SỰ GIAO THOA

TÁC GIẢ

Michael Smith: Đại học công nghệ Cape Peninsula

THẨM ĐỊNH

Ts. B. Ralph Chou: Giáo sư danh dự, Trường khúc xạ nhãn khoa và khoa học thị giác, Đại học Waterloo

Ts. Vincent Nourrit: Đại học Manchester

NỘI DUNG CỦA CHƯƠNG

SỰ GIAO THOA ..... **Error! Bookmark not defined.**
THÍ NGHIỆM 2 KHE CỦA YOUNG ..... **Error! Bookmark not defined.**
SỰ GIAO THOA Ở CÁC MÀNG MỎNG 6
CÁC LỚP PHỦ CHỐNG PHẢN XẠ 8

SỰ GIAO THOA

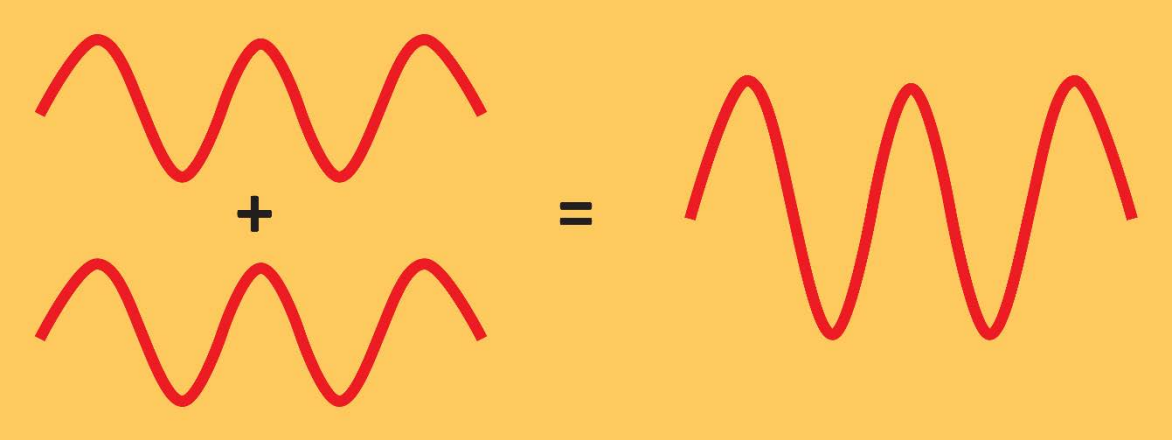
Khi 2 hoặc nhiều sóng đồng thời tới một điểm trong một môi trường, có thể dùng *nguyên lí chồng chập* (*principle of superposition*) để tính độ dịch chuyển tổng hợp.

Nguyên lí chồng chập nói rằng khi 2 hoặc nhiều sóng đi cùng một khoảng cách thì biên độ thực ở mỗi điểm bằng tổng các biên độ của các sóng riêng lẻ. Tương tác này của các sóng tồn tại ở một điểm cùng một lúc được gọi là *sự giao thoa*. Nguyên lí này cũng áp dụng cho các sóng điện từ di chuyển qua một môi trường.

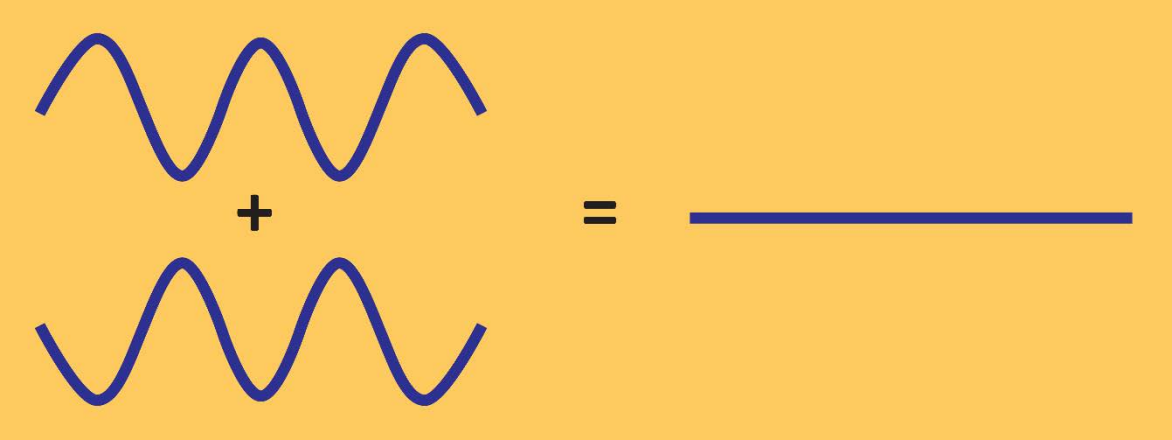
Các biên độ có thể cộng vào nhau khiến cho chúng tăng lên hoặc giảm đi. Trong giao thoa tăng, biên độ của sóng tổng hợp lớn hơn biên độ của từng sóng riêng lẻ, trong khi ở giao thoa giảm, biên độ tổng hợp nhỏ hơn biên độ của từng sóng riêng lẻ. Trong trường hợp 2 sóng có ***biên độ bằng nhau***, **có thể xảy ra giao thoa tăng và giao thoa giảm hoàn toàn, các giao thoa này sẽ được trình bày đầu tiên (hình 7.1).**

Về cơ bản, mọi giao thoa kèm theo sóng ánh sáng phát sinh là do sự kết hợp các trường tạo thành các sóng riêng lẻ.

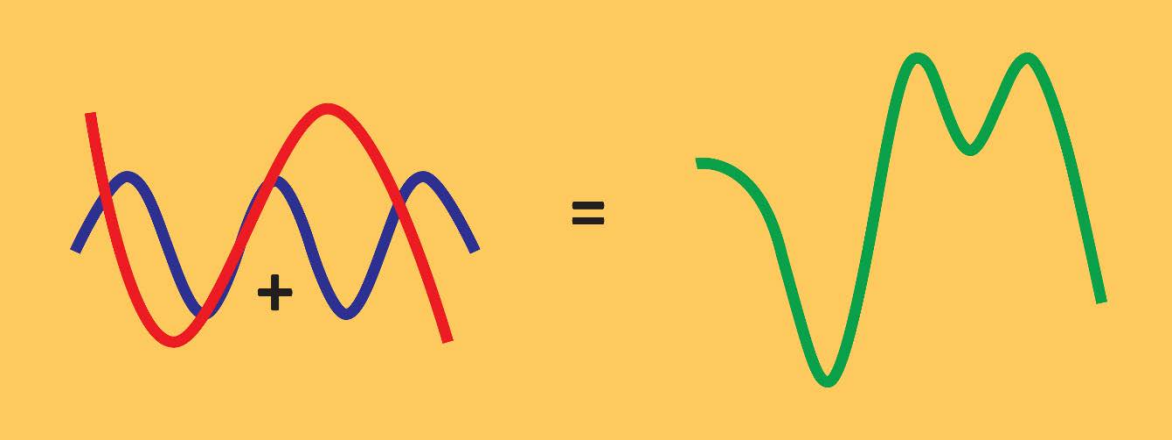
GIAO THOA TĂNG HOÀN TOÀN.



GIAO THOA GIẢM HOÀN TOÀN.



GIAO THOA DO CÁC SÓNG ĐỒNG PHA MỘT PHẦN.



Hình 7.1: *Giao thoa tăng và giao thoa giảm*

Hiệu ứng giao thoa ở các sóng ánh sáng không dễ quan sát do các bước sóng ngắn. Các bước sóng ngắn này nghĩa là chúng có **tần số rất cao, do đó có nhiều sóng tương tác trong mỗi giây**.

Để có thể thấy được giao thoa duy trì ở các sóng ánh sáng từ nhiều hơn một nguồn, cần có những điều kiện sau:

1. Các nguồn sáng phải **liên kết** (coherent), tức là chúng phải duy trì một quan hệ pha hằng định với nhau.

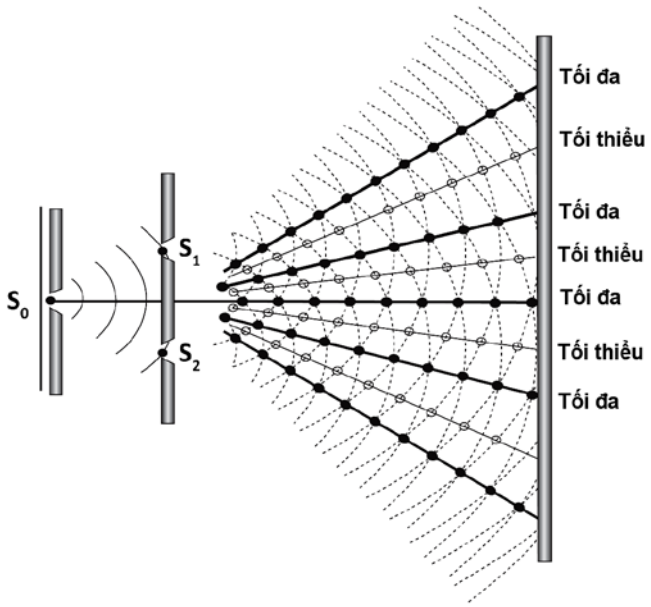
2. Các nguồn sáng phải phát ra các bước sóng đồng nhất. (Điều kiện này dễ đáp ứng nhất nếu các nguồn sáng là đơn sắc.)

Nếu 2 nguồn sáng riêng biệt được đặt cạnh nhau thì **không thấy** hiệu ứng giao thoa bởi vì trong trường hợp này sóng ánh sáng phát ra của mỗi nguồn độc lập với nguồn khác. Do đó, phát xạ của chúng không duy trì được quan hệ pha hằng định với nhau trong thời gian quan sát. Ánh sáng từ một nguồn sáng thường thay đổi ngẫu nhiên như vậy khoảng mỗi 10^{-8} giây một lần. Do đó, các điều kiện cho giao thoa tăng, giao thoa giảm, hoặc một trạng thái trung gian nào đó tồn tại trong nhiều lần bậc 10^{-8} giây. Kết quả là không thấy được hiệu ứng giao thoa bởi vì mắt không thể theo những thay đổi ngắn hạn như vậy. Các nguồn sáng không giữ được quan hệ pha hằng định như vậy được gọi là nguồn *không liên kết* (*incoherent)*.

Cần chú ý rằng có thể quan sát được hiện tượng giao thoa ở ánh sáng "trắng" (tức là ánh sáng đa sắc) không liên kết (thí dụ các kiểu màu ở các bong bóng xà phòng, các lớp chống phản xạ trên kính, v.v.) nhưng các điều kiện để có thể quan sát được chúng khắt khe hơn nhiều (và khó đặt được vào đúng chỗ) so với ánh sáng liên kết.

THÍ NGHIỆM 2 KHE CỦA YOUNG

Hiện tượng giao thoa các sóng ánh sáng từ 2 nguồn được mô tả lần đầu tiên bởi Thomas Young vào năm 1801.



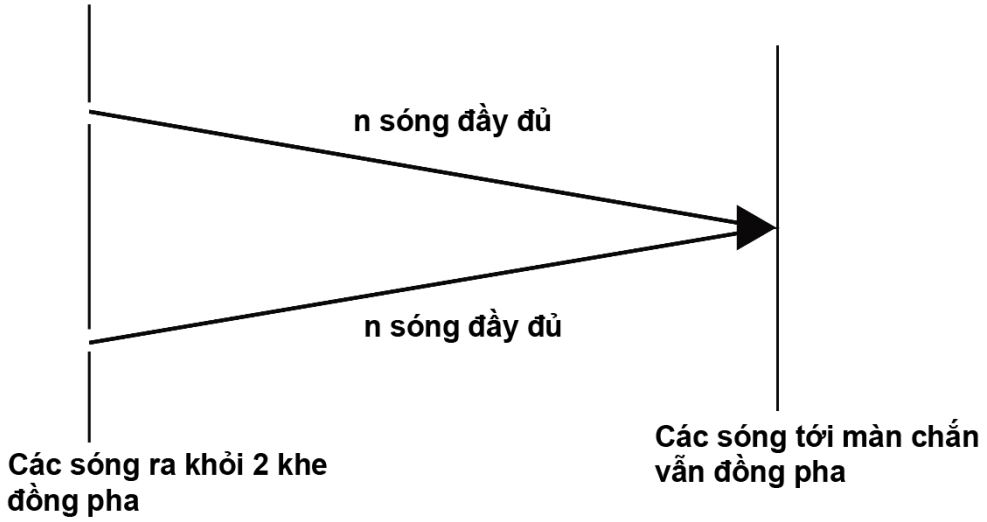
Hình 7.2: *Thí nghiệm 2 khe của Young*

Ánh sáng mặt trời tới một màn chắn có một khe hẹp S_0. Các sóng ló từ khe này đi tới một màn chắn thứ hai có 2 khe song song (S_1 và S_2). Do 2 khe này cách đều khe thứ nhất nên chúng đóng vai trò như là một cặp nguồn sáng liên kết bởi vì các sóng ló ra từ các khe này đều bắt nguồn từ cùng một mặt sóng, do đó giữ được quan hệ pha hằng định. Hơn nữa, chúng phát ra các bước sóng giống nhau vì sóng sinh ra từ cùng một nguồn. Do đó, **đáp ứng được các điều kiện của giao thoa duy trì**.

Ánh sáng từ 2 khe sinh ra một hình mẫu nhìn thấy được trên màn chắn đích. Hình vân mẫu gồm một loạt các băng sáng và tối xen kẽ song song với nhau được gọi là **các vân** bao quanh một băng sáng trung tâm tương đối rộng.

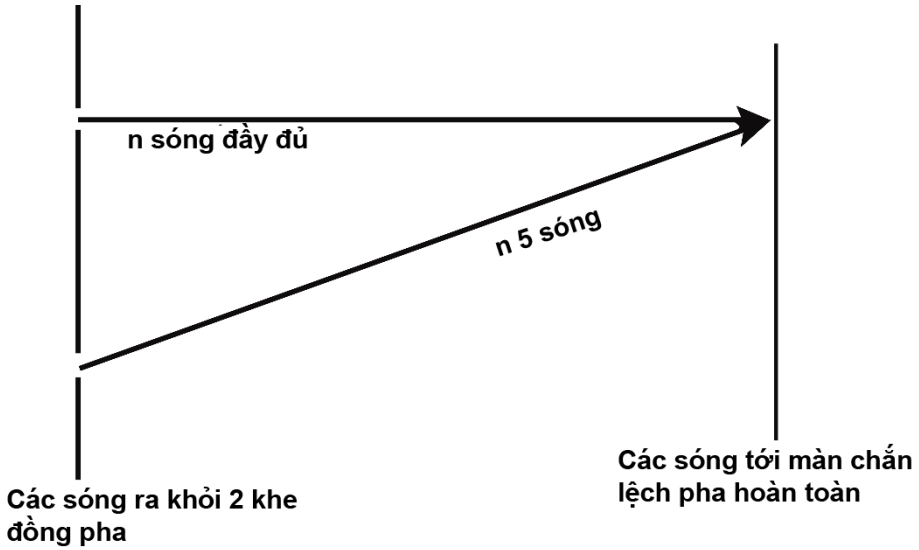
Young đã giải thích cho vân giao thoa một cách khái quát như sau: Khi ánh sáng từ các khe S_1 và S_2 tới một điểm ở màn chắn đích sao cho **giao thoa tăng** xảy ra ở vị trí đó thì xuất hiện một **vạch sáng**. Khi ánh sáng từ 2 khe **giao thoa giảm** ở bất kì vị trí nào trên màn chắn thì xuất hiện một **vạch tối**.

2 sóng (nhất thiết đồng pha khi ra khỏi các khe) tới màn chắn ở **điểm trung tâm**. Do đi một cự li bằng nhau nên chúng tới đích đồng pha và kết quả là xảy ra giao thoa tăng hoàn toàn ở đây và sẽ thấy một đốm sáng.



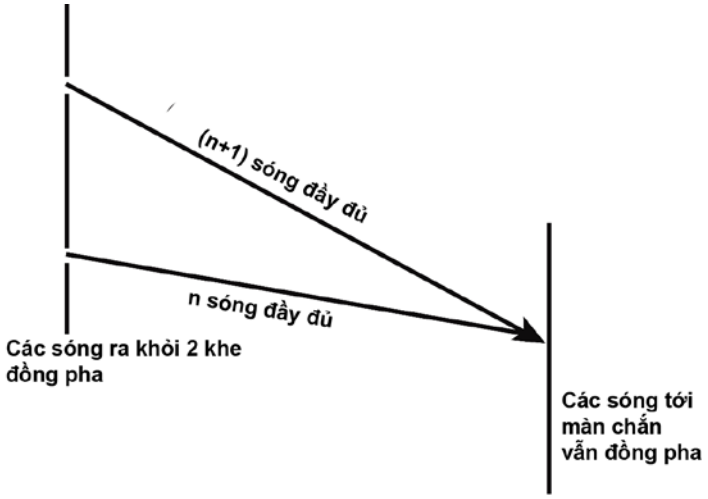
Hình 7.3: *Giao thoa tăng trong thí nghiệm của Young*

Hình 7.4 minh họa sự tạo thành **băng tối thứ nhất** ở xa điểm trung tâm. Các sóng ra khỏi 2 khe một lần nữa xuất phát đồng pha nhưng đi theo các cự li khác nhau. Kết quả là một sóng chậm hơn nửa bước sóng so với sóng kia, do đó đỉnh của một sóng chồng lên lõm của sóng kia, dẫn đến giao thoa giảm hoàn toàn và sẽ thấy một vân tối.



Hình 7.4: *Giao thoa giảm trong thí nghiệm của Young*

Trong sơ đồ dưới đây, các sóng lại xuất phát đồng pha và đi với các cự li khác nhau, nhưng hiệu số độ dài đường đi đúng bằng 1 bước sóng, do đó các sóng tới màn chắn đồng pha với nhau. Kết quả là có giao thoa tăng hoàn toàn và sẽ thấy một **băng sáng** (bậc cao) khác.



Hình 7.5: *Giao thoa tăng bậc cao trong thí nghiệm của Young*

Những điều đã nói ở trên có thể được tóm tắt như sau:

Nếu hiệu số đường đi (path difference) bằng 0 hoặc một bội số nguyên của bước sóng thì 2 sóng sẽ đồng pha ở màn chắn và sinh ra một vân sáng. Nếu hiệu số đường đi là một bội số lẻ của λ/2 thì 2 sóng tới màn chắn sẽ lệch pha 180° và sẽ sinh ra một vân tối.

Bước sóng ảnh hưởng thế nào đối với vân giao thoa?

Bước sóng của ánh sáng tới **càng ngắn** thì **các vân càng gần nhau** và càng hẹp. Do đó, khi ánh sáng tới có màu lam, các vân sẽ gần nhau hơn và các vân sáng sẽ có màu lam. Với ánh sáng tới màu đỏ, các vân sẽ cách xa nhau và các vân sáng sẽ có màu đỏ.

Các vân sáng

Chúng ta đã thấy ở phần trước rằng để có được **các vân sáng** thì hiệu số độ dài đường đi phải là **nλ**. Đối với vân sáng trung tâm (bậc một) thì n = 0. Đối với vân sáng tiếp theo (trên hoặc dưới) thì n=1, v.v.

Có thể thấy rằng hiệu số độ dài đường đi là **nλ = dsinθ**, trong đó **θ** là góc giữa vân sáng trung tâm và vân sáng thứ n và **d** là khoảng cách giữa các khe. Có thể thấy rằng phương trình này tương đương với:

$$n\lambda = dx/L$$

x = khoảng cách giữa các vân sáng
L = khoảng cách giữa 2 khe và màn hình quan sát.

Các vân tối

Trong trường hợp các vân tối, phương trình trở thành:

$$(n + ½)\ \lambda = d\sin\theta = dx/L$$

GIAO THOA Ở CÁC MÀNG MỎNG

Sự giao thoa ánh sáng sinh ra nhiều hiện tượng hàng ngày, chẳng hạn các màu sáng chói phản chiếu từ các bong bóng xà phòng và từ các màng dầu mỏng trên mặt nước. Trong những trường hợp này, các màu sáng chói là do giao thoa giữa ánh sáng phản xạ từ 2 mặt của màng mỏng.
Để giải thích các hiện tượng này, chúng ta cần xét cả 2 yếu tố ảnh hưởng đến giao thoa:

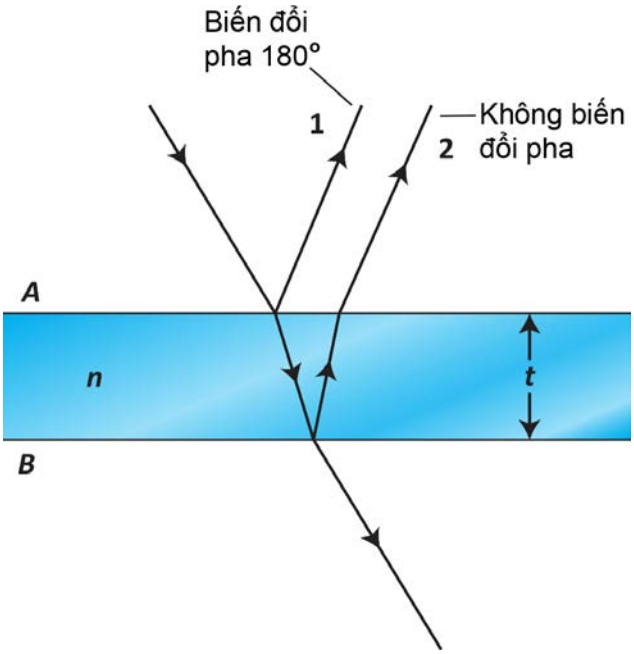
(a) **hiệu số độ dài đường đi** và
(b) **sự đảo pha do phản xạ**.

Ở phần trước, chúng ta đã xem xét yếu tố thứ nhất. Bây giờ chúng ta sẽ xem xét yếu tố thứ hai.

SỰ ĐẢO PHA DO PHẢN XẠ

Nói chung:
Sóng điện từ bị đảo pha 180° khi phản xạ từ một môi trường có chiết suất lớn hơn chiết suất của môi trường mà nó đã đi.

Chúng ta hãy áp dụng nguyên lí này vào một màng mỏng mà 2 mặt là không khí (thí dụ màng bong bóng xà phòng) như ở hình 7.6.



Hình 7.6: *Sự đảo pha do phản xạ*

Tia 1 phản xạ từ một môi trường có n lớn hơn ở mặt trên **A**, (n của vật liệu màng lớn hơn n của không khí) bị đảo pha 180° so với sóng tới. Mặt khác, tia 2 bị phản xạ từ mặt dưới **B**. Tia 2 bị phản xạ từ một môi trường chiết suất thấp hơn (n của không khí nhỏ hơn n của vật liệu màng), do đó tia này không bị đảo pha so với sóng tới.

Do đó, tia 1 lệch pha 180° so với tia 2, tương đương với hiệu số đường đi là $\lambda_n/2$.

GHI CHÚ: λ_n là bước sóng ánh sáng trong môi trường, λ là bước sóng trong không khí.

THÍ DỤ

B. Bong bóng xà phòng

Tình huống này giống như ở Hình 7.5. Một màng mỏng nước xà phòng (n bằng khoảng 1.33) với không khí ở cả 2 mặt. Nước chảy trên bề mặt thay đổi độ dày liên tục.

Các tia từ mặt trên và mặt dưới giao thoa với nhau. Để thấy được một màu sáng chói, 2 tia phải giao thoa tăng. Để tìm những yêu cầu của giao thoa tăng này, chúng ta cần xem xét độ lệch pha do phản xạ (i) và hiệu số độ dài đường đi (ii).

Chúng ta đã thấy rằng 2 tia lệch pha với nhau do sự phản xạ. Để xảy ra giao thoa tăng, chúng cần phải đồng pha hoàn toàn. Do đó khoảng cách 2t (**hiệu số độ dài đường đi**) phải bằng một **bội số của $\lambda_n/2$**.

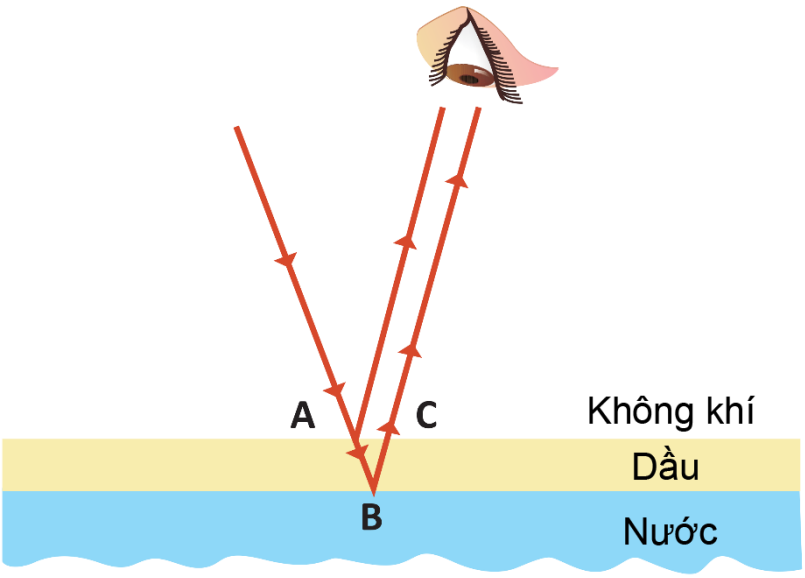
Khi ánh sáng trắng chiếu vào bong bóng xà phòng, độ dài đường đi 2t sẽ bằng một bội số của $\lambda_n/2$ cho chỉ một bước sóng ở một góc nhìn cho trước. Màu này sẽ được thấy rất sáng. Nếu ánh sáng được nhìn ở một góc hơi khác thì đường đi sẽ dài hơn hoặc ngắn hơn và một màu khác sẽ bị giao thoa tăng. Do đó, với một nguồn mở rộng (không phải nguồn điểm) phát ra ánh sáng trắng thì sẽ thấy một loạt các màu sáng chói cạnh nhau. Những thay đổi độ dày của màng bong bóng xà phòng cũng làm thay đổi độ dài đường đi, do đó ảnh hưởng đến màu của ánh sáng bị phản xạ mạnh nhất. Đây là cách mà các màu sáng chói ở các màng bong bóng xà phòng được tạo ra.

B. Lớp dầu trên mặt nước

Chúng ta đang xem xét một mặt nước bằng phẳng bên trên là một lớp dầu mỏng đồng đều.

Thí dụ 1: NẾU $n_{dầu} > n_{nước}$

Xem hình 7.7 để hiểu sự tạo thành một loạt các màu sáng chói



Hình 7.7: *Sự nhận thấy các màu sáng chói khi một lớp dầu mỏng ở trên mặt nước*

Phần ánh sáng tới (thí dụ từ mặt trời hoặc đèn đường) bị phản xạ tại điểm **A** ở mặt trên, và phần ánh sáng truyền qua bị phản xạ tại điểm **B** ở mặt dưới. Tia phản xạ ở **A** bị đảo pha, do đó sẽ bị lệch pha so với tia tới. Tia phản xạ ở **B** không bị đảo pha, do đó đồng pha với tia tới. Nhìn toàn bộ thì 2 tia sẽ lệch pha với nhau. Chú ý rằng tia phản xạ ở mặt dưới phải đi thêm một khoảng cách **ABC**.

Để có thể thấy một màu sáng chói thì các tia phải giao thoa tăng. Điều này chỉ có thể xảy ra nếu khoảng cách **ABC** (hiệu số độ dài đường đi) lại là một bội số của $\lambda_n/2$. Khi đó 2 tia sẽ đồng pha hoàn toàn. Nếu ánh sáng được nhìn ở một góc hơi khác thì đường đi sẽ dài hơn hoặc ngắn hơn và một màu khác sẽ bị giao thoa tăng. Những thay đổi độ dày của lớp dầu cũng sẽ thay đổi độ dài đường đi, do đó ảnh hưởng đến màu sắc của ánh sáng bị phản xạ mạnh nhất. Đây là lí do tại sao các màu thay đổi nếu lớp dầu được khuấy lên hoặc di chuyển.

Thí dụ 2: NẾU $n_{dầu} < n_{nước}$

Xem lại hình 7.7. Trong trường hợp này tia bị phản xạ ở điểm **A** sẽ lại lệch pha với tia tới. Tuy nhiên, tia bị phản xạ ở điểm **B** cũng sẽ lệch pha với tia tới. Do đó, nếu chỉ xem xét sự đảo pha thì 2 tia **đồng pha** với nhau.

Tia bị phản xạ ở mặt dưới phải đi thêm một khoảng cách **ABC**. Nếu khoảng cách **ABC** bằng một hoặc một số nguyên của các bước sóng thì 2 sóng sẽ giao thoa tăng và ánh sáng sẽ sáng chói.

Khi ánh sáng trắng rơi vào một phim, quãng đường **ABC** sẽ bằng λ_n (hoặc $m\lambda_n$ trong đó m là một số nguyên) của chỉ một bước sóng ở một góc nhìn đã cho. Màu này sẽ được thấy là rất sáng. Nếu ánh sáng được nhìn ở một góc khác thì quãng đường **ABC** sẽ dài hơn hoặc ngắn hơn và một màu khác sẽ bị giao thoa tăng.

Do đó, đối với một nguồn rộng phát ra ánh sáng trắng thì sẽ thấy một loạt các màu sáng ở cạnh nhau. Những thay đổi độ dày của lớp phủ cũng sẽ ảnh hưởng đến độ dài đường đi **ABC**, do đó ảnh hưởng đến màu sắc của ánh sáng bị phản xạ mạnh nhất.

CÁC LỚP PHỦ CHỐNG PHẢN XẠ

Các màu sáng chói ở các màng mỏng là do giao thoa tăng. Chúng ta cũng có thể sử dụng khái niệm này để gây ra giao thoa giảm của ánh sáng nào đó khiến cho một phần ánh sáng không thể truyền qua. Do đó, nếu có thể thiết kế một hệ thống trong đó các tia phản xạ từ 2 bề mặt lệch pha hoàn toàn thì chúng ta có thể ngăn chặn những ánh phản xạ không mong muốn. Đây là cơ sở của thiết kế các lớp phủ chống phản xạ.

Tổn thất do phản xạ được tính bằng **độ phản xạ**. Lượng này (tính theo phân số hoặc tỉ lệ phần trăm) là tỉ số của cường độ ánh sáng phản xạ và cường độ của ánh sáng tới. Do đó, trị số này càng cao thì lượng ánh sáng phản xạ từ một bề mặt càng nhiều. Độ phản xạ ở bề mặt của một thấu kính càng lớn hơn nếu chiết suất của lớp nền thấu kính càng cao.

CÁC LỚP PHỦ CHỐNG PHẢN XẠ CỦA THẤU KÍNH

Mỗi khi sử dụng các thấu kính, một tỉ lệ nhỏ ánh sáng tới bị phản xạ ở mỗi mặt. Ở các hệ thấu kính ghép như kính thiên văn và kính hiển vi, điều này tạo ra một nền ánh sáng không đúng tiêu, dẫn đến giảm độ rõ nét của ảnh cuối cùng, đồng thời giảm cường độ sáng của ảnh, bởi vì lượng ánh sáng truyền qua thấu kính ít hơn. Do đó cần có các lớp phủ chống phản xạ.

Kính mắt hiện đại thường làm bằng các vật liệu có chiết suất trong khoảng từ 1.56 đến 1.8. Ánh phản xạ mạnh hơn từ các mặt kính có thể làm cho kính kém hấp dẫn về mặt thẩm mĩ và sinh ra các ảnh quầng gây khó chịu cho người đeo kính. Các lớp phủ chống phản xạ được dùng để loại trừ các ánh phản xạ này.

Có thể giảm đáng kể lượng ánh sáng phản xạ bằng cách phủ một lớp mỏng lên các bề mặt. Lúc này, một phần ánh sáng (bước sóng trung bình λ) sẽ bị phản xạ từ bề mặt không khí-lớp phủ. Phần còn lại đi qua lớp phủ và bị phản xạ một phần từ bề mặt lớp phủ-kính. Có thể giảm lượng ánh sáng tổn thất do phản xạ nếu xảy ra giao thoa giảm giữa 2 chùm sáng phản xạ.

Một lần nữa, chúng ta cần xem xét cả 2 yếu tố: sự đảo pha do phản xạ và hiệu số độ dài đường đi. Cần chú ý rằng các điều kiện cho giao thoa giảm sẽ phụ thuộc vào các chiết suất của vật liệu kính và vật liệu của lớp phủ chống phản xạ. Điều này sẽ được minh họa bằng các thí dụ dưới đây.

Một số lớp phủ được dùng là:

VẬT LIỆU	CHIẾT SUẤT
Ceri oxit	2.20
Kẽm sulphit	2.35
Cryolit (hợp chất Na, Al, F)	1.31
Magiê fluorit	1.38

Bảng 7.1: *Một số vật liệu thường dùng làm các lớp phủ chống phản xạ của kính mắt*

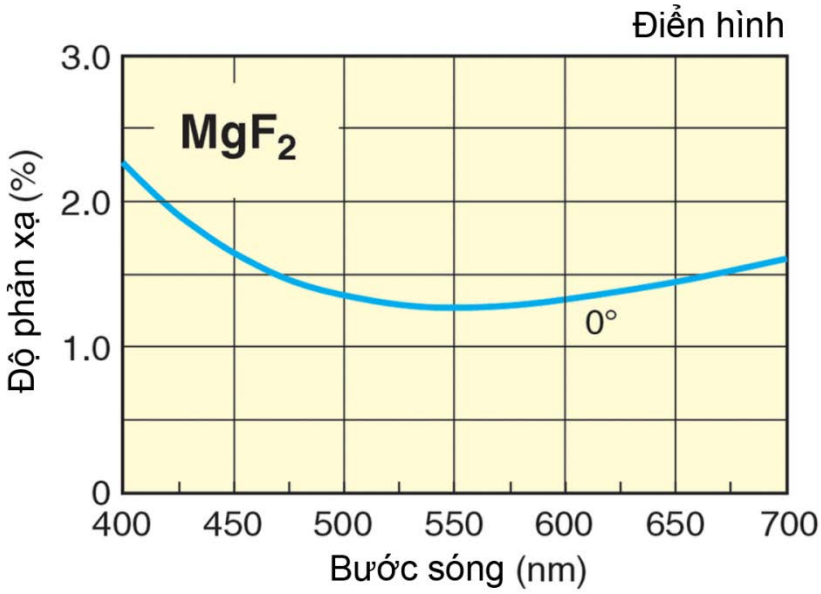
Cryolit và MgF_2 là những lớp phủ chiết suất thấp thông dụng. Vì magiê fluorit bền hơn nhiều nên nó thường được dùng hơn. Do độ dày tối thiểu là $t = \lambda/4n$, (**đối với các lớp phủ chiết suất thấp**) người ta dùng "lớp phủ 1/4 bước sóng".

Bước sóng được chọn cho lớp phủ chống phản xạ là 555 nm bởi vì đây là bước sóng mà mắt nhạy cảm nhất. Do đó, độ dày là khoảng 100 nm.

Một lớp đơn sẽ làm giảm độ phản xạ của thủy tinh từ khoảng 4% tới trên 1% một chút. Nó **không bằng 0, bởi vì cường độ ánh sáng khác nhau ở 2 mặt.** Để điều đó có thể xảy ra, ***chiết suất của lớp phủ phải bằng căn bậc hai của n của kính.***

Độ dày của lớp phủ càng sai số khi bước sóng càng xa 555 nm. Do đó, càng nhiều phản xạ đến đầu màu đỏ và đầu màu lam của quang phổ. Điều này giải thích cho ánh phản chiếu màu đỏ-lam (màu cánh sen) đặc trưng.

Có thể thấy sự giảm phản xạ ở một dải các bước sóng đối với một lớp phủ chống phản xạ đơn phụ thuộc vào góc tới. Đối với ánh sáng tới bình thường, hình 7.8 cho thấy sự giảm độ phản xạ lớn nhất ở bước sóng thiết kế (550 nm) và độ phản xạ giảm nhiều hơn khi ra xa bước sóng này.



Hình 7.8: *Sự giảm độ phản xạ của ánh sáng tới theo bước sóng của một lớp phủ chống phản xạ đơn (magiê fluorit)*

Cần chú ý là do không thể hủy bỏ năng lượng nên ánh sáng không bị phản xạ bây giờ sẽ được truyền qua. Do đó, các lớp phủ như vậy ở ống kính máy ảnh sẽ làm tăng rõ rệt độ sáng của ảnh.

Có thể đạt được tác dụng tốt hơn nhiều bằng các lớp phủ đa lớp (*multilayers*). Ở lớp phủ chống phản xạ 2 lớp, mỗi lớp có độ dày bằng ¼λ, được gọi là lớp phủ phần tư-phần tư. Ở nhiều lớp phủ 3 lớp, lớp giữa được làm có độ dày bằng ½λ, 2 lớp còn lại có độ dày bằng ¼λ. Các lớp phủ này được sử dụng rộng rãi; chúng hiệu quả đối với hầu hết phổ nhìn thấy. Lớp đầu tiên (bên ngoài) thường là lớp MgF_2 có độ dày ¼λ, lớp thứ hai là zirconi dioxit (chiết suất 2.10) có độ dày λ/2, và lớp tiếp theo ở dưới lớp nền là ceri trifluorit (CeF_3, chiết suất 1.65) hoặc oxit nhôm (Al_2O_3, chiết suất 1.76) có độ dày λ/4. Một số mắt kính cao cấp được sản xuất với lớp phủ chống phản xạ có tới 7 lớp riêng rẽ.