

Sự giao thoa ánh sáng

Sự tạo ảnh trong kính hiển vi phụ thuộc vào sự tác động qua lại phức tạp giữa hai hiện tượng quang học quan trọng: nhiễu xạ và giao thoa. Ánh sáng truyền qua mẫu vật bị tán xạ và nhiễu xạ thành các sóng phân kì bởi những chi tiết và đặc trưng nhỏ xíu có mặt trong mẫu vật. Một số ánh sáng khuếch tán bị tán xạ bởi mẫu vật được mục tiêu bắt lấy và hội tụ lên mặt phẳng ảnh ở giữa, nơi đó các sóng ánh sáng chồng chập sẽ tái kết hợp hoặc cộng dồn qua quá trình giao thoa để tạo ra ảnh phóng to của mẫu vật.



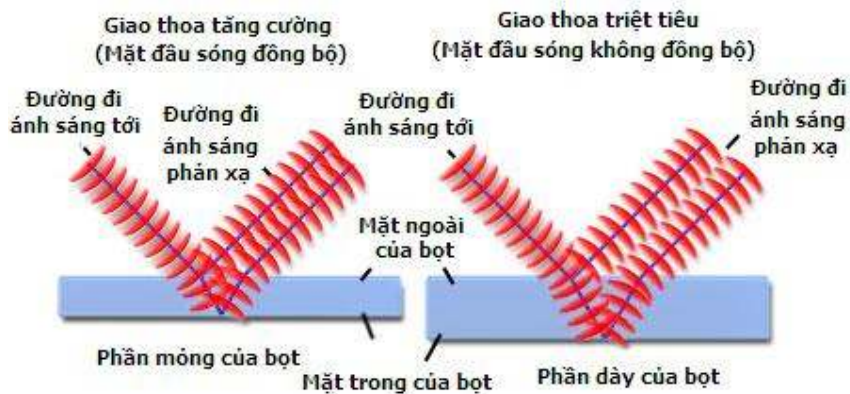
Hình 1. Hình ảnh giao thoa của màng xà phòng

Mối quan hệ có vẻ gần gũi giữa nhiễu xạ và giao thoa xảy ra do chúng thật ra là biểu hiện của cùng một quá trình vật lí và ảnh hưởng qua lại lẫn nhau. Đa số chúng ta đều nhìn thấy một số loại giao thoa quang hầu như mỗi ngày, nhưng không nhận ra sự kiện xảy ra đằng sau sự biểu hiện thường rất huyền ảo của màu sắc sinh ra khi các sóng ánh sáng giao thoa với nhau. Một trong những thí dụ tốt nhất của hiện tượng giao thoa biểu hiện bởi ánh sáng phản xạ từ một màng dầu nổi trên mặt nước. Một thí dụ nữa là màng mỏng của bọt xà phòng (minh họa trong hình 1), nó phản chiếu phổ màu sắc tuyệt đẹp khi được rọi sáng bằng nguồn sáng tự nhiên hoặc nhân tạo.

Cơ chế tác động qua lại của màu sắc ở bọt xà phòng do sự phản xạ đồng thời ánh sáng từ cả mặt bên trong lẫn mặt bên ngoài của màng xà phòng cực kì mỏng. Hai bề mặt lại rất gần nhau (cách nhau chỉ vài micrô mét) và ánh sáng phản xạ từ mặt bên trong vừa giao thoa tăng cường vừa giao thoa triệt tiêu với ánh sáng phản xạ từ mặt bên ngoài. Hiệu ứng giao thoa quan sát thấy là do ánh sáng phản xạ từ mặt bên trong của bọt phải truyền đi quãng đường xa hơn ánh sáng phản xạ từ mặt bên ngoài, và chiều dày khác nhau của màng xà phòng tạo ra sự chênh lệch tương ứng về khoảng cách mà các sóng ánh sáng phải truyền để tới được mắt người.

Khi các sóng phản xạ từ mặt bên trong và mặt bên ngoài của màng xà phòng tái kết hợp, chúng sẽ giao thoa với nhau để hoặc là triệt tiêu hoặc là tăng cường một số bước sóng của ánh sáng trắng bằng sự giao thoa triệt tiêu hoặc giao thoa tăng cường (như minh họa trong hình 2). Kết quả là sự biểu hiện màu sắc rực rỡ có vẻ xoay chuyển theo bề mặt của bọt khi nó giãn ra hoặc co lại theo luồng gió thổi. Thật dễ dàng điều chỉnh bọt xà phòng, hoặc đưa nó lại gần hoặc ra xa, làm cho màu sắc thay đổi, hay thậm chí làm biến mất hoàn toàn màu sắc. Nếu như khoảng cách tăng thêm truyền đi bởi sóng ánh sáng phản xạ từ mặt bên trong chính xác bằng với bước sóng của sóng phản xạ từ mặt bên ngoài, thì các sóng ánh sáng sẽ tái kết hợp tăng

cường nhau, hình thành nên màu sáng. Trong những khu vực mà sóng không đồng bộ với nhau, cả chỉ một số phần nhỏ bước sóng, hiệu ứng giao thoa triệt tiêu sẽ xảy ra, làm suy yếu hoặc hủy mất ánh sáng phản xạ (và màu sắc).



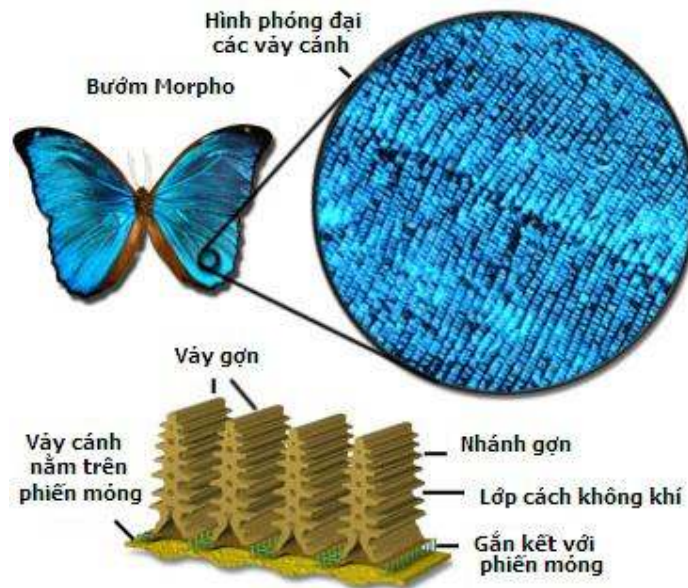
Hình 2. Đường đi của ánh sáng phản xạ qua bột xà phòng

Những người say mê âm nhạc, phim ảnh và máy tính cũng thường gặp hiện tượng giao thoa mỗi khi họ tải một đĩa compact vào máy hát audio hoặc đĩa CD-ROM. Các rãnh ghi xoắn tròn ốc rất gần nhau trên đĩa compact hoặc đĩa video kỹ thuật số gồm một loạt hố và phần phẳng được sử dụng để mã hóa hiện trạng dạng số của chuỗi audio và/hoặc video ở trên đĩa. Sự định vị rất gần nhau của các rãnh ghi này bắt chước các đường siêu tinh tế có mặt trên cách tử nhiễu xạ nhằm tạo ra hiệu ứng màu sắc đẹp mắt giống như cầu vồng khi ánh sáng trắng thông thường bị phản xạ bởi bề mặt đó. Giống như bột xà phòng, màu sắc tuyệt đẹp có nguyên nhân do sự giao thoa giữa các sóng ánh sáng phản xạ bật khỏi các rãnh lân cận nhau trên đĩa.

Giao thoa là nguyên nhân gây ra màu sắc óng ánh, rực rỡ của chim ruồi, nhiều loài bọ cánh cứng và những loài côn trùng khác có cánh trong suốt như kim loại, và một số loài bướm đẹp lộng lẫy. Ví dụ, cánh của con bọ kim cương phủ một lớp cách tử nhiễu xạ vi mô có chừng 2000 vạch trên một inch. Ánh sáng trắng phản xạ từ cánh của con bọ biểu hiện hình ảnh giao thoa lộng lẫy giống như trường hợp phản xạ từ bề mặt của đĩa compact. Hiệu ứng tương tự cũng được tạo ra bởi con bọ rùa, cánh của chúng gồm nhiều lớp kitin, làm cho chúng óng ánh nhiều màu sắc phản xạ. Điều thú vị là loài côn trùng này có khả năng làm thay đổi độ ẩm của màng mỏng để tạo ra sự không đồng đều chiều dày, làm biến đổi màu giao thoa phản xạ nổi bật từ màu vàng cho tới màu đỏ đồng.

Một thí dụ hấp dẫn nữa về hiện tượng giao thoa xảy ra trong tự nhiên là loài bướm Morpho didius phát triển mạnh ở vùng rừng rậm Amazon, và biểu hiện một trong những dạng óng ánh đẹp nhất mà người ta từng thấy trong thế giới côn trùng. Màu cánh xanh đậm là hệ quả của cấu trúc sinh màu gắn chặt với các vảy nằm xếp lớp bên dưới cánh bướm. Mỗi vảy gồm có hai phiến cực kì mỏng, một ở trên và một ở dưới, cách nhau một khoảng rộng với các que đứng. Phiến mỏng mang trên nó một mạng lưới còn nhỏ hơn nữa của các gợn hình cây thông Noel gồm các nhánh hay cành nhô ra mạn bên từ thân ở giữa. Các nhánh gợn tăng dần từ lớp mỏng kitin ngăn cách nhau bằng khoảng không khí ở khoảng cách bằng một nửa bước sóng ánh sáng màu xanh, bắt chước một cách tử nhiễu xạ tự nhiên. Các gợn sóng phát triển cách nhau một khoảng không gian chính xác sao cho sóng ánh sáng phản xạ từ các nhánh chịu sự giao thoa tăng cường hoặc triệt tiêu. Kết quả là màu xanh sặc sỡ bao

phủ gần hết toàn bộ cấu trúc cánh, mặc dù không có ánh sáng màu xanh thật sự phản xạ từ các phiến cánh.



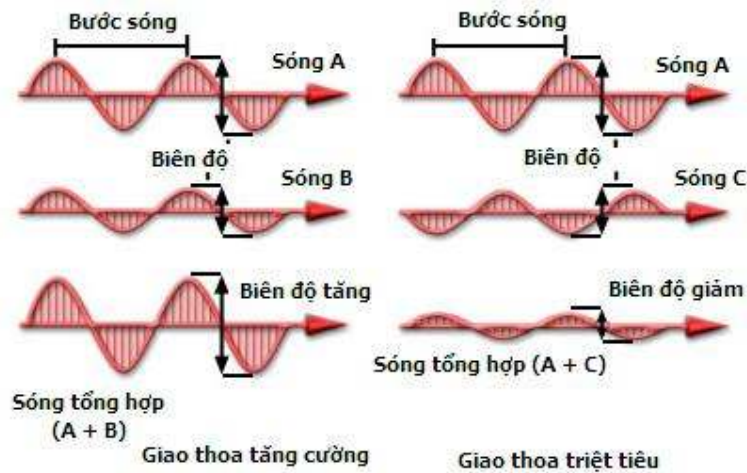
Hình 3. Cấu trúc giao thoa ở cánh bướm

Phương pháp cổ điển mô tả hiện tượng giao thoa là đưa ra miêu tả đồ họa sự tái kết hợp của hai hay nhiều hơn hai sóng ánh sáng dạng sin trong đồ thị biên độ, bước sóng và độ lệch pha tương đối. Trong thực tế, khi hai sóng cộng gộp với nhau, sóng thu được có giá trị biên độ hoặc là tăng lên qua giao thoa tăng cường, hoặc là giảm bớt qua giao thoa triệt tiêu. Để minh họa hiệu ứng, xét một cặp sóng ánh sáng xuất phát từ cùng nguồn kết hợp (có mối quan hệ pha như nhau) và truyền song song với nhau (biểu diễn trong phần bên trái hình 4).

Nếu các dao động tạo ra bởi vector điện trường (vuông góc với hướng truyền) từ mỗi sóng song song với nhau (trong thực tế, các vector điện trường dao động trong cùng mặt phẳng) thì sóng ánh sáng có thể kết hợp và chịu sự giao thoa. Nếu các vector đó không nằm trong cùng mặt phẳng, và dao động ở một số góc từ 90 đến 180 độ đối với nhau, thì sóng không thể giao thoa với nhau. Sóng ánh sáng minh họa trong hình 4 đều được xem là có vector điện trường dao động trong mặt phẳng trang giấy. Ngoài ra, các sóng này đều có cùng bước sóng, và là kết hợp, nhưng khác nhau về biên độ. Các sóng trong phần bên phải hình 4 có độ lệch pha 180 độ đối với nhau.

Giả sử tất cả các tiêu chuẩn liệt kê ở trên đều có, thì sóng có thể giao thoa hoặc là tăng cường, hoặc là triệt tiêu để tạo ra sóng tổng hợp có biên độ hoặc là tăng thêm hoặc là giảm bớt. Nếu như cực đại của sóng này trùng với cực đại của sóng kia thì biên độ tổng hợp được xác định bằng cách lấy tổng số học biên độ hai sóng ban đầu. Ví dụ, nếu biên độ của hai sóng bằng nhau, thì biên độ tổng hợp tăng gấp đôi. Trong hình 4, sóng ánh sáng A có thể giao thoa tăng cường với sóng ánh sáng B, vì hai sóng kết hợp có cùng pha, chỉ khác nhau về biên độ. Lưu ý rằng cường độ ánh sáng biến thiên tỉ lệ với bình phương của biên độ. Như vậy, nếu biên độ tăng gấp đôi thì cường độ tăng gấp bốn lần. Sự giao thoa cộng gộp như vậy được gọi là giao thoa tăng cường và kết quả là một sóng mới có biên độ tăng lên.

Nếu như cực đại của sóng này trùng với cực tiểu của sóng kia (trong thực tế, các sóng lệch pha nhau 180 độ, hoặc là nửa bước sóng) thì biên độ tổng hợp giảm bớt, hoặc thậm chí bị triệt tiêu hoàn toàn, như minh họa với sóng A và sóng C ở bên phải hình 4. Đây là sự giao thoa triệt tiêu, và kết quả thường là sự giảm biên độ (hoặc cường độ). Trong trường hợp biên độ bằng nhau, nhưng lệch pha nhau 180 độ, các sóng sẽ khử nhau, tạo ra sự thiếu hụt màu sắc, hay là một màu đen hoàn toàn. Các ví dụ trong hình 4 đều miêu tả các sóng truyền cùng hướng, nhưng trong nhiều trường hợp, các sóng ánh sáng truyền theo những hướng khác nhau có thể gặp nhau trong khoảng thời gian ngắn và chịu sự giao thoa. Tuy nhiên, sau khi các sóng đi qua nhau, chúng sẽ tiếp tục cuộc hành trình ban đầu của mình, có biên độ, bước sóng và pha y như lúc trước khi chúng gặp nhau.



Hình 4. Giao thoa giữa các sóng ánh sáng trùng khớp

Hiện tượng giao thoa trong thế giới thực tế không được xác định rõ ràng như trường hợp đơn giản miêu tả ở hình 4. Ví dụ, phổ nhiều màu sắc biểu hiện bởi bọt xà phòng là do cả giao thoa tăng cường và giao thoa triệt tiêu của các sóng ánh sáng khác nhau về biên độ, bước sóng và độ lệch pha tương đối. Một kết hợp của các sóng có biên độ xấp xỉ bằng nhau, nhưng có bước sóng và pha khác nhau, có thể tạo ra nhiều phổ màu sắc và biên độ tổng hợp. Hơn nữa, khi hai sóng có cùng biên độ và bước sóng lệch pha nhau 180 độ (nửa bước sóng) gặp nhau, chúng không thật sự bị phá hủy, như biểu diễn trên hình 4. Mọi năng lượng photon có mặt trong những sóng này vì lí do nào đó phải lấy lại hay là phân bố lại ở một hướng mới, theo định luật bảo toàn năng lượng (photon không có khả năng tự hủy). Cho nên, khi gặp nhau, các photon sẽ được phân phối lại các vùng cho phép giao thoa tăng cường, do đó kết quả phải được xem là sự phân bố lại sóng ánh sáng và năng lượng photon chứ không phải sự tăng cường hoặc triệt tiêu tự phát của ánh sáng. Vì vậy, những biểu đồ đơn giản, theo kiểu như hình 4, chỉ nên xem là công cụ hỗ trợ việc tính toán năng lượng ánh sáng truyền theo một hướng nào đó.

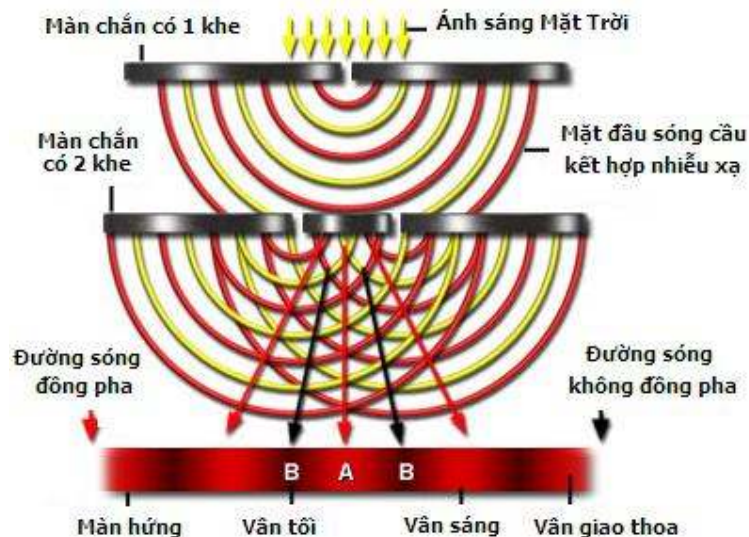
Thí nghiệm khe đôi của Thomas Young

Một trong số những người tiên phong của nền vật lí buổi đầu là nhà khoa học người Anh hồi thế kỉ 19 tên là Thomas Young, người đã chứng minh được hết sức thuyết phục bản chất giống sóng của ánh sáng qua hiện tượng giao thoa bằng kĩ thuật nhiễu xạ. Thí nghiệm của Young cho bằng chứng trái ngược với quan điểm

khoa học phổ biến lúc bấy giờ, xây dựng trên thuyết tiểu thể (hạt) của Newton về bản chất ánh sáng. Thêm nữa, ông cũng là người kết luận rằng màu sắc khác nhau của ánh sáng là do các sóng có chiều dài khác nhau, và bất cứ màu nào cũng có thể thu được từ việc pha trộn các đại lượng khác nhau của ánh sáng từ ba màu cơ sở: đỏ, lục và lam.

Năm 1801, Young tiến hành thí nghiệm khe đôi kinh điển và thường được trích dẫn, mang đến bằng chứng quan trọng cho thấy ánh sáng khả kiến có những tính chất sóng. Thí nghiệm của ông dựa trên giả thuyết cho rằng nếu ánh sáng là sóng trong tự nhiên, thì nó phải hành xử theo kiểu giống như các gợn hay sóng trên ao nước. Nơi hai sóng nước đối diện gặp nhau, chúng phải phản ứng theo kiểu riêng để hoặc là tăng cường hoặc là triệt tiêu lẫn nhau. Nếu hai sóng đồng bộ (các cực đại gặp nhau) thì chúng sẽ kết hợp để tạo ra sóng lớn hơn. Ngược lại, khi hai sóng gặp nhau không đồng bộ (cực đại của sóng này gặp cực tiểu của sóng kia), hai sóng sẽ hủy nhau và tạo ra bề mặt phẳng lặng tại khu vực đó.

Để kiểm tra giả thuyết của ông, Young đã nghĩ ra một thí nghiệm tài tình. Sử dụng ánh sáng Mặt Trời nhiễu xạ qua một khe nhỏ làm nguồn chiếu sáng bán kết hợp, ông đã chiếu tia sáng phát ra từ khe đó lên một màn chắn khác chứa hai khe đặt song song nhau. Ánh sáng truyền qua các khe sau đó được cho rơi vào một màn chắn thứ ba (màn hứng). Young quan sát thấy khi các khe lớn, đặt xa nhau và gần màn hứng, thì hai mảng ánh sáng chồng lên nhau thu được trên màn hứng. Tuy nhiên, khi ông giảm kích thước các khe và mang chúng đến gần nhau hơn, thì ánh sáng truyền qua các khe và rơi vào màn hứng tạo ra những dải màu riêng biệt phân cách nhau bởi những vùng tối theo một trật tự nhất định. Young đã đặt ra thuật ngữ vân giao thoa để mô tả các dải sáng và nhận thấy rằng những dải màu này chỉ có thể được tạo ra nếu như ánh sáng xử sự giống như sóng.



Hình 5. Thí nghiệm khe đôi của Thomas Young

Bố trí cơ bản của thí nghiệm khe đôi được minh họa trên hình 5. Ánh sáng màu đỏ lọc ra từ ánh sáng Mặt Trời ban đầu đi qua một khe để thu được trạng thái bán kết hợp. Sóng ánh sáng đi vào khe thứ nhất sau đó đi tới một cặp khe đặt gần nhau trên màn chắn thứ hai. Màn hứng đặt trong vùng phía sau các khe để thu lấy

các tia sáng chong chát truyền qua khe kép, và hình ảnh của dải vân giao thoa đỏ sáng và tối có thể nhìn thấy trên màn hứng. Vấn đề chủ yếu với loại thí nghiệm này là sự kết hợp lẫn nhau của ánh sáng nhiễu xạ từ hai khe trên màn chắn. Mặc dù Young đã thu được sự kết hợp này qua sự nhiễu xạ của ánh sáng Mặt Trời từ khe thứ nhất, nhưng bất kì nguồn sáng kết hợp nào (laser chẳng hạn) đều có thể thay thế cho ánh sáng truyền qua một khe đơn.

Mặt đầu sóng kết hợp của ánh sáng chạm tới khe đôi thì tách thành hai mặt đầu sóng mới hoàn toàn đồng bộ với nhau. Sóng ánh sáng từ mỗi khe phải truyền đi quãng đường bằng nhau để chạm tới điểm A trên màn hứng như minh họa trong hình 5, và phải chạm tới điểm đó đồng bộ hoặc có cùng độ lệch pha. Do hai sóng ánh sáng chạm tới điểm A thỏa mãn yêu cầu cần thiết đối với sự giao thoa tăng cường, nên chúng cộng gộp với nhau tạo ra vân giao thoa đỏ sáng trên màn hứng.

Trái lại, cả hai điểm B trên màn hứng đặt ở khoảng cách không bằng nhau tính từ hai khe, nên ánh sáng từ khe này phải truyền đi quãng đường xa hơn so với ánh sáng truyền từ khe kia. Sóng ánh sáng phát ra từ khe gần điểm B hơn (ví dụ như với các khe và điểm B phía bên trái của hình 5) không phải truyền đi quãng đường xa để tới mục tiêu như sóng phát ra từ khe kia. Kết quả là sóng phát ra từ khe gần hơn sẽ tới điểm B hơi sớm hơn sóng phát ra từ khe xa hơn. Do các sóng này không tới điểm B đồng pha (hoặc đồng bộ với nhau) nên chúng sẽ chịu sự giao thoa triệt tiêu tạo ra vùng tối (vân giao thoa) trên màn hứng. Hình ảnh vân giao thoa không hạn chế với các thí nghiệm có cấu hình khe đôi mà còn có thể tạo ra với bất kì sự kiện nào có kết quả là sự phân tách ánh sáng thành các sóng có thể hủy nhau hoặc cộng gộp với nhau.

Thành công của thí nghiệm Young là bằng chứng mạnh mẽ ủng hộ cho thuyết sóng, nhưng không được chấp nhận ngay bởi những người đương thời với ông. Nguyên nhân gây ra các hiện tượng như màu sắc cầu vồng thu được ở bọt xà phòng và vòng Newton (sẽ thảo luận trong phần sau) mặc dù giải thích được bằng công trình này, nhưng nó không hiển nhiên ngay đối với những nhà khoa học có niềm tin vững chắc cho rằng ánh sáng truyền đi dưới dạng một dòng hạt. Những loại thí nghiệm khác sau này được nghĩ ra và dẫn chứng cho bản chất sóng của ánh sáng và hiệu ứng giao thoa. Đáng chú ý nhất là thí nghiệm gương đơn của Humphry Lloyd và thí nghiệm gương đôi và thí nghiệm ba lăng kính do Augustin Fresnel nghĩ ra cho ánh sáng phân cực trong các tinh thể có một trục. Fresnel kết luận rằng sự giao thoa giữa các chùm ánh sáng phân cực chỉ có thể thu được với các chùm có cùng hướng phân cực. Trong thực tế, các sóng ánh sáng phân cực có phương dao động của chúng định hướng song song nhau có thể kết hợp để tạo ra giao thoa, trong khi các sóng ánh sáng phân cực định hướng vuông góc nhau thì không giao thoa.

Isaac Newton, nhà toán học và nhà vật lí học người Anh nổi tiếng của thế kỉ 17, là một trong những nhà khoa học đầu tiên nghiên cứu hiện tượng giao thoa. Ông bị hiếu kì trước sự hiển thị màu sắc sặc sỡ trên bề mặt của bong bóng xà phòng, đặc biệt là khi xem các bong bóng được tạo thành từ dung môi xà phòng không màu. Newton đã suy luận chính xác rằng màu sắc có thể là do sự quá gần nhau của bề mặt bên trong và bên ngoài của bong bóng, và nghĩ ra một phương pháp thực nghiệm tiến hành để nhại lại hình ảnh màu sắc quan sát được. Trong thí nghiệm vòng Newton nổi tiếng của ông (xem hình 6), Newton đặt một thấu kính lồi có bán

kính cong lớn trên một đĩa thủy tinh phẳng và thiết đặt áp lực thông qua bộ khung bằng đồng để giữ thấu kính và đĩa với nhau, nhưng vẫn cách nhau một khoảng trống rất mỏng chứa đầy không khí và có cùng định hướng như ánh sáng nhìn thấy. Khi ông quan sát đĩa bằng ánh sáng phản xạ, ông nhìn thấy một dải đồng tâm cả các vùng màu sáng và tối.



Hình 6. Thí nghiệm vòng Newton

Sự phát triển có trật tự của các vòng khiến Newton ngạc nhiên. Gần tâm của điểm tiếp xúc, các vòng rộng hơn và hình ảnh màu sắc có trật tự bắt đầu với màu đen, rồi phát triển yếu dần sang xanh dương, trắng, cam, đỏ, hồng, xanh dương, xanh lá cây và vàng. Dải vân có cường độ lớn hơn và dày hơn ở vùng tâm, chúng mỏng hơn khi phát triển ra phía ngoài, và cuối cùng thì trải theo rìa của khung bằng đồng. Newton cũng nhận thấy nếu như ông rọi sáng thủy tinh bằng ánh sáng đỏ, thì màu sắc sẽ thay đổi để tạo ra các vạch đỏ và đen xen kẽ. Một cách tương tự, ánh sáng xanh dương tạo ra các vòng xanh dương và đen, còn ánh sáng xanh lá cây tạo ra các vòng xanh lá cây và đen. Ngoài ra, Newton cũng nhận thấy khoảng cách giữa các vòng phụ thuộc vào màu sắc ánh sáng. Các vòng màu xanh dương ở gần nhau hơn so với các vòng màu xanh lá cây, các vòng màu xanh lá cây lại gần nhau hơn so với các vòng màu đỏ (kết quả quan sát giống hệt như khoảng cách vân giao thoa trong thí nghiệm khe đôi nếu sử dụng các bộ lọc màu khác nhau).

Newton nhận thấy các vòng biểu hiện sự có mặt của một số mức độ tuần hoàn, nhưng vẫn không hiểu nổi kết quả thí nghiệm. Thật vậy, cơ sở vật lý cho sự hình thành các vòng đã trở thành một bí ẩn tồn tại trên 75 năm sau khi Newton qua đời. Mãi cho đến khi Young đưa ra thí nghiệm khe đôi thì các nhà khoa học mới nhận ra rằng ánh sáng phản xạ từ mặt bên trên và mặt bên dưới của thủy tinh trở nên chồng chất, hoặc kết hợp lại, và tạo ra hình ảnh giao thoa xuất hiện dưới dạng các vòng màu. Ngày nay, nguyên lý cơ bản này được người ta áp dụng trong các xưởng chế tạo kính để kiểm tra mức độ đồng đều của các bề mặt bóng láng lớn.

Sự phân bố vân giao thoa (như trong thí nghiệm khe đôi của Young hoặc dụng cụ thí nghiệm vòng Newton) có cường độ biến đổi khi chúng hiện ra trên một nền không đổi. Độ khả kiến của cường độ (V) được định nghĩa bởi Albert Michelson, nhà vật lý đầu thế kỉ 19, là độ chênh lệch giữa cường độ cực đại và cực tiểu của một vân chia cho tổng của chúng:

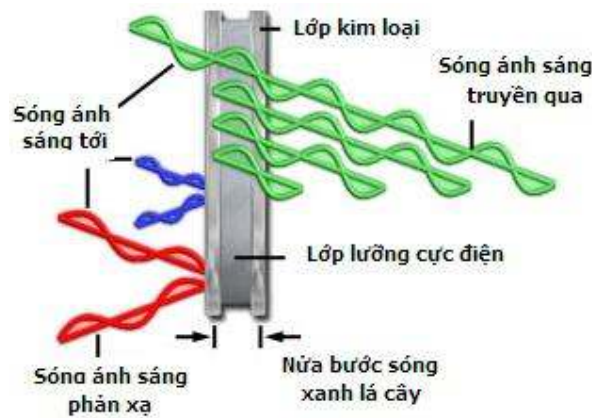
$$\text{Độ khả kiến } (V) = (I(\text{max}) - I(\text{min})) / (I(\text{max}) + I(\text{min}))$$

trong đó $I(\max)$ là cường độ cực đại đo được và $I(\min)$ là cường độ cực tiểu tương ứng. Trong phương trình này, cường độ vân lí tương hóa luôn nằm giữa zero và 1, nhưng trong thực tế cường độ vân phụ thuộc vào thiết kế hình học của thí nghiệm và vùng phổ được sử dụng.

Bộ lọc giao thoa

Sự phát triển vượt bậc của kĩ thuật hiển vi huỳnh quang, sử dụng các quan sát tầm nhìn rộng quen thuộc hoặc dùng kết hợp với kĩ thuật laser quét đồng tiêu và nhân quang, đã đưa tới sự phát triển nhanh chóng của công nghệ lọc mới cho phép các nhà hiển vi học kích thích có chọn lọc các chất fluorophore và quan sát sự huỳnh quang thứ cấp với sự nhiễu nền nhỏ nhất. Vì những ứng dụng này mà các bộ lọc có nhiều lớp phủ mỏng chất lưỡng cực điện, thường được gọi là bộ lọc giao thoa, trở thành cơ cấu được chọn cho việc chọn lọc bước sóng.

Nói chung, các bộ lọc giao thoa cấu tạo từ bản thủy tinh quang học phủ vật liệu lưỡng cực điện thành lớp dày hoặc một phần hai hoặc một phần tư bước sóng, chúng đóng vai trò ngăn cản và/hoặc tăng cường có chọn lọc sự truyền các dải bước sóng đặc biệt qua sự kết hợp của giao thoa tăng cường và triệt tiêu (minh họa trong hình 7). Các bộ lọc được thiết kế để cho truyền qua một phạm vi có giới hạn bước sóng được tăng thêm sức mạnh bởi sự giao thoa tăng cường giữa sóng ánh sáng truyền qua và sóng ánh sáng phản xạ. Các bước sóng không được chọn bởi bộ lọc không tăng cường lẫn nhau, và bị loại bỏ bởi sự giao thoa triệt tiêu hoặc bị phản xạ ra xa bộ lọc.



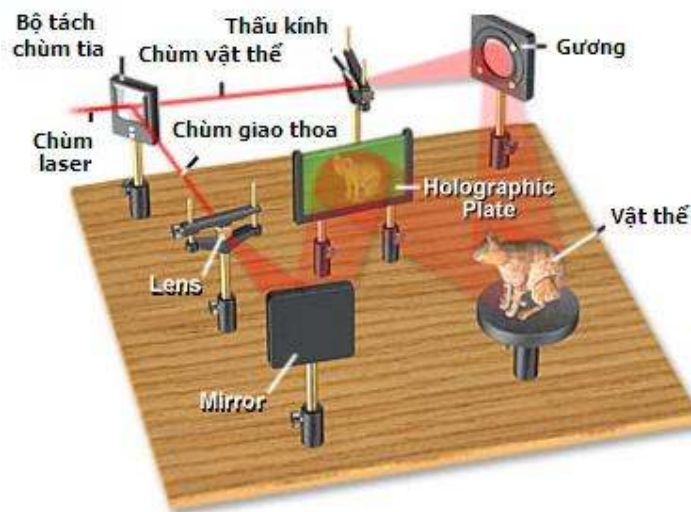
Hình 7. Nguyên lí lọc giao thoa

Vật liệu lưỡng cực điện thường dùng trong các bộ lọc giao thoa là các muối kim loại không dẫn điện và kim loại nguyên chất có giá trị chiết suất nhất định. Các muối như kẽm sunfit, natri nhôm florit, và magiê florit, cũng như các kim loại, ví dụ như nhôm, và một vài vật liệu chọn lọc khác được sử dụng cho việc thiết kế và chế tạo những bộ lọc thuộc loại này. Các bộ lọc giao thoa, rất giống với cấu trúc kitin mỏng trong côn trùng lông lánh ngũ sắc hoặc màng xà phòng mỏng đã nói ở phần trên, dựa vào những đặc tính vật lí tồn tại ở mặt phân giới giữa hai lớp vật liệu lưỡng cực điện rất mỏng có chiết suất khác nhau để phản xạ, cho truyền qua, và xúc tiến sự giao thoa giữa các sóng ánh sáng tới. Việc chọn lọc bước sóng phụ thuộc vào chiều dày lớp lưỡng cực điện và chiết suất của lớp mỏng phủ bên ngoài dùng chế tạo nên bộ lọc.

Các lớp phủ ngoài bộ lọc giao thoa được chế tạo theo từng đơn vị gọi là khoang, mỗi khoang chứa bốn hoặc năm lớp muối lưỡng cực xen kẽ, các khoang phân cách nhau bởi lớp phân cách. Số lượng khoang xác định độ chính xác toàn thể của việc chọn lọc bước sóng. Hiệu suất lọc và chọn lọc bước sóng có thể làm tăng đột ngột bằng cách tăng số lượng khoang, ví dụ như bộ lọc hiệu suất cao hiện nay có tới 10-15 khoang và có thể tạo ra dải thông của một bước sóng. Những bộ lọc có tính chọn lọc cao này đã kích thích nghiên cứu truy tìm những loại thuốc nhuộm fluorophore mới, và đột ngột đẩy mạnh việc tìm kiếm các biến thể đột biến của protein hoạt tính sinh học phổ biến huỳnh quang màu xanh lá cây (GFP).

Tạo ảnh nổi ba chiều bằng sự giao thoa

Nguyên lí và lí thuyết tạo ảnh ảo ba chiều (hologram) bằng phương pháp giao thoa đã được phác thảo bởi Dennis Gabor từ những năm 1940, nhưng ông đã không có trong tay các nguồn laser kết hợp tinh vi để tạo ra những hình ảnh ảo ba chiều này. Laser ra đời vào năm 1960 và hai năm sau đó, hai chàng sinh viên tốt nghiệp trường đại học Michigan là Juris Upatnieks và Emmet Leith đã thành công trong việc tạo ra hologram đầu tiên. Hologram về cơ bản là các bản ghi ảnh được chế tạo với hai bộ sóng ánh sáng kết hợp. Một bộ sóng phản xạ lên phim ảnh bởi vật thể được ghi hình (tương tự như cơ chế chụp hình thông thường), còn bộ sóng kia đi tới phim mà không phản xạ, hoặc truyền qua, vật thể. Khi hai bộ sóng laser cuối cùng gặp nhau trên mặt phẳng phim, chúng tạo ra hình ảnh giao thoa (vân) được ghi lại dưới dạng ảnh ba chiều.



Hình 8. Đường đi của tia sáng trong kĩ thuật tạo ảnh ảo ba chiều

Trong kĩ thuật hologram phản xạ, cả chùm laser rọi vật thể và chùm laser tham chiếu (thường là laser heli-neon) đều phản xạ trên một màng mỏng từ các phía ngược nhau. Những chùm giao thoa với trường ánh sáng và các vùng tối này tương tác nhau tạo ra một hình ảnh ba chiều. Kĩ thuật hologram phản xạ tìm thấy ngày càng nhiều ứng dụng như làm vật nhận dạng bằng lái xe, thẻ tín dụng, dấu hiệu nhận dạng, và chống giả mạo. Thường thì chúng hiển thị hình màu của logo, số nhận dạng, hoặc hình ảnh nhất định tạo ra bằng ánh sáng laser có ba màu sơ cấp. Mỗi laser tạo ra một hình ảnh giao thoa độc nhất vô nhị, và các ảnh sẽ chồng gộp

lên nhau tạo nên ảnh cuối cùng. Do chúng hầu như không thể nào sao chép được nên hologram phản xạ là dụng cụ bảo mật có giá trị cao.

Kĩ thuật hologram truyền qua sử dụng cả chùm laser tham chiếu và laser rọi vật thể ở cùng phía của màng để tạo ra hiệu ứng tương tự như hologram phản xạ (hình 8). Một bộ sóng laser dùng rọi sáng vật thể được ghi hình, nó phản xạ sóng và tán xạ chúng theo cách tương tự như việc rọi sáng thông thường. Ngoài ra, một chùm laser tham chiếu phân cực được áp vào theo hướng song song với mặt phẳng phim hologram. Sóng ánh sáng tán xạ (phản xạ) chạm tới phim nhũ tương đồng thời với sóng tham chiếu, tại đó chúng giao thoa nhau tạo nên hình ảnh vân giao thoa. Hologram truyền qua có một số ứng dụng, nhưng một trong những ứng dụng thú vị nhất là bản hiển thị trước mắt người phi công. Trong buồng lái máy bay thông thường, người phi công phải liên tục thay đổi sự chú ý của anh ta giữa cửa sổ và bản điều khiển. Với kĩ thuật hiển thị hologram, một hình ảnh nổi ba chiều của bản điều khiển máy bay phản xạ trên một cái đĩa đặt gần mắt của phi công, nên người phi công có thể đồng thời quan sát bản điều khiển và chân trời.

Kết luận

Ngoài các bong bóng xà phòng, những con côn trùng lông lánh ngũ sắc tuyệt đẹp, và nhiều thí dụ khác đã nói tới ở trên, hiện tượng giao thoa ánh sáng khả kiến xảy ra khá thường xuyên trong tự nhiên và thường được dùng trong nhiều ứng dụng đa dạng của con người. Ví dụ, phổ màu sắc giống như cầu vồng quan sát thấy bên trong vỏ bào ngư (hình 9) phát sinh bởi những những lớp khoáng cứng rất mỏng gọi là xà cừ hay *mẹ của ngọc trai*. Ánh sáng phản xạ từ các lớp liên tiếp chịu sự giao thoa, tạo ra sự hiển thị màu sắc theo kiểu tương tự với hiện tượng quan sát thấy từ nhiều lớp kitin trên bộ xương ngoài của một vài loài côn trùng cánh cứng. Tương tự như vậy, lớp vảy óng ánh như bạc trên một số loài cá tạo ra hình ảnh giao thoa nhiều màu sắc do nhiều lớp có bề dày khác nhau.

Con mắt óng ánh của lông con công là một ví dụ khác cho hiện tượng giao thoa (hình 9). Cấu trúc hình que nhỏ xíu cấu tạo nên protein sắc tố melanin sắp xếp theo kiểu trật tự tạo ra màu sắc giao thoa kì lạ khi quan sát từ những góc độ khác nhau. Trong thế giới khoáng vật, ngọc mắt mèo cấu tạo từ những quả cầu silicat vi mô sắp xếp thành từng lớp đều đặn. Mỗi quả cầu phản xạ ánh sáng tới chông chập với ánh sáng phản xạ từ những quả cầu lân cận tạo ra dải màu cực đẹp thay đổi mỗi khi người ta xoay hòn ngọc.



Hình 9. Một số ví dụ về giao thoa trong tự nhiên

Ứng dụng đáng kể và rất hữu dụng của hiệu ứng giao thoa là đo đạc những khoảng cách lớn với thiết bị laser chính xác. Các hệ laser có thể được sử dụng để đo những khoảng cách rất nhỏ trong phạm vi nhiều dặm, một công việc được hoàn

thành bằng cách tách chùm tia laser và phản xạ nó trở lại từ những bề mặt liền kề rất gần nhau. Trên cơ sở kết hợp lại các chùm laser phân tách, việc phân tích các vân giao thoa thu được sẽ mang lại một tính toán chính xác đặc biệt về khoảng cách giữa hai bề mặt. Kỹ thuật này cũng được sử dụng phổ biến trong các hệ chỉ dẫn laser được thiết kế cho việc điều khiển đường bay của máy bay có người lái và không có người lái, của tên lửa và bom.

Sự giao thoa cũng xuất hiện trong những lĩnh vực khác như sóng âm (trong không khí) và các gợn sóng lăn tăn trên mặt hồ phẳng lặng. Một thí nghiệm giao thoa rất gọn và dễ thực hiện có thể tiến hành ở nhà bằng chậu đựng đầy nước và hai hòn bi. Trước tiên, hãy để mặt nước trở nên phẳng lặng, rồi đồng thời thả hai hòn bi vào nước (cách nhau chừng 10-14 inch) từ độ cao khoảng 1 foot. Giống hệt như sóng ánh sáng, hai hòn bi sẽ sinh ra một loạt sóng trong nước truyền đi theo mọi hướng. Các sóng nằm trong khu vực giữa hai điểm nơi hai hòn bi rơi vào nước sẽ va chạm với nhau. Nơi chúng va chạm đồng bộ, chúng sẽ tăng cường cộng gộp với nhau tạo ra sóng lớn hơn, và nơi chúng va chạm không đồng bộ với nhau, chúng sẽ triệt tiêu lẫn nhau.

Giao thoa xuất hiện ở nhiều dạng ảnh hưởng tới những điều chúng ta nhìn thấy trong cuộc sống hàng ngày. Sự tương tác giữa các sóng ánh sáng rất gần nhau xảy ra khá thường xuyên nên hiện tượng thường không được để ý tới và được mặc nhiên chấp nhận. Tuy nhiên, từ những đóng góp cơ bản của nó cho lý thuyết vật lý tạo ảnh và vô số loại côn trùng biến hình kì lạ, cho đến màu sắc tuyệt diệu của các vàng và hào quang trong bầu khí quyển, sự giao thoa của sóng ánh sáng đã giúp mang tới sự đa dạng về màu sắc cho thế giới xung quanh chúng ta.

Tác giả: Douglas B. Murphy, Kenneth R. Spring, Thomas J. Fellers và Michael W. Davidson (davidson@magnet.fsu.edu)

hiepkhachquay dịch