BrienHoldenVisionInstitute

BẢN CHẤT CỦA ÁNH SÁNG

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

BẢN CHẤT CỦA ÁNH SÁNG ..... **Error! Bookmark not defined.**
SÓNG ÁNH SÁNG 3
ÁNH SÁNG NHÌN THẤY 5
PHƯƠNG PHÁP VẼ TIA SÁNG ..... **Error! Bookmark not defined.**
CHIẾT SUẤT 9
ĐỘ LỆCH PHA 9

BẢN CHẤT CỦA ÁNH SÁNG

Mãi đến đầu thế kỉ 19, ánh sáng vẫn được coi là một dòng hạt phát ra bởi một nguồn sáng, nó kích thích thị giác khi đi vào mắt. Kiến trúc sư trưởng của thuyết hạt của ánh sáng là Newton. Với thuyết này, ông đã đem lại những giải thích đơn giản cho một số sự kiện thực nghiệm đã biết về bản chất của ánh sáng, như là định luật phản xạ và định luật khúc xạ.

Theo Newton, các hạt được phát ra bởi một nguồn sáng đi theo một đường thẳng đến khi gặp ranh giới của một môi trường mới. Ông đã rút ra một hệ thức dự đoán rằng tốc độ ánh sáng trong một môi trường (chẳng hạn nước) sẽ lớn hơn tốc độ của ánh sáng trong không khí.

Điều này hoàn toàn ngược lại với kết quả được dự đoán bởi thuyết sóng. Foucault sau này đã tìm ra một trị số của tốc độ ánh sáng trong một môi trường cho thấy rằng dự đoán của Newton là không đúng. Điều này đóng một phần lớn vào việc khiến cho người ta không tin cái gọi là *thuyết hạt của ánh sáng.*

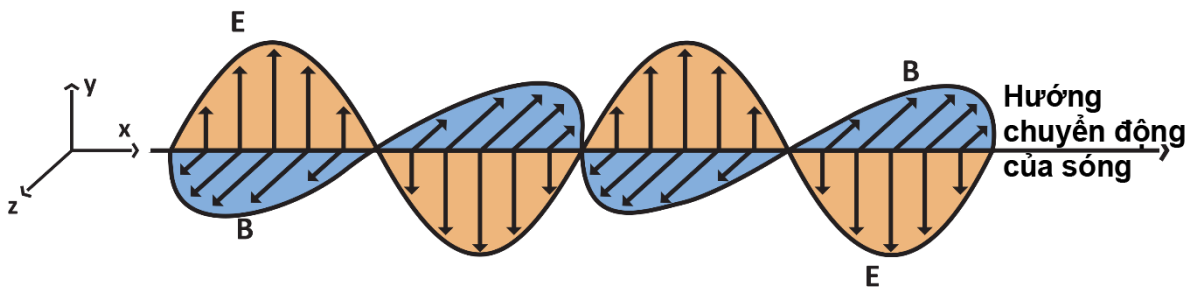
Hầu hết các nhà khoa học ban đầu chấp nhận thuyết hạt ánh sáng của Newton. Tuy nhiên, trong thời kì Newton, một thuyết khác đã được đề ra. Năm 1678, một nhà vật lí thiên văn học người Hà lan, Christian Huygens (1629-1695), đã cho thấy rằng thuyết sóng của ánh sáng cũng có thể giải thích các định luật phản xạ và khúc xạ. Ngoài ra, học thuyết của ông có thể giải thích cho thực tế là ánh sáng đi từ không khí vào một môi trường theo hướng chéo sẽ bị lệch hướng.

Thuyết sóng không được công nhận ngay vì nhiều lí do. Tất cả các sóng được biết ở thời kì đó (thí dụ sóng âm và sóng nước) đều đi qua một loại môi trường nào đó; nhưng ánh sáng từ mặt trời có thể đi đến trái đất qua khoảng không. Hơn nữa, người ta biện luận rằng nếu ánh sáng có dạng sóng thì nó sẽ bị lệch hướng khi gặp các vật cản trở; do đó, chúng ta không thể nhìn thấy được các góc. Ngày nay, người ta đã biết rằng ánh sáng thực tế bị lệch hướng ở quanh rìa của các vật. Hiện tượng này, gọi là *nhiễu xạ,* không dễ quan sát bởi vì sóng ánh sáng có bước sóng ngắn. Mặc dù bằng chứng thí nghiệm của sự nhiễu xạ ánh sáng đã được Francesco Grimaldi (1618-1663) tìm ra ở khoảng 1660 nhưng trong hơn một thế kỉ hầu hết các nhà khoa học đều bác bỏ thuyết sóng và tán thành thuyết hạt của Newton. Điều này một phần là do danh tiếng lớn của nhà khoa học Newton.

Bản chất sóng của ánh sáng lần đầu tiên được chứng minh rõ ràng vào năm 1801 bởi Thomas Young (1773-1829), ông đã cho thấy rằng trong những điều kiện thích hợp, ánh sáng thể hiện tính chất giao thoa. Tức là sóng ánh sáng có thể kết hợp ở những điểm nhất định của vùng xung quanh 2 nguồn. Thậm chí chúng có thể hủy lẫn nhau bởi giao thoa giảm. Tính chất này không thể giải thích được bằng thuyết hạt. Vài năm sau, và trên cơ sở công trình thực nghiệm của Young, Augustin Fresnel (1788-1827) đã báo hiệu rõ ràng sự kết thúc của vật lí thế kỉ 18 và sự ra đời của quang học hiện đại. Ông đã mở rộng thuyết sóng ánh sáng đến một nhóm lớn các hiện tượng quang học và phát triển khung lí thuyết mà sau đó trở thành nền móng của quang học hiện đại.

Phát triển quan trọng nhất đối với lí thuyết ánh sáng là công trình của James Clark Maxwell (năm 1865), ông dự đoán rằng ánh sáng là một dạng sóng điện từ cao tần. Thuyết của ông dự đoán rằng các sóng này có tốc độ 3×10^8 mét/giây. Trị số này phù hợp với tốc độ đo trên thực nghiệm.

Ánh sáng được truyền đi dưới dạng các sóng ngang. Trong sơ đồ bên dưới, chúng ta thấy rằng vectơ điện và vectơ từ gắn với một sóng điện từ vuông góc với nhau và cũng vuông góc với hướng truyền sóng.



Hình 1.1: *Sơ đồ một sóng điện từ truyền đi theo hướng x.*
Vectơ điện trường E dao động ở mặt phẳng xy, và vectơ từ trường B dao động ở mặt phẳng xz

Mặc dù lí thuyết điện từ kinh điển đã giải thích hầu hết các đặc tính đã biết của ánh sáng, một số thí nghiệm sau đó lại không thể giải thích được bằng giả định rằng ánh sáng là một sóng. Đáng chú ý nhất trong số này là *hiệu ứng quang điện*, được phát hiện bởi Hertz. Hertz đã thấy rằng các mặt kim loại sạch phát ra các điện tích khi tiếp xúc với ánh sáng tử ngoại.

Năm 1905, Einstein đã đưa ra một báo cáo trình bày rõ ràng thuyết lượng tử ánh sáng và đã giải thích cho hiệu ứng quang điện. Ông đã đi đến kết luận rằng ánh sáng bao gồm *các hạt* hoặc các lượng tử năng lượng không liên tục. Hơn nữa, ông khẳng định rằng ánh sáng tương tác với vật chất cũng bao gồm các lượng tử, và ông đã lỗi lạc nêu ra những hệ quả của quá trình quang điện.

Cụ thể hơn, Einstein đã cho thấy rằng năng lượng của một photon tỉ lệ với tần số của sóng điện từ:

$$E = h \cdot f$$

trong đó h= 6.63 x 10^{-34} Js là *hằng số Planck.* Thuyết này chứa những điểm đặc trưng của cả thuyết sóng và thuyết hạt của ánh sáng.

Theo những luận điểm này, ánh sáng phải được coi là có *bản chất 2 mặt.* Tức là, để mô tả chính xác nhất tính chất của ánh sáng, **trong một số trường hợp chúng ta cần coi ánh sáng hoạt động như là một sóng và trong những trường hợp khác hoạt động như là một hạt.** Thí dụ, thuyết sóng điện từ cổ điển mang lại những giải thích thỏa đáng về sự truyền ánh sáng và của những ảnh hưởng của giao thoa, trong khi đó hiệu ứng quang điện được giải thích tốt nhất khi giả định rằng ánh sáng là một hạt.

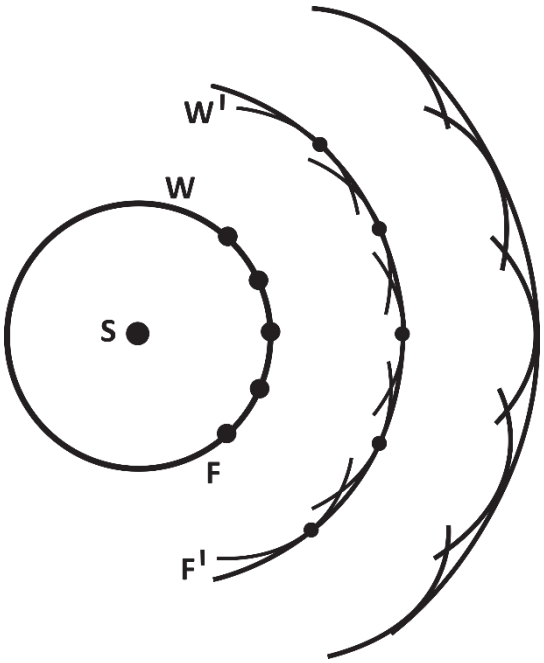
Bản chất của ánh sáng mà chúng ta xem xét trong một tình huống cụ thể sẽ phụ thuộc vào mô hình nào là thích hợp nhất cho các hoàn cảnh đó. Ở khóa học này, chúng ta xem xét **quang lí học** bao gồm những hiện tượng chỉ có thể giải thích được dựa vào bản chất của ánh sáng, cũng như là những hiện tượng không phụ thuộc vào bản chất của ánh sáng mà chỉ phụ thuộc vào đường đi của nó, thường được gọi là **quang hình học**.

SÓNG ÁNH SÁNG

Ở thế kỉ 17, nhà vật lí và toán học người Hà lan Christian Huygens và nhiều nhà nghiên cứu khác đã nghiên cứu tỉ mỉ các hiện tượng quang học. Để giải thích một số hiệu ứng, ông đưa ra giả thuyết rằng năng lượng ánh sáng truyền đi như là một dạng sóng. Về cơ bản, thuyết sóng mô tả ánh sáng như là sự trải rộng từ một nguồn sáng ở một môi trường đẳng hướng đồng nhất dưới dạng *các sóng cầu.*

Một nguồn có kích thước nhỏ không đáng kể so với khoảng cách đến người quan sát được gọi là một nguồn điểm, trong khi một nguồn có kích thước đáng kể so với khoảng cách giữa nguồn sáng và người quan sát được gọi là một nguồn rộng (một nguồn được quan sát từ một khoảng cách lớn hơn 10 lần kích thước tối đa của nó qua trục nhìn có thể được coi là một vật điểm) (trục nhìn = line of sight, đường nối từ điểm định thị đến tâm của đồng tử vào). Một môi trường có đặc tính quang học như nhau ở tất cả các hướng được gọi là môi trường *đẳng hướng*. Nếu một vật liệu đẳng hướng ở toàn bộ thể tích thì người ta gọi nó là môi trường *đồng nhất* (homogeneous).

Ban đầu, người ta cho rằng môi trường mà ánh sáng đi qua thực sự tạo thành các sóng (thí dụ sóng ở trong nước hoặc sóng âm trong không khí) Tuy nhiên, công trình nghiên cứu về sau của Maxwell đã khẳng định rằng các sóng thực tế là những biến đổi của một đặc tính điện từ chứ không phải là các sóng được tạo thành ở bất kì vật liệu nào. Hình dưới đây là minh họa không gian 2 chiều của các sóng cầu từ một nguồn điểm S trong đó các sóng ở dạng các đường tròn được gọi là *các mặt sóng.*



Hình 1.2: *Khi xem xét các mặt sóng WF và W'F', chúng ta có thể thấy các sóng ra khỏi nguồn sáng ở 2 kích thước như là các hình cầu đồng tâm (các hình cầu có chung một tâm nhưng bán kính khác nhau).*

Mặt sóng (wavefront) là một mặt đi qua các điểm trên một tập hợp các sóng có cùng pha và biên độ. Nó là tập hợp các điểm trong không gian tới được bởi một sóng hoặc dao động ở cùng một thời điểm khi sóng đi qua một môi trường. Mặt sóng thường tạo thành một đường thẳng hoặc một mặt liên tục. Theo kinh nghiệm hàng ngày, các đường thẳng được tạo thành bởi đỉnh của các gợn sóng trên mặt ao nước tương ứng với các mặt sóng cong.

Tất cả các chuyển động sóng đều có những đặc tính: *bước sóng, tốc độ, tần số, và biên độ*. Các điểm cao ở một sóng được gọi là *đỉnh sóng*, các điểm thấp được gọi là *lõm sóng*. *Biên độ* là độ cao tối đa của đỉnh sóng (hoặc độ sâu của lõm sóng) so với mức bình thường (hoặc mức cân bằng). Tổng quãng đường từ một đỉnh sóng tới một lõm sóng bằng 2 lần biên độ. Khoảng cách giữa 2 đỉnh liên tiếp được gọi là bước sóng: λ (chữ lambda Hi-lạp). Bước sóng cũng bằng khoảng cách giữa *bất kì* 2 điểm giống nhau liên tiếp trên sóng. *Tần số* (*f*) là số đỉnh (hoặc số chu kì hoàn chỉnh) đi qua một điểm đã cho trên đơn vị thời gian (thường được biểu thị bằng chữ ν Hi-lạp (đọc là [nju])). *Chu kì* (*T*) chỉ là 1/f, và là thời gian trôi qua giữa 2 đỉnh hoặc 2 lõm liên tiếp đi qua cùng một điểm trong không gian.

Tốc độ sóng (v) là tốc độ di chuyển của các đỉnh sóng (hoặc bất kì phần nào của dạng sóng). Nó là tích của số sóng đi qua một điểm trong mỗi giây (tần số) và độ dài của mỗi sóng (bước sóng). Do đó tốc độ liên quan với các đặc tính khác của sóng bằng hệ thức:

$$\mathbf{v = f.\lambda}$$

- v = tốc độ ánh sáng (đo bằng mét/giây)
- λ = bước sóng (tính bằng mét)
- f = tần số (tính bằng Hz)

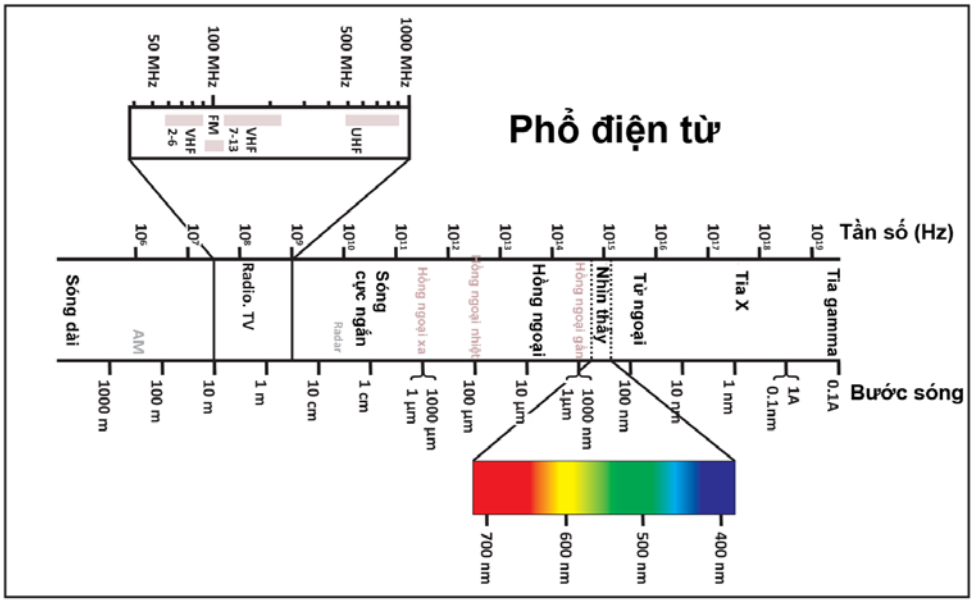
Chúng ta có thể áp dụng phương trình sóng tổng quát này cho ánh sáng trong chân không. Vì tốc độ ánh sáng trong chân không thường được biểu thị bằng c nên phương trình trên trở thành:

$$\mathbf{c = f.\lambda}$$

Chú thích: Phương trình trên chỉ có giá trị đối với ánh sáng đi trong <u>chân không</u>.

ÁNH SÁNG NHÌN THẤY

Có nhiều dạng sóng điện từ khác nhau bởi tần số, năng lượng và bước sóng. Tổng hợp các sóng điện từ tạo thành phổ điện từ. Các loại sóng khác nhau được chỉ ra trong sơ đồ.



	SÓNG RADIO	SÓNG CỰC NGẮN	HỒNG NGOẠI	ÁNH SÁNG NHÌN THẤY	TỬ NGOẠI	TIA X	TIA GAMMA
Bước sóng:	Dài ←						Ngắn
Tần số:	Thấp →						Cao
Năng lượng:	Thấp →						Cao

Hình 1.3: *Hình biểu diễn phổ điện từ*

Theo thứ tự năng lượng tăng dần, chúng ta có:

(a) **Sóng radio** có các bước sóng thay đổi từ khoảng 1 m tới tận 1 km.

(b) **Sóng cực ngắn** có các bước sóng khoảng 1 mm đến 30 cm.

(c) **Bức xạ hồng ngoại** có các bước sóng khoảng 1 mm tới 7 x 10^{-7} m (700 nm). Các sóng này dễ dàng bị hấp thụ bởi hầu hết các vật liệu. Chúng thường biểu hiện như là nhiệt bởi vì năng lượng của chúng khuấy động các nguyên tử của cơ thể, làm tăng chuyển động rung và tịnh tiến của chúng, dẫn đến tăng nhiệt độ.

(d) **Ánh sáng nhìn thấy** là dạng quen thuộc nhất của các sóng điện từ. Các bước sóng khác nhau của ánh sáng nhìn thấy được xếp loại theo màu sắc từ tím (~400 nm) đến đỏ (~700 nm) (phụ thuộc vào định nghĩa ánh sáng nhìn thấy, có thể có các giới hạn lớn hơn (thí dụ 380-830nm). Độ nhạy của mắt là một hàm của bước sóng, độ nhạy tối đa ở bước sóng khoảng 555 nm (vàng-lục). Độ nhạy tối đa phụ thuộc vào các điều kiện ánh sáng.

(e) **Bức xạ tử ngoại** gồm các bước sóng từ khoảng 380 nm xuống đến 60 nm.

(f) **Tia X** là các sóng điện từ có bước sóng từ khoảng 10 nm xuống đến 10^{-4} nm**.**

(g) **Tia gamma** được phát ra bởi hạt nhân phóng xạ và trong một số phản ứng hạt nhân (thí dụ các tia vũ trụ). Bước sóng của chúng nằm trong khoảng từ 10^{-10} m đến dưới 10^{-14} m. Chúng xuyên thấu mạnh và gây ra những tổn hại nặng khi được hấp thụ bởi các mô sống.

Bạn có thể tạo ra một câu giúp nhớ các bức xạ theo thứ tự bước sóng giảm dần/tần số tăng dần/năng lượng tăng dần. Thí dụ: ***R*oyalty *M*eets *I*n *V*ery *U*nusual e*X*pensive *G*ardens** (Hoàng tộc gặp gỡ trong khu vườn đặc biệt xa xỉ)

***R*oyalty**	***R*adio waves** (sóng radio)
***M*eets**	***M*icrowave** (sóng cực ngắn)
***I*n**	***I*nfra-Red** (bức xạ hồng ngoại)
***V*ery**	***V*isible light** (ánh sáng nhìn thấy)
***U*nusual**	***U*ltra-violet** (bức xạ tử ngoại)
e***X*pensive**	***X*-rays** (tia X)
***G*ardens**	***G*amma rays** (tia gamma)

CÁC TIA CỦA MẶT TRỜI

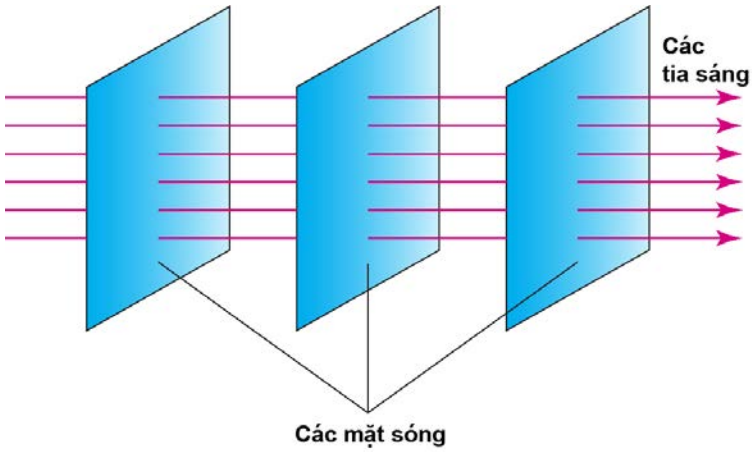
Khoảng 43% bức xạ phát ra bởi mặt trời nằm trong vùng ánh sáng nhìn thấy. (người ta cho rằng lí do mắt chúng ta nhạy cảm nhất với ánh sáng khoảng 555nm là bởi vì nó cũng tương ứng với giá trị đỉnh của bức xạ mặt trời khi đo ở bề mặt trái đất).
Phần còn lại của bức xạ của mặt trời, khoảng 49% ở vùng cận hồng ngoại và khoảng 7% ở vùng tử ngoại. Dưới 1% là tia X, tia gamma, và sóng radio.

Phổ bức xạ điện từ từ mặt trời tới khí quyển của trái đất ở trong khoảng từ 100 đến 10^6 nm. Nó được chia thành 5 vùng theo bước sóng tăng dần.

- **Vùng tử ngoại C** hoặc (UVC), trong khoảng từ 100 đến 280 nm. Bức xạ này ở tần số cao hơn ánh sáng màu tím, do đó mắt người cũng không nhìn thấy được. Nó bị hấp thụ bởi khí quyển nên hoàn toàn không đến được bề mặt trái đất. Phổ bức xạ này có tính sát khuẩn, và được phát ra bởi các đèn sát khuẩn, và các nguồn sáng nhân tạo khác.
- **Vùng tử ngoại B** hoặc (UVB) trong khoảng từ 280 đến 315 nm. Nó cũng phần lớn bị hấp thụ bởi khí quyển nhưng có thể tới bề mặt trái đất.
- **Vùng tử ngoại A** hoặc (UVA) trong khoảng từ 315 đến 400 nm. Nó thường được coi là gây tổn hại cho ADN ít hơn so với các loại bức xạ tử ngoại khác, tuy nhiên do khả năng xâm nhập sâu vào da nên nó nguy hiểm hơn nhiều so với người ta thường nghĩ.
- **Vùng nhìn thấy** trong khoảng từ 400 đến 700 nm.
- **Vùng hồng ngoại** trong khoảng từ 700 nm đến 10^6 nm [1 mm]. Nó cũng được chia thành 3 loại trên cơ sở bước sóng:
    - Hồng ngoại-A: 700 nm đến 1400 nm
    - Hồng ngoại-B: 1400 nm đến 3000 nm
    - Hồng ngoại-C: 3000 nm đến 1 mm.

PHƯƠNG PHÁP VẼ TIA SÁNG

Khi nghiên cứu quang hình học, chúng ta sử dụng một đặc tính quan trọng của ánh sáng. **Ánh sáng đi theo các đường thẳng đến khi nó gặp một ranh giới giữa 2 chất liệu khác nhau**. Dựa vào quan sát này (gọi là nguyên lí *ánh sáng truyền theo đường thẳng*), chúng ta sẽ sử dụng cái được gọi là phương pháp vẽ tia sáng để miêu tả sóng ánh sáng. Tia sáng là một đường thẳng **tưởng tượng** được vẽ theo hướng đi của các sóng ánh sáng. Các tia sáng là các đường thẳng vuông góc với các mặt sóng.



Hình 1.4: *Các tia sáng vuông góc với mặt sóng*

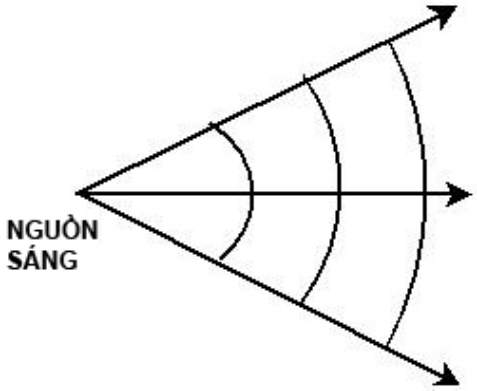
Một nhóm các tia sáng được gọi là một *chùm* tia (*pencil* of rays). Một tập hợp các chùm tia được gọi là một *chùm* sáng (*beam* of light).

Các tia sáng tỏa ra (hoặc phân kì) từ các nguồn điểm. Nói chung, ánh sáng phân kì từ tất cả các điểm theo mọi hướng. Mắt chúng ta chặn các nón nhỏ tia phân kì này và tạo thành các ảnh mà não sẽ diễn giải. **Hướng đi của các tia sáng vào mắt cho chúng ta biết hướng của vật**.

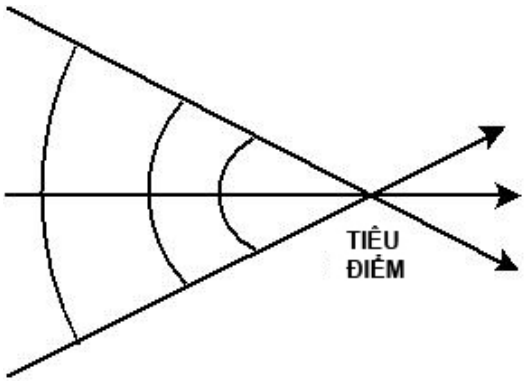
Quang hình học thừa nhận rằng ánh sáng đi theo các đường thẳng đến khi nó gặp một ranh giới giữa 2 môi trường. Quang hệ của mắt chúng ta đã được rèn luyện theo kinh nghiệm từ khi sinh ra để chấp nhận rằng ánh sáng phân kì đi vào mắt đã đi theo một đường thẳng từ nguồn sáng. Điều này không phải lúc nào cũng đúng và có thể dẫn đến những ảo ảnh.

Do các mặt sóng cầu mở rộng ở rất xa nguồn sáng nên một mặt cắt nhỏ của mặt sóng sẽ giống như là một mặt phẳng. Do đó, **một nguồn điểm ở cách một khoảng tương đối lớn có thể gần giống như là một nguồn sóng phẳng**. Thí dụ, ánh sáng từ một bóng đèn rất nhỏ cách vài mét, hoặc ánh sáng từ mặt trời hoặc một vì sao có thể được coi là đến ở dạng các sóng phẳng. Các tia từ vật lúc này sẽ song song với nhau.

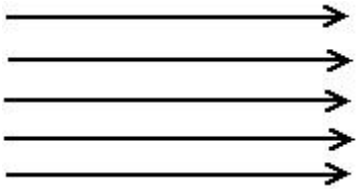
MỘT CHÙM TIA PHÂN KÌ



CHÙM TIA HỘI TỤ



CHÙM TIA SONG SONG



Hình 1.5: *a) Chùm tia phân kì b) chùm tia hội tụ c) chùm tia song song*

CHIẾT SUẤT

Chiết suất là tốc độ của ánh sáng trong một môi trường so với tốc độ của ánh sáng trong chân không. Thí dụ, nước (H_2O) có chiết suất 1.333, nghĩa là ánh sáng ở trong nước đi chậm hơn 1.333 lần so với ở trong chân không. Chiết suất thay đổi theo bước sóng ánh sáng (khoảng 1 đến 2% trong khoảng ánh sáng nhìn thấy) và là một đặc tính vật lí của một vật liệu. Như vậy, nó có thể được dùng để nhận biết một chất. Bảng dưới đây giới thiệu một số chất thông thường và chiết suất của chúng.

Chiết suất của một số vật liệu thông thường (λ = 589.29, Nhiệt độ = 20°C)	
Không khí	1.001
Nước	1.333
Thủy tinh crao	1.520
Thủy tinh flin	1.610
Saphia	1.770
Kim cương	2.420
Giác mạc người (bình thường)	1.376

Bảng 1.1: *Chiết suất của các vật liệu thông thường*

Do chiết suất của vật liệu thay đổi theo tần số (do đó theo bước sóng) của ánh sáng, người ta thường chỉ rõ bước sóng trong chân không tương ứng mà ở đó chiết suất được đo. Chiết suất này thường được đo ở các vạch phát xạ phổ rõ ràng.

Ở Anh và Bắc Mĩ, chiết suất hiện nay được đo ở vạch d heli (bước sóng 587.56 nm) và được kí hiệu là $\mathbf{n_d}$.

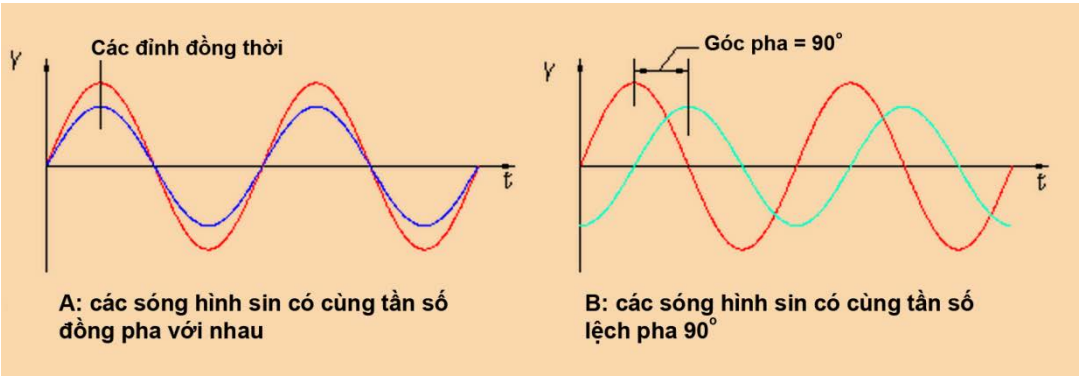
Ở châu Âu, nó được đo ở vạch e thủy ngân (bước sóng 546.07 nm) và được kí hiệu là $\mathbf{n_e}$.

Chúng ta sẽ biết thêm về chiết suất và tầm quan trọng của nó ở Chương 3: Sự khúc xạ.

ĐỘ LỆCH PHA

Ở chương này chúng ta đã nói đến bản chất của ánh sáng và chúng ta đã miêu tả ánh sáng như là các sóng hình sin. Chúng được gọi tên này là vì hàm này cũng mô tả biến đổi sin của một góc. Hàm này lặp lại sau 360° (hoặc 2π radian). Do đó khoảng cách từ một đỉnh tới một đỉnh khác là bước sóng hoặc độ lệch pha 360° (hoặc 2π radian).

Khái niệm pha nói đến phần sóng đã trôi qua so với khởi điểm của nó. 2 sóng có thể "đồng pha" nghĩa là cùng một phần sóng đã trôi qua tính từ khởi điểm của 2 sóng, hoặc nói một cách đơn giản là chúng có các đỉnh và các lõm ở cùng một thời điểm. Do đó, 2 sóng có các đỉnh và các lõm không đồng bộ được gọi là "lệch pha". Hình 1.6 minh họa khái niệm này.



Hình 1.6: *Độ lệch pha*

Khi các sóng đồng pha hoàn toàn thì chúng có độ lệch pha bằng 0 độ hoặc (n x 360°) hoặc (n x 2π rad), trong đó n là một số nguyên. Điều này tương ứng với độ lệch pha bằng 0 hoặc là một số nguyên của các bước sóng.

Khi các sóng lệch pha hoàn toàn thì chúng có độ lệch pha (m x 180°) hoặc (m x π rad), trong đó m là một số nguyên lẻ. Điều này tương ứng với một độ lệch pha bằng ½ hoặc 1½ hoặc 2½ v.v...các bước sóng

Các độ lệch pha và hệ quả của chúng trong quang học sẽ được đề cập chi tiết ở Chương 7: Giao thoa.