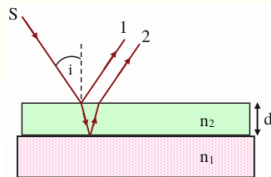
## ♡ Giải pháp:

- ✓ Phủ một lớp màng mỏng đặc biệt để khử ánh sáng phản xạ: Sử dụng màng mỏng có độ dày  $d$  và chiết suất  $n_2$
- ✓ Điều kiện để khử ánh sáng phản xạ: pha của hai tia phản xạ lệch pha nhau  $180^\circ$

- Bề dày lớp màng mỏng:

$$d = \frac{\lambda_0}{4n_2} = \frac{\lambda}{4}$$

- $\lambda_0, \lambda$ : bước sóng của ánh sáng trong chân không và trong màng mỏng
- Chiết suất của lớp màng mỏng  
 $n_1 > n_2 > 1$
- Sự phản xạ tốt nhất khi:  $n_2 = \sqrt{n_1}$





- Mặt kính phẳng: Ứng dụng hiện tượng giao thoa bằng nệm không khí.

- ✓ Các vân giao thoa sẽ bị cong nếu mặt phẳng tấm kính bị lỗi lõm.



- Thấu kính: Ứng dụng phương pháp vân tròn Newton.

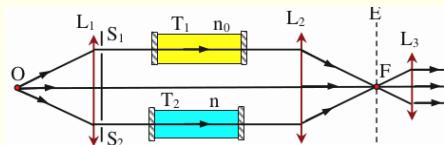
- ✓ Các vân giao thoa sẽ là các vòng tròn đều nếu như mặt thấu kính là mặt cầu.



# Đo nồng độ (giao thoa kế Rayleigh)

- Do chiết suất của chất lỏng đựng trong hai ống khác nhau nên hiệu quang lộ của hai chùm tia bị thay đổi một lượng:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = (n - n_0)d$$



- Hệ thống vân giao thoa dịch chuyển  $m$  khoảng vân thì hiệu quang lộ sẽ thay đổi một khoảng:

$$\Delta L = (n - n_0)d = m\lambda.$$

- ✓ Chiết suất chất lỏng cần đo:

$$n = \frac{m\lambda}{d} + n_0$$

(16)

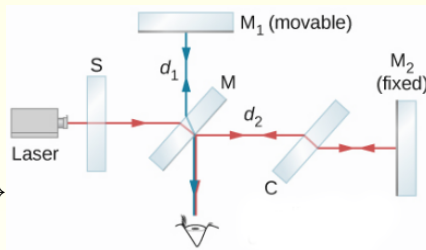
# Đo chiều dài (giao thoa kế Michelson)

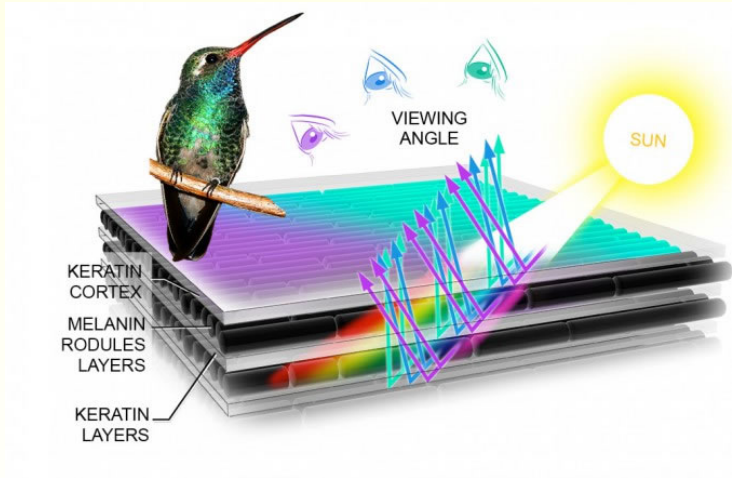
- Hai gương phản xạ  $M_1$  (có thể di chuyển) và  $M_2$  (cố định).
- Bản bán mạ  $M$ .
- Tấm bù quang  $C$  để điều chỉnh độ lệch giữa hai quang lộ.
  - Tia 1: Từ Đèn  $\rightarrow M \rightarrow M_1 \rightarrow P \rightarrow$  mắt
  - Tia 2: Từ Đèn  $\rightarrow M \rightarrow M_2 \rightarrow C \rightarrow$  mắt
- ✓ Nếu gương  $M_1$  dịch chuyển theo phương tia sáng một đoạn  $\lambda/2$
- ✓ Dịch chuyển theo chiều dài vật:
  - Chiều dài vật:

$$\ell = m \frac{\lambda}{2}$$

(17)

- $m$  là số khoảng vân





**Thí dụ 2:** Để giảm sự phản xạ từ một mặt quang học, người ta thường phủ một màng mỏng. Giả sử thấu kính thủy tinh ( $n = 1,5$ ) được phủ bằng một màng mỏng  $\text{MgF}_2$  ( $n = 1,38$ ). Xác định độ dày của lớp phủ để nó giảm tới mức tối thiểu sự phản xạ đối với ánh sáng nằm gần chính giữa phổ nhìn thấy, chẳng hạn  $\lambda = 550\text{nm}$ , đi tới thấu kính theo đường pháp tuyến.