

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Vật lý đại cương
QUANG HỌC SÓNG

CHƯƠNG 3

Giao thoa ánh sáng

1. Các khái niệm cơ sở

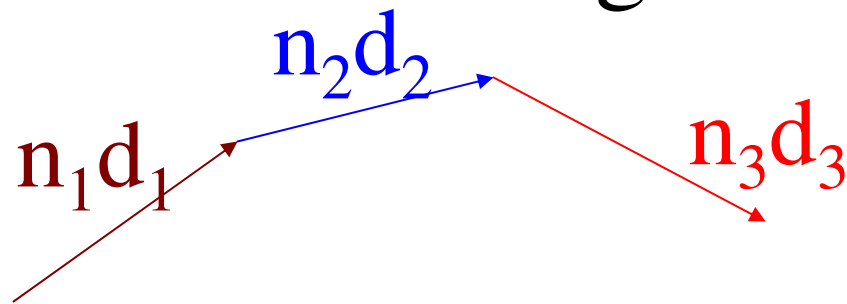
1.1 QUANG LỘ: *Quang lộ L giữa hai điểm A, B ($AB=d$) là đoạn đường ánh sáng truyền được trong chân không trong khoảng thời gian t , trong đó t là khoảng thời gian mà ánh sáng đi được đoạn AB trong môi trường.*



$$t = \frac{d}{v} \Rightarrow L = ct \quad L = nd.$$

$n = \frac{c}{v}$ chiết suất môi trường

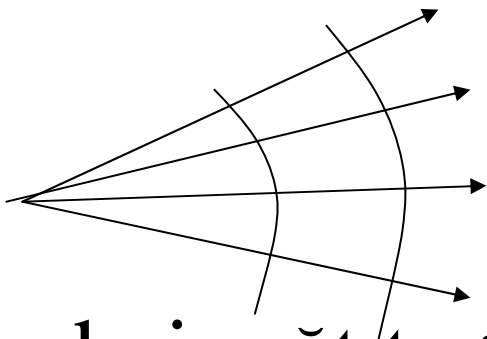
Nếu ánh sáng đi qua nhiều môi trường:



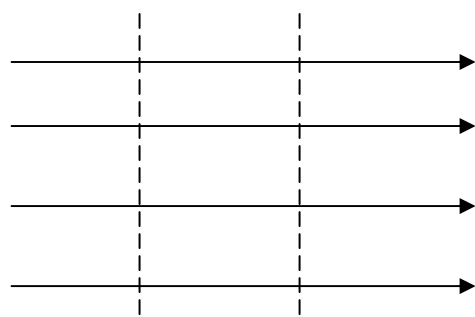
$$L = n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots + n_n d_n = \sum_i n_i d_i$$

1.2. ĐỊNH LÝ MALUS (MALUYT):

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



hai mặt trục giao



hai mặt trục giao

Quang lộ L_1 giữa A_1, A_3 và L_2 giữa B_1, B_3 :

$$L_1 = n_1 A_1 I_1 + n_2 I_1 A_2 + n_2 A_2 A_3$$

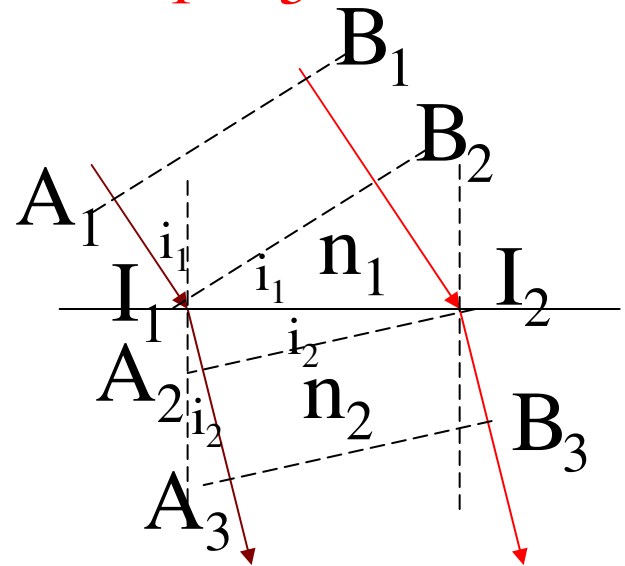
$$L_2 = n_1 B_1 B_2 + n_1 B_2 I_2 + n_2 I_2 B_3$$

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

$$\sin i_1 = \frac{B_2 I_2}{I_1 I_2} \quad \sin i_2 = \frac{I_1 A_2}{I_1 I_2}$$

$$n_1 \sin i_1 = \frac{n_1 B_2 I_2}{I_1 I_2} \quad n_2 \sin i_2 = \frac{n_2 I_1 A_2}{I_1 I_2}$$

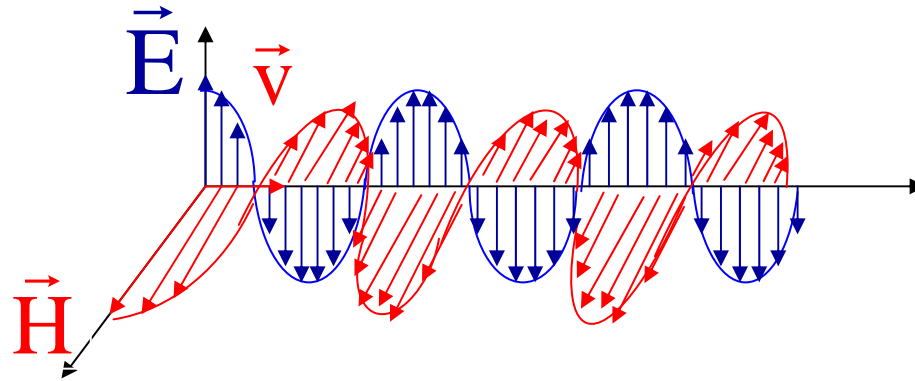
Suy ra $n_1 B_2 I_2 = n_2 I_1 A_2$ và $L_1 = L_2$



2. Cơ sở của quang học sóng

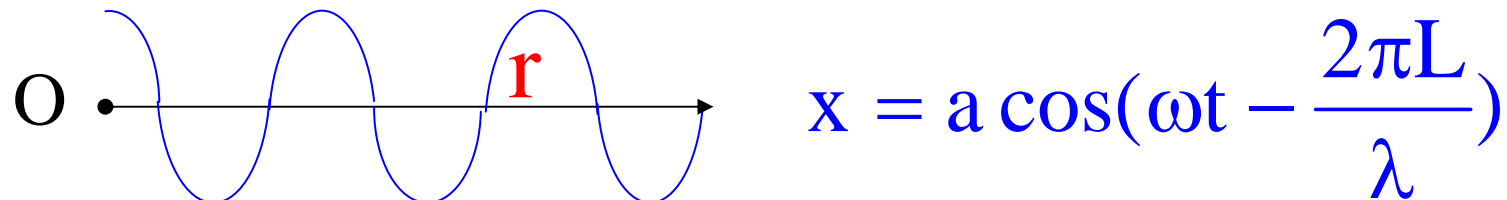
2.1. HÀM SÓNG CỦA ÁNH SÁNG:

Ánh sáng là một loại sóng điện từ: *Từ trường và điện trường biến thiên trong không gian.*



Chỉ có thành phần điện trường tác dụng vào mắt mới gây cảm giác sáng

→ Dao động của \vec{E} là dao động sóng:


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

$x_0 = a \cdot \cos \omega t$ - dao động tại gốc O.

Tại r: (τ thời gian trễ) $x = a \cos \omega(t - \tau) =$
 $a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{T} \frac{L}{c}\right) = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda}\right)$

2. 2. CƯỜNG ĐỘ SÁNG:

Cường độ sáng tại một điểm là một đại lượng có trị số bằng năng lượng truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sáng trong một đơn vị thời gian:

$$I = k a^2, \quad k \text{ là hệ số tỷ lệ. Lấy } k = 1 \text{ có: } I = a^2.$$

2.3. NGUYÊN LÝ CHỒNG CHẤT:

Khi hai hay nhiều ánh sáng gặp nhau thì từng sóng riêng biệt không bị các sóng khác làm nhiễu loạn. Sau khi gặp nhau, các sóng ánh sáng vẫn truyền đi như cũ, Còn tại những điểm gặp nhau dao động sáng bằng tổng các dao động thành phần.

2.4. NGUYÊN LÝ HUYGHEN:

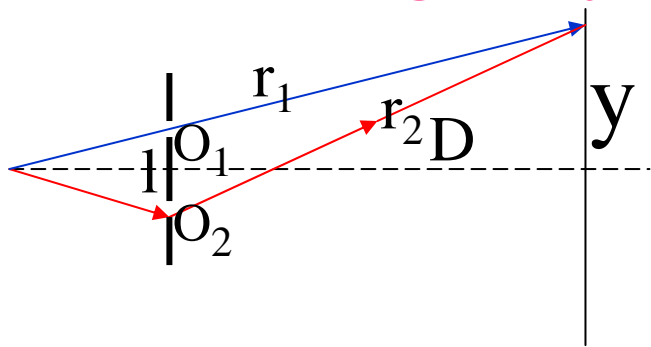
Những sóng từ nguồn O truyền ra ngoài mặt kín bất kì S bao quang nguồn O, có tính chất giống hệt những sóng mà ta sẽ có, nếu ta bỏ nguồn O đi và thay bằng những nguồn phụ (thứ cấp) thích hợp phân phối trên mặt S.

3. Giao thoa ánh sáng bởi 2 nguồn kết hợp

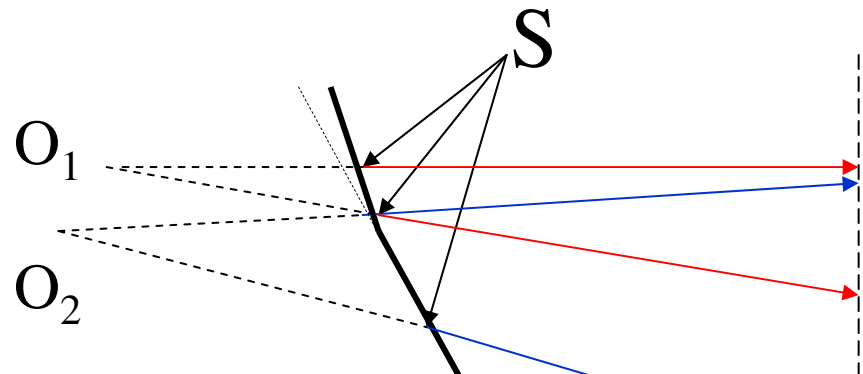
3.1. Tạo hai nguồn sáng kết hợp: Hai sóng kết hợp có **hiệu pha không đổi**.

Hai nguồn sáng khác nhau không đáp ứng điều kiện đó.

khe Young hay gương Frenel:



O_1O_2 là 2 nguồn kết hợp (thực)



O_1O_2 là 2 nguồn kết hợp (ảo)

3.2. Khảo sát hiện tượng giao thoa:

$$x_1 = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_1}{\lambda}\right)$$

$$x_2 = a \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_2}{\lambda}\right)$$

Hiệu pha

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (L_1 - L_2)$$

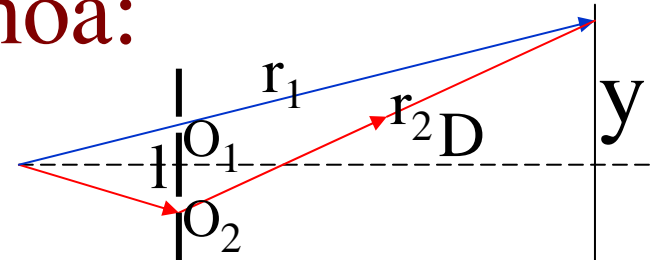
$$L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = k\lambda \quad \text{Vân sáng}$$

$$y = k \frac{\lambda D}{l}$$

$$L_1 - L_2 = r_1 - r_2 = (2k+1)\lambda/2$$

Vân tối

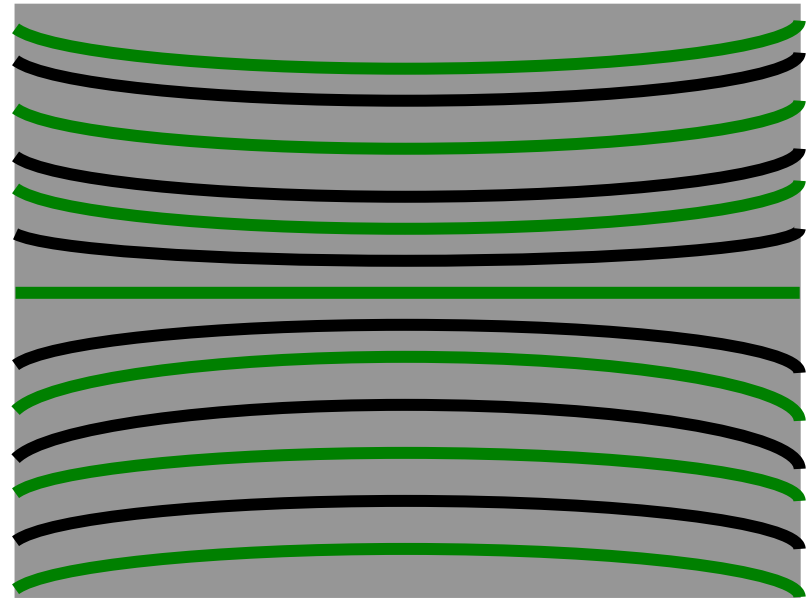
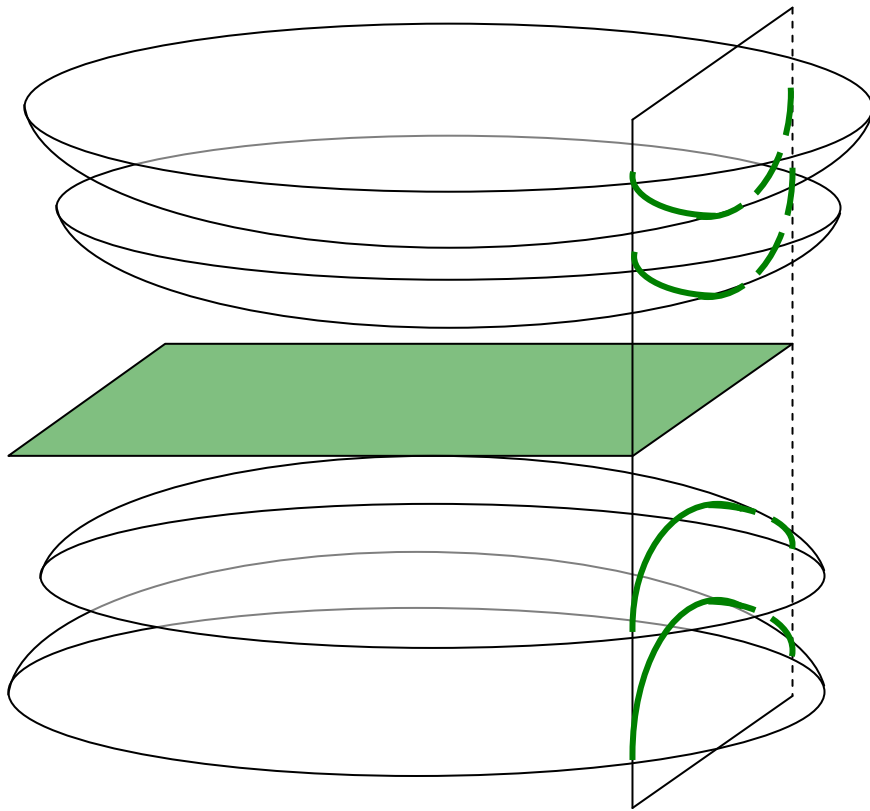
$$y = (2k+1) \frac{\lambda D}{2l}$$



Khoảng cách 2 vân sáng liên tiếp $i = \lambda D/l$

Các vân giao thoa có dạng hypecbol đối xứng qua vân giữa.

Vân giữa là vân sáng



- Giao thoa ánh sáng trắng

$$0,4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,76\mu\text{m}$$



3.3. Hiện tượng giao thoa do phản xạ

- Thí nghiệm của Lô (Lloyd)

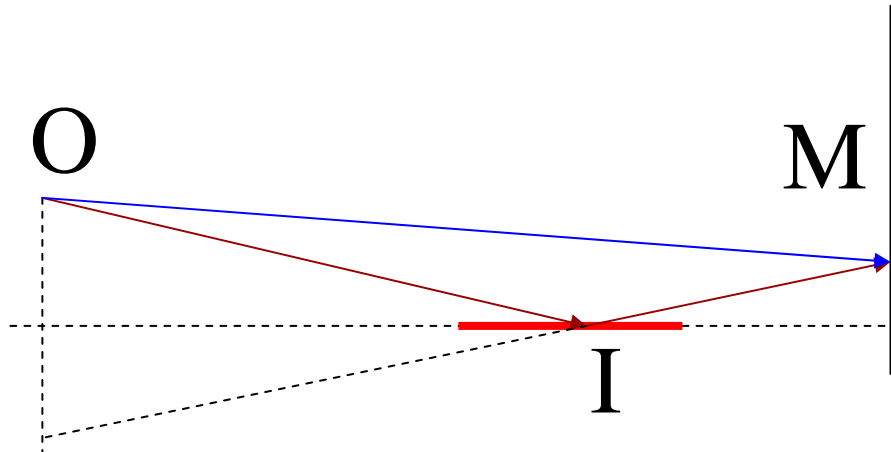
Theo lý thuyết

Vân sáng

$$L_1 - L_2 = \text{OI} + \text{IM} - \text{OM} = k\lambda$$

Vân tối

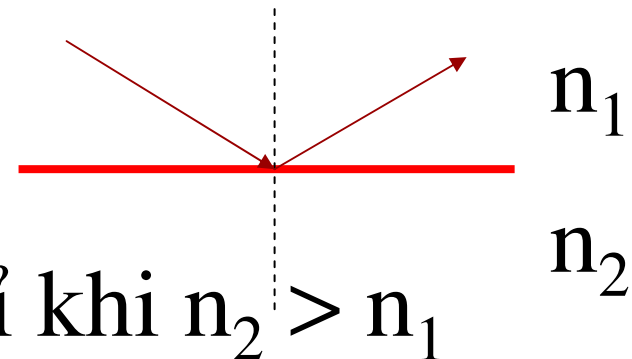
$$L_1 - L_2 = \text{OI} + \text{IM} - \text{OM} = (2k+1)\lambda/2$$



Thực tế ngược lại → Sau phản xạ đảo pha

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (L_1 - L_2) + \pi$$

L_1 của tia phản xạ
dài thêm $\lambda/2$

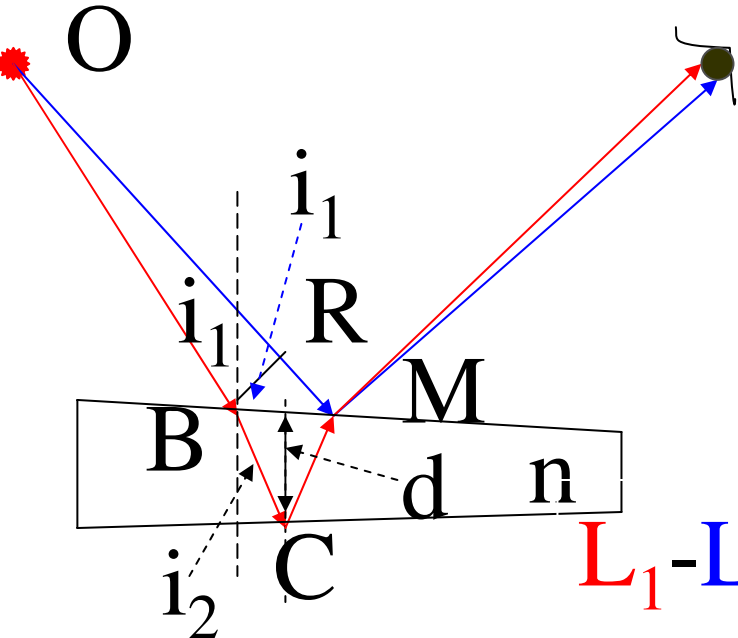


Chỉ khi $n_2 > n_1$

4. Giao thoa gây bởi các bản mỏng

4.1. Bản mỏng có bề dày

thay đổi - Vân cùng độ dày



Tia ló của tia phản xạ từ đáy dưới (đỏ) giao thoa với tia phản xạ từ mặt trên (xanh) của tấm

Hiệu quang lộ:

$$\begin{aligned}L_1 - L_2 &= OB + n(BC + CM) - (OM + \lambda/2) \\ &= n(BC + CM) - RM - \lambda/2\end{aligned}$$

$$RM = BM \cdot \sin i_1 = 2d \cdot \operatorname{tg} i_2 \cdot \sin i_1 \quad BC = CM = d / \cos i_2$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = n \frac{2d}{\cos i_2} - 2d \cdot \operatorname{tg} i_2 \sin i_1 - \frac{\lambda}{2}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin i_1}{\sin i_2} &= n \\ \sin i_2 &= \frac{\sin i_1}{n} \end{aligned} \right\} \rightarrow \cos i_2 = \frac{1}{n} \sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}$$

$$2d \cdot \tan i_2 \sin i_1 = \frac{2d}{n \cos i_2} (n^2 - \sin^2 i_1)$$

$$\Delta L = 2d \sqrt{(n^2 - \sin^2 i_1)} - \frac{\lambda}{2}$$

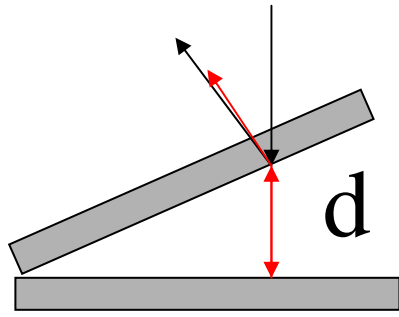
Vân sáng: $L_1 - L_2 = k\lambda$ **Vân tối:** $L_1 - L_2 = (2k+1)\lambda/2$

Góc nhìn xác định $\Rightarrow i_1$ xác định

\Rightarrow Mỗi vân ứng với một độ dày d xác định

\Rightarrow Vân cùng độ dày

• *Nêm không khí*



Tia ló của tia phản xạ từ đáy dưới (đen) tấm trên giao thoa với tia phản xạ từ mặt trên (đỏ) của tấm dưới

Hiệu quang lộ

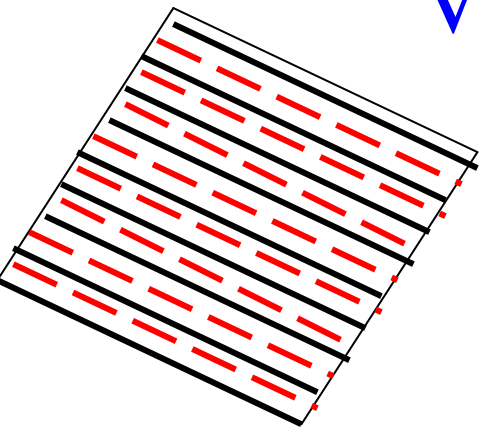
$$L_1 - L_2 = 2d + \lambda/2$$

Vân sáng: $L_1 - L_2 = 2d + \lambda/2 = k \lambda$

$$d_S = (2k-1)\lambda/4$$

$$d_T = k \cdot \lambda/2$$

Vân tối: $L_1 - L_2 = 2d + \lambda/2 = (2k+1) \lambda/2$



Ứng dụng: Kiểm tra độ phẳng của kính sai số 0,03-0,003 μm

• *Vân tròn Niuton*

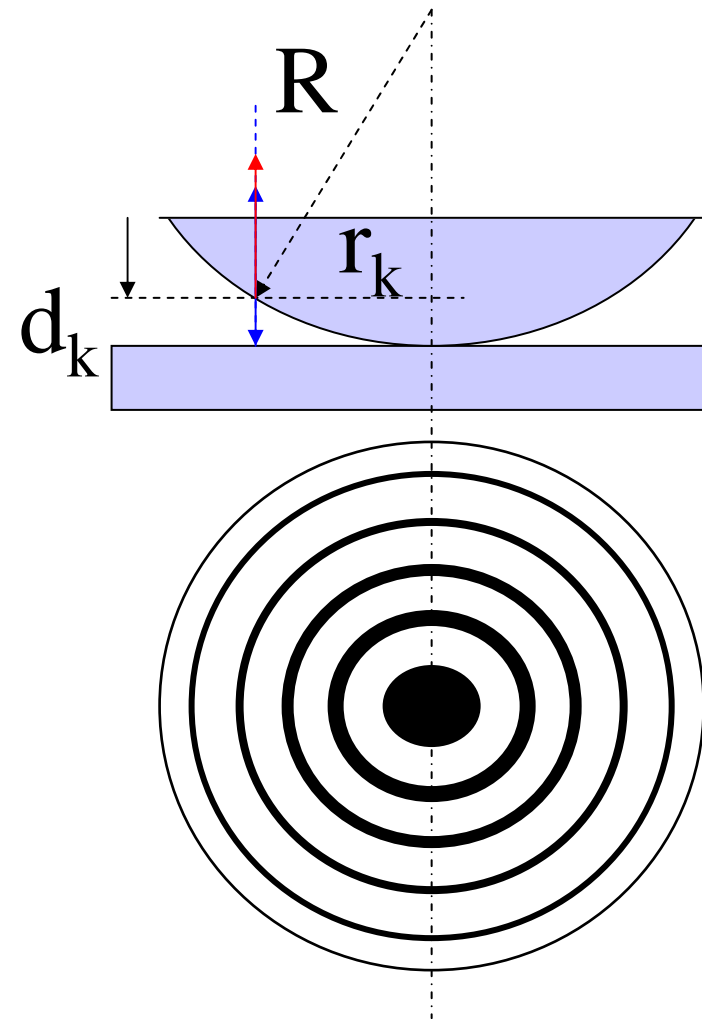
Tia phản xạ từ tấm phẳng (xanh) và Tia phản xạ từ mặt cong cầu (đỏ) giao thoa với nhau:

Vân tối : $d_k = k \cdot \lambda/2$

Bán kính vân:

$$r_k = \sqrt{R^2 - (R - d_k)^2}$$

$$r_k \approx \sqrt{2Rd_k} = \sqrt{R\lambda} \sqrt{k}$$



Vân sáng : $d_k = (2k-1) \cdot \lambda/4$

4.2. Bản mỏng có bề dày không đổi - Vân cùng độ nghiêng

Tia ló của tia phản xạ từ đáy dưới giao thoa với tia phản xạ từ mặt trên của tấm

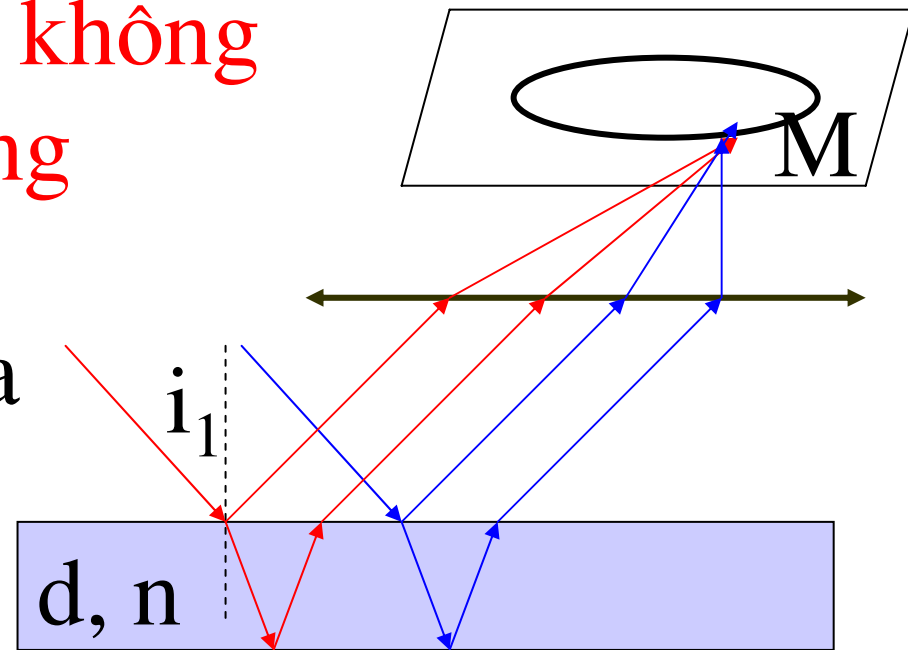
$$\Delta L = 2d\sqrt{(n^2 - \sin^2 i_1)} - \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta L = k\lambda \quad \text{Sáng}$$

$$\Delta L = (2k+1)\lambda/2 \quad \text{Tối}$$

Các vân giao thoa sáng tối là các vòng tròn đồng tâm.

$d = \text{const} \rightarrow$ vân tùy thuộc vào $i_1 \rightarrow$ Vân cùng độ nghiêng



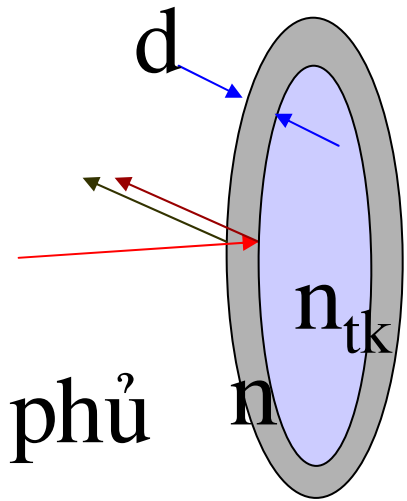
4.3. Ứng dụng hiện tượng giao thoa

- *Khử phản xạ các mặt kính*

$$n_{tk} > n > 1$$

$$\Delta L = 2dn = \lambda_0/2 \quad d = \frac{\lambda_0}{4n} = \frac{\lambda}{4}$$

λ_0 trong chân không, λ trong lớp phủ



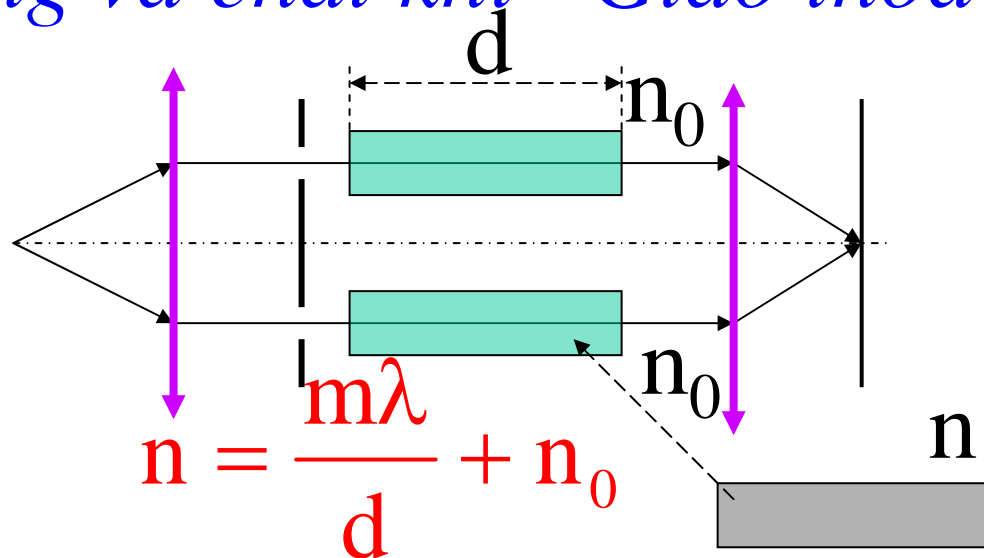
$n = \sqrt{n_{tk}}$ $\lambda_0 = 0,555 \mu\text{m}$ ánh sáng nhạy nhất

- *Đo chiết suất chất lỏng và chất khí - Giao thoa kế Rê lây (Rayleigh)*

2 ống đều đựng chuẩn

Thay bằng chất cần đo
dịch đi m khoảng vân

$$m\lambda = (n - n_0)d$$



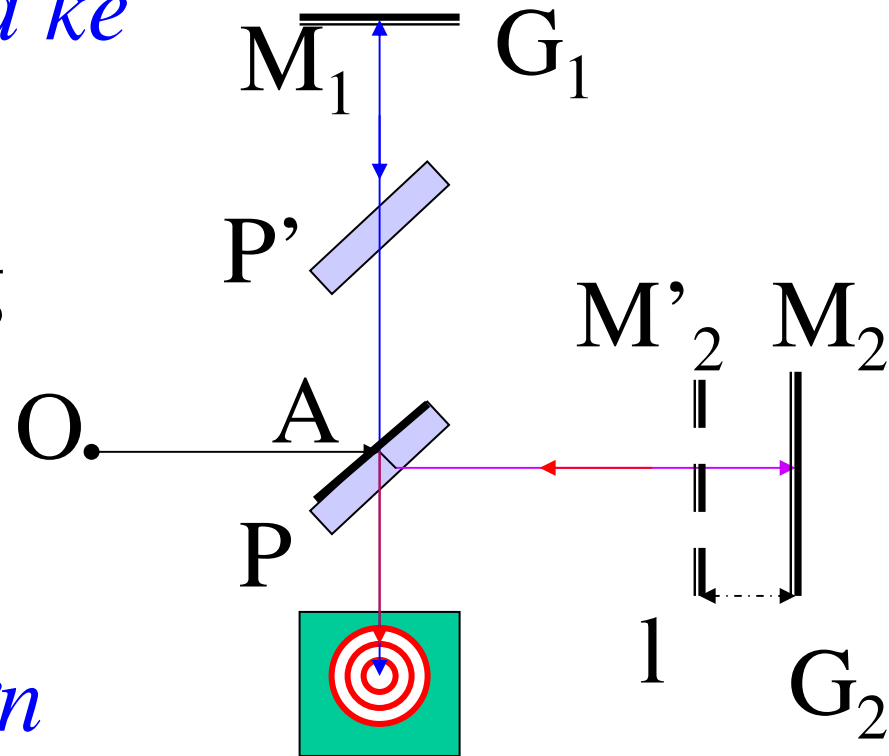
• *Đo chiều dài - Giao thoa kế Maikenxon Micheson*

$\Delta L=0$ Vân trung tâm sáng

Dịch đi m khoảng vân

$$2l = m\lambda \quad l = m\lambda/2$$

• *Thí nghiệm Maikenxon*

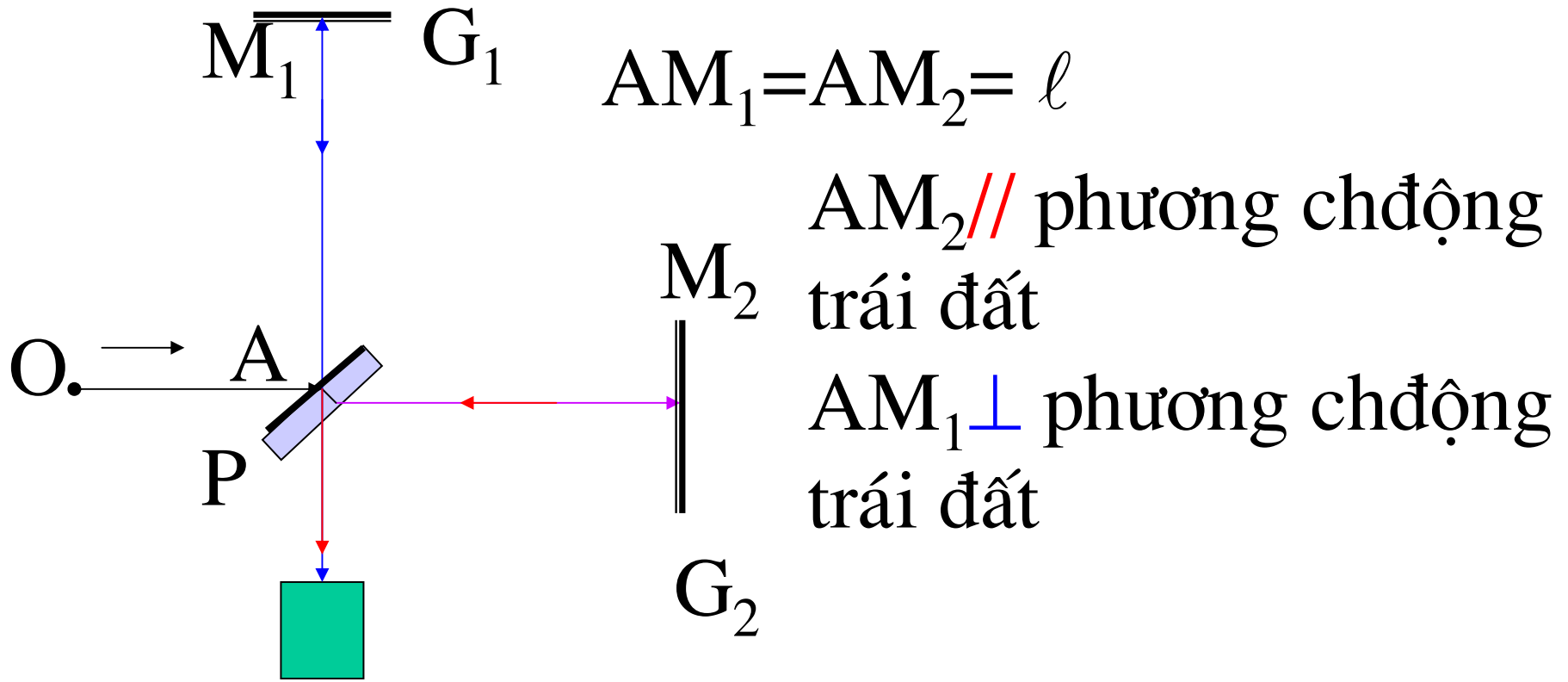


Chứng minh tiên đề Anhtanh về vận tốc AS

Giả thiết: Trái đất quay quanh mặt trời với vận tốc v . Theo cơ học cổ điển vận tốc AS :

dọc theo phương chđộng của trái đất: $c_{//} = c \pm v$

Vuông góc với phương cđ của trái đất: $c_{\perp} = c$



t_1 thời gian đi AM_1 , t_2 thời gian đi AM_2

$$t_2 = \frac{\ell}{c - v} + \frac{\ell}{c + v} = \frac{2\ell c}{c^2 - v^2} = \frac{2\ell c}{c^2} \frac{1}{1 - \beta^2} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

$$\frac{1}{1 - \beta^2} \approx 1 + \beta^2$$

$$t_2 = \frac{2\ell}{c} (1 + \beta^2)$$

Trong thời gian t_1 trái đất đi được: $AA' = vt_1$

$$M_1 t_1 = \frac{2l'}{c} = \frac{2}{c} \sqrt{l^2 + \frac{v^2 t_1^2}{4}} \quad t_1 \approx \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \beta^2\right)$$

Hiệu quang lộ $\delta_1 = c(t_1 - t_2) = -l\beta^2$

Quay giao thoa kế đi 90° :

$$\delta_2 = l\beta^2 \quad \delta_2 - \delta_1 = 2l\beta^2$$

Hệ thống vân dịch đi

$$m = \frac{2l\beta^2}{\lambda} \quad l = 11\text{m}, \beta^2 \approx 10^{-8}$$

$$m = 0,37$$

Không đúng với TN

$\rightarrow c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ trong mọi hệ
QC quán tính

